

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Компьютерные и информационные
технологии в науке, инженерии
и управлении**

«КомТех-2022»

Материалы Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием

В двух томах

Том I

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2022

УДК 004:[001+62+005](063)
ББК 32.973-018.2+32.81я43
К63

Ответственный редактор С. И. Клевцов

К63 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2022» : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022.
ISBN 978-5-9275-4174-4
Т. 1. – 358 с.
ISBN 978-5-9275-4175-1 (Т. 1)

В настоящее издание вошли доклады по материалам Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», рекомендованные к опубликованию Оргкомитетом.

В первый том материалов конференции вошли доклады участников конференции, посвященные инфокоммуникационным технологиям, методам, моделям и алгоритмам обработки информации.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в различных областях деятельности человека.

УДК 004:[001+62+005](063)
ББК 32.973-018.2+32.81я43

ISBN 978-5-9275-4175-1 (Т. 1)
ISBN 978-5-9275-4174-4

© Южный федеральный университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Секция – Методы, модели и алгоритмы обработки информации

Дмитриев Александр Георгиевич АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ЗАШУМЛЁННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	9
Даничев Алексей Александрович, Якунин Юрий Юрьевич ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЧАСТНОГО СЛУЧАЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ.....	13
Семенова Марина Максимовна, Мешкова Дарья Игоревна ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦИИ ОНЛАЙН- РЕСУРСОВ.....	18
Гушанский Сергей Михайлович, Буглов Владислав Евгеньевич, Козловская Мария Алексеевна О СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЯХ КВАНТОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	24
Гульмамедов Нариман Вахитович, Барабанщикова Мария Николаевна АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ИНФОРМАЦИЕЙ В СФЕРЕ ЖКХ..	30
Берешполов Игорь Сергеевич, Слепцов Алексей Геннадьевич ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ СООБЩЕНИЙ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМАХ	39
Щучкин Евгений Юрьевич ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ.....	47
Сингх Санни, Прибыльский Алексей Васильевич ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ УРОВНЕ ОСВЕЩЕНИЯ.....	53
Приходченко Алексей Иванович ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ДАТЧИКА ВИБРАЦИЙ ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИВОДНЕНИЯ САМОЛЁТА-АМФИБИИ БЕ-200 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАНГОВЫХ КРИТЕРИЕВ.....	63
Шепель Илья Олегович АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В КАРТЕ ЗАНЯТОСТИ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРА ЧАСТИЦ.....	71

Семенов Виктор Алексеевич, Игнатъева Сабина Валерьевна РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ АВТОЭНКОДЕРА	78
Серёженко Ольга Александровна ЗАДАЧА ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ИХ СОДЕРЖИМОМУ. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБРАТНОГО ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	82
Караев Артём Дмитриевич, Проскуряков Александр Викторович РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА ЗАГРУЗКИ КОМПЬЮТЕРНО ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРЕЙМВОРКА TENSORFLOW.....	91
Проскуряков Александр Викторович РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДСИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ....	102
Аль-Карави Хуссейн Шукор Мукер, Турулин Игорь Ильич УМЕНЬШЕНИЕ УРОВНЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В УПРАВЛЯЕМОМ ЦИФРОВОМ ФИЛЬТРЕ НИЖНИХ ЧАСТОТ БАТТЕРВОРТА НА БАЗЕ НЕСКОЛЬКИХ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ВХОДНОГО СИГНАЛА.....	111
Клевцов Сергей Иванович ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВРЕМЕННОГО РЯДА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА.....	120
Петушков Петр Александрович, Левин Владимир Михайлович СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ.....	125
Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Михайлович РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНЫХ ТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....	132
Понимаш Захар Алексеевич, Носко Виктор Ильич АЛГОРИТМ РАНЖИРОВАНИЯ ТЕКСТОВ НА БАЗЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	138

Беляев Александр Александрович, Кошарный Владимир Александрович, Пьявченко Алексей Олегович ВОПРОСЫ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В БАЗИСЕ СОВРЕМЕННЫХ FPGA МОДУЛЕЙ.....	144
Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КВАНТОВОГО ВАРИАЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КВАНТОВЫХ КОДОВ С ИСПРАВЛЕНИЕМ ОШИБОК.....	154
Новиков Анатолий Иванович АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЕРАТОРОВ С ВЕКТОРНОЙ МАСКОЙ.....	165
Сидельников Кирилл Андреевич, Фролов Андрей Евгеньевич, Хвацев Никита Сергеевич СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ.....	171
Калинин Никита Владимирович, Корячко Вячеслав Петрович, Никифоров Михаил Борисович ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ РЕСТАВРАЦИИ КАРТИН.....	177
Синютин Сергей Алексеевич, Шпаковская Оксана Юрьевна РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ КОРПУСА ПОРТАТИВНОГО ПНЕВМОТРЕНАЖЕРА НА ОСНОВЕ ТРУБКИ ФЛЕЙША.....	185
Удод Евгений Васильевич ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОАНЕМОМЕТРА.....	192
Слепцов Алексей Геннадьевич, Берешполов Игорь Сергеевич ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ РЕКРУТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ.....	197
Секция – Локальные и распределенные системы мониторинга и управления	
Проскуряков Александр Викторович, Легиньков Родион Олегович ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КРИПТОВАЛЮТНЫХ НОВОСТЕЙ.....	204

Пьявченко Алексей Олегович, Юлков Денис Сергеевич ВСТРАИВАЕМЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ...	210
Мангушев Александр Вячеславович УНИВЕРСАЛЬНЫЙ MQTT КЛИЕНТ НА БАЗЕ ОДНОКРИСТАЛЬНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА.....	222
Секция – Методы, системы и средства обработки физических сигналов	
Плаксиенко Владимир Сергеевич КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ РАЗНЕСЕННЫЙ ПРИЕМ ЗАМИРАЮЩИХ СИГНАЛОВ.....	229
Плаксиенко Владимир Сергеевич МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ КОМБИНИРОВАННОГО СЛОЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ....	232
Бакшун Дмитрий Иванович SDR-ПРИЕМНИК ДЛЯ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 0,1..120 МГц.....	237
Слонко Артем Евгеньевич ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ.....	241
Циркуленко Артемий Викторович ДЕМОНСТРАТОР ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ.....	246
Зикий Анатолий Николаевич, Пустовит Алексей Андреевич, Сальный Игорь Алексеевич, Андрианов Артур Валерьевич МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АТТЕНЮАТОРА САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА.....	250
Секция – Современные микро- и нанoeлектронные системы и технологии	
Калинин Никита Владимирович, Никифоров Михаил Борисович, Муратов Евгений Рашитович РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУХПРОВОДНОГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА VERILOG.....	259
Мараховский Михаил Алексеевич, Панич Александр Анатольевич ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ КОНСОЛИДИРОВАННОГО СПЕКАНИЯ НА СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ РАБОТАЮЩЕЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ.....	265

Прокопенко Николай Николаевич, Бугакова Анна Витальевна, Жук Алексей Андреевич НЕПРЕРЫВНЫЙ КОМПЕНСАЦИОННЫЙ СТАБИЛИЗАТОР С ДИНАМИЧЕСКИМ ПОДАВЛЕНИЕМ ВСПЛЕСКОВ И ПРОВАЛОВ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	270
---	-----

Секция – Контроль и управление в технических системах

Алмашаал Мохаммад Джалаль К ОЦЕНКЕ ОБЛАСТИ ПРИТЯЖЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	277
Лысенко Дмитрий Геннадьевич, Колоколова Ксения Валериевна КОНЦЕПЦИЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	283
Панычев Сергей Андреевич, Панычев Андрей Иванович, Максимов Александр Викторович РЕАЛИЗАЦИЯ В БАЗИСЕ ПЛИС РЕЛЯТОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРИОРИТЕТОМ ОПРОСА ДАТЧИКОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	287
Аксенов Василий Валерьевич, Шадрина Валентина Вячеславовна СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ И СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЛАТФОРМЕННЫХ СИСТЕМ, ОСНАЩЕННЫЕ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ.....	295
Седов Андрей Владимирович, Пушкарева Ольга Олеговна, Савельев Дмитрий Андреевич ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ КОНСТРУКЦИЙ С ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКОМ ДЛЯ АПРИОРНОГО ОБУЧЕНИЯ.....	302
Исаенко Илья Александрович ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ	307

**Секция – Системы диагностики состояния биологических и
технических объектов**

Сердюков Павел Сергеевич, Румянцев Константин Евгеньевич МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ.....	318
--	-----

Секция – Промышленный дизайн и адаптивные технологии

Астанкова Юлия Сергеевна, Гривцов Владимир Владиславович	
--	--

ДИЗАЙН СБОРНИКА СТИХОВ В. МАЯКОВСКОГО «ИЗБРАННАЯ ЛИРИКА».....	329
Калашникова Татьяна Григорьевна, Орехов Вячеслав Валентинович, Медведев Артем Владиславович	
РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-ПРОЕКТА МОДУЛЬНОГО ОФИСА ДЛЯ БАНКА.....	337
Кулагина Ксения Александровна, Орехов Вячеслав Валентинович, Аббасов Ифтихар Балакишиевич	
ГРАФИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА «БИОКОР-ТРЕНЕР».....	345
Гринченко Галина Сергеевна, Волощенко Вадим Юрьевич	
ГЛАЗ ХУДОЖНИКА КАК ОПТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ И ОТВЕТ НА ВОПРОС – ОТКУДА У ЗВЕЗДЫ ЛУЧИ.....	352

Секция – Методы, модели и алгоритмы обработки информации

УДК 621.391

Дмитриев Александр Георгиевич

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ЗАШУМЛЁННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время существуют различные алгоритмы сжатия изображений с потерями, базирующиеся на двумерном дискретном косинусном преобразовании (ДКП), которые не всегда являются достаточно эффективными при обработке зашумлённых изображений. В статье предлагается адаптивный алгоритм сжатия изображений на основе ДКП, в котором выборка элементов изображения каждого фрагмента подразделяется на обучающую и проверочную (исходное изображение разбивается на непересекающиеся фрагменты фиксированного размера). Коэффициенты ДКП находятся по обучающей выборке. Искомое множество коэффициентов ДКП, которые вносят основной «вклад» в аппроксимируемое изображение, определяются на основе проверочной выборки исходя из экстремального свойства выбранного критерия качества аппроксимации.

Сжатие изображений, косинусное преобразование, аппроксимация.

Dmitriev Alexander Georgievich

ADAPTIVE ALGORITHM FOR COMPRESSION OF NOISY IMAGES

Currently, there are various lossy image compression algorithms based on two-dimensional discrete cosine transformation (DCT), which are not always effective enough when processing noisy images. The article proposes an adaptive image compression algorithm based on DCT, in which the selection of image elements of each fragment is divided into training and verification (the original image is divided into disjoint fragments of fixed size). The DCT coefficients are calculated from the training sample. The desired set of DCT coefficients, which make the main "contribution" to the approximated image, are determined on the basis of a test sample based on the extreme property of the selected approximation quality criterion.

Image compression, cosine transformation, approximation.

Введение

В работах [1-4] рассматриваются различные подходы сжатого представления изображений с потерями на основе двумерного дискретного косинусного преобразования, в которых изображение сначала разбивается на непересекающиеся фрагменты, как правило, размером 8×8 элементов, для каждого фрагмента находятся коэффициенты ДКП, выбираются коэффициенты, которые обеспечивают наибольший «вклад» в исходное изображение. Наиболее часто для выбора коэффициентов используется специально построенная функция квантования, применение которой приводит к появлению «нулевых» коэффициентов, которые исключаются из рассмотрения и тем самым достигается основное сжатие изображения. В случае зашумленных изображений применение такой функции не всегда оказывается эффективным.

В данной статье предлагается в определённом смысле оптимальный алгоритм выбора коэффициентов на основе анализа выборки значений элементов фрагмента изображения.

Основная часть

Задача ставится следующим образом. Пусть для анализа предъявлен фрагмент изображения, размером $2n \times 2n$ элементов: $X = \{x_{i,j}\} \quad i = 0, \dots, 2n-1, \quad j = 0, \dots, 2n-1$.

Критерий качества приближения S на выборке экспериментальных значений X задается в виде

$$S = \sum_{i,j=0}^{2n-1} (x_{i,j} - \tilde{x}_{i,j})^2, \quad (1)$$

где $\tilde{x}_{i,j} = \sum_{t_{u,v} \in \Omega_k} c(u)c(v)t_{u,v} \cos(\frac{(2i+1)u\pi}{4n}) \cos(\frac{(2j+1)v\pi}{4n})$ – восстановленный элемент изображения с индексом (i,j) на множестве коэффициентов ДКП Ω_k , k - число коэффициентов ДКП;

$t_{u,v} = c(u)c(v) \sum_{i,j=0}^{2n-1} x_{i,j} \cos(\frac{(2i+1)u\pi}{4n}) \cos(\frac{(2j+1)v\pi}{4n})$, $u, v = 0, \dots, 2n-1$ – коэффициенты прямого ДКП; $c(u) = c(v) = 1 / \sqrt{2n}$, если $u = v = 0$, $c(u) = c(v) = \sqrt{1/n}$, если $u, v = 1, \dots, (2n-1)$.

Требуется найти такие коэффициенты ДКП (множество Ω_k) так, чтобы критерий (1) принимал в определённом смысле минимальное значение.

Известно [1,5], что добавление больших по модулю коэффициентов ДКП при вычислении $\tilde{x}_{i,j}$ приводит к большему уменьшению критерия (1).

Таким образом, можно последовательно выбирать те коэффициенты ДКП, которые вносят наибольший вклад в рассматриваемый фрагмент изображения.

Для нахождения Ω_k предлагается следующая процедура:

1. Исходная выборка данных разбивается на обучающую и проверочную. В качестве обучающей выборки выбираются нечетные элементы изображения как вдоль строки, так и вдоль столбца, а в качестве проверочной выборки – чётные элементы изображения.

2. Рассматривается обучающая выборка, находятся коэффициенты ДКП $t_{u,v}$, $u, v = 0, \dots, n-1$. Полученный массив коэффициентов сортируется в порядке убывания, при этом для каждого отсортированного элемента записывается его положение в исходном фрагменте изображения. Обозначим отсортированный массив через \hat{t}_k , $k = 1, \dots, n^2$.

3. Рассматривается проверочная выборка, последовательно для каждого $k = 1, 2, \dots, k_{\max}$ (k_{\max} - заданный параметр) выбираются соответствующие коэффициенты из массива \hat{t}_k , рассчитывается ошибка приближения $S_{\text{пров}}(k)$ элементов изображения проверочной выборки с использованием коэффициентов, рассчитанных по обучающей выборке:

$$S_{\text{пров}}(k) = \frac{1}{n^2 - k} \sum_{i,j=0}^{n-1} (x_{i,j} - \tilde{x}_{i,j})^2,$$

где $\tilde{x}_{i,j} = \sum_{t_{u,v} \in \Omega_k} c(u)c(v)t_{u,v} \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{4n}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{4n}\right)$, Ω_k - множество коэффициентов ДКП из отсортированного массива \hat{t}_k .

4. Начиная с $k = 2$, определяется изменение ошибки аппроксимации на основе проверочной выборки:

$$\Delta S_{\text{пров}}(k) = S_{\text{пров}}(k) - S_{\text{пров}}(k-1).$$

5. Если на некотором шаге $k^* \Delta S_{\text{пров}}(k^*) > 0$, то процедура останавливается, из массива \hat{t}_k , $k = 1, \dots, k^* - 1$ выбираются соответствующие коэффициенты ДКП. Определённые таким образом коэффициенты ДКП являются искомым множеством Ω_k .

На рис. 1 показаны типичные зависимости для фрагментов зашумлённых изображений ошибки аппроксимации $R1$, подсчитанной по обучающей выборке, и $R2$ – ошибки аппроксимации, подсчитанной на основе

проверочной выборки, при добавлении коэффициентов ДКП в порядке уменьшения их «вклада».

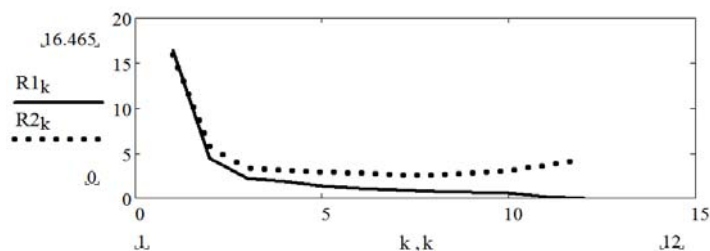


Рис. 1.

Выводы

Результаты моделирования показывают, что экстремальный характер среднеквадратической ошибки аппроксимации на проверочной выборке позволяет определить гармоники, которые вносят основной вклад в изучаемый сигнал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р Вудс – М.: Техносфера, 2012. – 1103 с.
2. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008 – 192 с.
4. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 608 с.
5. Дмитриев А.Г. Адаптивный алгоритм аппроксимации экспериментальных сигналов тригонометрическим полиномом / А.Г. Дмитриев, А.Д. Жуков //Материалы 45-й военно-научной конференции молодых специалистов. – Череповец, ВУРЭ, 2020. С.39-44.

Дмитриев Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент Военного университета радиоэлектроники, 162622, Россия, город Череповец, Советский проспект 126, телефон: +7 (921) 250-55-72, email: dag334a@fxmail.ru

Dmitriev Alexander Georgievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate Professor of the Military University of Radio Electronics, 162622, Russia, Череповец, Sovetsky Prospekt 126, phone: +7 (921) 250-55-72, email: dag334a@fxmail.ru

УДК 004.051, 519.852.33, 519.854

Даничев Алексей Александрович, Якунин Юрий Юрьевич

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЧАСТНОГО СЛУЧАЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

В данной работе демонстрируется три подхода к решению задачи оптимизации, различающихся по требованию к уровню математической грамотности программиста. Это генетический алгоритм, симплекс метод и Венгерский алгоритм.

Генетический алгоритм, транспортная задача, Венгерский алгоритм.

Danichev Aleksey Aleksandrovich, Yakunin Yuri Yurievich

INFLUENCE OF THE QUALITY OF THE MATHEMATICAL TOOL ON THE EFFICIENCY OF THE ALGORITHM FOR SOLVING A SPECIAL CASE OF THE TRANSPORT PROBLEM

This paper demonstrates three approaches to solving the optimization problem, which differ in terms of the requirement for the level of mathematical literacy of the programmer. These are the genetic algorithm, the simplex method and the Hungarian algorithm.

Genetic algorithm, transportation problem, Hungarian algorithm.

Введение

Последнее время широко практикуется применение универсальных «решателей» использующих случайный поиск на базе генетических, эволюционных, стохастических бионических алгоритмов [1,2] и пр. Действительно, использование таких инструментов очень удобно. С точки зрения программирования необходимо лишь описать функцию приспособленности. В неё входит и целевая функции задачи оптимизации, и штрафы за нарушение ограничений. При этом не требуется особых знаний в математики. Проблема состоит в том, что при большой размерности задачи алгоритм становится неэффективным. К тому же случайный поиск не гарантирует нахождение глобального экстремума. Тем не менее, примерно треть публикаций научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU [3], связанных с оптимизацией, посвящена применению генетических алгоритмов (табл. 1).

Таблица 1

Количество публикаций на eLIBRARY.RU по темам

Строка поиска \ Годы публикации	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019
(генетический алгоритм) от оптимизация	815	4 213	6 685	12 886
генетический алгоритм	296	1 196	2 269	3 953

Язык Phyton - популярный инструмент решения математических задач. Широкий выбор библиотек для Phyton и многочисленные примеры их применения позволяет называть его языком программирования аналитиков и ученых. Например, популярная система организации конкурсов по исследованию данных Kaggle [4] использует языки Phyton и R. Однако мало уметь применять библиотечные методы. Для решения задач, отличных от классических, необходимо понимать, как именно работают эти методы. Например, в данной статье знание о целочисленных задачах выпуклого программирования позволило на порядки увеличить скорость решения задачи.

Основная часть

Рассмотрим следующую задачу. Пусть имеется n уникальных продуктов и m пунктов их потребления. Для каждого пункта потребления j заданы минимально- и максимально- допустимые объемы продукции b_j и B_j . Имеются экспертные оценки c_{ij} целесообразности доставки продукта i на пункт потребления j . Необходимо оптимальным образом доставить все продукты. Предполагается, что $\sum_j b_j \leq n \leq \sum_j B_j$. Получаем задачу оптимизации:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1, j=1}^{n, m} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \\
 & \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1..n} \\
 & b_j \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq B_j, \quad j = \overline{1..m} \\
 & x_{ij} \in [0;1] \quad \text{или} \quad x_{ij} \in \{0,1\}.
 \end{aligned}$$

Реализуем генерацию случайных коэффициентов и проведем вычислительные эксперименты для различных подходов к решению. Для каждой

размерности m и n будем проводить 50 испытаний и считать среднее время.

Для решения данной задачи генетическим алгоритмом необходимо:

- представить матрицу $\|x_{ij}\|$ в виде бинарного вектора из $n*m$ элементов;

- задать функцию приспособленности как разность целевой функции и функций штрафов за нарушение ограничений.

Классическая реализация генетического алгоритма [5] оказалась нерботоспособна. Даже на маленьких размерностях оптимальное решение находилось в единичных случаях. Необходимо выполнить модернизацию алгоритма и тщательный подбор параметров. Рассмотрим другой метод случайного поиска - метод роя частиц [6]. Его программная реализация аналогична генетическому алгоритму. Эффективность роя частиц оказались на уровне полного перебора. Для $n=10$ и $m=5$ время решения составило 23 секунды (процессор 3,4ГГц). При больших размерностях оптимальное решение не достигается.

Пользователям языка Python для решения задач линейного программирования предлагают воспользоваться такими библиотеками, как `cvxopt`, `pulp`, `scipy` [8]. Различаются они, прежде всего, способом описания данных. В `cvxopt` и `pulp` формулы и ограничения записываются символами, построчно. В `scipy` данные представляются в матричном виде (табл. 2). Была выбрана библиотека `scipy` и метод «revised simplex». Численные эксперименты позволили оценить время решения задач как $O(m^2n^2)$. Размерности до 10 решаются за миллисекунды, до 50 - за секунды (рис. 1).

Таблица 2

Библиотеки для линейной оптимизации

Библиотека	Программный код ограничения
<code>cvxopt</code>	<code>mass1 = (9*x[0] + 5*x[1] <= 10)</code>
<code>pulp</code>	<code>problem += 9*x1 + 5*x2 <= 10</code>
<code>scipy</code>	<code>A_ub = [[90,5]]; b_ub = [10]</code>

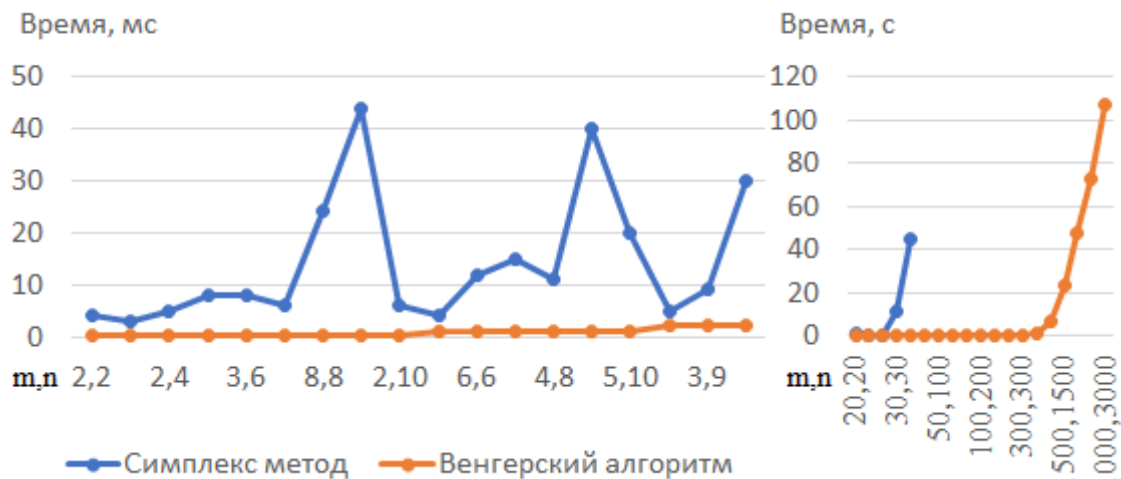


Рис. 1. Время решения задачи

Если объемы продукции целочисленные, то транспортную задачу оптимизации можно сформулировать как известную комбинаторную задачу о назначениях [9]. В нашем случае необходимо

- каждый пункт потребления j продублировать B_j раз;
- определить размерность задачи

$$N = \max\left(n, \sum_{j=1}^m B_j\right);$$

- добавить недостающие фиктивные продукты или пункты потребления с нулевыми весами;
- задать значение $-\infty$ весам фиктивных продуктов b_j раз для каждого j (фиктивные продукты можно доставлять только сверх минимальных ограничений b_j).

Воспользуемся библиотекой `munkres` [10], реализующей венгерский алгоритм решения задачи о назначениях. Теоретическая сложность алгоритма $O(N^3)$ совпала с результатами численных экспериментов. Размерности до 300 решаются за миллисекунды, до 3000 - за секунды (см. рис. 1).

Выводы

Универсальные методы, в виде генетических алгоритмов, ансамблей моделей и т.п. бездумно применять к изначальной задаче неэффективно. При решении задачи оптимизации необходимо стремиться формализовать проблему в виде четких математических моделей и определять наиболее эффективные методы их решений. И лишь затем применять инструменты для подбора параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Загинайло М.В.* Генетический алгоритм как эффективный инструмент эволюционных алгоритмов / М.В. Загинайло, В.А. Фатхи // *Инновации. Наука. Образование*, 2020.– №22.– С.513-518
2. *Полуян А.Ю.* Разработка нечеткого бионического алгоритма для решения задачи нахождения оптимального потока минимальной стоимости в транспортной сети / А.Ю. Полуян, А.Н. Герасименко // *Естественные и технические науки*, 2020.– №12.– С.225-228.
3. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.kaggle.com> (дата обращения: 10.06.2022).
4. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community [Электронный ресурс].– Режим доступа: www.elibrary.ru (дата обращения: 10.06.2022).
5. A flexible parallelised genetic algorithm [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://github.com/skoblov-lab/genetic> (дата обращения: 10.06.2022).
6. A research toolkit for particle swarm optimization in Python [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://github.com/ljvmiranda921/pyswarms> (дата обращения: 10.06.2022).
7. *Фаррахов А.Т.* Применение алгоритма роя частиц для решения задач оптимизации с распределенной генерацией / А.Т. Фаррахов // *АгроЭкоИнфо*, 2021.– № 3 (45).
8. Решение задач линейного программирования с использованием Python [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/330648> (дата обращения: 10.06.2022).
9. *Пападимитриу Х.* Комбинаторная оптимизация / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц.– М.: Мир, 1985.– 512 с.
10. Munkres – Munkres implementation for Python [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://software.clapper.org/munkres> (дата обращения: 10.06.2022).

Даничев Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент базовой кафедры «Интеллектуальные системы управления» института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, Россия, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26 к1, ауд. 3-06, 660074, телефон: +7 (391) 291-22-87, email: adanichev@sfu-kras.ru.

Якунин Юрий Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий базовой кафедры «Интеллектуальные системы управления» института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, Россия, г.

Красноярск, ул. Академика Киренского, 26 к1, ауд. 3-06, 660074, телефон: +7 (391) 291-22-87, email: yyakunin@sfu-kras.ru.

Danichev Aleksey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of the basic department "Intelligent control systems" of the Institute of Space and Information Technologies of the Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Akademika Kirenskogo street, 26 building 1, room. 3-06, 660074, phone: +7 (391) 291-22-87, email: adanichev@sfu-kras.ru.

Yakunin Yuri Yurievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, head of the basic department "Intelligent control systems" of the Institute of Space and Information Technologies of the Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Akademika Kirenskogo street, 26 building 1, room. 3-06, 660074, phone: +7 (391) 291-22-87, email: yyakunin@sfu-kras.ru.

УДК 621.396

Семенова Марина Максимовна, Мешкова Дарья Игоревна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦИИ ОНЛАЙН-РЕСУРСОВ

Для улучшения эффективности рекомендаций онлайн-ресурсов для обучения в колледжах и университетах и эффективность обучения пользователей, в этой статье рассматриваются факторы предпочтений пользователей и изучается метод рекомендаций для онлайн-ресурсов для обучения в колледжах и университетах. В этой статье выбираются различные факторы предпочтений пользователей, которые влияют на рекомендательную систему.

Онлайн-ресурс, рекомендательная система, пользовательские предпочтения.

Semenova Marina Maximovna, Meshkova Darya Igorevna

RESEARCH OF VARIOUS FACTORS OF USER PREFERENCES FOR THE RECOMMENDATION OF ONLINE RESOURCES

To improve the effectiveness of recommendations of online resources for college and university education and the effectiveness of user training, this article examines the factors of user preferences and examines the method of recommendations for online resources for college and university education. This

article selects various user preference factors that affect the recommendation system.

Online resource, recommendation system, user preferences.

Введение

С непрерывным развитием информационного века Интернет играет все более важную роль в жизни людей, и способы получения и обработки информации людьми постепенно переходят из офлайн в онлайн, и постепенно проявляются недостатки офлайн-обучения. В то же время внезапное увеличение объемов данных также приводит к проблеме информационной перегрузки, особенно из-за того, что неравномерное качество сетевой информации затрудняет получение пользователями эффективной информации. С одной стороны, пользователям нужно тратить больше времени и сил на фильтрацию нужной им информации, а сам процесс является длительным и трудоемким, но идеальных результатов можно и не получить. С другой стороны, пользователи тратят терпение на выбор платформы и склонны к утомлению, теряя доверие к платформе и ища другие пути. Поэтому становится все более важным предоставлять пользователям персонализированные информационные рекомендации, чтобы пользователи могли быстро найти подходящую для них информацию в массиве данных. В настоящее время информационная рекомендация широко используется в электронной коммерции, электронной библиотеке, веб-сайте нового туризма и других областях и постоянно развивается и совершенствуется. Масштабы онлайн-образования и сетевого образования продолжают расширяться, и оно постепенно становится основной силой для обмена знаниями и обучения талантов. Однако с развитием больших данных продолжают накапливаться различные образовательные ресурсы, а большое количество образовательных ресурсов также доставило большинству пользователей некоторые головные боли, такие как «информационная перегрузка» и как дать обучающимся пользователям быстро найти то, что им нужно нравится.

Платформа онлайн-обучения обладает характеристиками сильных знаний, богатых типов и систематических ресурсов. Из-за влияния академического образования, основных интересов и других факторов пользователи по-разному овладевают существующими знаниями и по-разному способны воспринимать новые знания. Столкнувшись с огромными учебными ресурсами, их способность находить интересные и полезные ресурсы так-

же отличается. Только посредством анализа данных может быть создана полная система рекомендаций по предпочтениям пользователей, а затем пользователям могут быть рекомендованы ресурсы, которые действительно подходят для пользователей, что может значительно повысить эффективность обучения пользователей, предоставить пользователям хорошие услуги для онлайн-обучения, и повысить лояльность пользователей к платформе.

Выбор различных факторов пользовательских предпочтений

Состав пользователей в колледжах и университетах относительно прост, и относительно просто предоставлять персонализированные услуги. Основной сервис персонализированных рекомендаций — рекомендовать интересные и ценные обучающие ресурсы для каждого пользователя. Таким образом, на основе анализа данных о чтении пользователей, созданных университетской библиотекой в 2020 году, и в соответствии с различиями в потребностях пользователей университетов в чтении, эта статья разделена на три типа групп: для изучения потенциальных потребностей и интересов каждой группы, для предварительного определения трех типов групп, а также для более точного построения модели предпочтения пользователя между различными группами.

В соответствии с двумя условиями состава университетского населения и различными потребностями в обучении и чтении разных групп пользователей можно условно разделить на три категории: группы преподавателей, группы студентов и группы аспирантов. Группа преподавателей составляет наименьшую долю от общего числа групп колледжей, в основном включая преподавателей университетов, административный персонал, внештатный персонал, продвинутых студентов и пенсионеров. Он в основном отвечает за многочисленные задачи научных исследований, обучения, управления и идей партийного строительства. Следовательно, необходимо, чтобы обучающие онлайн-ресурсы предоставляли целевые и персонализированные услуги преподавателям и группам пользователей. Среди них наибольшую долю составляют студенты бакалавриата, и каждый год зачисляется большое количество первокурсников. Таким образом, группа, которая больше всего читает в Интернете, обычно состоит из студентов бакалавриата. Основная цель чтения ресурсов для пользователей группы бакалавриата заключается в следующем: выпускная работа, профессиональные выпускные экзамены, различные сертификационные экзамены и личные увлечения. Интернет-ресурсы колледжей и университетов должны

в основном рекомендовать эту часть знаний. Пользователи аспирантской группы в основном включают магистрантов и докторантов с основными задачами, такими как исследовательская экспертиза, диссертации и журнальные статьи. В то же время он также должен нести ответственность за написание научных исследований и отчетность по проектам. В дополнение к ранее предложенным рекомендательным услугам,

Исследование модели предпочтений пользователей является важным содержанием службы персонализированных рекомендаций онлайн-ресурсов для обучения в колледжах и университетах. В соответствии с различными потребностями в чтении разных групп мы разделили группы на три категории: группы бакалавриата, группы аспирантов и группы преподавателей. С помощью чтения данных о пользователях колледжа можно определить факторы предпочтения различных групп пользователей и построить модели портретов пользователей по различным факторам. В групповых портретах пользователей университетских библиотек доминирующие характеристики в основном получены через карточку университетского городка, например, номер студента, колледж, специальность, класс, пол, имя и другая информация. Скрытые характеристики пользователей могут составлять измерение пользовательских предпочтений, а пользователей можно анализировать и разделять с помощью многомерных пользовательских предпочтений. В то же время скрытые характеристики пользователей зачастую в большей степени способны отражать реальные потребности пользователей и подсознательную потребность в ресурсах. Неявные предпочтения пользователей включают предпочтения в четырех различных измерениях: продолжительность чтения, популярность, частота чтения и характеристики чтения.

Время чтения

Существует определенная связь между интересом пользователя к книге и продолжительностью времени заимствования. Чем дольше время чтения, тем выше интерес к книге. В этой статье мы проигнорируем некоторые зашумленные данные, такие как время чтения во время отпуска и просроченное время чтения. В записях о прочтении мы используем процент для представления времени чтения. Конкретный расчет показан ниже.

$$P = T_e(a, b) - T_f(a, b) \quad (1)$$

где $T_e(a, b)$ показывает время начала, когда пользователь a начинает читать учебный онлайн-ресурс b , а $T_f(a, b)$ показывает время, когда пользователь a заканчивает читать учебный онлайн-ресурс b

Популярность

Поведение пользователей при чтении часто зависит от популярности книг. Более популярные книги и журналы, как правило, пользуются спросом у большого числа читателей. Расчет популярности показан в формуле 2.

$$p(u_m) = \text{count}(\text{rating}(\alpha, \beta) > 0), \alpha \in \varepsilon \quad (2)$$

где u_m представляет ресурс m , count – статистический метод, а ε – пользовательский набор.

Частота чтения

Частота чтения каждым профессиональным пользователем книг в определенной профессиональной области также потенциально влияет на интерес пользователя к чтению. Эти книги обладают характеристиками новой технологии, новых идей или репрезентативности и авторитета в профессиональной сфере, и пользователи часто пользуются спросом и читают их. Статистика рейтинга книг в профессиональной сфере повлияет на недавние потребности пользователей в чтении, тем самым изменив недавнее читательское поведение. В соответствии с информацией о специальности и университета каждого пользователя необходимо очистить все данные истории чтения пользователя по специальности, подсчитать и отсортировать количество книг, прочитанных по их специальности, и выбрать первую десятку книг, которую следует порекомендовать пользователю в первую очередь. Расчет частоты чтения показан ниже

$$B = \text{top}(10) \times b_m \quad (3)$$

где top - это метод онлайн-ресурса для создания 10 лучших и b_m представляет данные о чтении онлайн-ресурсов по каждой специальности колледжа.

Вывод

Чтобы повысить эффективность рекомендаций онлайн-ресурсов для обучения в колледжах и университетах, а также повысить эффективность обучения пользователей с учетом пользовательских предпочтений. Выбираются различные факторы пользовательских предпочтений, извлекаются предпочтительные ключевые слова, и на их основе строится модель проекции ключевых слов для различных ресурсов пользовательских предпочте-

ний. На следующем этапе исследования авторы планируют разработать метод рекомендаций для онлайн-ресурсов для обучения в колледжах и университетах, используя гипотезу Маркова для построения модели вероятности ключевого слова и внедрения алгоритм TF-IDF для уточнения онлайн-ресурсов для обучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шполянская И.Ю., Середкина Т.А.* Рекомендательная система по выбору онлайн курсов в системе электронного обучения: многокритериальный подход, Новые информационные технологии и системы : Сборник научных статей XVI Международной научно-технической конференции, Пенза, 27–29 ноября 2019 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2019. – С. 59-62
2. *Середкина Т.А.* Многокритериальный выбор учебных курсов в онлайн-обучении на основе рекомендательной системы, Информационные системы, экономика и управление : Ученые записки. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный экономический университет "РИНХ", 2019. – С. 57-62
3. *Мосалов О.П., Иванов И.А., Перишин М.А.* Применение методов кластеризации и машинного обучения для построения рекомендательной системы для определения актуальности научных публикаций Информационно-технологический вестник. – 2021. – № 4(30). – С. 89-102.

Семенова Марина Максимовна – Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, студент, телефон +7 (918) 551-24-64, e-mail: bogomolova@sfnedu.ru.

Мешкова Дарья Игоревна – Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44 студент, e-mail: dmeshkova@sfnedu.ru.

Semenova Marina Maximovna – e-mail: bogomolova@sfnedu.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia, student, phone +7 (918) 551-24-64.

Meshkova Darya Igorevna – e-mail: dmeshkova@sfnedu.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; student.

УДК 004.032.26

Гушанский Сергей Михайлович, Буглов Владислав Евгеньевич,
Козловская Мария Алексеевна

О СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЯХ КВАНТОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Стремительное развитие аппаратного обеспечения квантовых компьютеров стало основой для реализации квантовых нейронных сетей. За счёт квантовых свойств квантовые нейросети обладают лучшей вычислительной эффективностью в сравнении с классическими аналогами. В представленной статье проанализированы современные модели и методы реализации квантовых нейросетей, а также описаны основные преимущества и недостатки, свойственные той или иной модели.

Квантовые нейронные сети, квантовые вычисления, квантовое машинное обучение, квантовая схема.

Gushansky Sergey Mikhailovich, Buglov Vladislav Evgenievich,
Kozlovskaya Maria Alekseevna

ON MODERN MODELS OF QUANTUM NEURAL NETWORKS

The rapid development of quantum computer hardware has become the basis for the implementation of quantum neural networks. Due to quantum properties, quantum neural networks have better computational efficiency compared to their classical counterparts. This article analyzes modern models and methods for implementing quantum neural networks and describes the main advantages and disadvantages that arise when using a particular model.

Quantum neural networks, quantum computing, quantum machine testing, quantum circuit.

Введение. Впервые концепция квантовых компьютеров была предложена в 1982 г. в работе [1] Р. Фейнманом. Сегодня такие компании, как Google, IBM и Microsoft активно стремятся реализовать эту концепцию. Согласно [2], квантовые компьютеры способны решать задачи, которые не под силу классическим вычислительным устройствам. Современные подходы для реализации квантового компьютера основываются на использовании зашумлённых квантовых систем умеренного масштаба (NISQ), способных подавлять декогерентизацию [3]. Итак, квантовый компьютер яв-

ляется аппаратной основой для реализации квантовых нейронных сетей (далее КНС).

КНС могут быть использованы с целью обработки изображений [4, 16], распознавания речи [5], прогнозирования [6] и пр. КНС сочетает квантовые вычисления и нейробиологию [7]. Таким образом, КНС – это вычислительная модель, имеющая сетевую структуру и обучаемые параметры, которая может быть реализована посредством квантовой схемы или системы [8].

Следует отметить, что большинство предлагаемых моделей КНС об-суждаются лишь на уровне математических расчётов, не останавливаясь на их физической реализации. Кроме того, в процессе построения моделей КНС не учитываются результаты эволюции квантовых эффектов. Поэтому, до сих пор КНС не имеет общепринятой модели [9].

Современные модели КНС могут обучаться лишь для некоторых не-больших выборок, а точность прогнозирования и общая производи-тельность при обработке больших наборов данных все ещё является проблемой [10]. Также существует высокая вероятность возникновения явления т. н. «бесплодного плато», когда пространство решения задач становится плос-ким по мере выполнения алгоритма [11].

Современные методы построения КНС. *Вариационная квантовая схема.* Данная схема состоит из квантовых вентилях со свободными па-раметрами и используется с целью аппроксимации, оптимизации и класси-фикации числовых задач. Алгоритм на основе вариационной квантовой схемы называется вариационным квантовым алгоритмом и представляет собой классический квантовый гибридный алгоритм [12].

Вариационная квантовая схема, схема которой представлена на рис. 1, обладает квантовыми характеристиками и выполняет аппроксимацию це-левой функции при помощи параметров обучения. То есть все операции квантовых вентилях являются обратимыми линейными операциями, а квантовые схемы используют слои запутывания вместо функций актива-ции для создания многослойных структур [13, 17].



Рис. 1. Квантовая схема на основе вариационного квантового алгоритма

Пояснение к рис. 1: карта признаков $|\psi_x\rangle := U_x|0\rangle^{\otimes S}$ выполняет кодирование входной информации $i \in \mathbb{R}^{S_{in}}$ в гильбертово пространство -кубитов. На данном шаге происходит переход от классического состояния к квантовому $|t_\theta(x)\rangle := T_\theta|\psi_x\rangle$ [16]. Далее конечный результат $o := f(z)$ извлекается при помощи квантового измерения. Перед направлением информации функции потерь результаты измерения $z = (z_0, \dots, z_S)$ преобразуются в соответствующие метки с помощью классической постобработки. Целью данной операции является фильтрация параметров $\theta \in \Theta$, которые выполняют минимизацию функции потерь.

Таким образом, благодаря ряду преимуществ вариационные квантовые алгоритмы являются одним из основных методов для проектирования КНС. Главный недостаток связан с высокой вероятностью возникновения явления бесплодного плато.

Метод на основе непрерывно-переменной архитектуры. Предложен в работе [8]. Имеет иерархическую структуру на основе непрерывных параметризованных квантовых вентилях. В основе данного метода располагаются гауссовский вентиль, выполняющий аффинное преобразование, а также негауссовский вентиль, который реализует нелинейную функцию активации. Модель КНС на основе непрерывно-переменной архитектуры приведена на рис. 2.

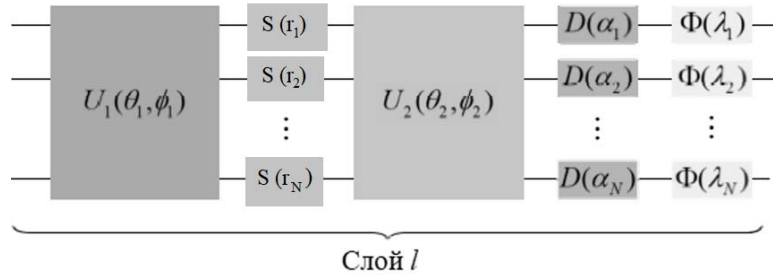


Рис. 2. Квантовая схема на основе непрерывно-переменной архитектуры

Пояснение к рис. 2: $U_i = U_i(\theta_i, \phi_i)$ – линейный оптический интерферометр, $S = \bigotimes_{i=1}^N S(r_i)$ – оператор сжатия, $D = \bigotimes_{i=1}^N D(\alpha_i)$ – смещение,

$\Phi = \Phi(\lambda)$ – негауссовский вентиль, $(\theta, \phi, r, \alpha, \lambda)$ – свободные параметры в сети, в которых λ принимает фиксированное значение. Для аффинного преобразования используются интерферометры U_1 и, а также локальный квантовый вентиль S и локальное смещение. С целью окончательного нелинейного преобразования применяется негауссовский вентиль.

Преимущество данного метода заключается в способности обрабатывать непрерывные переменные, а недостаток связан с тем, каким образом выполнить реализацию негауссовского вентиля и обеспечить его настраиваемость [8].

SWAP-тестирование. Метод предложен в [14]. В схеме реализации (рис. 3) один кубит осуществляет контроль всей входной информации нейрона во время SWAP-теста.

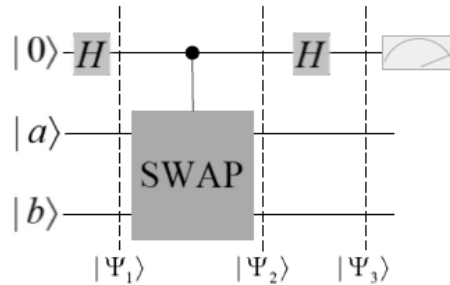


Рис. 3. Квантовая схема на основе SWAP-теста

Пояснение к рис. 3: квантовая схема состоит из двух вентилях Адамара и SWAP-оператора. Задача состоит в нахождении квадрата скалярного произведения $|\langle a|b \rangle|^2$ кубитов $|a\rangle$ и $|b\rangle$ путем измерения вероятности того, что первый кубит находится в состоянии $|0\rangle$ или $|1\rangle$. После выполнения проекционных измерений вспомогательных кубитов, вероятности $|0\rangle$ и $|1\rangle$ будут равны $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}|\langle a|b \rangle|^2$ и $\frac{1}{2} - \frac{1}{2}|\langle a|b \rangle|^2$ соответственно. Следовательно, квадрат скалярного произведения кубитов $|a\rangle$ и $|b\rangle$ может быть выражен как $|\langle a|b \rangle|^2 = 1 - 2P(|1\rangle)$, где $P(|1\rangle)$ – вероятность того, что вспомогательный кубит находится в состоянии $|1\rangle$.

Вследствие того, что данный метод не записывает и не хранит результаты измерений, он не будет тратить те вычислительные ресурсы, которые необходимы при использовании классического подхода. При этом пространство ввода увеличивается экспоненциально, а вероятность возникновения явления «бесплодное плато» может быть установлена лишь при дальнейшем исследовании возможности применения квантовой схемы на основе SWAP-теста для построения КНС.

Выводы. КНС остаются актуальной областью исследований, так как необходимо найти решения для следующих вопросов:

- каким образом реализовать структуру для объединения нелинейной динамики классической нейросети с унитарной динамикой КНС. Другими словами, необходимо определить нелинейные характеристики для используемой функции активации за счёт использования нетривиальных паттернов;

– за счёт чего будет достигнуто квантовое превосходство. Текущий уровень аппаратного обеспечения квантовых вычислений позволяет проводить эксперименты при помощи КНС только над задачами низкой размерности и с небольшими выборками. То есть необходимо определить единый количественный индекс и модель расчета для сравнения операционной сложности и требований к ресурсам КНС и классических нейросетей с целью того, чтобы доказать превосходство квантовых вычислений над классическими;

– за счёт чего минимизировать вероятность возникновения явления бесплодного плато. Когда количество кубитов сравнительно велико, используемая структура КНС подвержена изменениям и не может быть эффективно обучена, то есть в целевой функции возникает явление бесплодного плато, что затрудняет оценку градиента.

Кроме того, на основе полученных результатов исследования современных моделей квантовых нейронных сетей в дальнейшем планируется выполнить моделирование функционирования рассмотренных и прочих моделей КНС на квантовом процессоре с последующим анализом полученных результатов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00916 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Feynman R.P.* “Simulating physics with computers,” *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 21, no. 6, pp. 467-488, 1982.
2. *Arute F. et al.* “Quantum supremacy using a programmable superconducting processor”, *Nature*, vol. 574, no. 7779, pp. 505-510, 2019.
3. *Preskill J.* “Quantum computing in the NISQ” *Quantum*, vol. 2, pp. 79, 2018.
4. *Parthasarathy R. and Bhowmik R.* “Quantum Optical Convolutional Neural Network: A Novel Image Recognition Framework for Quantum Computing”, *IEEE Access*, pp. 1-1, 2021.
5. *Yang C. H. H. et al.* “Decentralizing Feature Extraction with Quantum Convolutional Neural Network for Automatic Speech Recognition,” - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).
6. *El-shafeiy E., Hassanien A.-E., Sallam K.-M. et al.* “Approach for Training Quantum Neural Network to Predict Severity of COVID-19 in Patients”, *Computers, Materials & Continua*, vol. 66, no. 2, pp. 1745- 1755, 2021.
7. *Ezhov and Ventura D.* “Quantum Neural Networks,” *Future Directions for Intelligent Systems and Information Sciences: The Future of Speech and Image Tech-*

- nologies, Brain Computers, WWW, and Bioinformatics, N. Kasabov, ed., pp. 213-235, Heidelberg: Physica- Verlag HD, 2000.
8. Killoran N., Bromley T. R., Arrazola J.M. et al., “Continuous-variable quantum neural networks”, Physical Review Research, vol. 1, no. 3, 2019.
 9. Schuld M., Sinayskiy I. and Petruccione F. “The quest for a Quantum Neural Network”, Quantum Information Processing, vol. 13, no. 11, pp. 2567-2586, 2014.
 10. Zhou L., Wang S.-T., Choi S., Pichler H., and Lukin M. D. “Quantum Approximate Optimization Algorithm: Performance, Mechanism, and Implementation on Near-Term Devices”, Physical Review X, vol. 10, no. 2, 2020.
 11. Zhao C., and Gao X. “Analyzing the barren plateau phenomenon in training quantum neural network with the ZX-calculus,” Quantum, vol. 5, pp. 466, 2021.
 12. McClean J. R., Romero J. et al. “The theory of variational hybrid quantum-classical algorithms,” New Journal of Physics, vol. 18, no. 2, 2016.
 13. Abbas D. Sutter, Zoufal C. et al. “The power of quantum neural networks,” Nature Computational Science, vol. 1, no. 6, pp. 403-409, 2021.
 14. Li P. and Wang B. “Quantum neural networks model based on swap test and phase estimation,” Neural Networks, vol. 130, pp. 152-164, 2020.
 15. Wan K.H., Dahlsten O., Kristjansson H. et al. “Quantum generalization of feed-forward neural networks,” NPJ quantum information, vol. 3, 2014.
 16. Гушанский, С.М., Горбунов А.В., Переверзев В.А. Применимость квантовых нейронных сетей для задач распознавания и обнаружения образов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки». – Майкоп: Изд-во АГУ, 2019. – Вып. 3 (246). – С.59-68.
 17. Гушанский С.М., Буглов В.Е. Квантовое глубокое обучение свёрточной нейронной сети с использованием вариационной квантовой схемы // Известия ЮФУ. Технические науки. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2021, N7. ; С. 168-178.

Гушанский Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники ИКТИБ ЮФУ, Россия, город Таганрог; e-mail: smgushanskiy@sfnedu.ru.

Буглов Владислав Евгеньевич, аспирант кафедры вычислительной техники ИКТИБ ЮФУ, Россия, город Таганрог; e-mail: buglov@sfnedu.ru; тел.: +7-950-867-49-21.

Козловская Мария Алексеевна, студент кафедры систем автоматизированного проектирования ИКТИБ ЮФУ, Россия, город Таганрог; e-mail: arhipenko@sfedu.ru.

Gushansky Sergey Mikhailovich, South Federal University; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; Taganrog, Russia; Department of Computer Engineering, ICTIS; candidate of technical sciences; docent.

Buglov Vladislav Evgenievich, South Federal University; e-mail: buglov@sfedu.ru. +7-950-867-49-21; Taganrog, Russia; Department of Computer Engineering, ICTIS; postgraduate student.

Kozlovskaya Maria Alekseevna, South Federal University; e-mail: arhipenko@sfedu.ru; Taganrog, Russia; Department of Computer-Aided Design Systems, ICTIS; student.

УДК 004.45

Гульмамедов Нариман Вахитович, Барабанщикова Мария Николаевна

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ИНФОРМАЦИЕЙ В СФЕРЕ ЖКХ

В современном мире цифровизация затрагивает все больше сфер жизни общества. Сфера ЖКХ не исключение. Здесь требуется профильное программное обеспечение в критической информационной инфраструктуре отечественного производства. Каждая организация должна решить проблему автоматизации работы с информацией. Но, как известно, чем выше уровень цифровизации, тем выше уровень автоматизации, и тем сильнее влияние технологий на производственную и управленческую деятельность, и тем выше риски информационной безопасности. В данной статье мы рассмотрим CRM систему «BCNW CRM System», разработанную нами для сферы ЖКХ и перспективы ее развития.

Автоматизация работы, информация, защита информации, ЖКХ, документооборот, диспетчеризация, осж.

Gulmamedov Nariman Vakhitovich, Barabanshchikova Maria Nikolaevna

AUTOMATION OF WORK WITH INFORMATION IN THE FIELD OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES PART 1

The digitalization affects more and more spheres of society in the modern world. The housing and utilities sector is no exception. It requires specialized software in the critical information infrastructure of domestic production. Every organization needs to solve the problem of automation of work with information. But, as you know, the higher the level of digitalization, the higher the level of automation, and the stronger the impact of technology on production and management activities, and the higher the risks of information security. In this article we will consider the CRM system "BCNW CRM System", developed by us for the housing and communal services sector and its development prospects.

Automation of work, information, information protection, housing and communal services, document management, dispatching, OSH.

Введение

Понятие автоматизации работы с информацией, заключается в комплексе программного обеспечения, который предоставляет комфортную, безопасную и быструю обработку входящих и исходящих данных в организации. Для целей автоматизации был выделен вид прикладного программного обеспечения, называемого Customer Relationship Management (далее - CRM) системой. Такие системы могут автоматизировать и облегчить процессы, протекающие в организации, сократить количество ошибок и улучшить взаимодействие с заказчиками.

Программное обеспечение «BCNW CRM System» (далее - программа), является CRM системой, автоматизирующая работу с информацией в сфере ЖКХ и предназначена для управляющих организаций, ТСЖ, ЖСК, ЖКС (далее - УО) целью которых является автоматизация работы различных подразделений организации:

- создание и ведение документооборота;
- диспетчеризации;
- рассылка информации контрагентам;
- эффективное управление персоналом;
- организация общих собраний собственников (далее - ОСС);
- эффективное управление и учет корреспонденции организации.

В данной статье мы рассмотрим реализованные в данной программе методы защиты информации.

Основная часть

Ключевым вопросом в современном программном обеспечении является защищенность информации от внешних и внутренних угроз. В программе реализована комплексная система, обеспечивающая защиту информации:

- двухэтапная аутентификация пользователей;
- методы аутентификации и идентификации (процесс проверки подлинности пользователя);
- ролевая модель доступа к информации;
- шифрование с помощью RSA и XOR;
- хеширование данных на сервере;
- клиент-серверная архитектура.

В ходе развития программного продукта, была выбрана клиент-серверная архитектура передачи информации, в связи с тем, что появилась потребность работы сотрудников в удаленных точках. Данная архитектура подразумевает наличие сервера с базой данных и клиента, которые общаются между собой в формате «Запрос-Ответ», как показано на рис. 1.

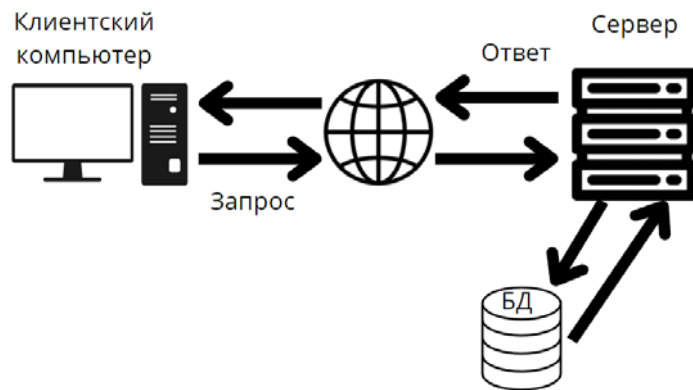


Рис. 1. Клиент-серверное взаимодействие

Защита информации при такой **передаче данных** является очень важной задачей. Передача данных между клиентом и сервером реализована с помощью технологии TCP/IP и сокетов (Для этого был разработан уникальный класс «Net») и защищается методами шифрования.

Протокол TCP/IP обеспечивает надежную связь между сетевым оборудованием клиента и сервера, вне зависимости от его производителя, а одним из основных его преимуществ, является - подтверждения правильности прохождения информации при обмене между клиентом и сервером.

В свою очередь класс «Net» реализует функции подключения к серверу, отправки сообщения, получение ответа, отправки и получения файлов. Рассмотрим алгоритм работы подключения к серверу:

- проверка наличия лицензии (в ключе лицензии находятся уникальные данные шлюза);
- подключение по основному шлюзу, для получения уникального адреса шлюза для текущей сессии (уникальный шлюз сессии выделяется на основе свободных каналов связи с сервером, на 1 сервер на данный момент выделяется до 50 каналов связи);
- подключение к шлюзу сессии;
- обмен публичными ключами шифрования (RSA) и ключами в зашифрованном виде (XOR);
- проверка стабильности и корректности подключения.

Далее передача данных реализуется с помощью созданного защищенного канала связи.

Планируется расширение класса для работы с API других продуктов, преимущественно государственных систем (прим. ГИС ЖКХ).

Система лицензирования включает в себя механику защиты программы от нелегитимного доступа. На каждую организацию выделяется либо группа лицензий, либо одна лицензия, в зависимости от потребности заказчика. В каждой лицензии скрыт ключ к основному серверу программы для организации и идентификатор шлюза.

Криптография

Как было описано выше, на этапе подключения к серверу, используется шифрование. К сожалению, при передаче данных в открытом виде, есть высокая вероятность утечки как конфиденциальных данных, так и персональных данных заказчиков, что в свою очередь уже может привести к более серьезным последствиям и недоверию к продукту.

В связи с этим, в программе используется два метода шифрования – XOR (исключающее ИЛИ) и RSA, дополняющие друг друга, для передачи информации каждая строка сначала проходит преобразование по XOR и, если имеет важный приоритет данных – по RSA.

Особенностью, а одновременно и недостатком, шифрования методом XOR в первую очередь его простота, но для передачи технической информации, которая не несет в себе каких-либо важных данных, этот метод вполне подходит, так как позволяет экономно и быстро зашифровать информацию.

Также известно, что XOR имеет всего один ключ, передавать по сети его не безопасно в открытом виде, поэтому ключ подвергается преобразованию по RSA.

Алгоритм RSA считается достаточно защищенным алгоритмом шифрования, использующий (в клиент-серверной архитектуре) 4 ключа – 2 публичных ключа и 2 закрытых. Имея только открытый ключ и зная алгоритм шифрования невозможно повторить закодированное сообщение, на базе алгоритма RSA работает программа шифрования PGP, реализуются хэш-функции и электронные подписи.

Для защиты учетных данных от утечек их хранение реализовано на сервере, и преобразованы с помощью алгоритма Хеширования SHA512, что позволяет свести к нулю возможность злоумышленника заполучить учетные данные в открытом виде.

Аутентификация и идентификация

Для обеспечения безопасности данных хранящихся на сервере программы, был реализован механизм первичной идентификации и аутентификации, и вторичной аутентификации. Такой механизм способствует защите учетных записей пользователей от взлома и последующего несанкционированного доступа к конфиденциальными и персональным данным.

Для входа в программу, требуется осуществить первичную идентификацию и аутентификацию по логину и паролю, которые выдаются каждому пользователю лично. Вне зависимости от результата первичной проверки, система автоматически запускает вторичную аутентификацию с помощью кода, что позволит вовремя обнаружить несанкционированный вход, так как владельцу учетной записи буду приходить сообщения с кодом на указанную ранее почту.

В случае неверно введенного кода вторичной аутентификации, программа завершает свою работу, что отлично скажется на защите от методов автоматизированного брутфорса, так как программу придется запускать каждый раз заново, и одновременно нужно угадать и пароль, и код.

Графическое изображение первичной идентификации и аутентификации и вторичной аутентификации, показано на рис. 2.

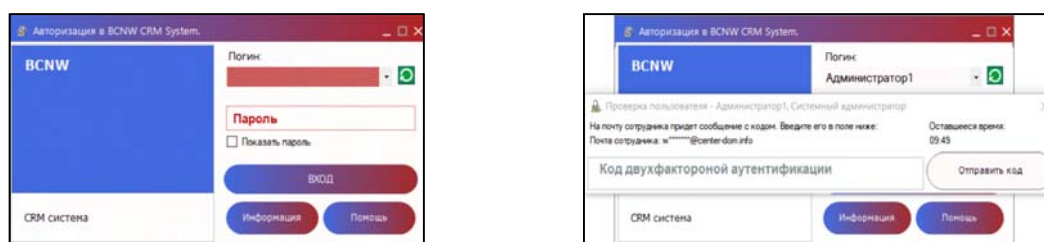


Рис. 2. Модуль аутентификации и идентификации пользователей и система двухэтапной аутентификации

Ролевой доступ

В процессе разработки программы была обнаружена потребность в разделении доступов между пользователями программы, требовалось разграничить доступы к модулям программы и функциям внутри модулей для разных групп пользователей. Наилучшей моделью для такой задачи является ролевая модель разграничения доступа, он позволяет объединить в себе простоту реализации и достаточную безопасность, при этом также было решено использовать свойства мандатной и дискреционной моделей доступа:

- обычные пользователи не могут изменить свой доступ к модулям программы;
- доступ к объектам определяется в зависимости от их секретности;
- наличие привилегии (разрешений) на чтение некоторым пользователям;

В программе реализована базовая модель ролевого доступа, в которой определены следующие множества данных:

S – субъект, пользователь;

R – роль, должности;

P - разрешения, права доступа на объекты системы;

SE - сессия, соответствие между S, R и/или P;

Пример матрицы ролевой модели доступа, используемой в программе, показан в табл. 1.

Таблица 1

Пример матрицы ролевой модели доступа

Модуль Должность	Заявки	Почта	Агенты	ОСЖ	Настройки
Администратор	E	E	E	E	E
Директор	E	E	E	E	E
Юрист	R	W	R	R	0

Ст. Диспетчер	E	0	0	0	W
Специалист ПТО	E	E	R	R	W
Специалист ОСЖ	R	0	0	E	0
Специалист ИО	R	E	R	R	0
Менеджер	0	W	W	0	0
Бухгалтер	R	R	R	R	0
Диспетчер	W	0	0	0	0

В табл. 1, определены следующие типы доступов:

- R – чтение;
- W – редактирование и чтение;
- E – полный доступ к модулю;
- 0 – доступ отсутствует.

После успешной идентификации и аутентификации клиентская сторона запрашивает данные политики безопасности, для должности пользователя под которым инициирован вход. Исходя из полученных данных, открываются модули программы, а на сервере создается сессия для данного пользователя.

Каждой функции присвоен минимальный уровень доступа, так, например, сотрудник с доступом «R» может просмотреть список заявок, но внести изменения и сохранить – не сможет, так как для редактирования установлен минимальный уровень доступа «W».

Защита от изменения политики безопасности, реализуется следующими способами:

- проверка на разрешения 0, R, W, E. Если атрибут не равен ни одному этому значению, разрешение становится равным «0», что означает отказ доступа;
- свойства класса имеют защищённый модификатор доступа от изменения;
- информация о доступе хранится на сервере и обновляется у клиента при входе в программу, что позволяет защитить данные от изменения политики на стороне клиента;
- при изменении политики безопасности запрашивается дополнительная аутентификация через почту.

Так как реализована динамическая модель доступа, в любой момент времени администратор системы может внести изменения в политику без-

опасности, добавить новые должности и изменить правила доступа к различным модулям.

Для критически важных областей программы также используются модификаторы «А», «М», «U», они позволяют разграничить доступы более точно. Пользователь даже с уровнем доступа «Е» не сможет воспользоваться критически важными функциями, без присутствия модификатора «А» или «М».

Настройки

Модуль настроек системы используется для создания учетных записей, изменения баз данных (добавление адресов МКД, добавление сотрудников), управления сервером.

В контексте данной статьи нас интересует создание новых учетных записей. Для создания нового пользователя нужны данные: E-mail, Логин, Пароль, Должность, Модификатор доступа. Критически важным являются критерии пароля. Для программы реализованы следующие ограничения:

- длина пароля не менее 6 символов;
- пароль должен содержать символы верхнего и нижнего регистров;
- пароль должен содержать специальные символы или цифры.

Выводы

Описанные выше методы защиты данных позволяют защитить программу от несанкционированного доступа к данным и перехвата информации.

В дальнейшем мы планируем продолжить работу по доработке и улучшению алгоритмов шифрования и разграничению доступа к данным организаций, что позволит реализовать новые политики информационной безопасности и минимизировать риски по утечке данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Цирлов В.Л.* Основы информационной безопасности автоматизированных систем: краткий курс/ Санкт-Петербург: Изд-во Феникс, 2008.
2. *Петров А.А.* Компьютерная безопасность // Криптографические методы защиты/ Москва: Изд-во ДМК, 2000.
3. *Шнайер Б.* Прикладная криптография: протоколы, алгоритмы и исходный код на С / Изд-во Диалектика, 2017.
4. *Горев А.И., Симаков А.А.* Обеспечение Информационной Безопасности / Москва: Изд-во Мир, 2005.

5. *Литвинская О.С.* Основы теории передачи информации. Учебное пособие/ Москва: Изд-во КноРус, 2015.
6. *Прайс М.* С# 7 и .NET Core. Кросс-платформенная разработка для профессионалов. 3-е издание/ Изд-во Питер, 2018.
7. *Даниленко А.Ю.* Безопасность систем электронного документооборота. Технология защиты электронных документов /Москва: Изд-во Ленанд, 2015.
8. *Хорев П.Б.* Методы и средства защиты информации в компьютерных системах: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений/Москва: Издательский центр «Академия», 2005.
9. *Васильчук К.С.* Средства аутентификации и идентификации безопасности в корпоративной информационной системе / Изд-во Молодой ученый, 2014.
10. *Галатенко В.А.* Идентификация и аутентификация, управление доступом. Лекция из курса «Основы информационной безопасности» / Интернет Университет Информационных Технологий, 2010г.

Гульмамедов Нариман Вахитович, студент Петербургского университета путей сообщения Александра 1, Россия, город Санкт-Петербург, Проспект Большевиков д.2, 176, 193231, телефон: +7 (958) 1728016 , email: whatever@center-dom.info.

Барабанщикова Мария Николаевна, студент Петербургского университета путей сообщения Александра 1, Россия, город Санкт-Петербург, Политехническая ул. д.29 к.1, 40, 193231, телефон: +7 (921) 0988021, email: mari.barabanshchikova01@mail.ru.

Gulmamedov Nariman Vakhitovich, student Emperor Alexander 1 St. Petersburg state transport university, 347900, Russia, Saint-Petersburg, 2 Bolshevikov prospect, 176, phone: +7 (958) 1728016, email: whatever@center-dom.info.

Barabanshchikova Maria Nikolaevna, student Emperor Alexander 1 St. Petersburg state transport university, 347900, Russia, Saint-Petersburg, 29/1 Polytechnic street, phone: +7 (921) 0988021, email: mari.barabanshchikova01@mail.ru.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ СООБЩЕНИЙ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМАХ

Очередь сообщений – это форма асинхронной коммуникации между сервисами, применяемая в бессерверных и микросервисных архитектурах. Сообщения хранятся в очереди, пока не будут обработаны и удалены. Каждое сообщение обрабатывается только один раз и только одним потребителем. Очереди сообщений могут использоваться для разъединения сложных процессов обработки, для буферизации или организации пакетной обработки, а также для сглаживания пиковых нагрузок

В этом докладе рассматривается использование очереди сообщений в высоконагруженных системах на примере онлайн сервиса Росреестра с использованием Apache Kafka.

Bereshpolov Igor Sergeevich, Sleptsov Alexey Gennadievich

USING MESSAGE QUEUES IN HIGH-LOAD SYSTEMS

A message queue is a form of asynchronous communication between services used in serverless and microservice architectures. Messages are stored in a queue until they are processed and deleted. Each message is processed only once and by only one consumer. Message queues can be used to disconnect complex processing processes, to buffer or organize batch processing, as well as to smooth out peak loads.

This article discusses the use of message queues in high-load systems using the example of the Rosreestr online service using Apache Kafka.

Введение

В Российской Федерации более 100 млн объектов капитального строительства, в год происходит более 25 млн транзакций. Элементарные межведомственные транзакции, связанные с рынком недвижимости, налогообложением, управлением имуществом и т. д., исчисляются десятками миллионов — пожалуй, ближе к 100 млн. Сегодня все данные об объектах недвижимости и транзакциях собираются в цифровом виде и хранятся в Государственном реестре объектов недвижимости. Отдельно имеется область картографии, в которую со всей Российской Федерации собирается информация о всевозможных объектах на местности — зданиях, дорогах, мо-

стах, опушках, отдельно стоящих деревьях, бродах, переходах. Это более 250 млн записей, распределенных по разным ведомствам, — понятно, что, например, любой мост, по которому происходит движение транспорта, есть и в реестре мостов в Минтрансе, и в реестре муниципальных органов власти. Самое сложное в работе по интеграции этих информационных ресурсов — обеспечить полноту, целостность, качество данных, относящихся к объекту. Для обеспечения качественной интеграции и выполнения поставленных задач в высоконагруженных системах Росреестра, целесообразно использовать очереди сообщений.

Прежде всего, определим, что такое высоконагруженная система (Highload) обработки больших данных (Big Data). Итак, Highload – это приложение с высокой нагрузкой, которая спровоцирована [1]:

- большим количеством одновременно работающих пользователей;
- большим объемом обрабатываемых данных;
- многочисленными сложными вычислениями.

Для высоконагруженных систем характерны быстрое время отклика, масштабируемость и модульность. Яркие примеры высоконагруженной Big Data системы – это сайты соцсетей, крупных интернет-магазинов, различные электронные сервисы госорганов и другие многопользовательские веб-сервисы с миллионной аудиторией. Таким образом, рассматриваемый в этой статье пример сервиса Росреестра полностью соответствует критериям высоконагруженной системы.

В информатике очереди сообщений и почтовые ящики – это компоненты программного обеспечения, обычно используемые для межпроцессной связи (IPC) или для межпоточковой связи в рамках одного и того же процесса. Они используют очередь для обмена сообщениями – передачи контроля или контента. Системы групповой связи обеспечивают схожие функциональные возможности [5].

Рассмотрим на примере сервиса прямого доступа Росреестра к которому круглосуточно обращаются с запросами риэлторы, банки, управляющие компании или ведомства при межведомственном взаимодействии. Эти запросы должны как можно быстрее дойти до сервера и обратно, чтобы клиент получил тот ответ, который ожидает: «Оплата прошла», «Заявка создана», «Ответ подготовлен» или что-то еще.

Очереди сообщений хранят у себя запросы, чтобы они не потерялись, и передают их серверам постепенно. Например, клиент оформляет заявку на портале Росреестра, и заказ уходит не сразу на сервер, а в оче-

редь. Если сервер откажет, очередь сохранит заявку и отправит его позже, ничего не потеряется. Если рассмотреть пример с Росреестром более подробно, то можно выявить случаи, где пригодятся очереди и как они могут помочь оптимизировать расходы на IT-инфраструктуру ведомства.

Обработка большого количества запросов к онлайн - сервисам

Россия страна большим количеством часовых поясов и неравномерной плотностью населения по этим часовыми поясам, то нагрузка на серверы может колебаться: в одни часы или дни она выше, в другие ниже. Основная нагрузка на онлайн сервисы приходится на период активности населения Московского часового пояса плюс/минус один час.

Если сервисы развернуты без очередей, то в моменты повышенной нагрузки серверы не будут справляться. И вместо того, чтобы поставить излишек запросов в ожидание, они выдают заявителям отказы: пишут что-то вроде «Невозможно обработать заявку», «Сайт временно не доступен» или совсем отключают нужные функции.

Конечно же, чтобы этого избежать, можно заранее докупить мощности про запас. Но часто это избыточно: в будущем ресурсы могут не понадобиться, а запросы вполне можно обработать на текущих мощностях, но позже.

В случае использования очередей, все запросы от заявителей не идут напрямую на сервер, а кладутся в очередь. И очередь отправляет клиенту ответ, например: «Заявка создана». Сервер же берет из очереди запросы по мере того, как освобождается. В итоге обработка занимает чуть больше времени, но заявитель сразу видит, что его действие выполнено, ни один запрос не пропадает, а сайт и все формы работают без падений и ошибок.

Если серверы находились бы в коммерческих облаках, к ним можно было бы докупить дополнительные мощности временно, на период повышенной нагрузки. Это поможет избежать сбоев, но повысит расходы. С очередями можно ничего не докупать и не подключать, а обойтись обычными мощностями.

Необходимо учитывать, что очереди не помогут, если на запрос нужно выдавать мгновенный ответ (синхронный запрос-ответ). Например, если пользователь ждет, что сервис предоставит информацию мгновенно или сервисы назначения оплаты (ГИС ГМП) рассчитают государственную пошлину.

Снижение риска сбоя в системе при использовании очередей.

Как показывает практика, обычно в организациях используются различные серверы, с различным уровнем загрузки и различными техническими характеристиками, особенно это актуально в текущей макроэкономической ситуации.

Если система спроектирована и реализована без очередей, то запросы просто идут к любому свободному серверу, не учитывая его загруженность и способность выполнить задачу. В случае неравномерного распределения запросов какой-то сервер может простаивать, а какой-то — работать под максимальной нагрузкой и решать задачи гораздо медленнее допустимого. А может случиться так, что какой-то сервер выйдет из строя или уйдет в перезагрузку. Если при этом на него пойдет запрос, то запрос просто потеряется.

В случае использования в архитектуре сервиса очередей, запросы не будут отправляться напрямую серверам для обработки, а будут класться в соответствующую очередь. А сервер обработки запроса, когда освободится от предыдущей задачи, самостоятельно обратится к очереди и заберет оттуда новый запрос. В итоге тот сервер, что слабее, будет просто обращаться к очереди реже и работать в комфортном режиме. А более мощный — быстрее справляться с задачами и брать новые запросы чаще.

Создание надежной связи между филиалами (подразделениями)

Как уже говорилось выше, серверы Росреестра могут быть сильно распределены по стране. Например, если головной офис в Москве, а филиалы в Новосибирске и Владивостоке. И между этими серверами нужно обмениваться сообщениями — например, отправлять данные от заявителей из региональной базы в общую и наоборот из центральной базы в регионы.

Из-за удаленности всегда есть риск, что сообщение не дойдет: канал связи оборвется, передача будет идти слишком долго, что-то пойдет не так. В итоге можно потерять важные данные. Или сохранить их на региональном сервере, но не обновить на главном.

Иногда этот вопрос решают без очередей. Например, добавляют дополнительную проверку передачи. Но это создает серьезную нагрузку на серверы, так как сообщения становятся тяжелее, а их обработка занимает больше времени.

При использовании очередей, на все серверы, участвующие в обмене сообщениями, устанавливаются системы очередей. Когда один сервер хочет что-то отправить, то не шлет запрос другому серверу, а кладет его в

свою личную очередь. И после этого считает, что запрос отправлен. И уже очередь «стучится» к другому серверу и отправляет сообщение до тех пор, пока отправка не увенчается успехом.

Apache Kafka как инструмент для централизации микросервисов.

В текущей сложной геополитической и макроэкономической ситуации архитекторам и разработчикам необходимо использовать модули с открытым исходным кодом. Рассмотрим Apache Kafka как один из таких модулей, отметим как плюсы, так и минусы при использовании указанного продукта.

Apache Kafka — распределённый программный брокер сообщений, проект с открытым исходным кодом, разрабатываемый в рамках фонда Apache. Написан на языках программирования Java и Scala.

Спроектирован как распределённая, горизонтально масштабируемая система, обеспечивающая наращивание пропускной способности как при росте числа и нагрузки со стороны источников, так и количества систем-подписчиков. Подписчики могут быть объединены в группы. Поддерживается возможность временного хранения данных для последующей пакетной обработки. Одной из особенностей реализации инструмента является применение техники, сходной с журналами транзакций, используемыми в системах управления базами данных.

На практике Apache Kafka часто используется в качестве средства централизации при обмене данными между множеством распределенных микросервисов. Такое применение Кафка при переходе от монолитного решения к гибкой микросервисной архитектуре принесло компании следующие положительные результаты [3]:

- простая интеграция;
- централизованное управление конфигурацией;
- абстрагирование от конкретных технологий;
- безопасная аутентификация;
- валидация событий.

Обратной стороной этих преимуществ стали следующие недостатки [3]:

- снижение производительности;
- необходимость поддержки;
- высокая цена ошибки при разработке.

Не вдаваясь в особенности процессов поддержки и разработки, далее мы рассмотрим, как именно была решена проблема снижения производительности Big Data системы.

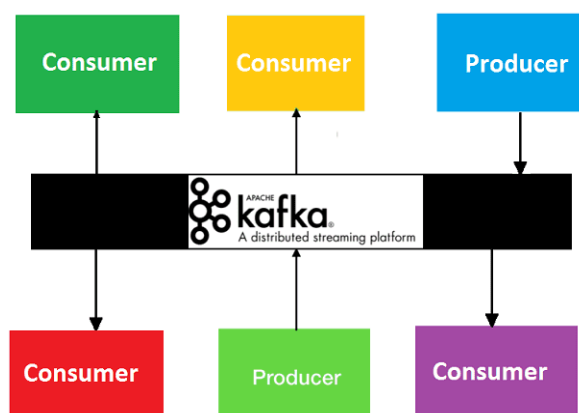


Рис. 1. Схема взаимодействия apache kafka с микросервисами

Вообще производительность Кафка, как и других Big Data систем, оценивается с помощью 2-х основных свойств [4]:

- пропускная способность — это максимальная скорость, с которой данные могут быть обработаны;
- задержка (latency) — это время на сохранение или получение данных.

В реальности DevOps-инженеру необходимо найти баланс между пропускной способностью, задержкой и стоимостью инфраструктуры приложения. При этом стоит учитывать требования к общей производительности Big Data системы. В рамках этой задачи можно выделить 3 наиболее распространенные ситуации [4]:

- высокая пропускная способность (порядка 1,5 Гбит/с) и низкая задержка (около 100 миллисекунд), например, при мониторинге за доступностью сервисов. Это наиболее сложный технический и дорогой с точки зрения финансов пример. Однако, именно этот вариант чаще всего требуется для высоконагруженных систем;
- высокая пропускная способность и высокая задержка (не более 250 миллисекунд), например, прием данных телеметрии практически в реальном времени для обеспечения безопасности объектов и обнаружения вторжений;
- низкая пропускная способность и низкая задержка (менее 10 миллисекунд), к примеру, при онлайн-проверке орфографии и грамматики.

В рамках баланса двух разных показателей производительности, отметим один достаточно простой способ повышения пропускной способно-

сти Kafka – увеличение размера пакета для сообщений. Напомним, пакет – это группа сообщений от производителей (producers), которые отправляются как одно целое для хранения в едином разделе (partition). Изменение параметра (размер пакета) может повысить пропускную способность, уменьшив нагрузку на обработку запросов сети и операции ввода-вывода. Но при низкой нагрузке увеличенный размер пакета может увеличить задержку отправки Kafka, так как производитель ожидает готовности пакета[4]. На практике этот способ подходит только для тех Big Data систем, в которых не требуется сверхбыстрый отклик.

Для повышения производительности рекомендуется реализовывать концепцию «очередь как сервис» (Queue as a Service, QaaS), когда подписчики сервиса получают доступ к очередям и/или темам для обмена данными напрямую или через шаблоны публикации и подписки [5]. Такая модель повышает отказоустойчивость при сбоях отдельных приложений, поскольку в случае сбоя сообщение вернётся в очередь и его сможет прочитать другой обработчик, не влияя на работу отправителей. QaaS позволяет отправлять сообщения даже если получатель временно недоступен, что нередко происходит при высоких нагрузках на Big Data систему. Также, благодаря QaaS, можно вынести выполнение длительных задач в отдельные приложения, быстрее освободив ресурсы для новых запросов пользователей. Кроме того, данная концепция отлично поддерживает масштабируемость системы, поскольку отдельные модули можно менять независимо от других [6].

Выводы

В современной архитектуре приложения разделяют на небольшие независимые элементы, которые легче разрабатывать, развертывать и обслуживать. [Очереди сообщений](#) обеспечивают для таких распределенных приложений возможность взаимодействия и координации. Отметим некоторые плюсы и минусы. К плюсам, отнесем, такие возможности:

- обрабатывать запросы пользователей в пиковые нагрузки. Не перегружать серверы, избегать ошибок и отказов;
- снизить риск сбоев и потери данных из-за отказа или медленной работы серверов;
- обрабатывать важные, но не срочные запросы тогда, когда серверы загружены меньше всего;
- создать надежную связь между серверами в разных филиалах. Не терять данные, даже если канал связи между филиалами неустойчивый;

- точное масштабирование, очереди сообщений позволяют обеспечить точное масштабирование именно там, где необходимо;

- платформонезависимость сервисов – сервисы могут быть разработаны с использованием разных технологий и развернуты на различных платформах.

К недостаткам, можно отнести:

- дополнительные системные вызовы и накладные расходы на копирование;

- необходимость наличия специалиста по обслуживанию и настройке очередей;

- задержки при передаче запроса и получения ответа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. URL: <http://hawkhouse.ru/blog/chem-standartnaya-arhitektura-otlichaetsya-ot-arhitektury-vysokonagruzhennyh-prilozhenij/>
2. URL: <https://habr.com/ru/company/avito/blog/465315/>
3. URL: <https://devopsconf.io/moscow/2019/abstracts/5582>
4. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/hdinsight/kafka/apache-kafka-performance-tuning>
5. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Message_queueing_service
6. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/message-queue>

Берешполов Игорь Сергеевич – e-mail: bereshpolov@sfnedu.ru, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44., телефон +7904 507 2336.

Слепцов Алексей Геннадьевич – e-mail: alslepcov@sfnedu.ru, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, телефон +7 918 578 4555.

Bereshpolov Igor Sergeevich – e-mail: bereshpolov@sfnedu.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia, phone +7 904 507 2336.

Sleptsov Alexey Gennadievich – e-mail: alslepcov@sfnedu.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia, phone +7 918 578 4555.

УДК 004.94:621.314.1

Щучкин Евгений Юрьевич

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ

В работе предложен подход к параметрической оптимизации схем DC-DC преобразователей в базисе библиотеки компонентов с помощью метода роя частиц. Предложена целевая вектор-функция, учитывающая несколько критериев оптимизации. Приведены результаты параметрической оптимизации схемы понижающего преобразователя в зависимости от размера популяции роя и максимального количества итераций. Анализ результатов показал, что для библиотек размерностью в несколько тысяч компонентов желательно чтобы размер роя был не менее 10 частиц, а для дальнейшего повышения сходимости при сравнительно высоком быстродействии эффективнее увеличивать максимальное количество итераций.

Параметрическая оптимизация, метод роя частиц, DC-DC преобразователь, импульсный источник питания, автоматизация проектирования.

Shchuchkin Evgeny Yurievich

DC-DC CONVERTERS PARAMETRIC OPTIMIZATION USING PARTICLE SWARM METHOD

The paper proposes an approach to DC-DC converter schematic parametric optimization in the basis of a component library using particle swarm method. The vector objective function that takes into account several optimization criteria is proposed. The results of parametric optimization of the buck DC-DC converter circuit depending on the size of the swarm population and the maximum number of iterations are presented. An analysis of the results showed that for libraries with a dimension of several thousand components, it is desirable that the swarm size be at least 10 particles, and for further increase convergence at a relatively high speed, it is more efficient to increase the maximum number of iterations.

Parametric optimization, particle swarm method, DC-DC converter, switching power supply, design automation.

Введение

Для обеспечения отдельных частей радиоэлектронной аппаратуры электропитанием от внешней бортовой сети применяются импульсные DC-DC преобразователи, поскольку они обладают высоким КПД и надежно-

стью. С возрастанием сложности электронных систем неизбежно возрастают и требования к характеристикам DC-DC преобразователям, что усложняет процесс их проектирования. Одним из подходов к автоматизации процесса разработки является параметрическая оптимизация готовых схемотехнических решений из базы данных. САПР выполняет расчет номиналов всех компонентов схемы на основе указанных требований к устройству. Такой подход позволяет минимизировать ошибки в схеме и добиться высоких характеристик устройства. Так в работах [1-3] продемонстрировано применение методов оптимизации для повышения устойчивости контура ПИД-регулятора, а в работах [4,5] для повышения КПД преобразователя.

Однако, рассчитанные по формулам значения номиналов компонентов схемы могут не совпадать с дискретным рядом номиналов радиодеталей, из которых и будет в конечном итоге собран модуль. Ошибочно выбранные компоненты могут заметно ухудшить конечные характеристики преобразователя [6]. Процесс выбора подходящих компонентов из библиотеки при проектировании занимает много времени и требует учета многих критериев в зависимости от требований к устройству. Отсюда возникает задача дискретной параметрической оптимизации в базе библиотеки компонентов.

Постановка задачи параметрической оптимизации

При разработке систем автоматизированного проектирования аналоговых схем широко применяется оптимизация. К задаче оптимизации можно свести выбор библиотечного элемента, наиболее подходящего для устройства. Так как число критериев выбора элемента всегда больше одного, то данная задача является многокритериальной [7]. В многокритериальной задаче требуется найти минимум вектор-функции:

$$\min_{X \in D} F(X),$$

где $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ – вектор, состоящий из параметров оптимизации, $F(X) = [f_1(X), f_2(X), f_3(X), f_4(X)]^T$ – вектор-функция, состоящая из критериев оптимизации, D – область значений, которые принимают параметры оптимизации.

Область значений определяется подключенной базой компонентов. Применительно к задаче подбора элементов для импульсных источников вторичного электропитания по трём критериям введем вектор параметров X :

$$X = [x_{value}, x_{cost}, x_{size}]^T,$$

где x_{value} – это номинальное значение сопротивления, емкости или индуктивности компонента, x_{cost} – значение стоимости компонента в условных единицах и x_{size} – размер компонента. Также введем целевую вектор-функцию:

$$F(X) = k_{value} \cdot \frac{|x - x_{value}|}{\max(x_{value})} + k_{cost} \cdot \frac{x_{cost}}{\max(x_{cost})} + k_{size} \cdot \frac{x_{size}}{\max(x_{size})}, \quad (1)$$

где x – это номинальное значение сопротивления, емкости или индуктивности компонента, рассчитанное в результате работы алгоритма подбора параметров, k_{value} – весовой коэффициент для номинального значения сопротивления, емкости или индуктивности компонента, k_{cost} – весовой коэффициент для стоимости компонента, k_{size} – весовой коэффициент для габаритного размера компонента.

Весовые коэффициенты k необходимы для того, чтобы проектировщик мог самостоятельно задать наиболее важные критерии исходя из технических требований к конечному устройству.

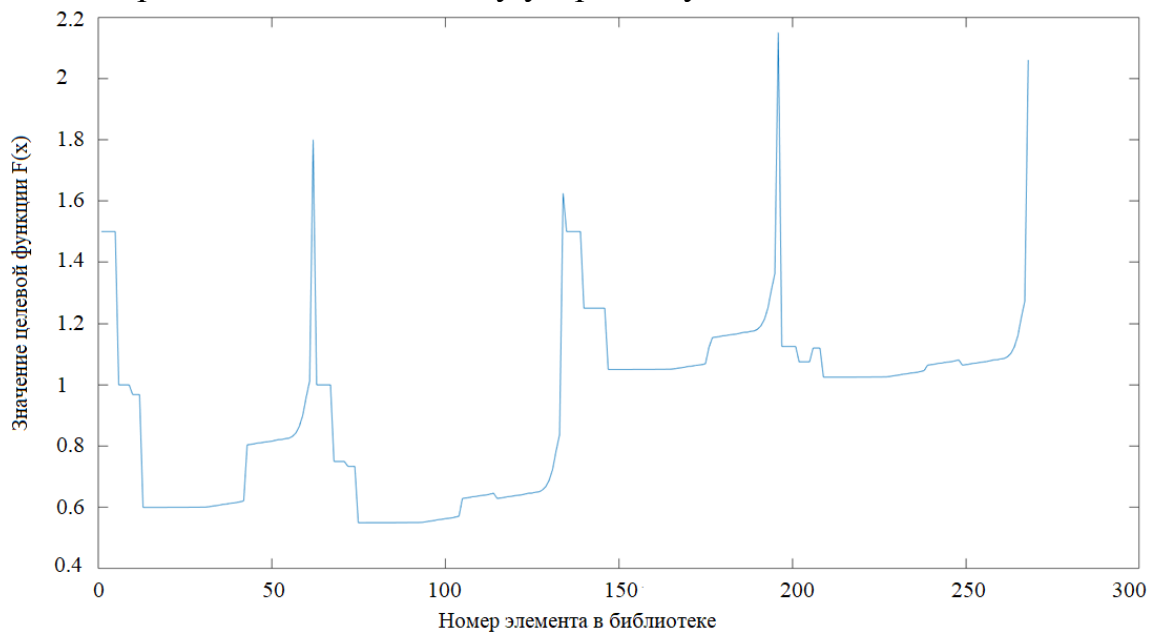


Рис. 1. Пример зависимости значения целевой функции от вектора параметров элементов библиотеки компонентов

В общем случае целевая функция вида (1) будет являться мультимодальной. Пример такой функции приведен на рис. 1. Глобальный экстремум такой функции может быть найден с помощью стохастических алгоритмов оптимизации.

Параметрическая оптимизация методом роя частиц

Одним из алгоритмов стохастической оптимизации является метод роя частиц. Идея алгоритма была описана в работе [8]. В каноничном виде

$$V_{i,t+1} = \chi[\omega V_{i,t} + \varphi_p r_p(p_i - x_{i,t}) + \varphi_g r_g(g_i - x_{i,t})]x_{i,t}],$$

$$\varphi = \varphi_p + \varphi_g,$$

$$\varphi > 4,$$

$$\omega = 1,$$

где $V_{i,t}$ – это i -ая компонента скорости на t -ой итерации работы алгоритма, $x_{i,t}$ – это i -ая координата частицы на t -ой итерации работы алгоритма, p_i – i -ая координата лучшего решения, найденного частицей, g_i – i -ая координата лучшего решения, найденного всеми частицами, r_p, r_g – случайные числа из интервала $(0,1)$, φ_p, φ_g – весовые коэффициенты, ω – коэффициент инерции, k – коэффициент из интервала $(0,1)$.

Результаты

50

зисе тестовой библиотеки компонентов методом роя частиц. Разница в значениях характеристик объясняется округлением рассчитанных номинальных значений схемы до ближайших номиналов из библиотеки.

Таблица 1

Характеристики модуля после параметрической оптимизации

Параметр	Требуемое значение	Значение после оптимизации
Входное напряжение $U_{вх}$	5-12 В	5-12 В
Выходное напряжение $U_{вых}$	2,5 В	2,505 В
Выходная мощность $P_{вых}$	7,5 Вт	7,515 Вт
Частота преобразования $f_{пр}$	400 кГц	399,973 кГц
Коэффициент пульсаций $K_{п}$	0,03	0,03

В табл. 2 представлена информация о количестве найденных глобальных экстремумов на 100 запусков алгоритма в зависимости от размера популяции роя Pop и максимального количества итераций MaxIt. Можно отметить что для описанной задачи хорошие показатели достигаются при параметрах Pop = 10 и MaxIt = 20 при сравнительно небольшом времени вычислений.

Таблица 2

Количество найденных глобальных экстремумов на 100 запусков

	Pop = 5, MaxIt = 10	Pop = 5, MaxIt = 20	Pop = 10, MaxIt = 10	Pop = 10, MaxIt = 20	Pop = 30, MaxIt = 10	Pop = 30, MaxIt = 20
R1	36	83	55	97	89	99
R2	27	73	57	97	90	99
R3	35	80	64	98	89	99
R4	33	78	54	95	92	99

Таким образом, описанный подход позволяет выполнять параметрическую оптимизацию электрических схем DC-DC преобразователей в базе библиотеки компонентов. Предложенная в статье целевая вектор-функция может быть оптимизирована каноническим методом роя частиц. Хорошая сходимость к глобальному экстремуму достигается при размере популяции не менее 10 частиц для библиотек размерностью в несколько тысяч компонентов. Для дальнейшего повышения сходимости при сравни-

тельно высоком быстродействии эффективнее увеличивать максимальное количество итераций, а не размер популяции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mamizadeh A., Genc N. and Rajabioun R.* Optimal Tuning of PI Controller for Boost DC-DC Converters Based on Cuckoo Optimization Algorithm, 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2018, pp. 677-680, doi: 10.1109/ICRERA.2018.8566883.
2. *Hekimoglu B., Ekinici S. and Kaya S.* Optimal PID Controller Design of DC-DC Buck Converter using Whale Optimization Algorithm,. 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/IDAP.2018.8620833.
3. *Emami S.A., Poudeh M.B. and Eshtehardiha S.* Particle Swarm Optimization for improved performance of PID controller on Buck converter, 2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2008, pp. 520-524, doi: 10.1109/ICMA.2008.4798810.
4. *Danila Shirly A.R., Sudhilaya M., Priyadharshini Y., et al.* Improving Efficiency and Power Loss Minimization in Landsman DC-DC Converter using Particle Swarm optimization Technique (PSO), 2021 2nd International Conference for Emerging Technology (INCET), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/INCET51464.2021.9456156.
5. *Ferreiro J.B.L., Pombo J.A.N., Calado M.R.A. et al.* Evaluation of a particle swarm optimization controller for dc-dc boost converters, 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), 2015, pp. 179-184, doi: 10.1109/CPE.2015.7231069.
6. *Shchuchkin E.Y.* Parametric Optimization Algorithm for DC-DC Converters, 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2020, pp. 2418-2421, doi: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039184.
7. *Гончаров В.А.* Методы оптимизации / В.А. Гончаров.: изд. МИЭТ, 2009. С. 116.
8. Kennedy J. and Eberhart R. Particle swarm optimization, Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks, 1995, pp. 1942-1948 vol.4, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
9. Алгоритм роя частиц. Описание и реализации на языках Python и C# // Софт, исходники и фото URL: <https://jenyay.net/Programming/ParticleSwarm> (дата обращения: 23.05.2022).

10. LM26003 data sheet, product information and support // Texas Instruments URL: <https://www.ti.com/product/LM26003> (дата обращения: 15.05.2022).

Щучкин Евгений Юрьевич, аспирант кафедры проектирования и конструирования интегральных схем Московского института электронной техники, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1, 124498, телефон: +7 (916) 410-66-17, email: shchuchkin-pkims@yandex.ru.

Shchuchkin Evgeny Yurievich, postgraduate student of design and construction of integrated circuits department, National Research University of Electronic Technology MIET, 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, 1 Shokin square, phone: +7 (916) 410-66-17, email: shchuchkin-pkims@yandex.ru.

УДК 621.396

Сингх Санни, Прибыльский Алексей Васильевич

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ УРОВНЕ ОСВЕЩЕНИЯ

В последнее время наблюдается всплеск методов, направленных на декомпозицию и сегментацию изображений на несколько объектов посредством различных автоматизированных систем. Выполнение такой задачи является классической целью компьютерного зрения, однако, несмотря на значительный прогресс в данном направлении, все текущие алгоритмы и модели разрабатываются и обучаются на визуально простых сценах, изображающих однотонные объекты на однотонном фоне без оценки влияния внешних факторов, что приводит к наличию изначальных погрешностей, влияющих на конечный результат. В работе представлена попытка оценки эффективности алгоритма сегментации изображения с жестом руки, включающий в себя определение цвета кожи, фильтрацию, сегментацию, морфологическую обработку, поиск области интереса для выделения жеста руки и передачи его на алгоритм распознавания жестов руки в условиях изменения светового потока детектируемого фоточувствительными сенсорами приемника. Итоговая оценка влияния светового потока на результат сегментации изображения фрагмента видеопотока осуществлялась посредством моделирования в пакете прикладных программ Matlab. В работе проанализированы результаты сегментации при различных параметрах светового потока на изображении и даны рекомендации по введе-

нию дополнительных поправочных коэффициентов, влияющих на эффективность оценки информационной составляющей изображения.

Сегментация, matlab, дилатация, эрозия, пиксель, изображение, фильтрация, цветовое пространство.

Singh Sanni, Pribylsky Alexey Vasilievich

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE IMAGE SEGMENTATION ALGORITHM UNDER A CONTROLLED LEVEL OF ILLUMINATION

Recently, there has been a surge in methods aimed at decomposing and segmenting images into several objects through various automated systems. Performing such a task is a classic goal of computer vision, however, despite significant progress in this direction, all current algorithms and models are developed and trained on visually simple scenes depicting monochrome objects on a monochrome background without assessing the influence of external factors, which leads to the presence of initial errors affecting result. The paper presents an attempt to evaluate the effectiveness of an image segmentation algorithm with a hand gesture, which includes skin color determination, filtering, segmentation, morphological processing, search for an area of interest to highlight a hand gesture and transfer it to the hand gesture recognition algorithm under conditions of changing the light flux detected by the photosensitive sensors of the receiver. The final assessment of the effect of the luminous flux on the result of segmentation of the image of a fragment video stream was carried out by modeling in the Matlab application software package. The paper analyzes the results of segmentation with different parameters of the luminous flux in the image and provides recommendations for the introduction of additional correction factors affecting the effectiveness evaluation information component image.

Segmentation, matlab, dilation, erosion, pixel, image, filtering, color space.

Введение

Дисциплины компьютерного зрения и робототехники являются одними из наиболее активно развивающихся областей науки. Одной из фундаментальных проблем в этих сферах является оценка и нормирования уровней яркости, контрастности и цветности изображений. Эффективное решение этих проблем упрощает задачи слежения за объектами, их идентификации, определения и моделирования их свойств и внешнего вида [1].

С развитием информационных технологий, средств коммуникации, мобильных устройств и робототехнических комплексов наметился бурный прогресс в решении такого рода задач. Однако на сегодняшний день все еще не существует универсального способа быстрой и надежной идентификации объектов, даже с привлечением 3D моделей высокого разрешения на основе систем, требующих обработки данных в режиме реального времени [2].

Системы технического зрения являются основной частью многих интеллектуальных систем, а также управляемых и автономных роботов. Сложность задач, решаемых такими системами, постоянно увеличивается, а требования к их техническим характеристикам повышаются. При этом все острее встают вопросы надежности и точности подобных автоматизированных систем, особенно для таких критичных направлений как безопасность предприятий, автономные транспортные средства, мобильные роботы и медицинские технологии.

В связи с этим возникает необходимость систематизации существующих и разработке новых методов и алгоритмов высокоскоростной оценки и обработки изображений. В перспективе это способствует повышению точности распознавания объектов в видеопотоке в режиме реального времени по его изображению, в том числе для автономных мобильных систем с возможностью массового применения и реализации.

Жесты всегда были неотъемлемой частью взаимодействия людей между собой. Но жесты также могут являться удобным средством взаимодействия с компьютером во многих сценариях. Можно привести следующие примеры таких сценариев:

- управление развлекательными приложениями и системами;
- управление медицинским оборудованием при требованиях стерильности, которые можно удовлетворить за счет минимизации тактильного контакта между оператором и устройством;
- визуализация и моделирование сложных трехмерных данных, удобство работы с которыми ограничено при применении стандартных двухмерных манипуляторов, таких как компьютерная мышь;
- компьютерное распознавание языка глухонемых.

Таким образом, возникает задача исследования методов, а также создания системы, которая будет способна осуществлять подбор наиболее эффективных методов оценки и нормирования изображений для конкрет-

ных задач распознавания жестов человека с сохранением высокой скорости обработки видеопотока в реальном масштабе времени.

Информативность изображения в видеопотоке

Современные видеокамеры способны фиксировать информацию с частотой кадров более 60 кадров в секунду. Существуют неформализованные требования [3,4], что на вход системы распознавания жестов руки должны поступать кадры(изображения), без размытости, вызванной переходным процессом фокусировки видеокамеры, а фиксируемый объект должен сниматься в пределах определенного уровня освещения.

Информационную ценность для системы распознавания жестов руки представляют отличающиеся друг от друга изображения, т.е. нет необходимости обрабатывать серию одинаковых кадров, это нецелесообразно и с точки зрения загрузки вычислительных ресурсов. С помощью корреляционного анализа можно выделить одинаковые изображения и передавать на вход системы только одно изображения или несколько для повышения точности системы, если таковая не достигается. В качестве альтернативы можно задать видеокамере меньшую частоту кадров.

Описание системы распознавания

Рассмотрим структурную схему узла обработки изображения [5] (рис. 1).

Фотоприемное устройство собирает информацию из окружающей среды и через преобразователь преобразовывает цифровой или аналоговый сигнал в поток изображений в RGB пространстве. Изображение в RGB пространства поступает в подсистему сегментации изображения.

Подсистема сегментации изображения состоит из блоков: определение цвета кожи, фильтрация по Гауссу, переход от RGB к LAB, создание маски. Блок определение цвета кожи выбирает алгоритм сегментации в зависимости от цвета кожи руки. Фильтрация по Гауссу снижает уровень шумов изображения. Переход от RGB к LAB преобразовывает RGB изображение в цветовое пространство LAB. Блок создание маски создаёт маску путем преобразования LAB изображение в бинарное изображение.

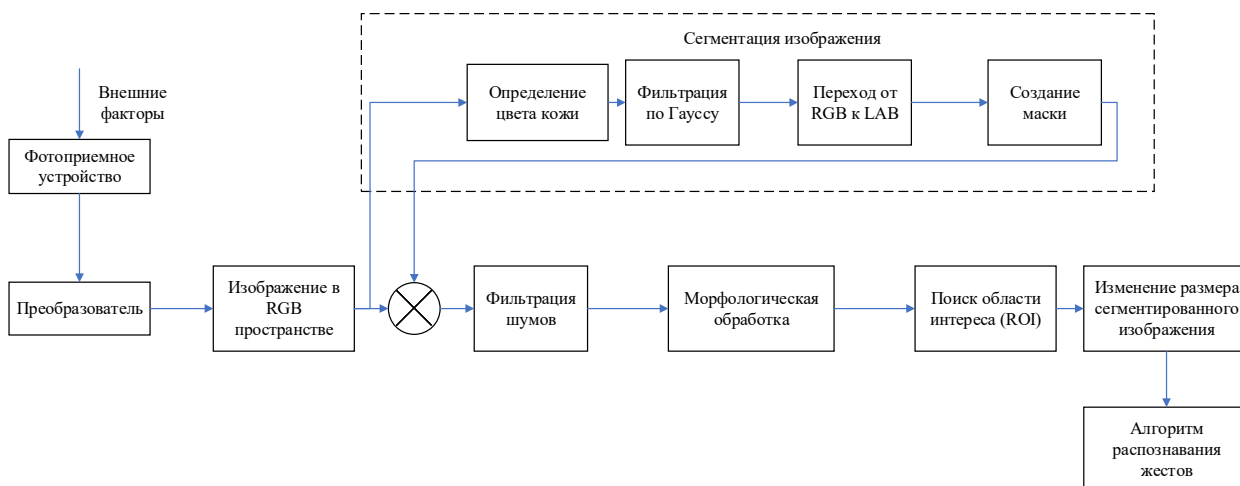


Рис. 1. Структурная схема узла обработки изображения

В сумматоре суммируется входное изображение с созданной маской, а на вход блока фильтрации шумов поступает бинарное изображение, на котором фильтруются шумы.

Блок морфологической обработки восстанавливает жест руки на бинарном изображении. Поиск области интереса включает в себя алгоритм, который, согласно определенным признакам, выделяет на изображении жест руки, после чего изображение приводится к определенному размеру для корректной работы блока алгоритм распознавания жестов.

Описание математической модели

Распознавание жестов с помощью камер — это анализ и обработка видеоряда, состоящего из набора видеок кадров и выделение из него зарегистрированных в базе жестов. Методы обработки [6], сегментации изображений используется и для видеок кадров, т.к. по сути видеок кадр это и есть изображение взятое из видеоизображения.

Цветные изображение можно представить в виде RGB изображения [7,8], которое представляется из себя массив $M \times N \times 3$ (1), состоящий из цветных пикселей, причем каждый такой пиксел, является триплетом, элементы которого соответствуют трем компонентам: красному, зеленому и синему, т.е. RGB изображение это комбинация трех монохромных слоев изображений, размерностью $m \times n$, в котором каждый элемент массива представляет собой яркость пикселя.

$$rgb = [5188, 3880, 3] \quad (1)$$

Массив rgb состоит в свою очередь из массивов (2) красного, зеленого и синих каналов.

$$r = [5188, 3880]; g = [5188, 3880]; b = [5188, 3880], \quad (2)$$

где r , g , b — красный, зеленый и синий каналы соответственно.

В пространстве координат (x, y) , вышеописанное можно представить в виде:

$$rgb(x, y) = \begin{bmatrix} r(x, y) \\ g(x, y) \\ b(x, y) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где x, y – координаты пикселя.

Класс компонент изображения определяет область их значений, например области значений $[0, 255]$ или $[0, 65535]$, у классов `uint8` и `uint16` соответственно. Число битов, используемых для представления значений пикселя по всем каналам RGB, называется глубиной цвета изображения. Если каждый канал является 8-ми битовым изображением, то соответственно глубина изображения составляет 24 бита, значит число максимально возможных цветов c_{max} определяется формулой 4.

$$c_{max} = 2^{3k} = 2^{24} = 16\,777\,216, \quad (4)$$

где k – число бит каждой цветовой компоненты

Кроме RGB цветового пространства существуют также: YCbCr, LAB, HSL и т.д. Для перехода из одного цветового пространства в другие существует перечень инструкций для их преобразования.

В система распознавание жестов ведется работа и с бинарным изображением, двухмерной функцией $f(x, y)$, где f амплитуда для каждой пары координат (x, y) называется яркостью изображения. Функция двухмерного изображения:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Методы сегментации бинарных и цветных изображений идентичны, так как, по сути, RGB изображение является комбинацией трех бинарных изображений.

Сегментация изображения

Сегментация изображения делит изображение на составные части в зависимости от решаемой задачи. Алгоритмы сегментации изображения выбираются в зависимости от выбранного цветового пространства (RGB, HSV, LAB, YCbCr и другие). Например, сегментация монохромных изображений основаны на одном из двух свойств яркости изображения: разрывности и однородности.

В рамках статьи необходимо сегментировать жесты из изображения с разной яркостью. Для этого можно использовать семантическую сегментацию или цветовую сегментацию.

Семантическая сегментация – сегментация с разделением изображения (рис. 2) на отдельные группы пикселей, области, соответствующих од-

ному объекту с одновременным определением типа объекта в каждой области. В данном методе используется «глубокое обучение» искусственного интеллекта.

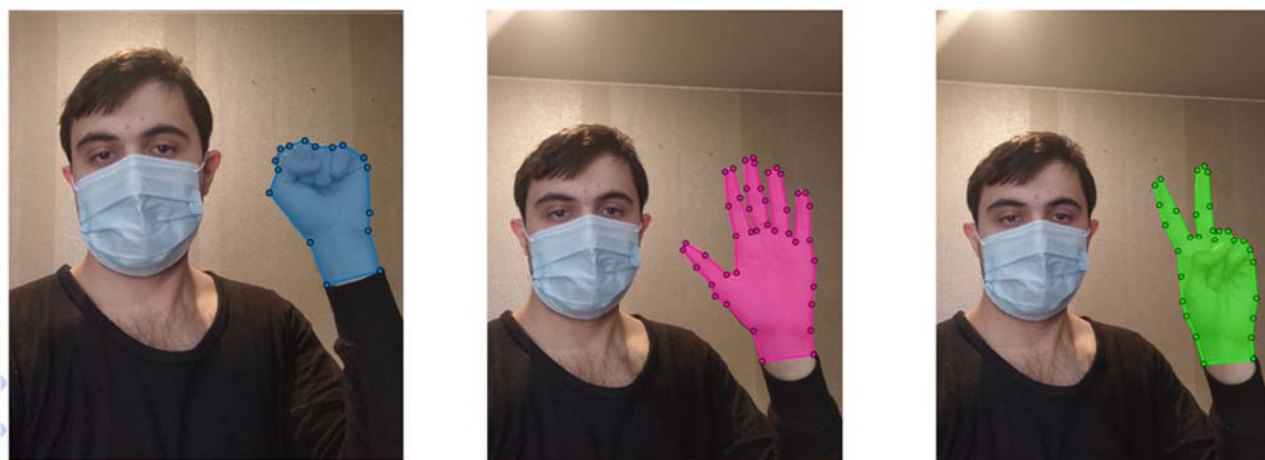


Рис. 2. Пример ожидаемых результатов семантической сегментации

Семантическая сегментация требует достаточно большого количество данных для обучения искусственного интеллекта [9], при этом результат может не коррелировать с затраченными ресурсами, к тому же зачастую время работы таких систем больше, чем время работы систем с цветовой сегментацией.

Сегментация по цветовому порогу сегментирует изображения по цветовому каналу в зависимости от цветового пространства (rgb,hsv,lab и т.д.).

Цвет кожи человека обладает уникальным цветом, поэтому сегментация по цветовому порогу подходит для сегментации жестов руки. При этом важно учитывать необходимость подстройки системы под цвет кожи получаемый из источников информации.

В результате экспериментов по цветовой сегментации наиболее удовлетворительный результат показало цветовое пространство LAB, в дальнейшей операции по цветовой сегментации выполняются в пространстве LAB. В цветовом пространстве Lab значение светлоты отделено от значения хроматической составляющей цвета (тон, насыщенность). Светлота задана координатой L (изменяется от 0 до 100, то есть от самого темного до самого светлого), хроматическая составляющая — двумя декартовыми координатами a и b. Первая обозначает положение цвета в диапазоне от зеленого до красного, вторая — от синего до желтого.

Для реализации цветовой сегментации используем пакет прикладных программ. В нем эмпирически подберем параметры каналов LAB, обеспе-

чивающих удовлетворительный результат сегментации, т.е. выделение на изображении только участков кожи. Код функции реализующей цветовую сегментацию представлен на рис. 3.

Кроме сегментации, стоит также применять фильтрацию [10], для устранения шумов на изображении и операции по морфологической обработки, для восстановления жеста на руки изображения, после сегментации и фильтрации.

Эксперимент

Проведем сегментацию жеста при различных значениях яркости. Результат приведен на рис. 4. Из рис. 4 можно сделать вывод, что при высокой и средней яркости получается наиболее удовлетворительный результат.

```
function [BW,maskedRGBImage] = createMask2(RGB)
% [BW,MASKEDRGBIMAGE] = createMask(RGB) thresholds image RGB using
% Convert RGB image to chosen color space
I = rgb2lab(RGB);

% Define thresholds for channel 1 based on histogram settings
channel1Min = 28.459;
channel1Max = 90.583;

% Define thresholds for channel 2 based on histogram settings
channel2Min = 7.552;
channel2Max = 40.855;

% Define thresholds for channel 3 based on histogram settings
channel3Min = -4.692;
channel3Max = 22.713;

% Create mask based on chosen histogram thresholds
sliderBW = (I(:,:,1) >= channel1Min ) & (I(:,:,1) <= channel1Max) & ...
    (I(:,:,2) >= channel2Min ) & (I(:,:,2) <= channel2Max) & ...
    (I(:,:,3) >= channel3Min ) & (I(:,:,3) <= channel3Max);
BW = sliderBW;

% Initialize output masked image based on input image.
maskedRGBImage = RGB;

% Set background pixels where BW is false to zero.
maskedRGBImage(repmat(~BW,[1 1 3])) = 0;

end
```

Рис. 3. Листинг функции создания маски для сегментации изображения

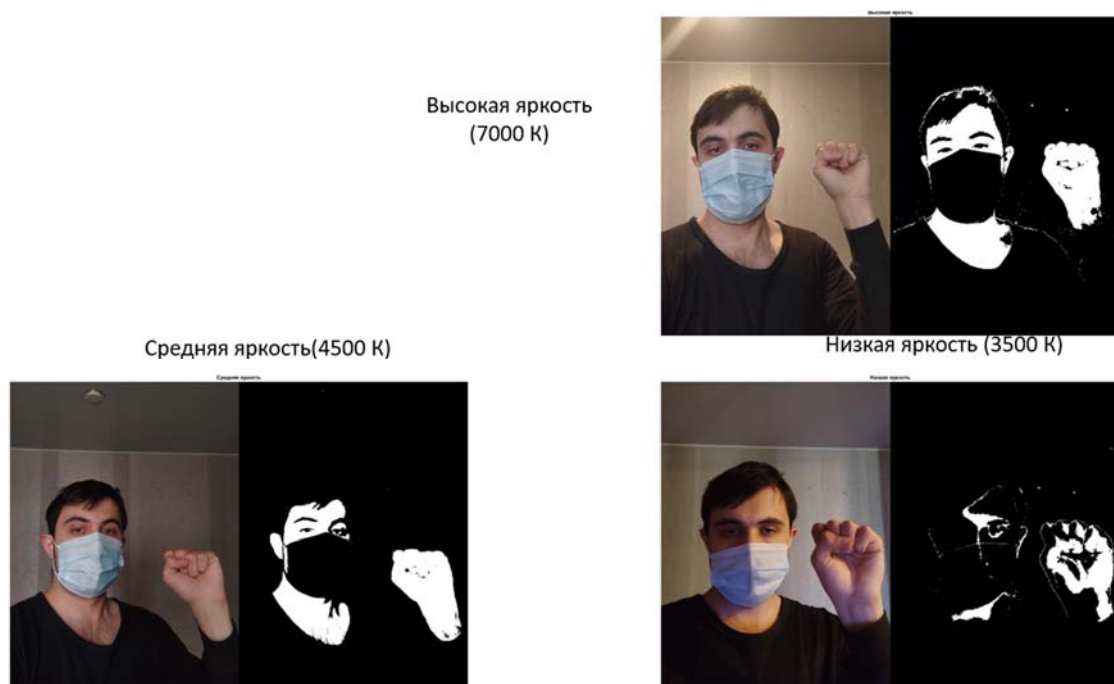


Рис. 4. Результат сегментации при различных значениях яркости

После сегментации необходимо выполнить фильтрацию, морфологическую обработки и ROI (region of interest)[11]. Результат приведен на рис. 5.



Рис. 5. Результат работы ROI

Полученный жест на рис. 5, необходимо привести к стандартному постоянному размеру, для дальнейшей передачи его на алгоритм распознавания жестов.

Выводы

Поддержание требуемого показателя яркости положительно влияет на конечный результат, т.к. сегментированное изображение содержит минимальное количество шумов, а выделенные на хорошо различимы и не нуждаются в сложной морфологической обработке. Результат испытаний показал, что при освещении в 4500 К изображение содержит минимальное ко-

личество шумов, а сегментированный жест руки не нуждается в сложной обработке.

После сегментирования и обработки изображения необходимо выделить интересующую область (руку) и разработать алгоритм распознавание жестов на основе имеющейся информации.

В дальнейшем развитии исследования, в качестве улучшения работы системы, можно добавить обратную связь реализую подбор коэффициентов сегментации, в зависимости от яркости изображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nebaba S.G.* Methods of evaluation and preparation of images in the video stream for object recognition. Computer Graphics, Lightning Engineering and Design GraphiCon 2018. September 24–27, 2018, Tomsk, Russia.
2. *Mueller F., Bernard F., Sotnychenko O., Mehta D., Sridhar S., Casas D., Theobalt C.* Ganerated hands for real-time 3d hand tracking from monocular rgb, in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018, pp. 49–59.
3. *Shenoy K., Dastane T., Rao V., Vyavaharkar D.* Real-time Indian Sign Language (ISL) Recognition. ICCCNT 2018 July 10-12, 2018.
4. href: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2108/2108.10970.pdf>
5. *Небаба С.Г., Андреев С.Ю., Макаров М.А.* Подготовка изображений лиц в видеопотоке к распознаванию и фильтрация неинформативных изображений//Томский политехнический университет - Томск:2014
6. *Сингх С., Прибыльский А.В.* Исследование и разработка системы распознавания жестов руки для управления объектами//Информационные технологии, системный анализ и управления/Сборник трудов – Ростов-на-Дону - Таганрог:2021
7. *Емельянов С.В.* Информационные технологии и вычислительные системы. Вычислительные системы. Компьютерная графика. Распознавание образов. Математическое моделирование. Выпуск №2, 2015 / С.В. Емельянов. - Москва: Мир, 2015. - 662 с.
8. *Avola D., Cinque L.* A Fagioli, G.L. Foresti, A. Fragomeni, D. Pannone. 3D Hand Pose and Shape Estimation from RGB Images for Improved Keypoint-Based (2021).
9. href: <https://arxiv.org/pdf/2109.13879.pdf>
10. *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB + CD /Москва:Техносфеа, 2006-616.

11. *Dalal N. and Triggs B.* “Histogram of Oriented Gradients for Human Detection,” Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. 2, pp. 886-893, 2005. [doi = 10.1109/CVPR.2005.177].
12. *Дьяконов В.П.* Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. М.: Солон-Пресс, 2005.-576с. Аннотация.
13. *Liu X., Shi H., Hong X., Chen H., Tao D., Zhao G.* 3d skeletal gesture recognition via hidden states exploration, IEEE Transactions on Image Processing 29 (2020) 4583–4597.

Сингх Санны, студент магистратуры Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Петровская 68, 347900, тел.: +7 (988) 575-13-50, email: sunnysingh4771@gmail.com.

Прибыльский Алексей Васильевич, доцент Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, тел.: +7 988 561-97-18, email: apribylsky@sfedu.ru.

Singh Sanni, student of Southern Federal University, 347900, Russia, city Taganrog, 68 Petrovskaya street, phone: +7 (988) 575-13-50, email: sunnysingh4771@gmail.com.

Pribylsky Alexey Vasilievich, docent of Southern Federal University, Russia, city Taganrog, phone: +7 (988) 561-97-18, email: apribylsky@sfedu.ru.

УДК 681.3:519.2

Приходченко Алексей Иванович

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ДАТЧИКА ВИБРАЦИЙ ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИВОДНЕНИЯ САМОЛЕТА-АМФИБИИ БЕ-200 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАНГОВЫХ КРИТЕРИЕВ

Работа посвящена использованию предложенной в [1] и [2] модели обработки сигналов для сигнализации приводнения самолета-амфибии Бе-200. Модель состоит из рангового обнаружителя и решающего устройства, сравнивающего эмпирическое распределение рангов с теоретическим. Предлагаемая модель обеспечивает следующие характеристики системы сигнализации приводнения: 1) нечувствительность системы к изменяющимся параметрам сигналов и помех, 2) алгоритм принятия решения обеспечивает приемлемые характеристики системы в условиях существенной априорной неопределенности.

Самолет-амфибия, Бе-200, датчик вибраций, ранговые критерии, априорная неопределенность, критерии согласия, равномерное распределение.

Prikhodchenko Alexey Ivanovich

PROCESSING OF SIGNALS OF A VIBRATION SENSOR FOR SIGNALING THE DRIVING OF BE-200 AMPHIBIOUS AIRCRAFT USING RANK CRITERIA

The work is devoted to the use of the signal processing model proposed in [1] and [2] for splashdown signaling of the Be-200 amphibious aircraft. The model consists of a rank finder and a solver that compares the empirical rank distribution with the theoretical one. The proposed model provides the following characteristics of the splashdown signaling system: 1) the insensitivity of the system to changing signal and noise parameters, 2) the decision-making algorithm provides acceptable system characteristics under conditions of significant a priori uncertainty.

Amphibious aircraft, Be-200, vibration sensor, ranking criteria, a priori uncertainty, goodness of fit criteria, uniform distribution.

Введение

При обеспечении полетов авиации, первое место уделяется вопросам повышения безопасности. В частности, при эксплуатации амфибийной авиации, актуальной задачей является надежное определение момента касания водной поверхности при посадке самолета-амфибии на воду и отрыва от водной поверхности при взлете с воды.

Научно-конструкторским бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета (НКБ ЦОС ЮФУ) был разработан комплекс автоматической сигнализации приводнения (КАСП) [3], решающий задачу автоматического определения среды (воздух/вода), в которой находится лодка самолета-амфибии Бе-200.

Одной из задач, выполняемых КАСП, является обнаружение вибраций корпуса лодки самолета-амфибии при глиссировании по водной поверхности на большой скорости. Обнаружение глиссирования является устойчивым признаком касания водной поверхности при посадке на воду, а прекращение глиссирования – надежный признак отрыва от водной поверхности при взлете с воды.

Решение задачи приводит к необходимости обнаружения случайного процесса (сигнала датчика вибраций) на фоне шума. На данный момент используются алгоритмы обработки сигналов, полученные эвристически.

Представляет интерес поиск оптимального алгоритма обработки. В [1] и [2] был найден и обоснован такой оптимальный алгоритм обработки.

Ранговые критерии относятся к непараметрическим методам обнаружения сигнала на фоне помех. Обработка статистических данных в ранговом обнаружителе проводится в двух этапах: 1) выполнение инвариантного преобразования S входной выборки X , после которого выборка $Z = S(X)$ имеет уже известное распределение в отсутствие сигнала, 2) формирование решающего правила, по которому определяется наличие или отсутствие сигнала во входной выборке X .

Рангом i -го элемента x_i массива выборочных значений X является порядковый номер R_i этого элемента в вариационном ряду $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_{(R_i)} \leq \dots \leq x_n$, где n – число элементов выборки. Тогда, вычисление рангов проводится по формуле (1) [4]:

$$R_i = \sum_{k=1}^n \operatorname{sgn}(x_i - x_k). \quad (1)$$

Совместное распределение рангов, вычисленных по (1), будет равномерным [3]:

$$p(R_1, \dots, R_n) = \frac{1}{n!}. \quad (2)$$

Для обнаружения сигнала на фоне помех, необходимо проводить вычисление рангов R_i по опорной выборке $Y: \{y_1, \dots, y_m\}$, которая представляет собой чистую помеху. Тогда выражение для определения рангов примет вид:

$$R_i = \sum_{k=1}^m \operatorname{sgn}(x_i - y_k). \quad (3)$$

Если выборка Y отличается от входной выборки X , то равномерный закон распределения рангов нарушается, что свидетельствует о присутствии сигнала во входной выборке X . Для обнаружения сигнала используется непараметрический критерий согласия равномерного распределения [6]-[12]. Ранговые критерии обеспечивают возможность решения широкого круга задач, где требуется обнаружение сигнала в условиях непараметрической априорной неопределенности.

Постановка задачи

Рассматривается непараметрическая (неизвестны ни параметры ни вид плотностей вероятности сигнала и помехи) задача обнаружения сигнала $s(t)$ датчика вибраций (случайного процесса) на фоне аддитивной, ста-

ционарной и однородной помехи $y(t)$. Входной процесс $x(t) = s(t) + y(t)$ представлен в виде массива выборочных значений $X: \{x_1, \dots, x_n\}$. Входные данные в условиях чистой помехи, представлены массивом $Y: \{y_1, \dots, y_m\}$.

Задача состоит в применении ранговой модели обработки сигнала, который обеспечил бы наибольшую вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги в условиях существенной априорной неопределенности. Зададим следующие уровни вероятности ложной тревоги: $P_{лт} = 10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-7}$.

Рассматривается бинарная задача: 1-ый класс сигналов $s(t)$ – сигналы с датчика вибраций в режиме приводнения (посадки на воду), взлета с воды и забора воды; 2-ой класс сигналов $y(t)$ – все остальные режимы полетов Бе-200 (взлет с ВПП, посадка на ВПП, полет, сброс воды и т.д.).

Организация эксперимента по обнаружению сигнала датчика вибраций с помощью предложенной модели обработки сигналов на основе ранговых критериев

Для формирования опорной выборки Y необходимо исследовать записи полетов с Бе-200, которые НКБ ЦОС ЮФУ согласилось любезно предоставить.

Прежде чем использовать 2-ой класс сигналов в качестве опорной выборки, необходимо над ним провести цифровую фильтрацию, заключающуюся в следующем: 1) полосовым фильтром (ПФ) подавить область нулевых частот для устранения нестационарности постоянной составляющей помехи, и область выше частоты Найквиста для подавления шумов квантования; 2) чтобы ранговый обнаружитель не реагировал на усиление/ослабление шума необходимо помеху разделить на ее СКО. В качестве ПФ можно использовать КИХ фильтр с прямоугольной полосой или же воспользоваться алгоритмом синтеза КИХ фильтра, приведенном в [5].

Был рассмотрен вариант формирования опорной Y выборки из 5000 значений случайной величины, плотность вероятности которой будет такой же, как и среднее распределение реальной помехи.

Ниже предложен алгоритм формирования опорной выборки:

1. По гистограмме, полученной из анализа записей полетов Бе-200 2-го класса сигналов, подобрать подходящую кривую, аппроксимирующую распределение помехи. В статистике часто для аппроксимации распределений используют кривые Пирсона и Джонсона. Было предложено использовать кривые Джонсона из-за их простоты.

2. Используя полученное теоретическое распределение и метод Неймана, получить 5000 отсчетов с "усредненным" распределением. Проверить полученную синтезированную выборку на соответствие теоретическому распределению (используя критерий Пирсона или Колмогорова-Смирнова).

3. Если критерий согласия показывает хорошее соответствие синтезированной выборки и теоретического распределения – аппроксимация выполнена успешно. Если нет, повторяем шаг 2.

На рис. 1 приведена структурная схема рангового обнаружителя для обнаружения сигнала датчика вибраций и сигнализации приводнения самолета-амфибии Бе-200.

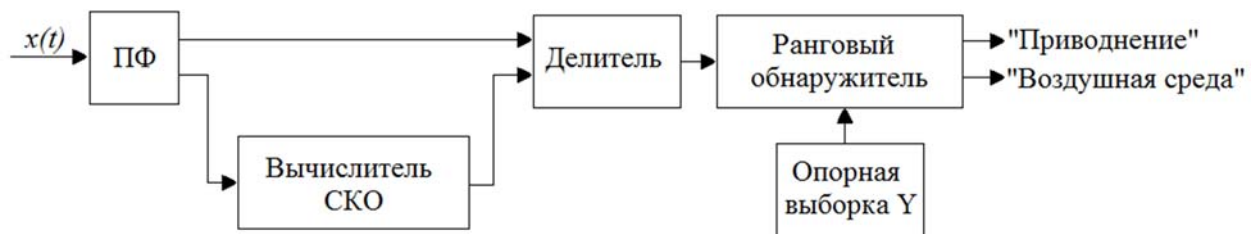


Рис. 1. Структурная схема рангового обнаружителя для обнаружения сигнала датчика вибраций самолета-амфибии Бе-200

Опустим подбор кривых распределения Джонсона [13] и описание метода Неймана [14] для синтеза опорной выборки, переходя сразу к результатам эксперимента.

На рис. 2 и 3 приведены гистограммы распределения рангов при отсутствии сигнала и при наличии сигнала соответственно.

Гистограмма распределения рангов при отсутствии сигнала

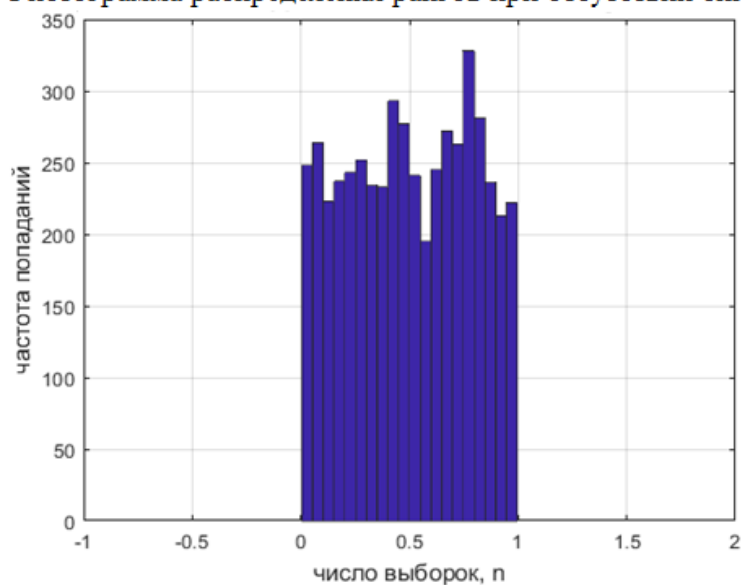


Рис. 2. Гистограмма распределения при отсутствии сигнала

Гистограмма распределения рангов при наличии сигнала

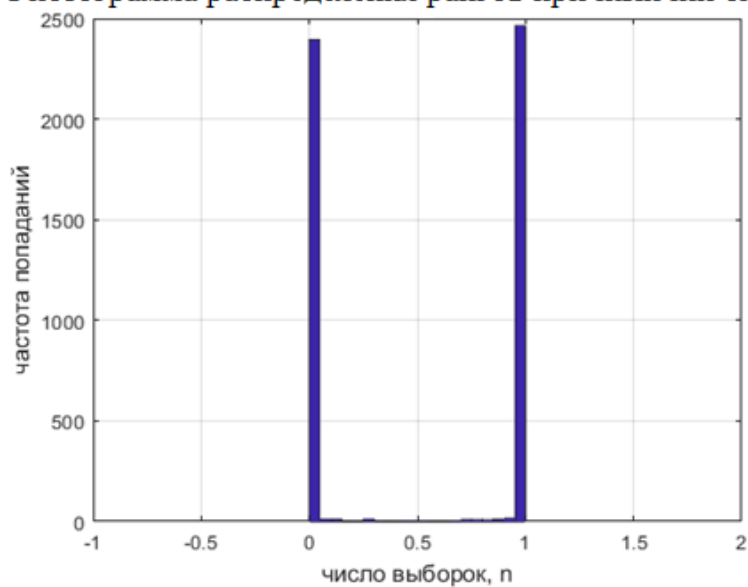


Рис.3. Гистограмма распределения при наличии сигнала

На рис.4 приведена временная диаграмма данной записи и выходной сигнал рангового обнаружителя. По вертикальной оси безразмерная величина (так как выполнялось деление на СКО).

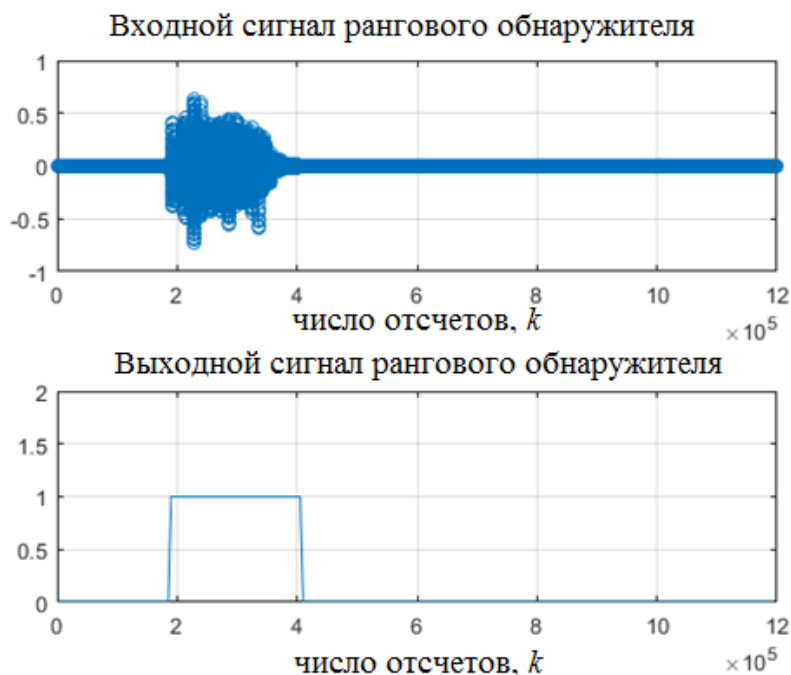


Рис.4. Сигнал с датчика вибраций и выход рангового обнаружителя (уровень 1 - сигнал приведения)

Из рис. 4 видно, что сигнал датчика вибраций в режиме приведения превышает уровень помех в несколько раз (отношение сигнал/помеха достаточно высок). Отсюда следует, что вероятность правильного обнаружения $P_{\text{по}}$ рангового обнаружителя будет не хуже чем заявленная в таблице 2 в [1] и [2], то есть: для $P_{\text{лт}} = 10^{-3}$, $P_{\text{по}} \geq 0.999999$; для $P_{\text{лт}} = 10^{-5}$, $P_{\text{по}} \geq 0.999973$; для $P_{\text{лт}} = 10^{-7}$, $P_{\text{по}} \geq 0.999545$.

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что распределение рангов в ситуации отсутствия сигнала всегда аппроксимируется равномерным законом распределения. В ситуациях, когда в смеси присутствует сигнал, равномерное распределение нарушается, и наличие сигнала определяется критерием согласия равномерного распределения (критерием Ватсона). На рис. 2, 3 и 4 видно, что алгоритм на основе ранговых критериев является очень чувствительным. Рис. 4 показывает, что в случае слабых случайных выбросов система стабильна. Все записи полетов были предоставлены НКБ ЦОС ЮФУ.

Результаты исследования могут быть интересны не только разработчикам и конструкторам предприятия НКБ ЦОС ЮФУ, но и другим организациям, эксплуатирующим самолеты-амфибии. Модель обработки сигнала на основе ранговых критериев может найти применение во многих обла-

стях науки и техники, где стоит задача обнаружения в условиях существенной априорной неопределенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Приходченко А.И.* Непараметрический критерий согласия равномерного распределения для ранговой обработки сигналов в условиях априорной неопределенности. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021.
2. *Приходченко А.И.* Выбор статистически оптимального критерия согласия равномерного распределения для ранговой обработки сигналов в условиях априорной неопределенности. Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск: «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», №3(220). 2021г.
3. Патент № 2611466 Российская Федерация, МПК B54D 45/04, G08G 5/02. Способ сигнализации приводнения и взлета с водной поверхности самолета – амфибии и устройство для его осуществления / Маркович И.И., Душенин Ю. В., Марьев А.А., Долгошеев Ю. Б.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»; заявл. 05.10.2015; опубл. 22.02.2017, Бюл. №6 -12 с.
4. *Лапий В.Ю. и др.* Устройства ранговой обработки информации/В.Ю. Лапий, А. Я. Калюжный, Л.Г. Красный, - К.: Техника, 1986. – 120 с., ил. – Библиогр.: с. 119-120.
5. *Марьев А.А., Приходченко А.И.* Алгоритм синтеза цифровых нерекурсивных фильтров с амплитудно-частотными характеристиками произвольной формы. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020» [Электронный ресурс] : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020.
6. Р 50.1.033–2001. Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Ч. I. Критерии типа хи-квадрат. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 87 с.

7. Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю. Критерии проверки отклонения распределения от равномерного закона. Новосибирск, 2015. – 182 с.
8. Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю., Лемешко С.Б. О критериях проверки равномерности закона распределения вероятностей. Автометрия, 2016, Т.52, №2.
9. Лемешко Б.Ю., Горбунова А.А. О применении и мощности непараметрических критериев согласия Купера, Ватсона и Жанга. Измерительная техника, 2013. №5. – С.3-9.
10. Lemeshko B. Yu. Application of nonparametric Kuiper and Watson tests of goodness-of-fit for composite hypotheses / B. Yu. Lemeshko, A. A. Gorbunova // Measurement Techniques. – 2013. – Vol. 56. – № 9. – P.965-973.
11. Watson G. S. Goodness-of-fit tests on a circle. I. / G. S. Watson // Bio-metrika. – 1961. – V. 48. – No. 1-2. – P.109-114.
12. Watson G. S. Goodness-of-fit tests on a circle. II. / G. S. Watson // Bio-metrika. – 1962. – V. 49. – No. 1-2. – P.57- 63.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных сотрудников / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.
14. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. Изд-во «Советское радио», 1971, 328 стр.

Приходченко Алексей Иванович, аспирант, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, кафедра теоретических основ радиотехники, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: zzalexeizz@yandex.ru.

Prihodchenko Alexey Ivanovich, postgraduate, Department of Fundamentals of Radio Engineering Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: zzalexeizz@yandex.ru.

УДК 004.021

Шепель Илья Олегович

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В КАРТЕ ЗАНЯТОСТИ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРА ЧАСТИЦ

В работе рассматривается проблема обнаружения динамических препятствий на карте занятости, полученной по данным системы технического зрения мобильной робототехнической платформы. Целью работы является качественное улучшение алгоритма обнаружения препятствий с помощью добавле-

ния фильтра частиц для выделения движущихся объектов по данным карты. В исследовании решается задача корректного накопления данных в карте занятости и уменьшения задержки обновления ячеек карты, в которых движется объект. Представленная в статье модификация фильтра частиц работоспособна в реальных условиях в среде с большим количеством движущихся препятствий и в реальном масштабе времени. Описанные эвристики позволяют уменьшить количество ложных классификаций из-за случайной генерации начальных скоростей частиц. Алгоритм реализован и протестирован на борту автономной робототехнической платформы на GPU блока Jetson Xavier, а также на открытом наборе данных. В статье также приведены метрики быстродействия для GPU Nvidia RTX 3070.

Карта занятости, лидар, облако точек, фильтр частиц, обнаружение препятствий, динамический объект, автономное движение.

Shepel Ilya Olegovich

PARTICLE FILTER BASED ALGORITHM FOR DETECTING DYNAMIC OBJECTS ON AN OCCUPANCY MAP

The paper considers the problem of detecting dynamic obstacles on the occupancy map generated by the computer vision system of a mobile robot. The purpose of this research is to improve the quality of the obstacle detection algorithm by adding a particle filter to find moving objects from the map data. In the paper, the problem of correct accumulation of data in the occupancy map and reducing the delay in updating the map cells in which the object moves is solved. The modification of the particle filter presented in the paper is workable under real conditions in real time in an environment with a lot of moving obstacles. The described heuristics allow to reduce the number of false classifications due to random generation of initial particle velocities. The algorithm has been implemented and tested aboard an autonomous robotics platform on a Jetson Xavier GPU unit, as well as on an open data set. The paper also includes performance metrics for the Nvidia RTX 3070 GPU.

Occupancy map, lidar, point cloud, particle filter, obstacle detection, dynamic object, autonomous movement.

Введение

В настоящее время широко используются сервисные робототехнические платформы (РТП), от которых требуется безаварийное движение в зонах с активным пешеходным движением. Для обнаружения препятствий с

последующим автономным движением в большинстве подобных РТП используется классический подход построения карт занятости [1]. Такие карты должны быть, во-первых, способны накапливать и уточнять информацию о проходимости окружающей среды, а во-вторых, максимально быстро обновлять информацию о местоположении наиболее опасных динамических объектов. Кроме того, вычислительные ресурсы на мобильных роботах не позволяют в режиме реального времени использовать наиболее точные и трудоемкие современные подходы. Для решения проблемы накопления данных используется подход [2], в котором накопление информации от кадра к кадру производится с помощью теоремы Байеса. При этом такое накопление приводит к образованию т. н. «хвостов» от динамических препятствий (см. рис. 1), а также к задержке классификации ячеек, в которых движется объект.

В работе описана модификация алгоритма построения карты занятости по облаку точек от лидара с использованием фильтра частиц для классификации динамических ячеек. Ключевые отличия разработанного алгоритма следующие:

- реализованный алгоритм работоспособен в реальном масштабе времени на встраиваемых вычислительных блоках;
- разработаны дополнительные эвристики, повышающие устойчивость алгоритма к ложным детекциям динамических ячеек;
- разработанный алгоритм объединен с алгоритмом построения накапливаемых карт, что позволяет обнаруживать динамику по нескольким источникам сенсорных данных.

Обзор существующих методов

Для обнаружения движущихся объектов существует несколько различных групп подходов. Широко распространены нейросетевые подходы, работающие по облакам точек от лидаров [3]. Такие алгоритмы требуют больших наборов данных для обучения и высокопроизводительные вычислители, что является проблемой для небольших сервисных роботов. Планировать траекторию движения по таким данным напрямую также нельзя, но при этом выход таких алгоритмов можно перевести в карту занятости, как показано в [4]. Другое семейство подходов использует нейросетевые модели для сегментации облаков точек от сенсора, чтобы затем использовать семантическую информацию для выделения потенциально динамических объектов [5]. Основным недостатком такого метода является увеличение времени обнаружения препятствий за счёт тяжелых моделей. Кроме

перечисленных, существуют подходы, использующие на вход алгоритма уже сгенерированные карты занятости. Например, в работах [6, 7] для выделения динамических ячеек в карте и предсказания их движения используются рекуррентные сети, но в таких подходах очень сложно обучить модель, применимую в реальных условиях. Более универсальными являются методы, базирующиеся на алгоритме фильтрации частиц [8, 9]. Их точность напрямую зависит от количества используемых частиц, а значит и от производительности вычислителя, однако существуют параллельные реализации, решающие эту проблему [10].

Алгоритм обнаружения динамических объектов на карте занятости

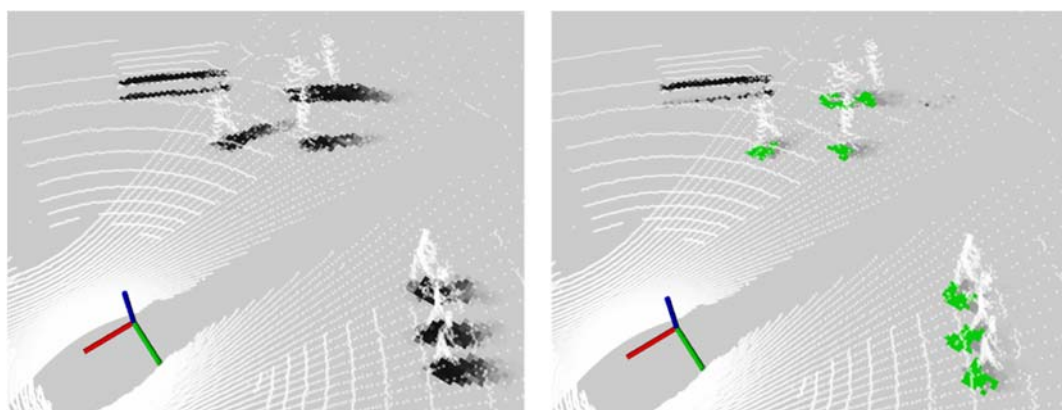


Рис. 1. «Хвосты» от динамических объектов на карте занятости (слева) и результат работы модифицированного алгоритма (справа)

Представленный в работе алгоритм является модификацией подходов из [2, 10]. Для обнаружения динамики все ячейки карты занятости засеиваются частицами, имеющими случайные координаты и скорость. С каждой новой итерацией в зависимости от занятости ячейки происходит фильтрация ей соответствующих частиц. Оригинальный подход не учитывает собственное движение РТП, а также его точность падает (рис. 2) при увеличении диапазона, в котором генерируются скорости частиц. Для работы в реальных условиях критически важно корректно смещать частицы на карте при движении, а также точно определять скорость объекта за наименьшее число итераций.

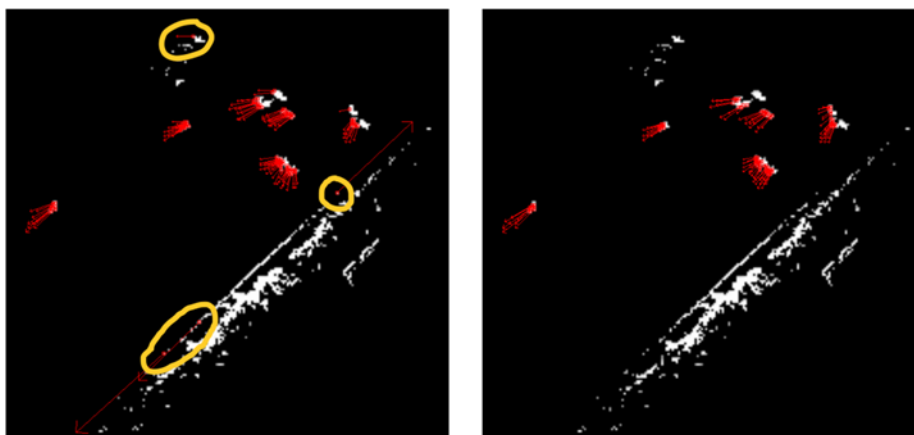


Рис. 2. Ложные детекции динамических частиц (показаны красным) на протяженном объекте без фильтрации (слева) и с ней (справа)

Для этого к оригинальному алгоритму фильтра частиц добавляются блоки компенсации собственного движения по данным одометрии от сенсоров РТП и блок фильтрации детекций. В нем проверяются ячейки, где масса частиц, засеянных на текущей итерации, больше, чем масса частиц с предыдущих итераций, т. е. наиболее чувствительных к случайным начальным скоростям. Как правило, такие ячейки — одиночные выбросы, поэтому фильтр проверяет все соседние ячейки на карте, и если они помечены как статичные или вообще не являются препятствиями, то детекция считается ложной. Кроме того, для более точного выделения границ объектов по моментальной карте занятости [4] ячейки объединяются в группы алгоритмом связанных компонент. Если одна из ячеек группы помечается фильтром частиц как динамическая, то всей группе ячеек присваивается эта метка.

Экспериментальные результаты

Разработанный алгоритм был протестирован на сервисной РТП (рис. 3) в реальных условиях, на роботе использовались лидары Ouster OS1-32 и OS0-64, инерциальная система Xsens MTi-680G и вычислитель Jetson AGX Xavier.



Рис. 3. Внешний вид экспериментальной сервисной РТП

Также быстродействие алгоритма сравнивалось с методами, представленными в [4, 5], на тех же вычислителях: десктопном компьютере с процессором Intel i7-9700KF и видеокартой Nvidia RTX 3070 и Jetson AGX Xavier на открытом датасете Waymo [11]. Сравнение быстродействия различных методов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ быстродействия подходов

	Подход [4]		Подход [5]		Предложенный подход	
	Desk.	Xavier	Desk.	Xavier	Desk.	Xavier
Детекция [4], мс	37	108	-	-	-	-
Сегментация [5], мс	-	-	39	77	-	-
Фильтр частиц, мс	-	-	-	-	20	30
Карты занятости, мс	15	20	33	64	21	57
Суммарное время, мс	52	128	72	141	41	87

Выводы

В статье представлена модификация алгоритмов построения карты занятости и фильтра частиц для обнаружения динамических объектов. Реализация представленного алгоритма протестирована на реальных данных и работоспособна в реальном масштабе времени, в том числе и на встроенных вычислителях сервисных РТП, благодаря более высокому быстродействию подхода по сравнению с другими алгоритмами обнаружения динамических препятствий на картах препятствий.

Благодарность

Экспериментальные исследования проведены совместно с ООО «ИнтеграНТ», г. Москва.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Elfes A.* Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation // Computer. – 1989. – Т. 22. – №. 6. – С. 46-57.
2. *Шепель И. О.* Модифицированный алгоритм построения карты занятости по облаку точек от нескольких лидаров // Программные продукты и системы. – 2020. – Т. 33. – №. 2.
3. *Yin T., Zhou X., Krahenbuhl P.* Center-based 3d object detection and tracking // Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2021. – С. 11784-11793.
4. *Шепель И. О.* Алгоритм комплексирования нескольких источников данных в общую карту занятости // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2021. – №. 3 (220). – С. 64-71.
5. *Shepel I. et al.* Occupancy Grid Generation With Dynamic Obstacle Segmentation in Stereo Images // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2021.
6. *Mohajerin N., Rohani M.* Multi-step prediction of occupancy grid maps with recurrent neural networks // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2019. – С. 10600-10608.
7. Schreiber M., Hoermann S., Dietmayer K. Long-term occupancy grid prediction using recurrent neural networks // 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – IEEE, 2019. – С. 9299-9305.
8. *Danescu R., Nedevschi S.* A Particle-Based Solution for Modeling and Tracking Dynamic Digital Elevation Maps // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2014. – Т. 3. – №. 15. – С. 1002-1015.
9. *Tanzmeister G. et al.* Grid-based mapping and tracking in dynamic environments using a uniform evidential environment representation // 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – IEEE, 2014. – С. 6090-6095.
10. *Nuss D. et al.* A random finite set approach for dynamic occupancy grid maps with real-time application // The International Journal of Robotics Research. – 2018. – Т. 37. – №. 8. – С. 841-866.
11. *Sun P. et al.* Scalability in perception for autonomous driving: Waymo open dataset // Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2020. – С. 2446-2454.

Шепель Илья Олегович, аспирант ИКТИБ ЮФУ, инженер-исследователь 2 категории ООО «ИнтегранТ», Россия, город Москва, Долгопрудненское шоссе 3,

127204, телефон: +7 (499) 390-65-14, email: chepsiilya@gmail.com.

Shepel Ilya Olegovich, Ph.D. student, research engineer LLC «IntegraNT», 127204, Russia, Moscow, Dolgoprudnenskoye Highway 3, phone: +7 (499) 390-65-14, email: chepsiilya@gmail.com.

УДК 621.396

Семенов Виктор Алексеевич, Игнатьева Сабина Валерьевна

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ АВТОЭНКОДЕРА

С каждым днем в сети Интернет появляется огромное количество контента, пользователям все труднее найти то, что будет интересно именно им. В связи с этим, появляется острая необходимость в инструментах, которые будут подбирать персональный контент для каждого пользователя. Такими инструментами являются рекомендательные системы, которые помогают предсказать и рекомендовать объекты, представляющие интерес пользователя, исходя из его предпочтений. В этой статье предлагается система рекомендаций, в которой используется автоэнкодер, основанный на методе совместной фильтрации.

Рекомендательная система, автоэнкодер, совместная фильтрация.

Semenov Viktor Alekseevich, Ignatieva Sabina Valeryevna

RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON AN AUTOENCODER

Every day a huge amount of content appears on the Internet, it is increasingly difficult for users to find something that will be interesting to them. In this regard, there is an urgent need for tools that will select personal content for each user. Such tools are recommendation systems that help predict and recommend objects of interest to the user based on his preferences. This article proposes a recommendation system that uses an autoencoder based on the collaborative filtering method.

Recommendation system, autoencoder, joint filtering.

Введение

С развитием технологий и быстрым увеличением числа пользователей в интернете, значительно увеличилось бремя доступа пользователя к эффективной информации, пользователь обрабатывает много информации, включая новостную рекламу, электронные продукты, фильмы и т.

д. Однако появление и развитие рекомендательной системы эффективно смягчает явление информационной перегрузки. С большими данными пользователи, как правило, просматривают веб-страницы, нажимают, чтобы посмотреть, а также оценивают и комментируют фильмы на разных кино-платформах. Такое поведение пользователей может генерировать соответствующие данные на кино-платформах. В различных типах данных очень важную роль играет пользовательская оценка фильма, которая обычно может отражать популярность фильма среди пользователей. Чтобы помочь пользователям быстро и эффективно искать действительно интересные их фильмы, большое количество исследователей обращают свое внимание на исследование рекомендательного алгоритма.

В последние десятилетия многие эксперты и ученые предлагали и улучшали различные рекомендательные алгоритмы, такие как алгоритм совместной фильтрации. По мере углубления исследований выясняется, что алгоритм слепо опирается на ассоциации между пользователями и проектами, что не обязательно отражает все предпочтения пользователей, поэтому может снижать точность рекомендаций. С одной стороны, алгоритм использует только линейную модель для изучения взаимодействия между пользователями и проектами, поэтому сложно изучить более глубокие скрытые функции пользователей и проектов. С другой стороны, размерность и масштаб данных очень велики; в матрице оценки проекта очень мало связи между пользователем и проектом.

Технология глубокого обучения может точно решить вышеуказанные проблемы. Во-первых, технология глубокого обучения может изучать подразумеваемые характеристики данных путем создания модели нейронной сети, а также способна выражать и изучать соответствующие данные. Гибридный алгоритм рекомендации фильмов может эффективно анализировать функции глубоких данных пользователей и проектов, тем самым улучшая производительность традиционного алгоритма рекомендаций, создавая модель рекомендаций, более соответствующую предпочтениям пользователей, и предоставляя более персонализированные рекомендательные услуги. Алгоритм рекомендаций глубокого обучения эффективно компенсирует ограничения традиционного алгоритма рекомендаций.

Внедрение традиционного метода рекомендаций

Основная идея системы рекомендаций состоит в том, чтобы фильтровать большой объем информации и рекомендовать подходящие элементы для пользователей. Система анализирует поведение пользователей с по-

мощью алгоритмов и автоматически предоставляет проверенную информацию пользователям. Данные, анализируемые системой, в основном включают файлы журналов, созданные в результате поведения пользователя на клиенте, такие как рейтинги, лайки, избранное, продолжительность просмотра, личная информация, заполняемая пользователями при регистрации учетной записи, и информация об элементе, заполняемая при загрузке элементов на веб-сайт и т. д.

Алгоритм рекомендаций, основанный на совместной фильтрации, является одним из самых популярных алгоритмов рекомендаций, алгоритм выполняет интерактивный анализ информации, связанной с пользователями и элементами, а затем начинает рекомендовать пользователей. Поскольку на решение о поведении человека влияет субъективная инициатива, отношения между пользователями и объектами могут быть выявлены посредством сотрудничества между пользователями и объектами.

Алгоритм гибридных рекомендаций может не только эффективно избежать недостатков одиночного алгоритма, но и повысить эффективность рекомендаций гибридного алгоритма, тем самым улучшив производительность рекомендаций.

Алгоритмы рекомендаций на основе глубокого обучения

Автоэнкодер — это особый вид нейронной сети, которая может изучать глубоко скрытые особенности входных данных, добавляя ограничения в модель. Автоэнкодер может сжимать и уменьшать размерность данных, изучать глубокие особенности многомерных разреженных данных, а также сжимать и генерировать векторы скрытых признаков низкой размерности в скрытом слое.

Нейронная сеть кодировщика может не только уменьшать и сжимать многомерные данные, но и изучать глубинные особенности цели, поэтому ее часто используют для извлечения скрытых особенностей цели. В последние годы существует большое количество рекомендательных алгоритмов, основанных на нейронной сети автоэнкодера.

Глубокое обучение имеет сильную способность изучать нелинейные особенности данных, что в некоторой степени компенсирует ограничение, заключающееся в том, что традиционные алгоритмы рекомендаций не могут изучать глубокие характеристики пользователей и элементов. Алгоритм рекомендации глубокого обучения обычно включает в себя входной уровень, уровень модели, уровень обработки и уровень выво-

да. Обычно входными данными для алгоритма являются личная информация пользователя и атрибутивная информация.

Улучшенная модель совместной фильтрации нейронной сети

В этой статье будет предложена традиционная модель нейронной совместной фильтрации на основе отзывов и дополнительно улучшена производительность модели рекомендаций. Слой признаков удовлетворяет обобщенному принципу матричной декомпозиции, и его математическое определение показано в следующей формуле:

$$Z' = \psi(p_u, q_i) \quad (1)$$

Затем улучшенная модель сети многослойного персептрона (MLP) и функция предсказания показаны в формулах 2 и 3:

$$\begin{cases} Z_1 = \psi_1(p_u, q_i) \\ \psi_2(Z_1) = f_2(W_2^T Z_1 + b_2) \\ \dots \\ \psi_L(Z_{L-1}) = f_L(W_L^T Z_{L-1} + b_L) \\ y_{ui} = \sigma(h^T \psi_L(Z_{L-1})) \end{cases} \quad (2)$$

$$y_{ui} = \sigma(h^T \psi_L(Z_{L-1})) \quad (3)$$

где W и B — весовая матрица и значение смещения сети MLP соответственно; F — функция активации сети MLP; и L — количество сетевых уровней, соответствующих сети MLP. Окончательное определение улучшенной модели совместной фильтрации нейронной сети показано в следующей формуле:

$$y_{ui} = \sigma \left(h^T \psi_L \begin{bmatrix} \psi^{GMF} \\ \psi^{MLP} \end{bmatrix} \right) \quad (4)$$

Заключение

В этой статье в основном оптимизируется нейронная сеть автоэнкодера в глубоком обучении и предлагаются рекомендательный алгоритм, основанный на автоэнкодерах, что в некоторой степени улучшает производительность традиционных алгоритмов. Однако в исследовании все еще существуют некоторые ограничения. Коэффициент использования алгоритма в наборе данных по-прежнему недостаточен. Ключевая информация о других атрибутах пользователя, таких как профессия, также может повысить производительность модели. Таким образом, добавление ключевых неотъемлемых атрибутов к игре может еще больше повысить точность и интерпретируемость рекомендаций.

В будущих исследованиях планируется рассмотреть возможность добавления модели передачи интересов и модели семантического анализа для дальнейшего повышения точности рекомендаций и разнообразия алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенова, М. М., Семенов В.А. Прогнозирование предпочтений пользователей в книжном интернет-ассистенте / Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2020): Сборник трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 3-х томах, Таганрог, 03–05 декабря 2020 года. – Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. – С. 141-146. –
2. Бова В.В., Кулиев Э.В., Родзин С.И. Прогнозирование в интеллектуальных системах-ассистентах на основе алгоритма поиска косяком рыб // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. №2 (204)
3. Da’u A. and Salim N. “Recommendation system based on deep learning methods: a systematic review and new directions,” Artificial Intelligence Review, vol. 53, no. 4, pp. 2709–2748, 2020.

Семенов Виктор Алексеевич – e-mail: viksemenov@sfedu.ru, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44 студент.

Игнатьева Сабина Валерьевна - e-mail: signateva@sfedu.ru, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44 студент.

Semenov Victor Alekseevich – e-mail: viksemenov@sfedu.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; student.

Ignatieva Sabina Valeryevna – e-mail: signateva@sfedu.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; student.

УДК 004.04

Серёженко Ольга Александровна

ЗАДАЧА ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ИХ СОДЕРЖИМОМУ. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБРАТНОГО ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

В данной статье рассмотрена проблема и поставлена задача поиска изображений на основе содержимого, детально описана архитектура систем обратного поиска. Проведён сравнительный анализ рассмотренных существую-

щих алгоритмов, использующихся при проектировании систем обратного поиска изображений.

Поиск изображений, система обратного поиска, содержимое изображения, объект, текстура, гистограмма, запрос, релевантность.

Seryozhenko Olga Aleksandrovna

THE TASK OF CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL. ANALYSIS OF EXISTING ALGORITHMS IN THE DESIGN OF REVERSE IMAGE SEARCH ENGINE

In this article the task of searching for content-based image retrieval is set, the architecture of reverse image search engine is described in detail. A comparative analysis of the considered existing algorithms, which used in the design of reverse image search engine, is carried out.

Image search, reverse search system, image content, object, texture, histogram, query, relevance.

Введение

Ежегодно в Интернете появляются миллионы фотографий и изображений. При таком огромном количестве информации назревает потребность в эффективном поиске по изображению [1, 2]. И если для текстового поиска уже созданы отличные инструменты, поиск изображений остается нерешенной проблемой.

При наличии такого огромного количества информации проблема поиска изображений не только по ключевым словам, но и по копии изображения очень актуальна [3].

Существует два типа методов поиска изображений: поиск изображений на основе текста и методы поиска изображений на основе содержимого.

Большая часть доступных сегодня поисковых систем основаны на тексте или ключевых словах. Поиск изображений на основе текста использует ключевые слова, чтобы найти их в названии или приблизиться к изображению. Текстовый поиск является из-за ручного аннотирования ключевых слов для изображений в Интернете, которое требует больше времени.

Чтобы преодолеть трудности, возникающие при поиске изображений на основе ключевых слов, был спроектирован поиск изображений на основе содержимого в 1990-х годах.

Поиск изображений на основе содержимого (CBIR) — это методика, позволяющая находить изображения по конкретному его содержимому, например, по цветам или тем, какие объекты показаны на изображении. CBIR использует визуальные параметры изображения, такие как цвет, форма, текстура и пространственная разметка, для представления и индексации изображения. Поисковые системы, которые использовали методы CBIR, называются системами обратного поиска изображения.

Ввиду того факта, что мультимедийную информацию труднее получить по сравнению с буквенно-цифровой информацией (текстом), необходимо принять во внимание необходимость и полезность мультимедийных баз данных для поиска информации.

Поиск информации, характеризующей содержание в мультимедийных базах данных, трудоёмок с точки зрения времени поиска и затрат ресурсов, а результаты не являются точными, а основаны на сходстве, совпадении между запросом и полученной информацией [4].

Однако это важно из-за большого интереса к различным областям, таким как криминалистика, медицинская диагностика, системы безопасности, защита интеллектуальной собственности (идентификация плагиата снимков) и т.д.

Постановка задачи контекстного поиска изображений

При поиске в качестве запроса чаще всего выступает изображение-образец. Результатом поиска является набор изображений, близких к изображению-запросу.

Поиск по изображению основан на использовании алгоритмов компьютерного зрения. Успех такого поиска основан на использовании информативных инвариантных быстро вычисляемых характеристик, а также эффективных классификаторов изображений.

Эффективность поиска, в первую очередь, зависит от временной сложности вычисления характеристик изображения и от степени структурированности данных изображения [4]. Следовательно, все поисковые вычисления должны быть минимизированы. Для этого, когда изображение появляется в сети Интернет впервые, все необходимые значения его характеристик должны быть рассчитаны и сохранены вместе с другими элементами описания изображения, а также оставаться в структурированной форме, которая максимизирует эффективность поиска изображений. Для этого необходимо разработать модель базы данных, которая будет спроек-

тирована для хранения ссылок на изображения и контекстных данных о них [5-7].

Таким образом, общая формулировка задачи может быть дана следующим образом:

- пусть дана совокупность изображений I в графической базе данных изображений IDB;

- дано изображение-эталон I_e со своими ключевыми характеристиками $Ck(I_e)$;

- задача поиска изображений сводится к задаче вычисления и сравнения характеристик $Ck(I)$ изображений I из IDB, и возвращения подмножества I_{se} наиболее близких по содержанию изображений к I_e , то есть содержащих те же характеристики $Ck(I_e)$ (с некоторой заданной точностью или приближением), или их подмножество $C_j(I_e)$ из $Ck(I_e)$, что и эталон I_e .

На рис. 1 приведена структура обобщённой системы контекстного поиска изображений.

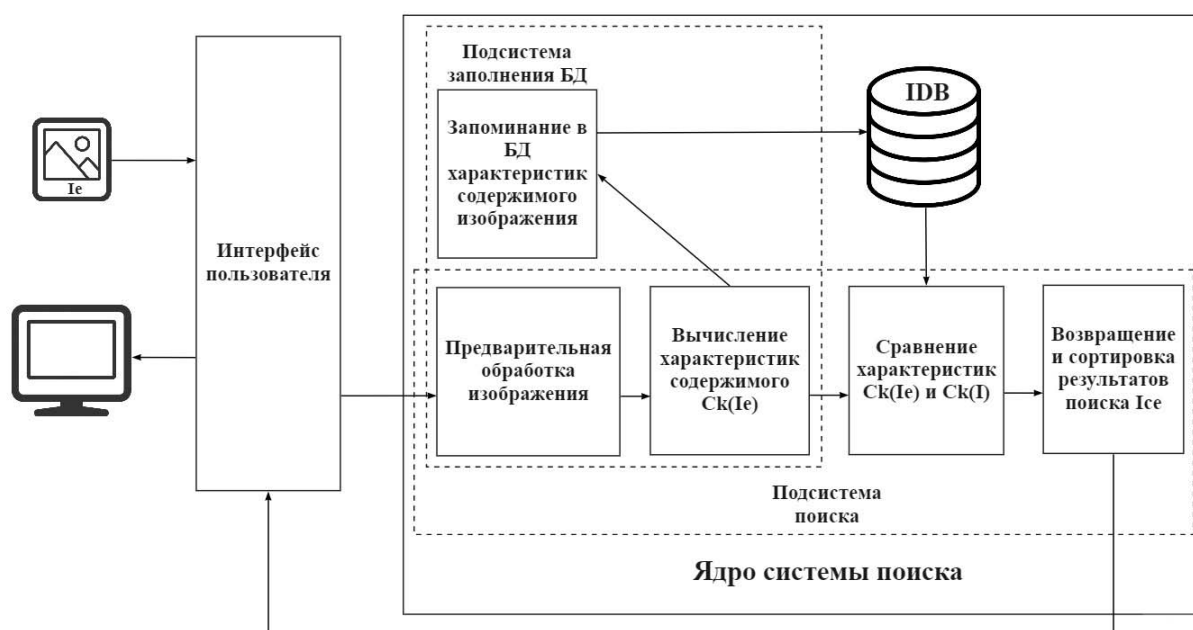


Рис. 1. Обобщённая схема системы контекстного поиска изображений

Архитектура систем обратного поиска

Традиционная архитектура систем поиска изображений по содержанию имеет много общего с архитектурой классических поисковых систем. Для систем CBIR также характерно выделение двух главных модулей: модуля индексирования и модуля поиска. Первый отвечает за обработку данных и построение индексных структур, позволяющих значительно уско-

рить поиск. Второй модуль занимается непосредственно поиском по запросу пользователя.

Одной из ключевых компонент системы CBIR является компонента, отвечающая за параметризацию изображения –вычисление векторов признаков. На вход данной компоненте подается изображение – матрица значений его пикселей. Изображение анализируется, и по нему вычисляют вектора признаков, передаваемые дальше в модуль индексирования. Именно по векторам признакам изображения и строится индекс. Перед проведением поиска надо вычислить признаки изображения-образца. При этом необходимо использовать те же самые алгоритмы, с помощью которых вычислялись признаки для изображений коллекции. Далее поиск производится по полученным векторам признаков изображения – запроса и формируется выдача результатов. Под выдачей здесь понимается ранжированный набор объектов поиска, представляющих собой ответ поисковой системы на заданный запрос.

На рис. 2 представлена схема, описывающая структуру типичной CBIR-системы. Ввод исходных данных (рис.2, блок 1) – неаннотированного изображения, осуществляется пользователем с использованием графического интерфейса. После этого изображение может быть обработано системой поиска в целях улучшения его качества (рис.2, блок 2).

По предобработанному изображению выделяется набор признаков, которые описывают содержание изображения (рис.2, блок 3) и используются при определении сходства изображений (рис.2, блок 4). Предполагается, что база данных (рис.2, блок 7) содержит заранее рассчитанные наборы признаков для каждого её изображения. Подход при определении сходства исходного изображения реализуется, например, с использованием полного перебора, при этом найденные признаки сравниваются с каждым признаком из базы, и по результатам процедуры голосования принимается решение о сходстве изображений.

Результатом работы этапа 4 (рис.2) может быть как одно изображение, так и несколько – в том случае, если база данных содержит повторяющиеся по содержанию изображения. Изображения в поисковом ответе ранжируются по релевантности к исходному (рис.2, блок 5) и демонстрируются пользователю (рис.2, блок 6).

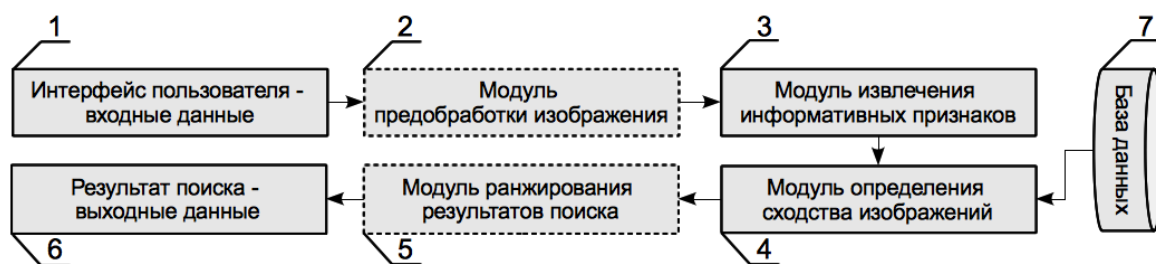


Рис. 2. Схема, описывающая структуру типичной системы обратного поиска изображений [8]

Используемые методы и алгоритмы

Системы обратного поиска изображений классифицируют изображения, обрабатывая их визуальные характеристики, такие как цвет, текстура и форма, которые могут быть получены из самого изображения.

Из-за постоянных изменений в сети Интернет возникает необходимость постоянно адаптироваться к возможным вариациям запросов пользователей, условиям поиска и режимам сети Интернет. В этой ситуации возможно использование искусственного интеллекта — это постоянная оптимизация поисковой службы путем разработки и применения алгоритмов: экспертной оценки и/или машинного обучения.

Также можно выделить следующие общие методы и функции описания содержимого изображения.

- сравнение цветового содержания;
- сравнение текстурных компонентов;
- определение изображения на основе геометрической формы объектов;
- использование подписи типа SIFT;
- использование перцептивного хэша;
- использование признаков Хаара [9].

Сравнение изображения по цветовому содержанию

Поиск изображений путем сравнения цветовых компонентов осуществляется путём построения гистограммы их распределения. Описание изображений с цветами, которые их содержат, является наиболее распространенным, поскольку не зависит от размера или ориентации изображения. Построение гистограмм с последующим их сравнением используется часто, но это не единственный способ описания цветовых характеристик.

Достоинства — простота реализации, скорость. Основным недостатком метода цветных гистограмм является потеря информации о простран-

ственном расположении объектов. Совершенно разные изображения могут иметь похожие цветовые гистограммы [10].

Сравнение текстурных компонентов

Методы такого описания работают путём сравнения текстурных узоров, присутствующих в изображении, и их взаимного расположения. Для определения текстуры используются узоры, сгруппированные в наборы. Они содержат не только информацию, описывающую текстуру, но и ее расположение на описываемом изображении. Текстуру как объект сложно описать формально, и её обычно представляют двумерным массивом изменений яркости. Также в описание иногда включают меру контрастности, градиентной ориентации, закономерности.

Главный недостаток — отсутствие чётких критериев различия\близости двух текстурных изображений.

Определение изображения на основе геометрической формы объектов

Описание формы подразумевает описание геометрической формы отдельных участков изображения. Чтобы определить это, сначала применяется сегментация к области или выделение границ.

Главный недостаток - необходимость частого вмешательства человека, поскольку такие методы, как сегментация, сложно полностью автоматизировать для самых разных задач.

Использование подпись типа SIFT

Метод SIFT (масштабно-инвариантная трансформация признаков) определяет набор контрольных точек на изображении и использует относительное положение узловых точек как характеристику изображения. Этот метод может надёжно идентифицировать объекты даже через шум или частичное перекрытие, потому что дескриптор атрибута инвариантен к линейному масштабированию, а также к изменениям пространственной ориентации или света и т.д.

Преимущество этого метода в том, что он хорошо подходит для определения того, является ли одно изображение деформированной копией другого. Однако для определения сходства двух принципиально разных, хотя и визуально похожих изображений метод не подходит.

Следовательно, в поисковой системе этот метод может играть роль только определения, есть ли модифицированная версия желаемого изображения в базе данных.

Использование перцептивного хеша

В этом подходе с использованием дискретного косинусного преобразования остаются так называемые более низкие частоты, в которых сосредоточено больше информации о форме изображения, чем о его цветовых характеристиках. В результате большое изображение превращается в 64-битный хеш.

К достоинствам этого метода можно отнести скорость определения и простоту алгоритма. Недостатком является уменьшение изображения до низких частот, что дает значительную погрешность в определении результата.

Использование признаков Хаар

Признак Хаара состоит из прилегающих прямоугольных областей. Они располагаются на изображении, затем суммируются интенсивности пикселей в областях, после чего вычисляется разница между суммами. Этой разницей будет значение определенной характеристики, определенного размера, определенным образом расположенная на изображении.

Ключевое преимущество знаков Хаара — высокая скорость по сравнению с остальными характеристиками.

Выводы

Проблема поиска по изображениям очень актуальна. На данный момент существует несколько сервисов, предлагающих разные решения. Некоторые сервисы используют историю поиска пользователей для поиска изображения, поэтому результаты поиска будут разными для разных пользователей. Также все сервисы плохо работают с модифицированными изображениями.

Для решения проблем необходимо спроектировать такую модель сервиса поиска по изображению, которая позволит добиться достаточной надёжности поиска изображений. Основные разделы компьютерных наук, которые нужно учитывать при проектировании:

Компьютерное зрение. Поиск по изображению основан на использовании алгоритмов компьютерного зрения. Успешный результат такого поиска основан на использовании быстро рассчитываемый характеристик.

Организация базы данных. Результативность поиска зависит от временной сложности вычисления характеристик изображения и от степени структурированности объектов изображения.

Алгоритмы и структуры данных. Структуры данных и алгоритмы поиска изображений должны быть разработанными с учётом принципов по-

исковой оптимизации. Говоря о структурах данных, в основном речь идет о деревьях и хеш-таблицах для поиска изображений.

Экспертные системы и машинное обучение. Концепция использования искусственного интеллекта – это постоянная оптимизация поисковой службы путем разработки и применения алгоритмов экспертной оценки и машинного обучения.

В дальнейших исследованиях будут тщательно проанализированы и исследованы вышеуказанные алгоритмы для выбора «лучшего» из них по большинству предъявляемых на практике критериев в качестве базового, и дальнейшей его модификации для повышения эффективности решения задачи поиска изображений с учётом их содержимого.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башков Е.А. , Вовк О.Л. , Костюкова Н.С. Поиск изображений по содержанию в графических базах данных: Монография. – Донецк, ДонНТУ, 2014. – 120 с.
2. Asmaa Salah Aldin Ibrahim, Mohammed Ali Mohammed. “Image Search Engine of Mono Image” Vol. 5 No. 7 (2019): IJRDO - Journal of Computer Science Engineering | ISSN: 2456-1843.
3. Adrakattil F., Wodeyar R. S., Mulla K. R. “Search by Image: A Novel Approach to Content Based Image Retrieval System” International Journal of Library Science, Volume 14; Issue No. 3; Year 2016; ISSN 0975-7546.
4. Punpiti Piamsa-nga, Nikitas A. Alexandridis, Sanan Srakaew, George C. Blankenship Jr, S. R. Subramanya “In-Picture Search Algorithm for Content-Based Image Retrieval” Proceedings 1999 International Conference on Image Processing (Cat. 99CH36348).
5. Enescu Florentina Magda, Știrbu Cosmin, Liță Adrian Ioan. “Image search algorithms” Conference: 2015 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI).
6. Ladjel Bellatreche, Patrick Valduriez, Tadeusz Morzy “Advances in Databases and Information Systems” 25th European Conference, ADBIS 2021, Tartu, Estonia, August 24–26, 2021, Proceedings.
7. Lingxi Xie, Jingdong Wang, Bo Zhang, and Qi Tian “Fine-Grained Image Search” IEEE Transactions On Multimedia, Vol. 17, No. 5, May 2015.
8. Поиск изображений по содержанию (content-based image retrieval) URL: <https://experrto.io/articles/~poisk-izobrazhenij-po-soderzhaniju-sontent-based-image-retrieval/> (дата обращения: 23.05.2022).

9. Kirill Smelyakov, Igor Ruban, Denys Sandrkin, Martovytskyi Vitalii, Yury Romanenkov "Search by Image. New Search Engine Service Model" 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology.
10. Nupur Sharma, Deepanshi Vij, Anand Pandey "A Study on Image Searching Technique" March- 2015 Volume 2, Issue-3: International Journal Of Advanced Research In Engineering Technology & Sciences, | ISSN: 2394-2819.

Серёженко Ольга Александровна, аспирант, ассистент кафедры «Программная инженерия им. Л.П. Фельдмана» Донецкого национального технического университета, ДНР, г. Донецк, ул. Кобозева, 15, e-mail: seryozhenkoolga94@gmail.com.

Seryozhenko Olga Aleksandrovna, postgraduate student, assistant of the Department of Software Engineering, Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk, e-mail: seryozhenkoolga94@gmail.com.

УДК 004.42+004.3

УДК 57.08+615.47+615.8

Караев Артём Дмитриевич, Проскуряков Александр Викторович

РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА ЗАГРУЗКИ КОМПЬЮТЕРНО ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРЕЙМВОРКА TENSORFLOW

В данной статье описана реализация оптимального конвейера загрузки компьютерно томографических снимков для проведения процесса обучения нейронных сетей, реализованных с помощью фреймворка TensorFlow. Описан программно-аппаратный модуль, реализующий различные конфигурации конвейера загрузки данных и проводящий их тестирование на разных выборках входных данных с целью выявления наилучшей конфигурации и оптимальных параметров для неё. Это позволит исследовать эффективность различных методов загрузки КТ данных и в дальнейшем использовать лучшие из них для загрузки данных во время обучения нейронных сетей.

Конвейер, КТ, тестирование, загрузка данных, семпл, семплер, датасет, конфигурация конвейера.

Karaev Artyom Dmitrievich, Proskuryakov Alexander Viktorovich

**IMPLEMENTATION METHODS FOR VERIFYING THE STATE OF
FRAGMENTS OF MEDICAL BIOLOGICAL OBJECTS BASED ON
COMPUTER – TOMOGRAPHIC IMAGES BY THE DECISION-
MAKING SUBSYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF DISEASES**

This article describes the implementation of the optimal pipeline for loading computed tomography images for training neural networks implemented using the TensorFlow framework. A software and hardware module is described that implements various configurations of the data loading pipeline and tests them on different input data samples in order to identify the best configuration and optimal parameters for it. This will allow to investigate the effectiveness of various methods for loading CT data and further use the best of them for loading data during training of neural networks.

Pipeline, CT, testing, data loading, sample, sampler, dataset, pipeline configuration.

Введение

В настоящее время алгоритмы на основе искусственных нейронных сетей и машинное обучение уже активно используются во всех сферах жизни, в том числе и в медицине. В частности, сейчас идёт активная разработка алгоритмов анализа КТ снимков, которые помогали бы врачам находить раковые опухоли, различные признаки тромбоза и эмболии и прочие аномалии[1,2,3]. Для эффективной работы таких алгоритмов их необходимо предварительно обучать на огромном количестве данных, что занимает довольно много времени. В общем виде обучение любого алгоритма на основе искусственных нейронных сетей можно разделить на 2 блока. Первый – это формирование входных данных, включающее в себя загрузку данных в оперативную память и при необходимости какая-либо предобработка. Второй – вычисления, производимые сетью над полученными данными. Для ускорения вычислений сейчас используют мощные графические процессоры, позволяющие параллельно производить множество арифметических операций. Однако насколько бы быстро графические процессоры не справлялись со своей работой, от этого не будет пользы, если параллельно работающий с ними процессор не успевает подготовить новый пакет данных для следующей серии вычислений. Зачастую так и получается, что

блок формирования входных данных становится узким горлышком всего обучения[4, 5].

Так как КТ снимки являются весьма специфичными визуальными данными, создатели одного из самых широко используемых фреймворков для машинного обучения TensorFlow не предусмотрели каких-либо удобных и эффективных методов для их загрузки, ограничившись конвейерами загрузки для обычных 2D изображений. Потому перед каждым разработчиком алгоритмов на основе искусственных нейронных сетей, столкнувшимся с задачей обработки КТ данных, необходимо самостоятельно реализовывать конвейер загрузки для КТ изображений. А так как КТ по своей специфике являются очень тяжёлыми данными, неэффективный конвейер загрузки с весьма большой вероятностью станет слабым звеном в обучении сети.

В связи со всем вышеописанным, передо мной была поставлена задача разработать свой оптимальный конвейер загрузки компьютерно томографических снимков с использованием фреймворка TensorFlow.

Постановка задачи

В докладе рассматриваются различные подходы реализации конвейера загрузки КТ данных для проведения обучения нейронной сети в фреймворке TensorFlow. Целью разрабатываемого программно-аппаратного модуля является создание различных конфигураций конвейера загрузки и корректное совмещение его с API из TensorFlow. Далее все конфигурации необходимо протестировать на выборках данных различных размеров с использованием различных параметров конвейеров с целью выявления оптимального из реализованных конвейеров.

Анализ предметной области

Так как конвейер разрабатывается в рамках фреймворка TensorFlow, необходимо перед реализацией функционала изучить, каким образом устроен механизм конвейера в фреймворке.

За создание конвейера загрузки данных отвечает один основополагающий класс Dataset [6,7], который позволяет загружать данные порциями при необходимости и организовывать различные ступени конвейера загрузки с помощью внутренних методов, таких как:

- batch – объединяет несколько семплов в пакет для последующих параллельных вычислений над данными;
- unbatch – метод, действие которого обратно batch, распаковывает пакет семплов и далее конвейер передаёт уже по одному экземпляру;

- `map` – метод для проведения обработки семплов в конвейере. Зачастую используется для аугментации входных данных;
- `interleave` – метод позволяющий организовать параллельную загрузку данных из нескольких источников;
- `from_generator` – метод-конструктор для объекта `Dataset`. Позволяет создать объект из `python` генератора, возвращающего семплы.

Реализация функционала для загрузки данных

В качестве формата хранения данных был выбран HDF5. Данный формат файлов был избран из-за следующих преимуществ [8]:

- 1) предоставляет возможность параллельной загрузки данных несколькими хостами, применение которой, в теории, должно ускорить загрузку;
- 2) имеет встроенное сжатие данных, что очень хорошо при работе с тяжёлыми КТ, занимающими очень много памяти;
- 3) позволяет грузить данные порциями, что критически важно, так как датасет с КТ как правило занимает больше памяти, чем имеется в компьютере.

Для взаимодействия с HDF5 файлами был разработан специальный функционал, заключённый в 2 основных класса: `CTSampler` и `H5SplitManager`. Первый включает в себя генератор, который при каждом запросе данных обращается к файлу и возвращает загруженные данные. Одним из важных параметров, которые будут участвовать в тестировании, это размер загрузочного буфера, так как предполагается, что уменьшение количества обращений к файлу должно ускорить конвейер. Также семплер спроектирован так, что он загружает данные только из определённого участка HDF5 файла, помеченного индексами начала и конца, что позволит в дальнейшем организовать параллельную загрузку через несколько семплеров. Второй является классом-прослойкой между семплером и интерфейсом `Dataset` из `TensorFlow`. Получая при создании пути к загрузочным файлам и количество разбиений для параллельной загрузки, он создаёт все необходимые семплеры и настраивает их для правильной загрузки. Созданные семплеры доступны по индексу благодаря `getter` методу.

Реализация функционала для предобработки и аугментации данных

Так как КТ снимки имеют большой и не постоянный размер, необходимо привести их к подходящему для подачи в нейронную сеть формат. Распространённым приёмом в задачах обработки КТ является обрезка дан-

ных до необходимого размера, то есть обработка КТ по кускам. Для этого была реализована функция `random_crop`. Вторая часть предобработки – это отсев выбросов и различных артефактов. Как известно, диапазон валидных значений в КТ снимке находится между -1000 и 3000 [9, 10], потому всё остальное можно обрезать до указанных границ. Третий важный момент в предобработке данных – это нормализация. Нейронные сети обучаются лучше на данных с меньшим числовым размахом, потому необходимо нормализовать их в диапазон от 0 до 1. Всю предобработку было решено внедрить в `CTSampler`.

Во многих задачах машинного обучения входные данные подвергаются аугментации для улучшения качества модели. Для учёта этого фактора было решено создать функцию, имитирующую аугментацию, содержащую тяжёлые вычислительные операции, зависящие от размера входных данных. Вопрос, где следует расположить аугментацию, в методе `Dataset.map` или в семплере, будет вынесен для тестирования конвейеров. Для конфигурации с аугментацией в генераторе был создан `CTAugmentedSampler`, наследующийся от `CTSampler`.

Создание различных конфигураций конвейера

Описанный ранее функционал необходимо применить в создании конвейера из `Dataset`.

Так как `CTSampler` реализован через генератор, то его можно легко применить при создании конвейера с последовательным чтением через `Dataset.from_generator`.

Для параллельного чтения из одного файла и нескольких файлов одновременно использовался метод `interleave` и `H5SplitManager`. `Interleave` работает схожим с `map` способом – берёт из `Dataset` семпл и применяет к нему `map`-функцию. Однако если `map` просто обрабатывает семплы, то `interleave` своей `map`-функцией должен вернуть объект класса `Dataset`, которые затем будут перемешаны, создавая единый датасет. Как и у `map`, у `interleave` есть аргумент для указания количества создаваемых потоков, которые будут ответственны за выполнение операций. Таким образом, создав `Dataset` из семплеров в сплит менеджере и применив к нему `interleave`, можно получить параллельное чтение из нескольких источников.

В конвейерах с аугментацией для реализации последовательного и параллельного чтения были применены схожие принципы, как и с обычным конвейером, но вместо `CTSampler` использовался `CTAugmentedSam-`

pler. В случае с размещением аугментации в map методе используется всё тот же CTSampler.

Реализация тестирования конвейеров

Для тестирования конвейеров без аугментации был создан скрипт и соответствующий конфиг для него, в который входит:

- 1) пути к датасет файлам с соответствующим количеством разбиений;
- 2) размеры загрузочного буфера для семплеров;

Конфиг позволяет установить настройки сразу для нескольких тестов. Все результаты сохраняются в виде csv файла.

Для тестирования конвейеров с аугментацией был создан второй тестовый скрипт со схожим конфигом и сохранением результатов. Хотя эти скрипты внешне похожи, их внутреннее устройство несколько отличается, потому разбиение было необходимо.

Основным элементом для профилирования стала специальная функция, итерирующаяся через датасет указанное количество раз и производящая небольшую задержку на каждой итерации, имитирующую вычисления нейронной сети[11].

Результаты тестов

Основные положения тестирования:

- тестирование производится на 100, 300 и 600 семплах – следует провести тестирование на датасетах различного, так как время итерирования конвейеров не обязательно будет иметь прямую зависимость от их длины;

- загруженные семплы группируются в пакеты по 16 штук – размер пакета говорит о том, сколько семплов параллельно может обработать нейронная сеть, но так как в тестировании производится лишь имитация работы сети, увеличение размера пакета однозначно будет ускорять конвейер без какой-либо смысловой нагрузки. Значение 16 установлено как наиболее часто встречаемое значение размера пакета в задачах обработки КТ данных;

- каждый искусственный объём КТ в файлах будет иметь размер в 256 x 256 x 256 вокселей;

- размер вырезки для каждого теста будет равен 96 x 96 x 96 вокселей;

- на каждый семпл из датасета будет производиться задержка в 0.1 секунды;

- для каждой конфигурации конвейера выполняется 10 итераций;
- тестирование производится на процессоре Intel™ Core™ i7-4790K CPU @ 4.00GHz.

Тест №1: загрузка одного HDF5 с вариацией параметров.

Во время данного теста проверяется, как изменяется производительность конвейера загрузки при вариации количества разбиений и размера загрузочного буфера при загрузке одного HDF5 файла.

Таблица 1

Результаты теста №1

Кол-во разбиений	Размер загрузочного буфера	Среднее время (100 семплов)	Среднее время (300 семплов)	Среднее время (600 семплов)
1	1	1.25	3.25	6.24
1	4	1.20	3.06	5.81
1	8	1.16	2.96	5.67
1	16	1.35	3.41	6.47
1	32	1.89	4.51	8.46
4	1	1.11	2.73	5.18
4	4	1.11	2.64	4.99
4	8	1.29	2.74	5.12
4	16	1.41	3.20	5.85
4	32	1.89	3.85	6.44
8	1	1.16	2.79	5.37
8	4	1.28	2.91	5.26
8	8	1.42	3.19	5.66
8	16	1.69	3.76	6.44
8	32	2.00	4.42	28.09
16	1	1.27	2.90	7.19
16	4	1.53	3.47	5.77
16	8	1.50	3.98	6.83
16	16	1.54	3.93	15.80
16	32	1.73	4.17	32.73

В полученных результатах можно заметить некоторые закономерности:

1) размер загрузочного буфера положительно влияет быстроедействие лишь до размера в 4 семпла. Дальнейшее же увеличение лишь замедляет работу конвейера;

2) количество разбиений файла также даёт положительный результат лишь до достижения 4-х;

3) время работы конвейера в общем виде линейно зависимо от количества семплов в датасете, но применение неэффективных конфигураций на больших датасетах дают значительно большее замедление, чем на меньших.

По итогам проведённого теста оказалась конфигурация с числом разбиений 4 и размером загрузочного буфера 4.

Тест №2: загрузка нескольких HDF5.

Данный тест проводился с целью выяснить, как производительность конвейера будет изменяться, если данные будут предоставлены в нескольких файлах HDF5.

Таблица 2

Результаты теста №2

Кол-во файлов	Кол-во разбиений файла	Размер загрузочного буфера	Среднее время (100 семплов)	Среднее время (300 семплов)	Среднее время (600 семплов)
2	1	1	10.08	40.44	116.50
2	4	1	1.27	3.51	9.38
2	8	1	1.38	3.09	44.33
2	1	4	1.18	2.64	9.87
2	4	4	1.66	3.05	44.83
2	8	4	1.79	3.89	10.38
2	1	8	1.08	2.61	13.53
2	4	8	1.99	3.21	10.18
2	8	8	1.64	3.51	14.16
4	1	1	1.15	6.57	10.76
4	4	1	1.22	3.02	14.82
4	8	1	1.40	3.03	11.38
4	1	4	1.86	2.87	10.70
4	4	4	1.81	3.29	10.37
4	8	4	1.45	3.11	11.64
4	1	8	1.68	3.52	11.18
4	4	8	2.51	3.49	11.42
4	8	8	1.63	3.30	11.81

Результаты данного теста показали, что если на маленьких выборках 100-300 семплов загрузка из нескольких файлов не уступала загрузке из одного, то на более большой в 600 уже появилось заметное замедление.

Тест №3: загрузка HDF5 с вариацией аугментации.

Данный тест направлен на выяснение, какой метод аугментации лучше: через map или через interleave.

Таблица 3

Результаты теста №3

Кол-во разбиений	Размер загрузочного буфера	Тип аугментации	Среднее время (100 семплов)	Среднее время (300 семплов)	Среднее время (600 семплов)
1	1	gen	7.44	22.04	116.50
1	1	map	1.81	4.85	9.38
1	4	gen	7.56	22.36	44.33
1	4	map	2.07	5.22	9.87
1	8	gen	8.02	22.68	44.83
1	8	map	2.39	5.67	10.38
4	1	gen	2.45	6.87	13.53
4	1	map	1.95	5.27	10.18
4	4	gen	2.92	7.43	14.16
4	4	map	2.27	5.73	10.76
4	8	gen	3.31	7.61	14.82
4	8	map	2.51	6.25	11.38
8	1	gen	2.09	5.53	10.70
8	1	map	2.03	5.32	10.37
8	4	gen	2.31	6.02	11.64
8	4	map	2.46	6.02	11.18
8	8	gen	3.21	6.62	11.42
8	8	map	2.68	6.64	11.81

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- 1) установка загрузочного буфера больше чем на 1 семпл во всех случаях приводило к замедлению конвейера;
- 2) увеличение количества разбиений положительно влияет на производительность аугментации через генератор и interleave;
- 3) во всех случаях конвейер с аугментацией через map оказывался быстрее, чем через генератор и interleave.

Самой быстрой конфигурацией для конвейера с аугментацией оказалась обработка через map с отказом от загрузочного буфера и разбиений файла.

Результаты

Проведённое тестирование конвейеров позволило выявить наилучшие способы их организации, а также оптимальные параметры для их настройки. Так как при исследовании данной темы не было найдено ни одной полноценной работы, посвящённой именно загрузке данных, тем более таких тяжёлых, как КТ снимки, можно считать её в меру исследовательской, хотя изначально она была нацелена лишь на получение оптимального конвейера загрузки для дальнейшего использования в обучении нейронных сетей анализирующих КТ.

Стоит отметить, что хоть результаты тестирования могут считаться пригодными для выявления лучшей конфигурации, они не могут использоваться для предсказания точного времени загрузки данных при обучении, так как настоящие нейронные сети производят вычисления на GPU параллельно с загрузкой данных на CPU. В исследовании же весь процесс полностью производился на CPU.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Abhinav Sagar*, ViTBIS: Vision Transformer for Biomedical Image Segmentation, arXiv 15.01.22, [Электронный ресурс] // URL: <https://arxiv.org/pdf/2201.05920.pdf> (дата обращения: 10.04.22).
2. *Ali Hatamizadeh*, Swin UNETR: Swin Transformers for Semantic Segmentation of Brain Tumors in MRI Images, arXiv 04.01.22, [Электронный ресурс] // URL: <https://arxiv.org/pdf/2201.01266.pdf> (дата обращения: 11.04.22).
3. «Multimodal Brain Tumor Segmentation Challenge 2020» – сайт с описанием самого крупного набора данных с КТ снимками головного мозга BraTS, [Электронный ресурс] // URL: <https://www.med.upenn.edu/cbica/brats2020/data.html> (дата обращения: 13.02.22).
4. «Multi-Atlas Labeling Beyond the Cranial Vault - Workshop and Challenge» – сайт с одним из самых широко используемых наборов данных со снимками КТ, направленный на сегментацию, [Электронный ресурс] // URL: <https://www.synapse.org/#!/Synapse:syn3193805/wiki/89480> (дата обращения: 09.02.22).
5. *Гридин В. Н., Смирнов Д. С., Перепелов В. А.* Развитие современных инструментальных средств для проведения морфометрического анализа гиппокампа головного мозга по данным МРТ, ИТиВС, 2019, выпуск 4, страницы 71-72, [Электронный ресурс] // URL:

- <http://www.mathnet.ru/links/0c9fdf90668367ab07a956a4e3244918/itvs364.pdf>
(дата обращения: 14.02.22).
6. Официальное руководство по созданию загрузочных конвейеров в TensorFlow [Электронный ресурс] // URL: <https://www.tensorflow.org/guide/data> (дата обращения: 19.04.22).
 7. Официальное руководство по оптимизации загрузочных конвейеров в TensorFlow [Электронный ресурс] // URL: https://www.tensorflow.org/guide/data_performance (дата обращения: 19.04.22).
 8. Пособие по формату HDF5 [Электронный ресурс] // URL: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/about-hdf5> (дата обращения: 27.03.22).
 9. Статья «Основы компьютерной томографии» [Электронный ресурс] // URL: <https://medach.pro/post/1348> (дата обращения: 22.02.22).
 10. Статья о компьютерной томографии [Электронный ресурс] // URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерная_томография (дата обращения: 22.02.22).
 11. Официальная документация по TFRecordDataset [Электронный ресурс] // URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/data/TFRecordDataset (дата обращения: 29.03.22).

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Караев Артём Дмитриевич, студент группы КТбо4-8 кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, email artemkaraev3811@gmail.com.

Proskuryakov Alexander V., senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Karaev Artyom D., student of group K MSW 4-8 Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, email artemkaraev3811@gmail.com.

УДК 004.42+004.3

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

**РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕРИФИКАЦИИ
СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДСИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

В данной статье описана реализация процесса автоматизации верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно - томографическим изображениям подсистемой поддержки принятия решения для диагностики заболеваний. В статье акцент сделан на анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений. Показаны примеры прикладной, практической реализации программного и информационного обеспечения процесса автоматизации верификации медицинских объектов в виде экранных форм для работы с фрагментами исследуемого объекта и результатами анализа рентгенографических изображений. Всё это позволяет повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний. Показана научная новизна, результаты апробации материала, представленного в статье на международных, всероссийских конференциях, научных журналах.

Биологический, верификация, безэталонный метод верификации, диагностика, информация, медицинский, метод, метод эталонный, программно - аппаратный модуль, статистика, рентгенография, томография, энтропия, эталон.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

**IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF AUTOMATING THE
VERIFICATION OF THE STATE OF FRAGMENTS OF MEDICAL
BIOLOGICAL OBJECTS BY THE DECISION SUPPORT SUBSYSTEM
FOR THE DIAGNOSIS OF DISEASES**

This article describes the implementation of the process of automating the verification of the state of fragments of biological objects using computed tomographic images by the decision support subsystem for the diagnosis of diseases. The article focuses on the analysis of X-ray images, decision-making based on the analysis of these

images, diagnosis based on the decisions made. Examples of applied, practical implementation of software and information support for the process of automation of verification of medical facilities in the form of screen forms for working with fragments of the object under study and the results of the analysis of radiographic images are shown. All this makes it possible to increase the efficiency, accuracy of verification of the state of medical biological objects, the reliability of the disease diagnosis process. The scientific novelty, the results of the approbation of the material presented in the article at international, All-Russian conferences, scientific journals are shown.

Biological, verification, non-Etalon verification method, diagnostics, information, medical, method, reference method, software and hardware module, statistics, radiography, tomography, entropy, standard.

Введение

В настоящее время практически во всех областях человеческой деятельности широко применяются автоматизированные системы обработки данных, реализующие эффективные и надёжные процедуры обработки информации и данных, построенные на базе комплекса технических и программных средств. Не являются исключением в плане расширения применения средств автоматизации и автоматизированной обработки информации и такие научные и прикладные направления как медицина и медицинская техника. Учитывая современное состояние развития медицинской диагностической техники, оснащённость данной техникой медицинских учреждений страны и не оперативную её доступность для населения, что в результате способствовало и привело к появлению и активному развитию новых направлений в области лучевой диагностики, к которым относятся:

- а) цифровая и плёночная рентгенография;
- б) компьютерная томография[1,2];
- в) магнитно-резонансная томография.

Постановка задачи. В данной работе основной акцент сделан на:

- анализ рентгенографических изображений;
- принятие решений на основании анализа этих изображений;
- постановка диагноза на основании принятых решений.

Анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений подсистемой принятия решений медицинской автоматизированной диагностической информационной системой (МАДИС) должны осуществляться путём разработки и применения алгоритмов авто-

матизации процесса диагностики, реализуемых разработанным программным и информационным обеспечением для обслуживания подсистемы принятия решений[3,4,5].

Важной задачей при анализе рентгенографических изображений медицинских биологических объектов и их фрагментов является решение задачи улучшения качества изображения.

С целью улучшения качества рентгеновских снимков и повышения их информативности был разработан алгоритм и реализовано программное обеспечение подсистемы программного обеспечения для их коррекции и анализа, включающая следующие функциональные возможности:

- поворот, отражение и инвертирование изображения;
- применение алгоритмов шумоподавления;
- коррекция общей интенсивности изображения;
- анализ областей методами математической статистики.

Перечислим и кратко охарактеризуем модели следующих методов верификации, используемых для диагностики:

- метод сравнения с эталоном, основанный на математической статистике с указанием его недостатков при автоматической диагностике рентгенографического изображения является качество изображения такого выбранного фрагмента снимка, на котором имеет место постоянное значение интенсивности яркости;
- метод, основанный на вычислении расстояния между изображениями эталона и исследуемой области;
- метод, основанный на вычислении оценки информативности эталона и исследуемой области.

Большой интерес представляет попытка применения информационно-энтропийного метода диагностики.

Он основан на методе исчисления новой (непредсказуемой) и избыточной (предсказуемой) информации Клода Шеннона. При таком анализе рассчитывается показатель энтропии целевой области, рассчитывается максимальный показатель энтропии (исходя из количества уровней изображения), и, сравнивая полученные два значения, делается вывод анализа (по принципу – чем больше энтропия, тем хуже). Данный подход также позволяет получить релевантный результат при условии хорошей ограниченности исследуемого объекта (исследуемый объект должен включать всю исследуемую область и не включать ничего кроме этого).

При векторном описании изображения среднее количество информации в изображении равно энтропии источника и может быть определено из следующего выражения:

$$H(f) = - \sum_{t=1}^t P(f_t) \log P(f_t) \quad (1)$$

Данный подход предполагает реализацию следующего алгоритма:

- исследуемое изображение рентгеновского снимка разбивается на отдельные участки – сегменты;
- размеры участка могут варьироваться в зависимости от наличия априорной информации об искомом признаке патологии (размер исследуемого фрагмента лобной, носоподбородочной области, области грудной клетки и т.д.);
- оцифровка фрагмента – участка заключается в его декомпозиции – анализе в виде размеров точки, с ранее заданной масштабной сеткой налагаемой на исследуемый снимок;
- масштаб сетки формируется в процессе диагностики, то есть выполняется адаптация;
- каждый фрагмент представляется в виде матрицы значений размером $N \times N$ денситометрического параметра: плотности яркости или черноты;

каждая матрица в соответствии со стандартным алгоритмом обработки отображается в виде гистограммы распределений частности денситометрии параметра с последующим определением основных числовых характеристик: среднее арифметическое, выборочная (исправленная) дисперсия, среднеквадратическое отклонение (СКО), коэффициент вариации для оценки гистограммы. В результате каждая гистограмма является основой для оценки соответствующего сегмента снимка среднестатистической и максимальной энтропией в стандартных единицах измерения битах.

Примеры реализации процесса автоматизации методов верификации медицинских объектов.

Экранная форма для работы с фрагментами исследуемого объекта посредством выделения эталонной области объекта показана на рис. 1.

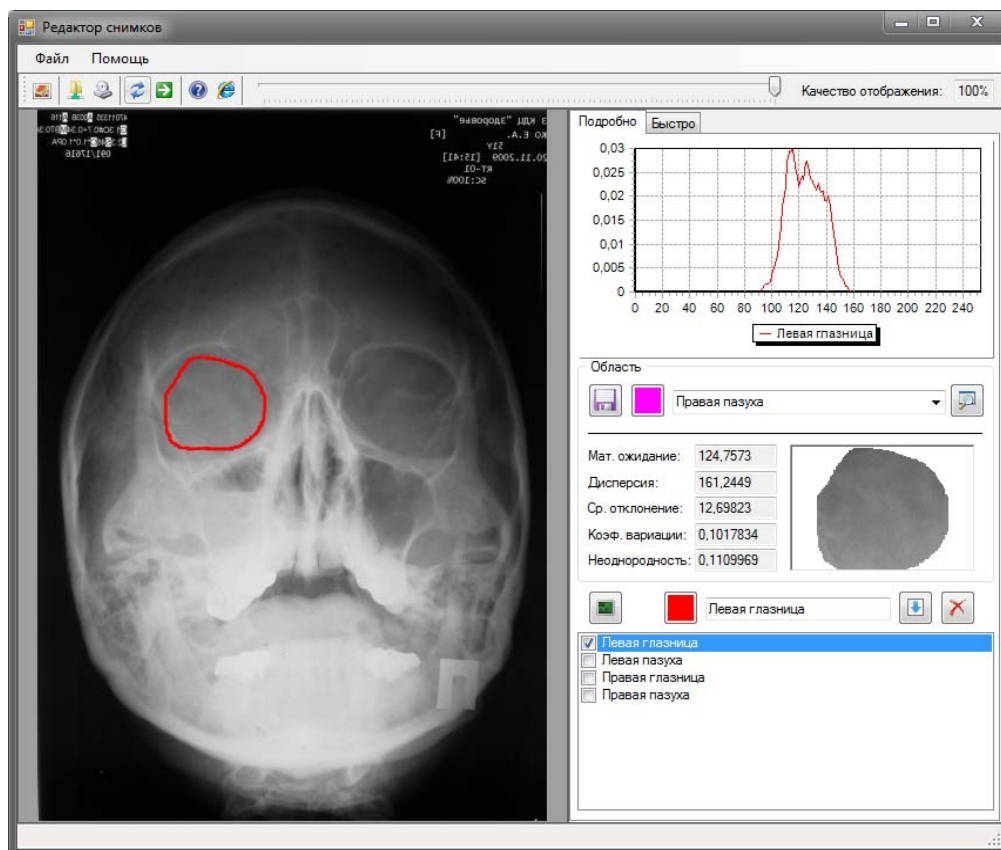


Рис. 1. Выделение эталонной области объекта

Экранная форма для работы посредством выделения эталонного и исследуемого фрагмента объекта, области объекта показана на рис. 2.

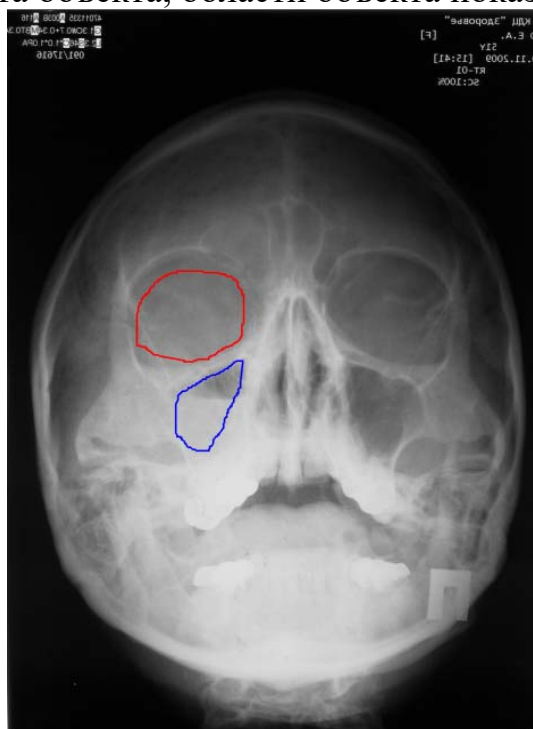


Рис. 2. Выделение эталонного и исследуемого фрагмента объекта

Пример экранной формы с результатами обработки эталонного и исследуемого фрагмента объекта показан на рис. 3.

На рис. 4 отдельно показан результат обработки исследуемого объекта при реализации метода диагностики, основанный на математической статистике, когда патология фрагмента исследуемого объекта отсутствует.

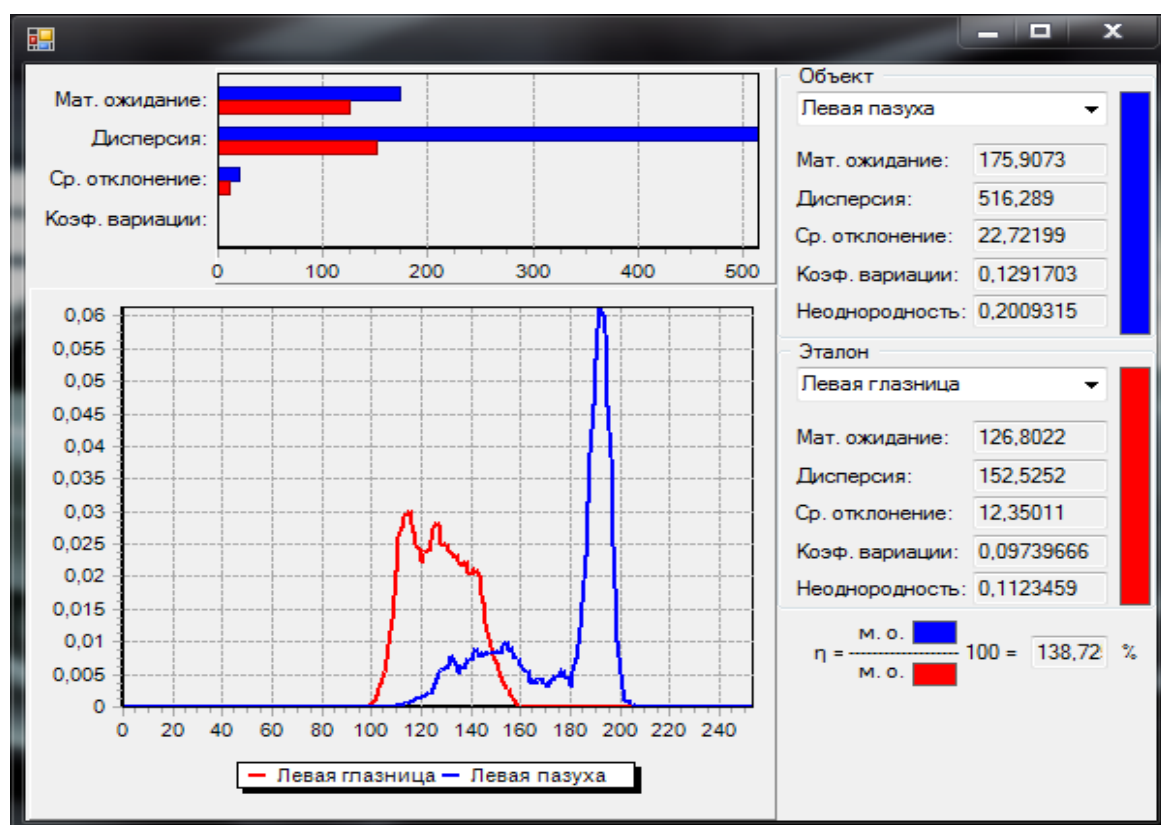


Рис. 3. Результаты обработки эталонного и исследуемого фрагмента объекта



Рис. 4. Отсутствие патологии фрагмента исследуемого объекта

На рис. 5 отдельно показан результат реализации метода диагностики, основанный на математической статистике, когда патология исследуемого объекта присутствует.

Вся информация об оцифрованных рентгеновских снимках пациентов хранится в электронном виде в базе данных (БД).

Снимки, содержащиеся в базе данных, предназначены для выполнения над ними процедур редактирования и анализа в процессе постановки диагноза.



Рис. 5. Наличие патологии исследуемого объекта расстояния между изображениями эталона и исследуемой области

Научная новизна. Результаты. Научная новизна заключается в синтезе алгоритмов реализуемых программными информационным обеспечением медицинской автоматизированной диагностической информационной системы при реализации, применении методов верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям для диагностики заболеваний и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям. Это позволило получить следующие результаты:

1. Разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм обработки рентгенографических изображений с использованием эталонного и безэталонного – информационно-энтропийного способов метода диагностики инвариантного к видам заболеваний (параназальных пазух при ЛОР – заболеваниях, бронхо-лёгочных заболеваниях).

2. Это позволило повысить качество обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний[6,7,8].

3. Разработанное программное обеспечение позволило повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза.

4. Разработано информационное обеспечение - структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечении[9,10,11].

5. Информационное обеспечение реализовано с возможностью инвариантности хранимой информации и моделей методов (способов) диагностики с целью возможности адаптации для различных лечебных учреждений.

6. Результаты работы прошли апробацию на девяти международных и семнадцати Всероссийских научно технических конференциях, в виде публикаций в научных журналах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блинков Н.Н., Мазуров А.И. Проблемы расширения диагностических возможностей медицинской рентгенографии // Мед. Техника. -2011 г., N5, с.1-5
2. Рожкова Н.И., Кочетова Г.П. Динамика технической оснащённости диагностической службы Российской Федерации за 2002-2010 г.г. // Мед. Техника. -2012 г., N2, с.1-5
3. Волков А.Г., Самойленко А.П., Проскуряков А.В. Метод диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. –X Международную научно-техническую конференцию «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2012) 2012, 63-67 с.
4. Проскуряков А.В., Самойленко А.П. АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР- заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы.– Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции

- «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С. 68-72.
5. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.
 6. *Проскуряков А.В., Смерчинский Д.В.* Информационное обеспечение интегрированной автоматизированной системы обработки данных результатов обследования в медицинском учреждении " Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 2 С.30-39 ISSN 1561-1531
 7. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.
 8. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.209-212.
 9. *Проскуряков А.В.* Верификация состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Ростов, Таганрог: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019», С.169 -175.
 10. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. -2020 г., N3, с.55-60.
 11. *Проскуряков А.В.* Информационное и программное обеспечение реализации методов верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям подсистемой принятия решений для диагностики заболеваний. Материалы X Международной научно-технической конференции «ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ» (ТРИС-2020), (05-10 октября 2020 г.) – Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020. – С 175-181.

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru.

Proskuryakov Alexander Viktorovich, senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru.

Аль-Карави Хуссейн Шукор Мукер, Турулин Игорь Ильич

УМЕНЬШЕНИЕ УРОВНЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В УПРАВЛЯЕМОМ ЦИФРОВОМ ФИЛЬТРЕ НИЖНИХ ЧАСТОТ БАТТЕРВОРТА НА БАЗЕ НЕСКОЛЬКИХ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ВХОДНОГО СИГНАЛА

В реальных сигналах обычно присутствуют различные помехи и шумы, и использование фильтра может уменьшить эти шумы. Иногда в цифровом фильтре в результате перестройки частоты среза (изменение его коэффициентов) в процессе работы (так называемый режим перестройки на лету) может возникать переходный процесс в виде выброса выходного сигнала. В статье предлагается метод снижения этого выброса для фильтра нижних частот Баттерворта. Путем моделирования доказано, что применение такой компенсации снижает уровень переходного процесса. Это уменьшение зависит от порядка фильтра, коэффициента перестройки (отношение частот среза до и после перестройки) и момента перестройки (моделировались периодические сигналы).

Цифровой фильтр; Баттерворт; управляемый; компенсация; переходный процесс; частота среза; фильтрация; MATLAB Simulink.

Hussein Sh. Mogheer, Turulin Igor Ilich

ELIMINATE THE NEGATIVE EFFECTS OF TRANSITION PROCESS IN CONTROLLED LOW PASS DIGITAL FILTER USING SEVERAL INPUT SIGNAL FILTERING PROCESSES

Signals suffer from various disturbances and noises in real life, using a filter can eliminate these noises and provide a clear signal. Sometimes a digital filter can experience a transient event, which is expressed in the overshoot of the signal. This transient process may, for example, result from a change in the cutoff frequency during the operation of the filter by changing its coefficients. In this article, a compensation technique to remove this overshoot using n^{th} order Butterworth LPF filter is proposed. It was found that the application of such compensation reduced the negative effects of the transition process. This decrease depends on the order of the filter, the adjustment coefficient (the ratio of cut frequencies before and after adjustment) and the moment of adjustment (for the periodic signal).

Digital filter; Butterworth; controlled; compensation; transient process; cutoff frequency; Filtering; MATLAB Simulink.

I. Introduction. Channel tuning, noise reduction, radar, audio processing, video processing, biomedical signal processing, and economic and financial data analysis are main domains where filters commonly used. Filters serve different purposes in data collection and analysis; such applications include adjusting the frequency of a time signal by decreasing\ increasing some frequencies[1],[2]. In signal processing, a filter is a frequency selective-device or circuit designed to pass signals with desired frequencies and reject or attenuate signals with unwanted frequencies [3]. In the other meaning, limit the frequency spectrum of a signal to some specified band of frequencies. The most common filters are low-pass, high-pass, band-pass, and band-stop filters. Figure (1) below shows the four main filter types, where we see that HPF is a high pass filter that passes high frequencies and cuts low frequencies, while LPF is a low pass filter that allows low frequencies to pass and cuts off high ones. A bandpass filter BPF is a filter that passes only a specific frequency range, while a band stop filter BSF is a filter that attenuates only a specific frequency range[4], [5].

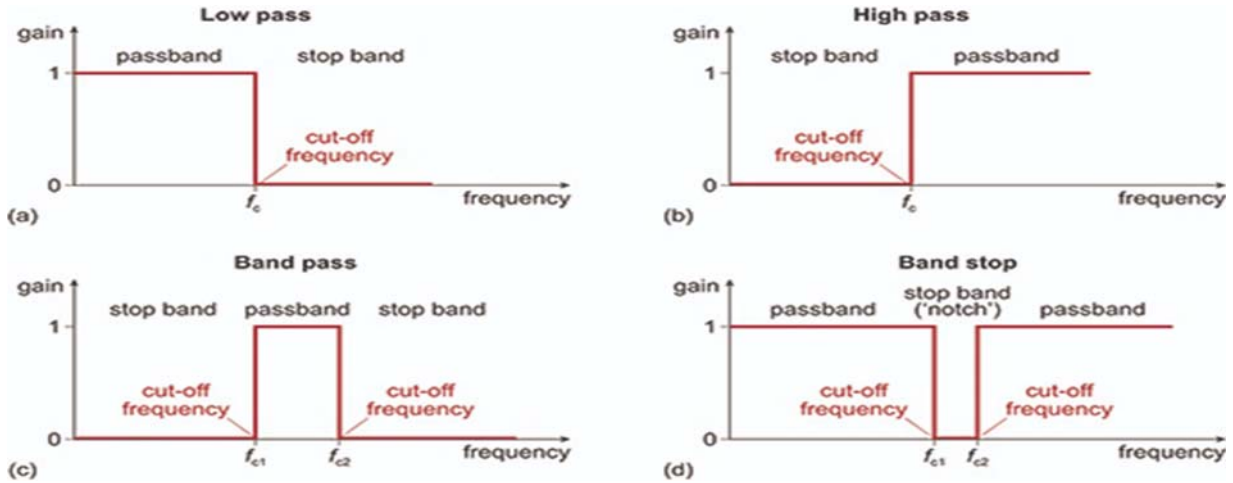


Fig. 1. Four types of ideal filter: (a) low-pass filter; (b) high-pass filter; (c) band-pass filter; (d) band-stop (notch) filter

The properties that describe a filter are its type (LPF, HPF, BPF, BSF), cut-off frequency (a frequency above which the filter will not pass the signal), and order (the number of coefficients of the filter, which will directly affect the slope of the transition band).

Controlled digital filter types can be implemented with two classifications: the finite impulse response (FIR) and the infinite impulse response (IIR). "impulse response" as a term refers to filters that operate in the time domain. Therefore, FIR is a filter whose impulse response is a finite period because it is nulled in a finite time, but IIR has internal feedback and always responds indefinitely [6].

The main advantage of IIR filters over FIR filters is their efficient implementation, which helps them meet passband, stopband, ripple and/or roll-off specifications. For this, we need a low-order IIR filter compared to a similar FIR filter. This effectively corresponds to less computation required. The best use of an IIR filter is when linearity and low-order taps are not an issue. The main disadvantages of IIR are instability, feedback, nonlinearity and finite period [7]. On the other hand, FIR can always exert linear behavior, it does not require feedback, its nature is stationary, it can easily be designed to meet a specific frequency response, and has no finite period. The disadvantage of FIR filters is that they require more memory and processing power than IIRs of comparable sharpness or selectivity, especially at low order taps [8], [9].

There are several prototypes (methods) for IIR and FIR filters, which are chosen to best suit a particular application. Figure (2) below shows the finite impulse response (FIR) filter approach. We can see the following: In Chebyshev method We have the least number of ripples in the stopband, however, we have

the widest transition band. The transition area of the Hamming method is narrow, and the ripple is smaller than that of the Hanning method. The Kaiser method has lower amplitude ripple in the stop region. The narrowest transition band was found in Hanning method, on the other hand it has a large stopband ripple. The rectangular method has the highest number of ripples/lobes and even affects the passband [9] [10].

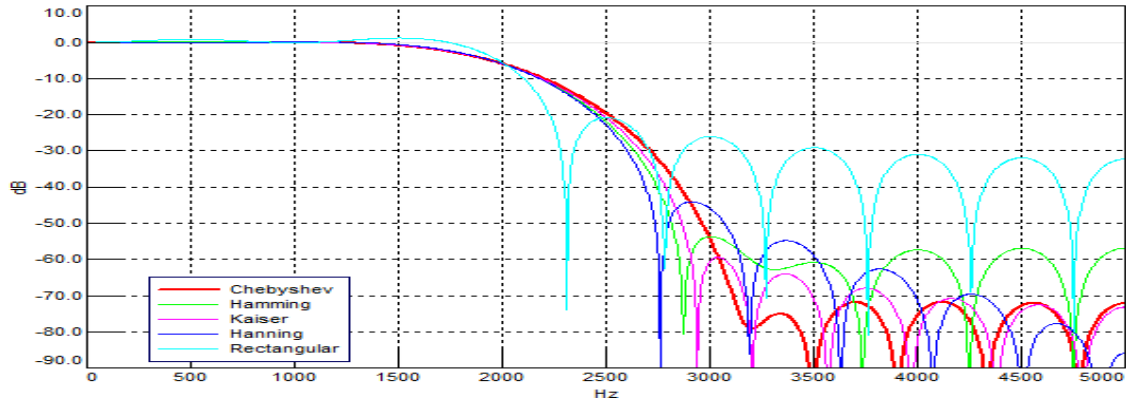


Fig. 2. The methods for FIR filters

Figure (3) below compares between low-pass IIR filters of the same order and cutoff frequency. From this picture we can see that the Butterworth method has a flat response in both passband and stopband, but a wide transition region. The inverse Chebyshev method compared with the Butterworth filter has flatness in the passband and slighter transition width, but ripples in the stopband. If ripple in the stopband is of no issue, Butterworth filter is to be used for a certain application [11]. Chebyshev method produces ripples in the passband. In comparison with the Inverse Chebyshev, it has a steeper roll-off. The Causer method has the narrowest transition width and has ripple in stopband and passband. That is why it is named the elliptic filter. The Bessel method has a sloped magnitude in both passband and stopband, with a very wide transition region. The delay versus frequency in the filter is the flattest among the other mentioned methods [12].

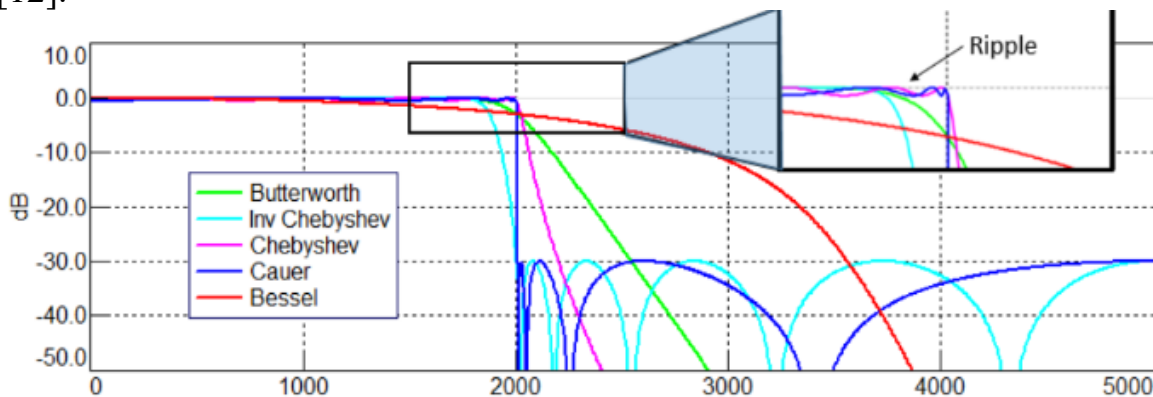


Fig. 3. Comparison of low pass IIR filters with same order and cutoff frequency

II. Problem formulation. Around we have an input signal that we want to filter it to obtain an ideal output then subtract this ideal signal from the real signal. As a result of subtraction, there will be a transient process and an overshoot occurs at its output. It is a negative factor that is represented by a transient process arising at the time of adjustment of the filter (abrupt change in its coefficients). Thus, the problem of transient compensation arises.

III. Steps of work. In this article, we will take the following steps to solve the overshoot problem:

1. Design a filter for an input signal at certain cutoff frequency using n th order LPF filter and obtain the output signal for all time domain
2. Design a second filter at another cutoff frequency and obtain an ideal signal at the output.
3. Subtract the ideal signal from real signal to obtain the transient signal.
4. Repeat the process for different cutoff frequencies.
5. Compensate for the transit process that happened when we were changing the coefficients of filter to represent different cutoff frequencies.

IV. Filter Design Method and Parameter Consideration. In this article we are used a low pass filter, a Butterworth 5th order is chosen, and the output of this filter can be described as follows:

$$y_{n+i} = \sum_{k=0}^M a_k x_{(n+i)-k} + \sum_{k=1}^N b_k y_{(n+i)-k} \quad (1)$$

Where: y is the output signal, x is the input signal, a and b are filter coefficients. Butterworth 5th configuration according to equation (1) is shown in figure (4).

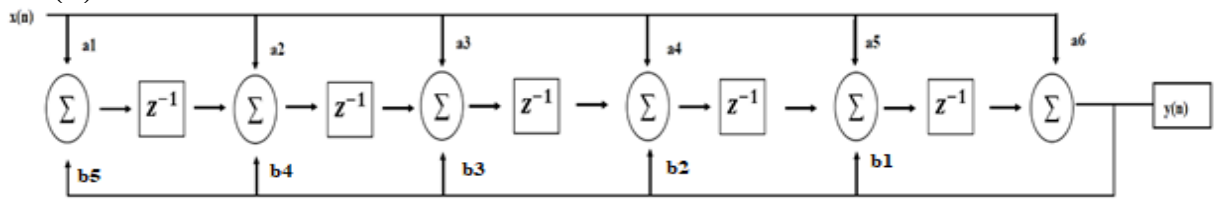


Fig. 4. Butterworth 5th filter

A.The Input signal specifications. Input signal is a sine wave signal with the following parameters as shown in figure (5): *Amplitude =1, Frequency = 60 Hz and Sampling time = 1/500.*

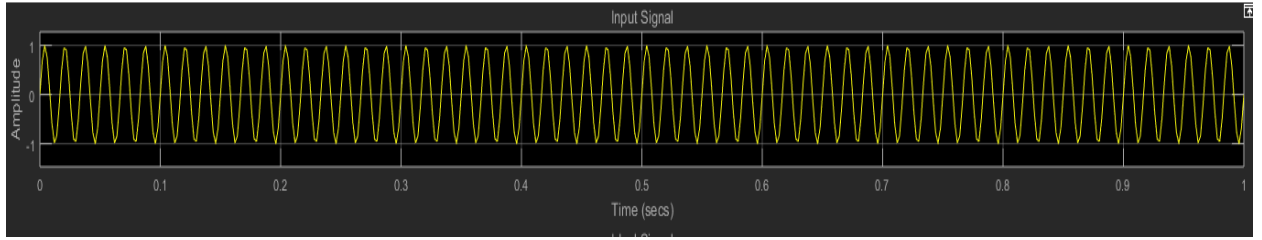


Fig. 5. The input signal

B. Obtaining the ideal signal. To obtain the ideal signal we introduce the input signal to Butterworth filter of 5th order with 2.5 kHz cutoff frequency. Then to make this signal better we introduce the input signal separately to 3 other Butterworth 5th filters with 2, 3.5, 3.8 cutoff frequency respectively. MATLAB Simulink for Butterworth 5th filter is presented in figure (6). Figure (7) demonstrated the configuration of obtaining ideal signal using MATLAB Simulink.

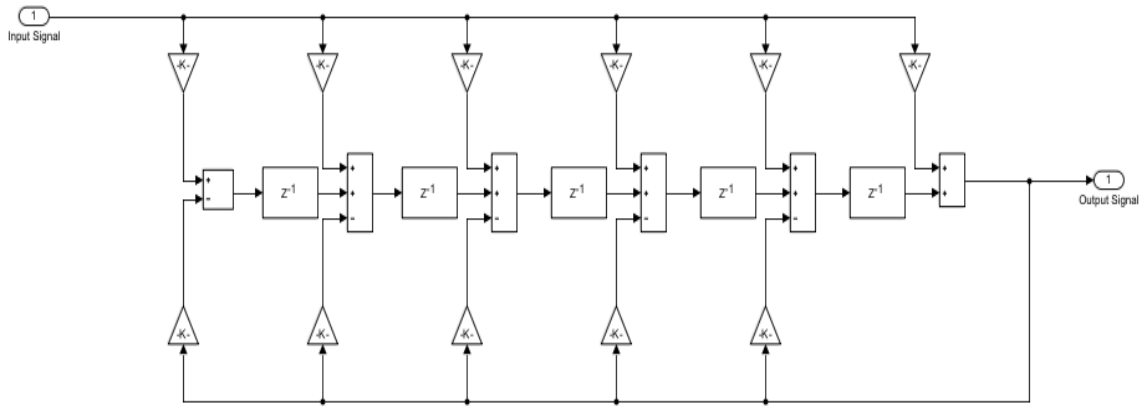


Fig. 6. Butterworth 5th order filter with 2.5 kHz cutoff frequency

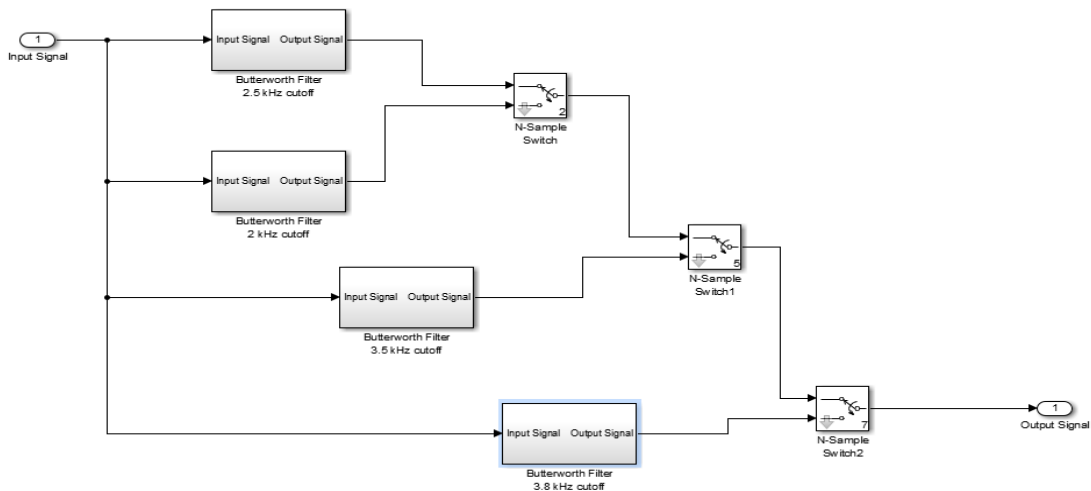


Fig. 7. Obtaining ideal signal using MATLAB Simulink

MATLAB gives filter coefficients by defining filter type, order, and cutoff frequency. Table (1) is explained the coefficients that are used for different cut-off frequencies. Also, the resulted ideal signal is shown in figure (8).

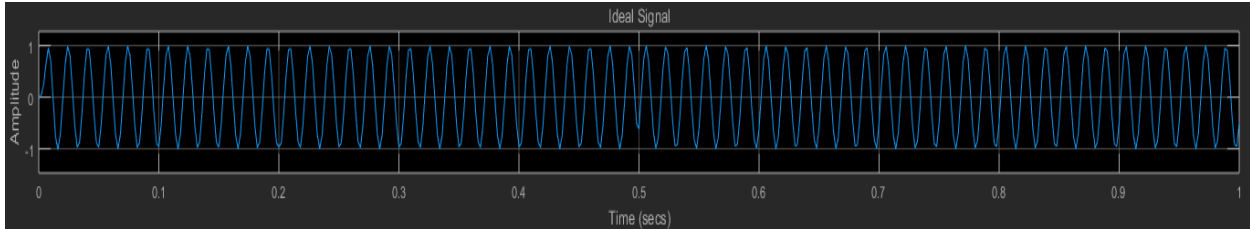


Fig. 8. the ideal Signal

Table

		The filter coefficients for different cutoff frequencies					
Cutoff frequency		Coefficient					
		1	2	3	4	5	6
2.5 kHz	a	0.05278	0.26393	0.52786	0.52786	0.26393	0.05278
	b	0	0.63343	0	0.05572	0	-
2 kHz	a	0.0219	0.1097	0.2194	0.2194	0.1097	0.0219
	b	-0.9853	0.9738	-0.3864	0.1112	-0.0113	-
3.5 kHz	a	0.2019	1.0094	2.0189	2.0189	1.0094	0.2019
	b	1.9759	2.0135	1.1026	0.3276	0.0407	-
3.8 kHz	a	0.2844	1.4220	2.8439	2.8439	1.4220	0.2844
	b	2.5744	2.9939	1.8507	0.6007	0.0809	-

C.Obtaining the real signal and the overshoot compensation process. In real life we can't confirm what is the source of disruption, an overshoot occurs when we change the frequency for instance. The filter transition band is part of the amplitude-frequency response between the bandwidth boundary and the barrier band boundary. The transient process is the overshoot (pulse) on the time diagram of the output signal as shown in figure (10). This pulse is a consequence of the change in the coefficients (parameters) of the filter during filtering (this is called "adjustment on the fly") [13]. Also, this real signal where we can see the overshoot clearly is presented in figure (10).

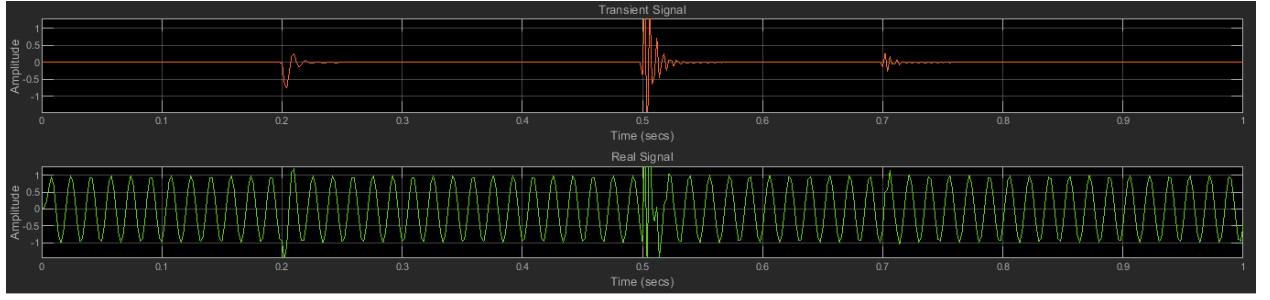


Fig. 10. The real and transient signals without compensation process

Since the digital filter can be described as a linear difference equation (1), at the time of adjustment of the filter, each increment of the coefficients gives a jump. To compensate for this overshoot and obtain a clear real signal, one can subtract ideal signal from real signal and add the subtraction to the output of the filter as shown in figure (11).

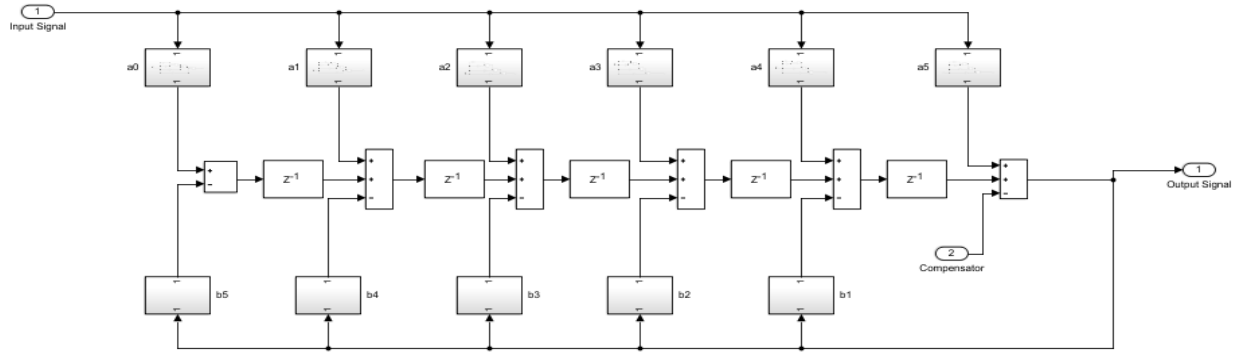


Fig. 1. Overshoot compensation process structure

Where the real signal and transient signal after the compensation implementation is shown in figure (11).

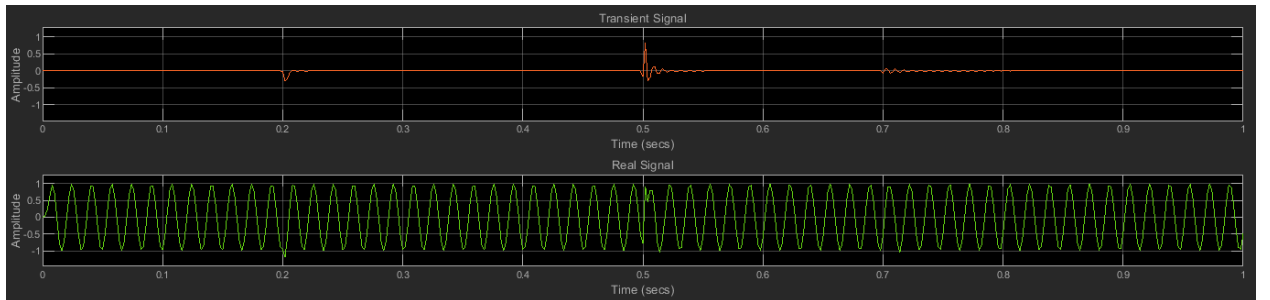


Fig. 11. Real and transient signals after compensation process

Conclusion. Using a Butterworth 5th filter we were able to obtain a clear as possible as real signal and eliminating the overshoot that occurs when a frequency is changed. During the filtering of the input signal, one can noticed that for the frequency change in small steps (3.5 to 3.8 kHz) the overshoot value was

small, and one might need no compensation if the frequency (filter coefficients) was changing the not sharply, but more smoothly. Or in a few steps. Verifying the source and the type of disruption as well as the time it occurs will help to compensate for it. The proposed method demonstrates that we can eliminate the negative effects of the transition process by using several input signal filtering processes to obtain a clear real signal with minimum to no disruption.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Piskorowski J., De Anda M. Á. G.* A new class of continuous-time delay-compensated parameter-varying low-pass elliptic filters with improved dynamic behavior //IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. – 2008. – Т. 56. – №. 1. – С. 179-189.
2. *Piskorowski J.* Phase-compensated time-varying Butterworth filters //Analog Integrated Circuits and Signal Processing. – 2006. – Т. 47. – №. 2. – С. 233-241.
3. *Asker M. A. et al.* Design and Analysis of Robot PID Controller Using Digital Signal Processing Techniques //International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Т. 7. – №. 4.37. – С. 103-109.
4. *Wang Y., Ding F., Xu L.* Some new results of designing an IIR filter with colored noise for signal processing //Digital Signal Processing. – 2018. – Т. 72. – С. 44-58.
5. *Lutovac M. D., Tošić D. V., Evans B. L.* Filter design for signal processing using MATLAB and Mathematica. – Miroslav Lutovac, 2001.
6. *Lai E.* Practical digital signal processing. – Elsevier, 2003.
7. *Diniz P. S. R., Da Silva E. A. B., Netto S. L.* Digital signal processing: system analysis and design. – Cambridge University Press, 2010.
8. *Oshana R.* DSP for Embedded and Real-time Systems. – Elsevier, 2012.
9. *Wan hammar L., Yu Y. J.* Digital filter structures and their implementation //Academic Press Library in Signal Processing. – Elsevier, 2014. – Т. 1. – С. 245-338.
10. *Bansal D.* Real-Time Data Acquisition in Human Physiology: Real-Time Acquisition, Processing, and Interpretation—A MATLAB-Based Approach. – Academic Press, 2021.
11. *John Semmlow,* in Signals and Systems for Bioengineers (Second Edition), 2012.
12. *Wilson P.* Design recipes for FPGAs: using Verilog and VHDL. – Newnes, 2015.

13. Турулин И. и др. Управляемые цифровые фильтры. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2016.

Хуссейн Ш. Мукер – Южный федеральный университет; e-mail: alkaravi@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия, тел.: +79612936340; кафедра теоретических основ радиотехники; аспирант.

Турулин Игорь Ильич – e-mail: iiturulin@sfedu.ru; тел.: +79618170609; кафедра теоретических основ радиотехники; д.т.н.; профессор.

Hussein Sh. Mogheer – Southern Federal University; e-mail: alkaravi@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79612936340; the department of theoretical foundations of radio engineering; postgraduate student.

Turulin Igor Ilich – e-mail: iiturulin@sfedu.ru; phone: +79618170609; the department of theoretical foundations of radio engineering; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.3.01

Клевцов Сергей Иванович

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВРЕМЕННОГО РЯДА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО АДАПТИВНО- ГО ФИЛЬТРА

Рассматривается метод оценки изменения параметра системы, основанный на использовании линейного адаптивного фильтра на основе авторегрессии. Метод эффективен для краткосрочного прогнозирования быстроменяющейся физической величины. Определены ограничения на использование метода.

Временной ряд, линейный фильтр, прогнозирование, адаптация

Klevtsov Sergey Ivanovich

ESTIMATION OF CHANGES IN THE TIME SERIES OF A PHYSICAL QUANTITY USING A LINEAR ADAPTIVE FILTER

A method for estimating the change in a system parameter based on the use of a linear adaptive filter based on autoregression is considered. The method is effective for short-term forecasting of a rapidly changing physical quantity. Restrictions on the use of the method are defined.

Time series, linear filter, forecasting, adaptation

Введение

Для прогнозирования значений параметров технических объектов и физических переменных в реальном времени удобно использовать модели временных рядов. Однако, при этом необходимо учитывать особенности съема информации для прогнозирования, связанные с цифровой обработкой сигналов. Поскольку шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим, таким, что изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов будет незначительным, при построении модели временного ряда можно использовать линейные адаптивные фильтры. Это позволит повысить точность прогнозирования и снизить погрешности. Причем, данным процессом можно управлять. В отличие от широко используемого экспоненциального сглаживания [1, 2, 3], горизонт прогнозирования в этом случае обычно составляет шаг съема информации, что ограничивает применение метода. Однако, в ряде случаев прогнозирование на шаг интервала дискретизации достаточно для принятия решения по управлению техническим объектом.

Прогнозирование параметра с использованием линейного адаптивного фильтра

Поскольку операция линейной фильтрации, по сути, заключается в вычислении взвешенной суммы предыдущих вычислений, рассмотрим модель вида [1]

$$S = \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i, \quad (1)$$

где S – взвешенная средняя;

ω_i – вес, приписываемый i -му наблюдению;

x_i – значение переменной, которое снято с датчика в момент t_i ;

l – количество наблюдений, используемое при расчете суммы S .

Прогноз следующего члена ряда может быть получен с помощью взвешенной суммы l прошлых членов ряда:

$$\hat{x}_1(t) = S, \quad (2)$$

где S – взвешенная средняя согласно (1).

Выражение (2) представляет собой авторегрессию порядка l .

Погрешность прогноза на 1 шаг интервала дискретизации определяется выражением:

$$\varepsilon_{t+1} = x_{t+1} - \hat{x}_1(t) = x_{t+1} - \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i.$$

Будем минимизировать квадрат погрешности прогноза:

$$\varepsilon_{t+1}^2 = x_{t+1}^2 - 2 \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i x_{i+1} + \sum_{i=t-l+1}^t \sum_{j=t-l+1}^t \omega_i \omega_j x_i x_j. \quad (3)$$

При поиске минимума функции (3) воспользуемся методом наискорейшего спуска.

Схема заключается в реализации следующих этапов:

1. Выбор начальной точки на поверхности Ω , которая определяется выражением (3).
2. Определение направления движения по поверхности с целью минимума ошибки.
3. Определение на каждом шаге движения новых откорректированных весов вектора W , который минимизирует выражение (3).

Согласно [1] корректировка весов может осуществляться в соответствии с соотношением:

$$W_{t+1} = W_t - k \cdot \nabla(\varepsilon_{t+1}^2), \quad (4)$$

где W_t – вектор весов на момент времени t ; W_{t+1} – новый вектор весов, а момент времени $t+1$; k – коэффициент адаптации ($k > 0$); $\nabla(\varepsilon_{t+1}^2)$ – градиент ε_{t+1}^2 , вектор.

Градиент с отрицательным знаком указывает на кратчайшее направление к достижению минимума поверхности (3).

$$\nabla(\varepsilon_{t+1}^2) = \left\{ \frac{\partial \varepsilon_{t+1}^2}{\partial \omega_1}, \frac{\partial \varepsilon_{t+1}^2}{\partial \omega_2}, \dots, \frac{\partial \varepsilon_{t+1}^2}{\partial \omega_l} \right\}.$$

Тогда

$$\frac{\partial \varepsilon_{t+1}^2}{\partial \omega_i} = 2\varepsilon_{t+1} \frac{\partial \varepsilon_{t+1}}{\partial \omega_i} = -2\varepsilon_{t+1} x_i.$$

Отсюда следует, что

$$\nabla(\varepsilon_{t+1}^2) = -2\varepsilon_{t+1} \cdot \vec{X},$$

где \vec{X} – вектор значений переменной.

Тогда (4) преобразовывается в

$$\vec{W}_{t+1} = \vec{W}_t + 2k\varepsilon_{t+1}\vec{X}.$$

Схема прогноза выглядит следующим образом:

1. На момент t имеем измеренное значение x_t . Прогноз $\hat{x}_1(t)$ определяется по формуле

$$\hat{x}_1(t) = \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i.$$

2. При измерении значения x_{t+1} определяем ошибку прогноза по формуле

$$\varepsilon_{t+1} = x_{t+1} - \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i.$$

3. Определяем новые коэффициенты ω_i^H , то есть получаем вектор

$$\vec{W}_{t+1} = \{\omega_1^H, \omega_2^H, \dots, \omega_l^H\}^T$$

по формуле

$$\vec{W}_{t+1} = \vec{W}_t + 2k\varepsilon_{t+1} \cdot \vec{X},$$

где $\vec{W}_t = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_l\}^T$, \vec{X} - вектор l последних измерений, т.е. $\vec{X} = \{x_{t-l+1}, x_{t-l+2}, x_{t-l+3}, \dots, x_t\}$.

4. Прогнозируемое значение $\hat{x}_1(t+1)$, то есть на момент $t+2$ определяется по формуле

$$\hat{x}_1(t+1) = \sum_{i=t-l+2}^{t+1} \omega_i x_i.$$

Исследование возможности использования адаптивного временного ряда для прогнозирования изменения быстропеременного параметра проводилось на основе данных об изменении ускорения, снимаемых с 3-х осевого акселерометра, установленного на автомобиле [4, 5, 6, 7].

Зависимость ускорения от времени характеризует существенный разброс значений. Шаг съема данных составлял $h = 0,015625$ сек. Моделирование проводилось на временном участке от 8 до 9 сек.

В процессе моделирования параметр адаптации k изменялся от 0,05 до 2,0. Прогнозирование проводилось на один интервал считывания значений ускорения (шаг прогнозирования $\tau = h$). Исходные данные использовались без предварительной обработки (без усреднения и обработки выбросов). Результаты моделирования приведены ниже.

Анализ результатов моделирования показывает, что с увеличением параметра k прогнозирующая кривая более точно повторяет контур исходной зависимости на участке резкого роста с небольшим сглаживанием на остальных участках (рис. 1). При этом прогноз осуществляется с запаздыванием.

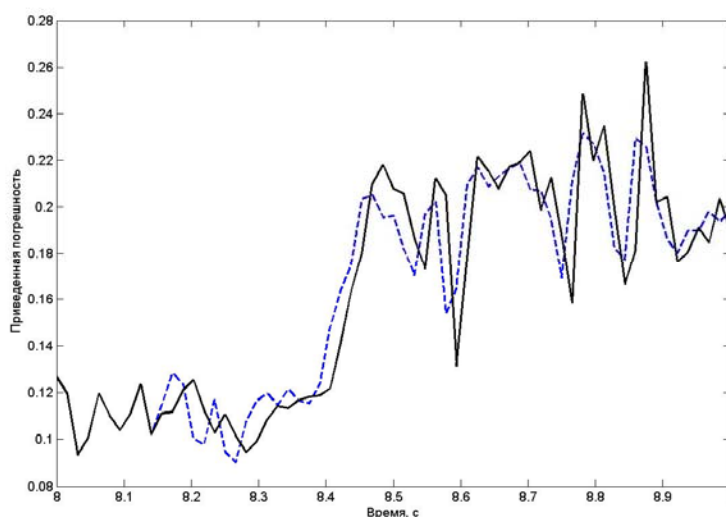


Рис. 1. Графики изменения ускорения (сплошная линия) и прогнозного значения ускорения (штрихованная линия) при $k = 2,0$

При малых значениях параметра k модель работает, как сглаживающий фильтр. При $k = 0,05$ кривая, получаемая в результате применения модели, повторяя в целом контур исходной зависимости, сглаживает имеющиеся в исходной зависимости резкие всплески сигнала (рис.2).

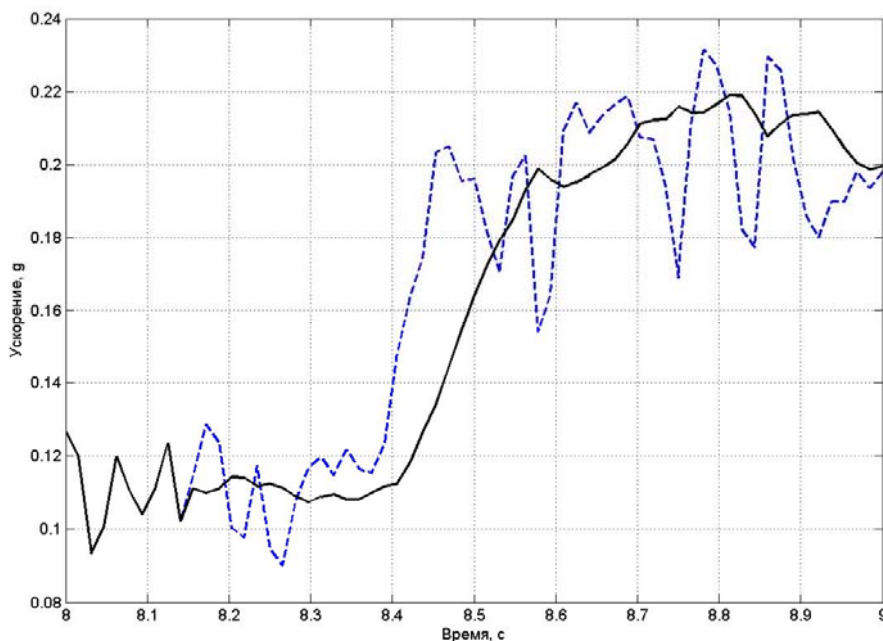


Рис. 2. Графики изменения ускорения (сплошная линия) и прогнозного значения ускорения (штрихованная линия) при $k = 0,05$

Заключение

Сравнение результатов прогнозирования, проведенных на одной и той же экспериментальной выборке данных на один шаг прогнозирования с помощью данной модели и модели на основе многократного экспоненциального сглаживания [5, 6] показывает, что обе модели в целом эквивалентны с позиции приведенной погрешности. В процессе моделирования приведенная погрешность не превышала значения 0,3, снижаясь до значения 0,2 при использовании параметра k в диапазоне, ориентировочно, от 0,5 до 2,0.

Разработанная модель и методика прогнозирования могут быть использованы при осуществлении предварительной оценки состояния параметра технического объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416с.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 197с.
3. Клевцов С.И. Особенности выбора параметров настройки модели сглаживающего временного ряда для осуществления краткосрочного прогнозирования изменения физической величины// Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – №5(118). – С. 133-138.
4. Terry D. Day and Allen R. York. Validation of DyMESH for Vehicle vs Barrier Collisions. – SAE Paper № 2000-01-0844
5. Terry D. Day. Validation of the SIMON Model for Vehicle Handling and Collision Simulation – Comparison of Results with Experiments and Other Models. – SAE Paper № 2004-01-1207
6. Никонов В.Н. Проверка метода DyMesh. Учреждение центр независимой экспертизы на автомобильном транспорте «ЦНЭАТ». Институт механики Уфимского научного центра РАН. - <http://www.cneat.ru/nikonov-9.htm>
7. Клевцов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля//Известия ЮФУ. Технические науки. –Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, №5(106), 2010. - С.43-48.

Клевцов Сергей Иванович, Южный федеральный университет, доцент, кандидат технических наук, E-mail: sergkmpps@mail.ru, 347900, Таганрог, ул. Петровская, 81, Тел. (8634) 328025.

Klevtsov Sergey Ivanovich, Southern Federal University, the senior lecturer, a Cand. Tech. Sci., E-mail: sergkmpps@mail.ru, Petrovsky, 81, Taganrog, 347900, Russia, Phone: (8634) 328025.

УДК 621.311

Петушков Петр Александрович, Левин Владимир Михайлович

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

С целью организации достоверной диагностики маслonaполненного трансформаторного оборудования на подстанциях электрической сети предложен

ряд информативных признаков дефектов. Приводятся результаты статистического анализа признаков с выявлением основных свойств и характеристик, имеющих значение для формирования модели статистической классификации и распознавания образов. Используемый при этом метод байесовской классификации позволяет сформировать достаточно простую математическую модель и обеспечить высокую степень достоверности распознавания бездефектного состояния любого из трансформаторов контрольной группы с учетом значимых эксплуатационных факторов. Полученные результаты иллюстрируются и обсуждаются на реальном числовом примере, взятом из практики эксплуатации распределительных силовых трансформаторов.

Трансформатор, диагностика, признак дефекта, распознавание состояний, классификатор, статистический анализ, модель.

Petushkov Petr Aleksandrovich, Levin Vladimir Mikhailovich

DEFECTS SIGNS STATISTICAL ANALYSIS FOR CLASSIFYING THE TRANSFORMERS CONDITIONS

In order to organize reliable diagnostics of oil-filled transformer equipment at substations of the electrical network, a number of informative signs of defects are proposed. The results of statistical analysis of features with the identification of the main properties and characteristics that are important for the formation of a model of statistical classification and pattern recognition are presented. The Bayesian classification method used in this case makes it possible to form a fairly simple mathematical model and ensure a high degree of reliability in recognizing the defect-free state of any of the transformers of controlling group, taking into account significant operational factor. The results obtained are illustrated and discussed using a real numerical example taken from the practice of operating distribution power transformers.

Transformer, diagnostics, defect sign, state recognition, classifier, statistical analysis, model.

Введение

Своевременная и достоверная диагностика силового маслонаполненного оборудования, эксплуатируемого на подстанциях электрической сети имеет важное значение для его надежного функционирования, а, следовательно, бесперебойного электроснабжения потребителей. Одной из главных задач технической диагностики является выбор информативных признаков дефектов и метода для формирования модели, описывающей взаи-

мосвязь пространства состояний объектов с набором контролируемых диагностических признаков [1,2].

Учитывая, что объектами исследования в данной статье являются силовые маслonaполненные трансформаторы (СМТ), с точки зрения их технического состояния наиболее информативен следующий набор контролируемых признаков: концентрации газов (измеряются в результате хроматографического анализа растворенных в масле газов, ХАРГ) и токи нагрузки в обмотках (фиксируются при отборе проб масла на ХАРГ). Такое сочетание параметров согласуется с физикой процессов нагрева масла и повышения концентраций характерных газов, связанного либо с перегрузкой СМТ, либо с возникновением в нем опасного развивающегося дефекта [3].

В качестве методов обработки данных для формирования диагностической модели целесообразно применение одного из методов, представленных в исследованиях [4-8]. Это предполагает необходимость предварительного статистического анализа с эффективной редукцией размерности исходного пространства признаков. С учетом сказанного актуально применение метода статистической классификации, основанного на байесовской процедуре распознавания образов [7,11].

Основная часть

Исходными данными для проведения статистического анализа признаков служат цензурированные выборки протоколов ХАРГ и токов нагрузки СМТ одинакового класса номинального напряжения, эксплуатируемых и диагностируемых в сопоставимых условиях. Минимальный объем цензурированных выборок, как показали исследования, должен составлять от 50 до 100 записей, то есть быть сформирован по некоторой временной ретроспективе. Это обеспечивает однородность и представительность выборочных данных, но не исключает возможности проверок соответствующих статистических гипотез [9, 10].

Согласно [3] размерность исходного пространства диагностических признаков, оцениваемых по ХАРГ, составляет 7 (H_2 - водород, CH_4 - метан, C_2H_4 - этилен, C_2H_6 - этан, C_2H_2 - ацетилен, CO , CO_2 – оксиды углерода, что характеризуется полимодальностью случайных распределений и затрудняет их использование для построения адекватной модели распознавания. Редукция размерности признакового пространства с применением свертки вида (1) позволяет эффективно решить указанную проблему.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^7 \left(\frac{A_i}{A_{\text{гpi}}} \right)^2}{\sum_{i=1}^7 \frac{A_i}{A_{\text{гpi}}}} \quad (1)$$

где $A_i, A_{\text{гpi}}$ – измеренные и предельные концентрации диагностических газов, ($i = \overline{1,7}$). При этом 7-ми мерное пространство признаков трансформируется на положительную числовую ось $F \in [0 \div \infty)$. Одним из этапов статистического анализа любой случайной величины служит определение числовых и интегральных характеристик вариационного ряда [9]. В качестве числового примера в докладе рассмотрена группа СМТ подстанций 110 кВ одного из районов распределительной электрической сети. Количество СМТ контрольной группы равно 18. Ретроспектива протоколов ХАРГ глубиной 5 лет позволяет сформировать выборки признаков размерностью $N = 329$ записей. Методика ХАРГ [3] содержит критерий граничных концентраций, который позволяет произвести предварительную классификацию состояний СМТ на два класса:

$$\begin{aligned} A_i &\leq A_{\text{гpi}}, \text{ класс состояний } \Pi_1 \text{ "норма",} \\ A_i &> A_{\text{гpi}}, \text{ класс состояний } \Pi_2 \text{ "отклонения от нормы".} \end{aligned} \quad (2)$$

Трансформация вектора $\{A_i\}$ на числовую ось F преобразует правило классификации (2) к виду (3):

$$\begin{aligned} F &\leq F_{\text{гр}}, \text{ класс состояний } \Pi_1 \text{ "норма",} \\ F &> F_{\text{гр}}, \text{ класс состояний } \Pi_2 \text{ "отклонения от нормы",} \end{aligned} \quad (3)$$

где $F_{\text{гр}}$ – граница раздела классов Π_1 и Π_2 , определяемая статистически [7]. При условии распределения случайной величины F по двухпараметрическому квазинормальному закону с числовыми характеристиками M – математическое ожидание и σ – среднеквадратическое отклонение, справедливо выражение:

$$F_{\text{гр}} \approx M + k \cdot \sigma.$$

Здесь k – вычислительная константа, подбираемая эмпирически из интервала $2 \div 3$ по условию минимальной суммарной ошибки распознавания [1].

Токи нагрузки СМТ, фиксируемые в момент отбора проб масла на ХАРГ, являются важным режимным фактором, определяющим интенсивность использования СМТ на подстанциях электрической сети. Увеличение токов нагрузки в обмотках бездефектных СМТ сопровождается повышенным нагревом и ростом концентраций так называемых "нагревных" газов, растворенных в масле (прежде всего CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6). При возникно-

влении в СМТ развивающихся дефектов концентрации характерных газов увеличиваются независимо от уровня токов нагрузки. С целью удобства выразим ток нагрузки i -го СМТ в виде безразмерного коэффициента загрузки ($K_{\text{загр}}$). Для того, чтобы математическая модель распознавания бездефектного состояния СМТ правильно работала и была адекватна исследуемым процессам с высокой достоверностью, необходимо выполнить следующий этап статистического анализа – выявление корреляционной связи между случайными параметрами (факторами) F , $K_{\text{загр}}$ и построение уравнения регрессии. Количественным показателем тесноты корреляционной связи служит коэффициент линейной корреляции:

$$R_{F, K_{\text{загр}}} = \frac{(M_{F, K_{\text{загр}}} - M_F \cdot M_{K_{\text{загр}}})}{(\sigma_F \cdot \sigma_{K_{\text{загр}})}},$$

который принимает значения от -1 до 1 . Сила корреляционной связи оценивается по шкале Чеддока, согласно которой $0,1 < R_{F, K_{\text{загр}}} < 0,3$ соответствует нелинейной корреляционной связи.

Возвращаясь к рассматриваемому примеру, приведем числовые (табл. 1), и интегральные характеристики, такие как функция и плотность распределения случайной величины F (рис.1). В результате расчета $R_{F, K_{\text{загр}}}$ получено значение $0,22$, что определяет необходимость аппроксимации корреляционной зависимости $F_{\text{гр}}(K_{\text{загр}})$ нелинейной функцией вида:

$$F_{\text{гр}} = A \cdot \exp(B \cdot K_{\text{загр}}).$$

Таблица 1

Результаты оценки числовых характеристик F

Характеристика	Значение
Математическое ожидание	0,228933407
Стандартное отклонение	0,175464612
Медиана	0,173444
Мода	0,390889

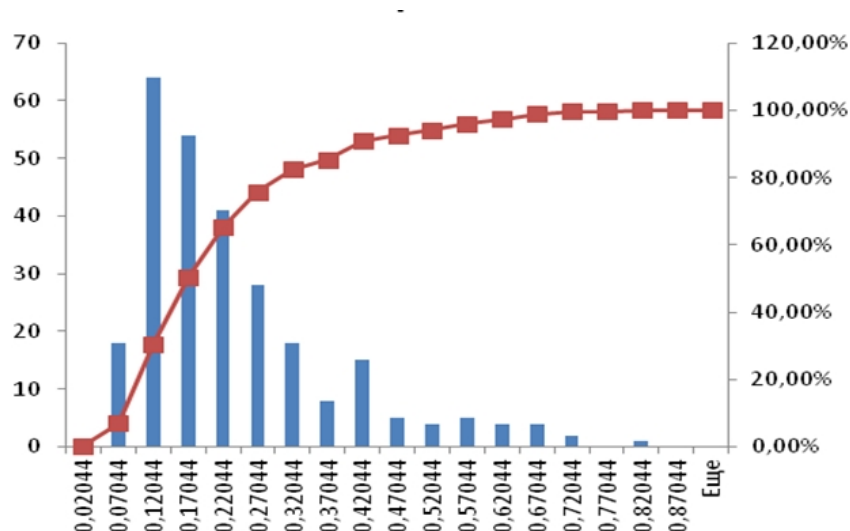


Рис.1. Гистограмма относительных частот и функция распределения F

Выводы

Проведенные исследования с применением метода статистической классификации и распознавания образов убеждают в необходимости предварительного статистического анализа информативных диагностических признаков. Количественная оценка статистических характеристик вариационных рядов признаков является необходимым и достаточным условием выбора адекватного вида корреляционной функции и настройки значений ее вычислительных констант для достоверной классификации состояний СМТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. – Москва : Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Алексеев Б.А. Системы непрерывного контроля состояния крупных силовых трансформаторов URL: <http://www.transform.ru/articles/html/Obexploitation/a000042.article> (дата обращения: 15.05.2022).
3. РД 153-34.0-46.302–00 Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. – Москва : Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 25 с.
4. Гатауллин А.М. Система мониторинга и диагностирования высоковольтного оборудования на основе анализа статистических параметров ЧР // Изв. вузов. Сер. Проблемы энергетики. – 2013. – № 7-8. – С. 19–26.
5. Фархадзаде Э.М. и др. Методы статистического моделирования случайных величин по эмпирическим распределениям // Изв. вузов. Сер. Про-

- блемы энергетики. – 2008. – № 9-10. – С. 112–120.
6. *Давиденко И.В., Комаров В.И.* Применение методов математической статистики для получения критериев оценки состояния силовых трансформаторов по результатам хроматографического анализа растворенных в масле газов // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2003. – №1. – С. 37–41.
 7. *Левин В.М.* Статистический метод распознавания дефектов в силовых трансформаторах при их техническом обслуживании по состоянию // Промышленная энергетика. – 2013. – №8. – С. 37–42.
 8. *Захаров А.В.* Корреляционные характеристики диагностических параметров газов, растворенных в масле, при нормальном режиме работы трансформатора // НРЭ. – 2002. – № 1. – С. 36–40.
 9. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистик. – Москва : Высш. образование, 2008. – 479 с.
 10. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – Москва: Наука, 1983. – 416 с.
 11. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов. – Москва : Наука, 1979. – 368 с.

Петушков Петр Александрович, главный специалист ООО «КОТЭС Инжиниринг», Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 182/1, 630049, телефон: +7 (383) 319-62-79, доб. 133, моб.: +7 (913) 478-91-38 email: petr.petushkov@cotes-e.com, petushkov@bk.ru.

Левин Владимир Михайлович, заведующий кафедрой автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета, доктор технических наук, Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20, 630073, телефон +7 9612240721, email: levin@corp.nstu.ru.

Petushkov Petr Aleksandrovich, Chief Specialist of KOTES Engineering LLC, Russia, Novosibirsk, Krasny prospect, 630049, phone: +7 (383) 319-62-79, ext.133, mob.: +7 (913) 478 -91-38 email: petr.petushkov@cotes-e.com, petushkov@bk.ru.

Levin Vladimir Mikhailovich, Head of the Department of Automated Electric Power Systems of Novosibirsk State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20, 630073, phone +7 9612240721, email: levin@corp.nstu.ru.

УДК 004.021

Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Михайлович

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНЫХ ТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В данной работе рассматривается проблема построения информационно-аналитических систем для стратегического анализа и выбора направлений развития высокотехнологичных предприятий.

Обозначены основные трудности при разработке данных сервисов, такие как: формирование трендов и кластеризация документов.

Одним из решений поставленных задач может быть определение опорных тем в документах, хранящихся в базе данных. В работе представлен алгоритм определения опорных тем, а также процентное соотношение каждой темы в конкретном документе, что повысит качество и эффективность информационного поиска в условиях большого объёма неструктурированной информации.

Технологические тренды, интеллектуальный поиск, мониторинг, искусственный интеллект, Big Data, алгоритм, кластеризация.

Anferova Margarita Sergeevna, Belevtsev Andrey Mikhailovich

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DETERMINING REFERENCE TOPICS FOR SOLVING STRATEGIC ANALYSIS TASKS

In this paper, the problem of building information and analytical systems for strategic analysis and the choice of directions for the development of high-tech enterprises is considered.

The main difficulties in the development of these services are identified, such as: the formation of trends and clustering of documents.

One of the solutions to the tasks may be the definition of reference topics in documents stored in the database. The paper presents an algorithm for determining the reference topics, as well as the percentage of each topic in a particular document, which will improve the quality and efficiency of information retrieval in conditions of a large volume of unstructured information.

Technological trends, intelligent search, monitoring, artificial intelligence, big data, algorithm, clustering.

Введение

Решение задач стратегического анализа направлений инновационного развития высокотехнологичных предприятий требует проведения непрерывного глобального многоцелевого мониторинга в сетях общего и специального назначения [1,2].

Характерными особенностями современного этапа создания высоких технологий является:

- чрезвычайно быстрая динамика формирования новых направлений (трендов) и траекторий их развития;
- большого объем разнородных и не структурированных данных;
- а также резкое сокращение длительности инновационного цикла [3].

В этой связи решение этой задачи невозможно без создания проблемно-ориентированных, информационно-аналитических комплексов и разработки процедур поиска и извлечения информации на основе технологий искусственного интеллекта [4].

Проведенный анализ [5,6] показал, что применение методов искусственного интеллекта (ИИ) особенно эффективно на следующих этапах формирования и обработка данных мониторинга:

1. На этапе- Формирование трендов

Применение методов ИИ (машинное обучение), обеспечит более достоверные результаты, путем недопущения субъективных оценок аналитиков.

2. На этапе -Кластеризации документов, хранящихся в базе данных

Применение методов ИИ позволит провести машинный анализ содержимого и формирование взаимосвязей документов по заданным направлению [7].

Основная часть

Процедура формирования трендов может быть основана на определении опорных тем в документах, хранящихся в базе данных.

Предлагаемый алгоритм основан на определении тем по ключевым словам. Алгоритм включает в себя следующие основные этапы (рис. 1):

- разделение данных по языкам;
- очистка данных с помощью токенизации, лемматизации и стемминга;
- векторизация;
- извлечение ключевых слов.

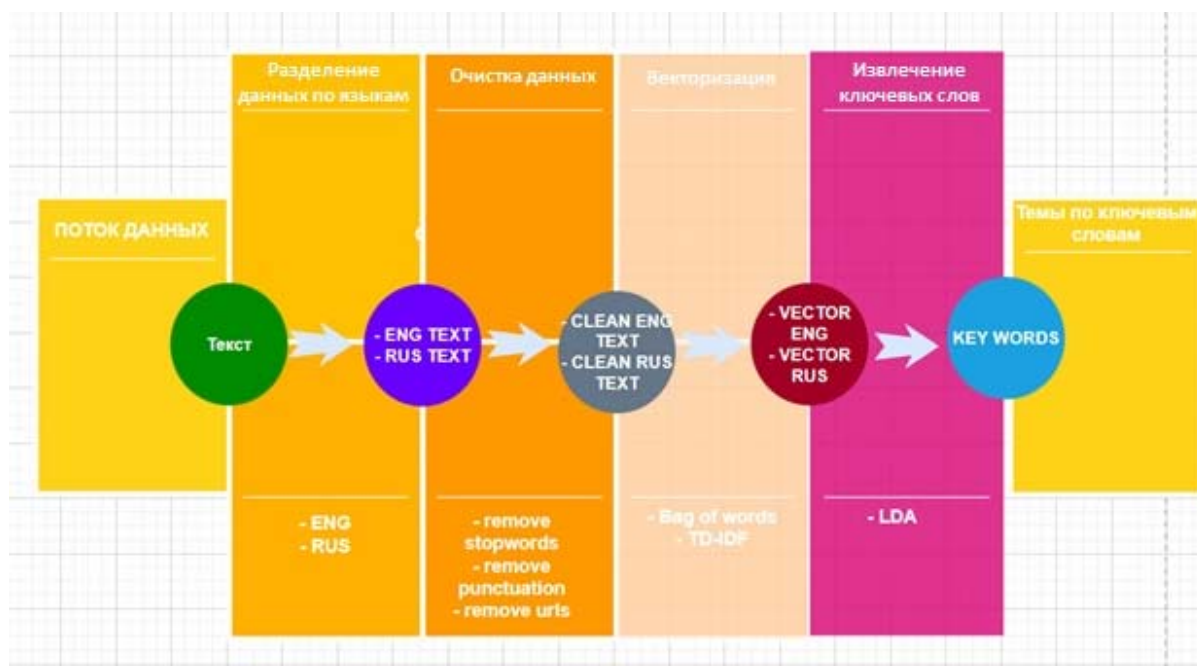


Рис. 1. Алгоритм определения опорных тем

Рассмотрим основные этапы предлагаемого алгоритма

- векторизация;
- извлечение ключевых слов.

Векторизация - процесс преобразования слов в числа.

В машинном обучении векторизация – это этап извлечения признаков. Необходимо извлечь из текста некоторые отличительные признаки для обучения модели путем преобразования текста в числовые векторы.

Вес термина («важность» слова для идентификации данного текста) в документе можно определить двумя разными способами:

1. Bag of Words

Она включает в себя три операции:

- Tokenization. Входной текст подвергается токенизации. Предложение представляется как список составляющих его слов, данная операция выполняется для всех входных предложений;
- Vocabulary creation (Создание словарного запаса). Из всех полученных токенизированных слов для создания словаря отбираются только уникальные слова, которые затем сортируются в алфавитном порядке;
- Vector creation (Создание вектора). Для входных данных создается разреженная матрица из частот словарных слов. В этой разреженной матрице каждая строка представляет собой вектор предложений, длина которого (столбцы матрицы) равна объему словарного запаса.

2. TF-IDF

TF (term frequency — частота слова) — отношение числа вхождений некоторого слова к общему числу слов документа. Таким образом, оценивается важность слова в пределах отдельного документа.

$$TF(t, d) = \frac{n_t}{\sum_k n_k} (1),$$

где n_t - число вхождений слова t в документ, а в знаменателе — общее число слов в данном документе.

В качестве меры взвешивания слова можно воспользоваться F-мерой, а именно precision (точность) и recall (полнота) — это метрики, которые используются при оценке большей части алгоритмов извлечения информации. Суть точности и полноты таких мер очень проста [8].

Для решения поставленных задач удобнее будет использовать именно инвертированный индекс, дополненный мерой TF-IDF, так как он полностью удовлетворяет потребность быстрого полнотекстового поиска по коллекции документов, а за счёт дополнительного поля, содержащего частоту термов, мы сможем использовать его для организации ранжирования, а также в качестве кэша векторов документов, хранящихся в специализированной базе данных.

Извлечение ключевых слов

Модели анализа тем способны обнаруживать темы в тексте с помощью передовых алгоритмов машинного обучения, которые подсчитывают слова и находят и группируют похожие шаблоны слов. Проведенный анализ показал эффективность использования метода LDA.

LDA (Latent Dirichlet Allocation — Латентное размещение Дирихле)

Алгоритм работы данного метода:

1. Определяется фиксированный набор тем, состоящих из представленных (неизвестных) наборов слов. Данные темы уже находятся в документах базы данных, но мы еще их не знаем.

2. LDA пытается сопоставить все (известные) документы с (неизвестными) темами таким образом, чтобы слова в каждом документе были в основном захвачены этими темами [9].

Документы с похожими темами будут использовать одинаковые слова. Также предполагается, что каждый документ состоит из смеси тем, и каждое слово имеет вероятность принадлежности к определенной теме.

LDA предполагает, что документы генерируются следующим образом: выбирается смесь тем (например, 20% темы А, 80% темы В и 0% темы С), а затем выбираются слова, которые принадлежат этим темам. Слова

выбираются случайным образом в соответствии с вероятностью их появления в определенном документе (рис. 2).

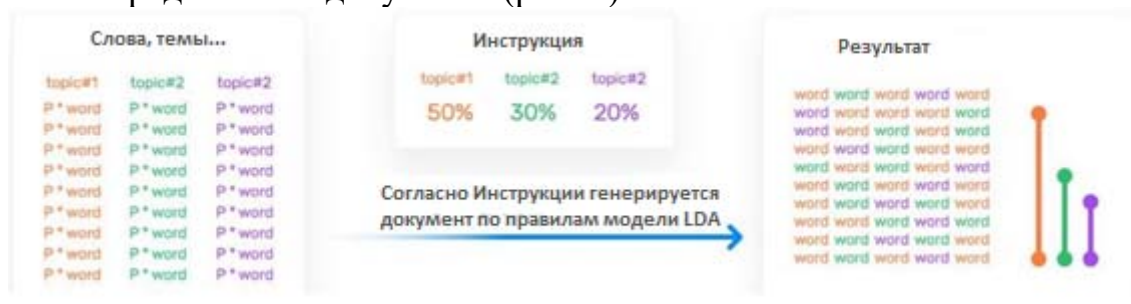
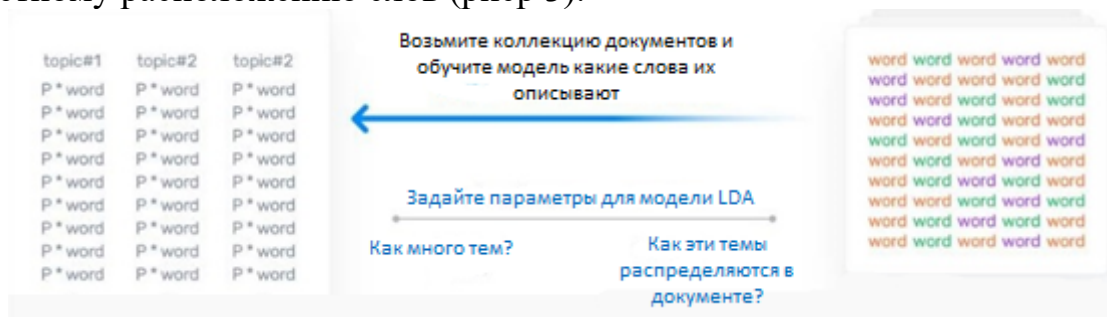


Рис. 2. Алгоритм генерирования документов для LDA

3. LDA видит документ и предполагает, что он был создан, как описано выше. Затем он работает в обратном направлении- от слов, составляющих документ, и пытается угадать смесь тем, которая привела к этому конкретному расположению слов (риср 3).



Риср 3. Алгоритм распознавания тем LDA

В результате выполнения данного алгоритма будут выделены опорные темы документов, хранящихся в базе данных, а также процентное соотношение каждой темы в конкретном документе, что обеспечит более достоверные результаты формирования трендов, путем недопущения субъективных оценок аналитиков.

Выводы

Предлагаемый алгоритм определения опорных тем реализован в интеллектуальном сервисе поиска и мониторинга информации в специализированной базе данных информационно-аналитического комплекса АРМ Аналитика [10]. Применение данного алгоритма значительно сократит время обработки исходных данных, представляя результаты и рекомендации для принятия управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белевцев А.М., Дворецкий В.В., Садреев Ф.Г. Навигация мониторинга как инструмент стратегического анализа // Сборник научных трудов Пятнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством», 2016г.
2. Микова Н.С., Соколова А.В. Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики // Форсайт. Т. 8. № 4 2014 г.
3. Анферова М.С., Белевцев А.М. Анализ направлений развития технологий мониторинга в условиях большого объёма неструктурированной информации // XXIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко // "Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении" «КомТех-2020»
4. Анферова М.С., Белевцев А.М. Анализ направлений создания алгоритмов эффективного поиска информации в сетях общего и специального назначения // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства» /Рязань: РГРТУ, 2018
5. Анферова М.С., Белевцев А.М. Поисковые роботы для автоматизированного мониторинга информации в сетях общего и специального назначения // 18-я Международная научно-практическая конференция «Управление качеством» 2019г.
6. Анферова М.С., Белевцев А.М. Общая концепция создания технологии интеллектуального поиска информации в сетях общего и специального назначения // XXV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко "Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении" «КомТех-2021».
7. Поляков И. В., Соколова Т. В., Чеповский А. А., Чеповский А. М. Проблема классификации текстов и дифференцирующие признаки // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2015. Т. 13, вып. 2. С. 55–63.
8. Анферова М.С., Белевцев А.М. Разработка алгоритмов интеллектуального сервиса поиска и мониторинга информации // Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2021г с 6 - 17.
9. David M. Blei, Andrew Y. Ng, Michael I. Jordan. Latent Dirichlet Allocation Journal of Machine Learning Research 3 (2003) 993-1022
10. Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Белевцев А.А., Садреев Ф.Г. О разработке интеллектуальных сервисов мониторинга технологических трендов в ин-

Анферова Маргарита Сергеевна, старший преподаватель, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 905 522-07-49, e-mail: gludkina@yandex.ru

Белевцев Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 903 769-17-88, e-mail: ambelevtsev@yandex.ru

Anferova Margarita Sergeevna, senior lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 905 522-07-49, e-mail: gludkina@yandex.ru

Belevtsev Andrey Michailovitch, doctor of science, professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 903 769-17-88, e-mail: ambelevtsev@yandex.ru

Понимаш Захар Алексеевич, Носко Виктор Ильич

АЛГОРИТМ РАНЖИРОВАНИЯ ТЕКСТОВ НА БАЗЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В данной работе был предложен алгоритм ранжирования текстов на базе сверточной нейронной сети с тремя функциями ошибки, такими как ошибка классификации, ошибка моделирования распределения (дивергенция Кульбака-Лейблера) и ошибка дисперсии (отклонение логарифма дисперсии от вектора нулей), что позволяет преобразовывать тексты в вектора без разрывов в пространстве признаков.

Ponimash Zakhar Alekseevich, Nosko Viktor Ilyich

TEXT RANKING ALGORITHM BASED ON A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

In this paper, we have proposed a text ranking algorithm based on a convolutional neural network with three error functions, such as classification error, distribution modeling error (Kullback-Leibler divergence) and dispersion

error (deviation of the logarithm of the variance from a vector of zeros), which allows you to convert texts into vectors without breaks in feature space.

Введение

На данный момент очень актуальна проблема генерации текста в нейросетевых генеративных ботах, в частности, построенных на базе GPT[1]. Генерация осуществляется на уровне токенов, для выбора следующего токена в последовательности существуют различные способы, например, с помощью метода поиска луча. [2] С помощью этого метода можно генерировать несколько вариантов ответов на один вопрос. Ранжирование вариантов ответа позволяет повысить качество генерации, сделав выход модели более согласованным по смыслу (теме) с вопросом или контекстом.

Основная часть

Алгоритм ранжирования представлен на рис. 1. Текст поступает в блок предварительной обработки, который преобразует тексты в токены. Нейронная сеть блока векторизации формирует вектор фиксированной размерности из последовательности токенов. Все тексты которые должны быть ранжированы векторизуются вышеописанным способом и добавляются в массив структур вектор-текст. После чего алгоритм ранжирования сортирует векторы по неубыванию расстояния и текст, соотнесенный с вектором с нулевым индексом, является наиболее подходящим по тематике, с точки зрения модели, к тексту вопроса.

Основное требование к пространству признаков следующее, близкие по смыслу тексты должны быть преобразованы в близкие по некоторой метрике точки (векторы).

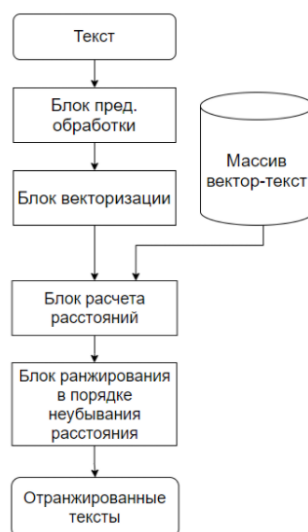


Рис. 1. Общая структура алгоритма ранжирования

В работе рассмотрены две стратегии токенизации, токенизация на уровне лемм, и при помощи предварительно обученного токенизатора ВРЕ[3], используемого в GPT2[4].

Входной слой — это слой встраивания, он ставит вектор в соответствии каждому индексу. Последовательность индексов заменяется на матрицу. Изначально векторы либо выбираются случайными, либо задаются предварительно обученные, далее, во время обучения сети могут обучаться вместе со всей сетью при помощи обратного распространения.

В качестве классификаторов были исследованы следующие сети: одномерная сверточная, полносвязная, рекуррентная и гибридная содержащая как сверточные, так и рекуррентные слои. Одномерные сверточные и рекуррентные нейронные сети хорошо зарекомендовали себя для работы с последовательностями[5], в том числе и с текстами. [6, 7].

Результаты тестирования нейронных сетей сведены в табл. 1, все замеры выполнены на валидационной выборке.

Таблица 1

Результаты тестирования различных архитектур

Номер эксперимента	Вероятность правильного распознавания (Accuracy)	Ошибка на валидационных данных (Перекрестная энтропия)
Вектора встраивания инициализированы случайными числами		
Сверточная сеть №1	71.05%	0.8898
Полносвязная	74.57%	0.767
Сверточная сеть №2	74.44%	0.7862
LSTM	73.52%	0.8146
GRU	73.19%	0.8177
CNN+LSTM	71.46%	0.8886
Пред. обученные вектора встраивания (Word2Vec)		
Сверточная сеть №1	69.38%	0.8714
Сверточная сеть №2	75.11%	0.7357
LSTM	73.77%	0.8293

Для реализации более плавного перехода между темами была введена дополнительная функция потерь, известная как дивергенция Кульбака — Лейблера [8], используемая в вариационных автокодировщиках [9], также была введена составляющая функции потерь, отвечающая за форму и размер области в пространстве признаков, ошибка которой увеличивается с ростом отклонения логарифма дисперсии от вектора, состоящего из нулей.

Ошибка Кульбака-Лейблера, рассчитывается по следующей формуле, в данной формуле расписан след и определитель диагональной ковариационной матрицы, $KL(\sigma, \mu) = \frac{k_{KL}}{2} (\sum_{n=1}^N \sigma_n^2 + \mu^T \cdot \mu - \log(\prod_{n=1}^k \sigma_i^2) - N)$, где, k_{KL} — коэффициент вклада ошибки Кульбака – Лейблера в общую функцию потерь.

Ошибка дисперсии, $L_{Var}(\sigma) = k_{var} \sum_{n=1}^N \log^2(\sigma_n)$. В качестве ошибки классификации была использована категориальная перекрестная энтропия, $H(t, y) = -k_H \sum_{m=1}^M t_m \log(y_m)$. Коэффициенты k_{KL}, k_{var}, k_H введены для настройки модели. В данной работе они соответственно равны 7, 2, 1.

На рис. 2 показана блок-схема классификатора, для векторизации используется выход предсказывающий вектор мат. ожидания генератора случайных чисел с гауссовым распределением. На рис. 3 показана проекция на две оси.

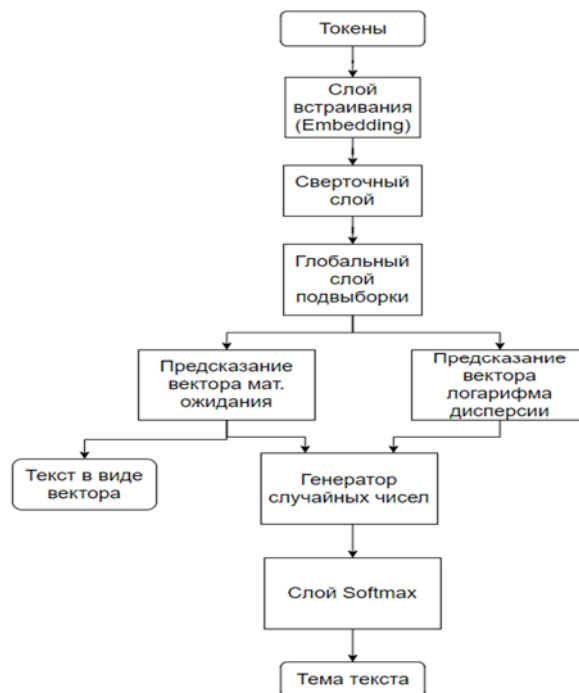


Рис. 2. Блок-схема классификатора

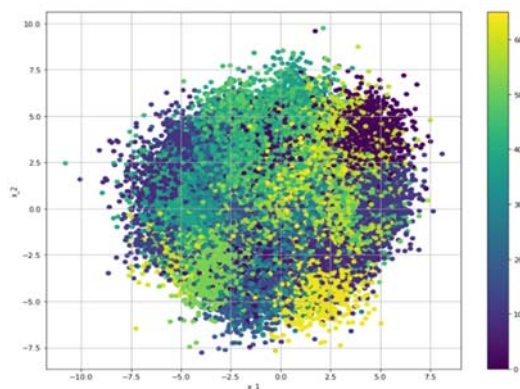


Рис. 3. Двумерная визуализация предсказания мат. ожидания

Важным параметром данного алгоритма ранжирования является метрика. Наилучшая метрика должна обеспечивать лучшую точность при ее использовании в методе ближайшего соседа в задаче классификации[10], т.к. это означает, что при ранжировании в самом верху списка (с нулевым индексом) окажется текст той же темы, что и текст на входе. В табл. 2 приведены результаты качества ранжирования, с использованием различных стратегий обучения и функций расстояния, а также сравнение с архитектурой Bert.

Таблица 2

Результат тестирования метрик, токенизация на уровне байт

	Обучено на лемматизированных		Обучено на не лемматизированных	Bert
	Датасет без лемматизации	Датасет с лемматизацией		
Евклидова	50.6%	82.9%	62.42%	26.4%
Манхэттен	49.9%	82.3%	62.23%	26.0%
Чебышёва	46.5%	80.1%	61.74%	20.3%
Несходство Брея-Кертиса	51.3%	82.3%	62.74%	28.6%

Выводы

Как видно из табл. 2, наилучшее качество ранжировщика обеспечивается использованием модуля векторизации, на базе классификатора приведенного на рисунке 2. При токенизации на уровне байт, наилучшее каче-

ство в задаче ранжирования было получено при использовании функции расстояния, известной как «несходство Брея-Кертиса».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jianfeng Gao, Baolin Peng, Chunyuan Li, Jinchao Li, Shahin Shayandeh, Lars Liden, Heung-Yeung Shum* // Robust Conversational AI with Grounded Text Generation // September 7, 2020 // URL <https://arxiv.org/pdf/2009.03457.pdf>
2. *Luca Massarelli, Fabio Petroni, Aleksandra Piktus, Myle Ott, Tim Rocktaschel, Vassilis Plachouras, Fabrizio Silvestri, Sebastian Riedel* // How Decoding Strategies Affect the Verifiability of Generated Text // 29 Sep 2020// URL <https://arxiv.org/pdf/1911.03587.pdf>
3. *Sennrich R., Haddow B., and Birch A.* Neural machine translation of rare words with subword units. arXiv preprint arXiv:1508.07909, 2015.
4. *Alec Radford, Jeffrey Wu, Rewon Child, David Luan, Dario Amodei, Ilya Sutskever* // Language Models are Unsupervised Multitask Learners//URL: https://d4mucfpksywv.cloudfront.net/better-language-models/language_models_are_unsupervised_multitask_learners.pdf
5. *Serkan Kiranyaz, Onur Avci, Osama Abdeljaber, Turker Ince, Moncef Gabbouj, Daniel J. Inman* // 1D Convolutional Neural Networks and Applications – A Survey// URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1905/1905.03554.pdf>
6. *Marc Moreno Lopez, Jugal Kalita* // Deep Learning applied to NLP // 9 Mar 2017// URL <https://arxiv.org/pdf/1703.03091.pdf>
7. *Wenpeng Yin, Katharina Kann, Mo Yu, Hinrich Schütze* // Comparative Study of CNN and RNN for Natural Language Processing // 7 Feb 2017 // URL <https://arxiv.org/abs/1702.01923>
8. *Kullback S.* Information Theory and Statistics. — John Wiley & Sons, 1959
9. *Diederik P. Kingma, Max Welling* // An Introduction to Variational Autoencoders // 6 Jun 2019 // URL <https://arxiv.org/abs/1906.02691>
10. *Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д.* Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989.

УДК 004.057.6+004.052.42+004.272.2+004.383.3

Беляев Александр Александрович, Кошарный Владимир Александрович,
Пьявченко Алексей Олегович

ВОПРОСЫ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В БАЗИСЕ СОВРЕМЕННЫХ FPGA МОДУЛЕЙ

В данной работе рассматриваются вопросы модельно-ориентированного проектирования применительно к модулям цифровой обработки сигналов в базе ПЛИС архитектуры FPGA на примере разработки аппаратного модуля, реализующего алгоритм сверхдлинного преобразования Фурье. Выполняется обзор настройки процесса генерации HDL-кода, проекта в САПР Quartus из отлаженной в САПР Simulink модели алгоритма ЦОС с помощью встроенного приложения САПР Matlab – HDL Workflow Advisor. Обсуждаются результаты генерации, синтезируемость сгенерированных данных, их достоверность, и условия для успешного выполнения задач приложением HDL Workflow Advisor.

Цифровая обработка сигналов, программируемая логическая интегральная схема, генерация RTL-кода, инструменты синтеза, целевой рабочий процесс, FPGA-синтез и анализ, HDL-реализация.

Belyaev Alexander Alexandrovich, Kosharny Vladimir Alexandrovich,
Pyavchenko Aleksey Olegovich

ISSUES OF MODEL-ORIENTED DESIGN OF A DIGITAL SIGNAL PROCESSING MODULE BASED ON MODERN FPGA MODULES

This paper discusses the issues of Model-Based Design as applied to digital signal processing modules in the FPGA basis on the example of developing a hardware module that implements the ultra-long Fourier transform algorithm. An overview of the setup of the HDL code generation process, the Quartus project from the DSP algorithm model debugged in Simulink using the built-in Matlab application - HDL Workflow Advisor is performed. The results of generation, synthesizability of the generated data, their reliability, and conditions for successful completion of tasks by the HDL Workflow Advisor application are discussed.

Digital Signal Processing, FPGA, RTL Code Generation, Synthesis Tools, Target Workflow, FPGA Synthesis and Analysis, HDL Implementation

Введение

Проектирование модулей и систем цифровой обработки сигналов, как правило, требует высокого уровня квалификации и знаний разработчиков в области описания аппаратуры на языках семейства HDL. Но с развитием IT-технологий процесс ручного кодирования заменяется средствами автоматизации, такими как MATLAB и Simulink. Разработчику необходимо лишь создать в Simulink математическую модель и провести связь между её компонентами, выбрать и назначить требуемый блок для реализации в аппаратуре, после чего среда разработки в автоматизированном режиме сгенерирует необходимые файлы в зависимости от спецификации разработки. Далее, разработчику остается лишь загрузить синтезированный проект в аппаратуру ПЛИС и запустить под управлением ПК вычисления, а затем сравнить полученные результаты с результатами работы модели, то есть выполнить так называемую ко-симуляцию и проверку на соответствие спецификации. Данный метод проектирования приобрёл название «модельно-ориентированный» [1, 2]. С учетом сложности и трудоемкости создания в современном базисе FPGA ресурсоемких устройств цифровой обработки сигналов (ЦОС)[2 – 5], включая их верификацию и валидацию, применение в настоящее время метода и средств МО-проектирования не только актуально, но и просто необходимо. Ведь именно более широкое внедрение в процесс разработки модельно-ориентированного подхода к проектированию аппаратуры ЦОС позволяет существенно сократить временные сроки создания таких проектов, проверки их характеристик на соответствие спецификации технического задания. Отсюда актуальность и необходимость тематики настоящей статьи.

Основная часть

В настоящей работе рассматривается метод модельно-ориентированного проектирования на примере разработки аппаратного модуля ЦОС, реализующего алгоритм сверхдлинного преобразования Фурье (СДПФ) [6] в аппаратуре ПЛИС Intel Arria 10 GX.

Идея примера заключается в демонстрации возможности реализации операции быстрого преобразования Фурье (БПФ) большой размерности через многократное применение БПФ меньшей размерности, что делает возможным реализацию исходной операции на ПЛИС с ограниченными ресурсами, которых для реализации полноразмерного преобразования было бы недостаточно. Дадим краткие пояснения.

Под сверхдлинным преобразованием Фурье понимается преобразование одномерного ядра БПФ в двумерное посредством разбиения вектора входного сигнала на N_1 и N_2 отсчётов и получения из вектора входного сигнала матрицы размерностью $N_1 \times N_2$ [6]. При этом короткая операция БПФ длиной N_1 применяется к строке матрицы, а короткая операция БПФ длиной N_2 – к столбцам матрицы. Одномерное БПФ длины N преобразуется в два БПФ с длинами N_1 и N_2 , где согласно [6] результат первого БПФ умножается на поворачивающие множители.

Блок-схема алгоритма СДПФ представлена на рис. 1. Перечислим основные блоки алгоритма [6]:

- 1) транспонирование одномерной последовательности в матрицу $N_1 \times N_2$;
- 2) вычисление БПФ по N_1 строкам N_2 раз;
- 3) транспонирование полученной матрицы;
- 4) умножение результатов на поворачивающие множители;
- 5) вычисление БПФ по N_2 столбцам N_1 раз;
- 6) транспонирование матрицы в исходный одномерный вектор.

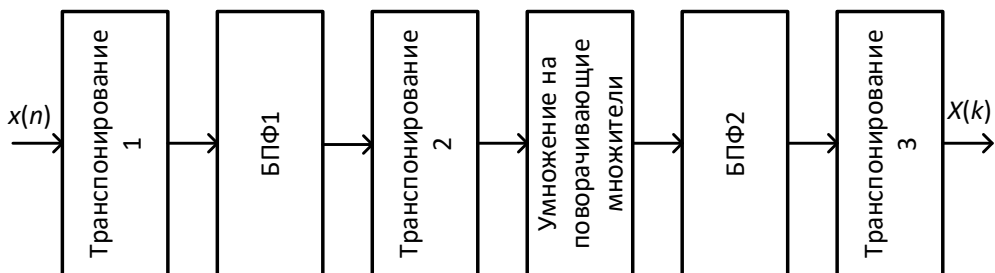


Рис. 1. Блок-схема алгоритма СДПФ

Таким образом, используя три узла транспонирования данных, блок умножения и два блока БПФ небольшой длины, можно реализовать вычисление длинного БПФ, что с учетом [5] позволяет в целом значительно сократить затраты на его аппаратную реализацию.

Построение модели алгоритма СПДФ

Алгоритм сверхдлинного преобразования Фурье разработан в виде двух файлов – в формате m-файла и в формате slx-файла – модели алгоритма. Фрагмент исходного кода алгоритма:

```

clear all
rng('default');
Fs = 1000;

```

```

Frq = 200;    % Основная частота
T = 1/Fs;
N1 = 512;
N2 = 512;
sizeAddr = log2(N1 * N2);
BuffLen = N1 * N2;
L = N1 * N2;
t = (0 : L - 1) * T;
f = Fs*((-L / 2 + 1) : (L / 2)) / L;
data = exp(1i * 2 * pi * Frq * t);
Y1 = fft(data);
P1 = abs(fftshift(Y1 / (N1 * N2)));
twiddles = zeros(N1, N2);
for idx1 = 1 : N1
    for idx2 = 1 : N2
        twiddles(idx1,idx2)=exp((-1i*2*pi*(idx1-1)*(idx2-
1))/(N1*N2));
    end
end
%%% twiddles_frame = reshape(twiddles.', 1, N1 * N2);
twiddles_frame = zeros(1, N1 * N2);
for idx = 1 : N1 * N2
    idx1 = floor((idx - 1) / N2);
    idx2 = mod(idx - 1, N2);
    twiddles_frame(idx) = exp(-1i*2*pi*idx1*idx2/(N1*N2));
end
inp_matrix = reshape(data, N1, N2);
fft_data = fft(inp_matrix,[],2);
fft_data = fft_data .* twiddles;
out_matrix = fft(fft_data);
...
Y2 = reshape(transpose(out_matrix), 1, N1 * N2);
P2 = abs(fftshift(Y2 / (N1 * N2)));

```

На рис. 2 представлен результат моделирования приведенного выше m-кода алгоритма.

Workspace		
Name	Value	
BufLen	262144	
data	1x262144 complex do...	
f	1x262144 double	
fft_data	512x512 complex dou...	
Frq	200	
Fs	1000	
idx	262144	
idx1	511	
idx2	511	
inp_matrix	512x512 complex dou...	
L	262144	
N1	512	
N2	512	
out_matrix	512x512 complex dou...	
P1	1x262144 double	
P2	1x262144 double	
sizeAddr	18	
t	1x262144 double	
T	1.0000e-03	
twiddles	512x512 complex dou...	
twiddles_frame	1x262144 complex do...	
Y1	1x262144 complex do...	
Y2	1x262144 complex do...	

Рис. 2. Результат моделирования *m*-кода алгоритма

Модель алгоритма, разработанная средствами Simulink, показана на рис. 3. Все функциональные блоки созданы в соответствии с алгоритмом СДПФ (см. рис. 1).

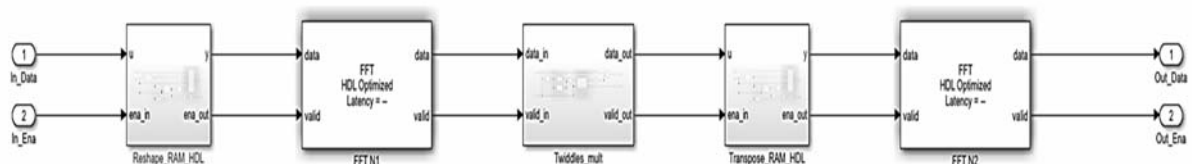


Рис. 3. Модель алгоритма СДПФ

На рис. 4 представлена общая модель системы с задающим воздействием и выводом результата вычислений на Power Spectrum Viewer.

Для симуляции модели необходимо открыть файл .slx и после моделирования исходного файла алгоритма .m (см. рис. 2) нажать кнопку «Run». В результате запуска симуляции откроется окно Power Spectrum Viewer, в котором отобразится результирующий спектр обработанного сигнала, соответствующий рис. 5.

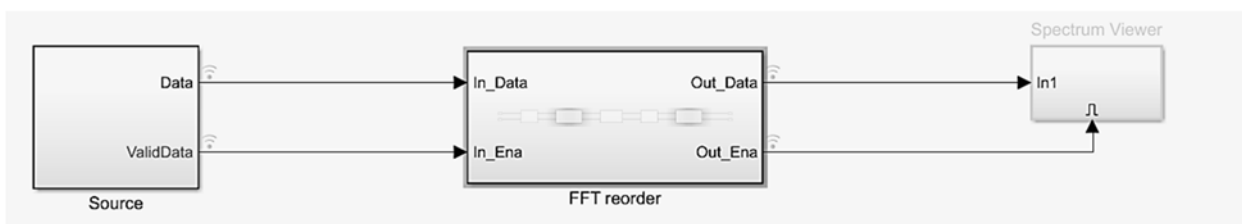


Рис. 4. Модель системы

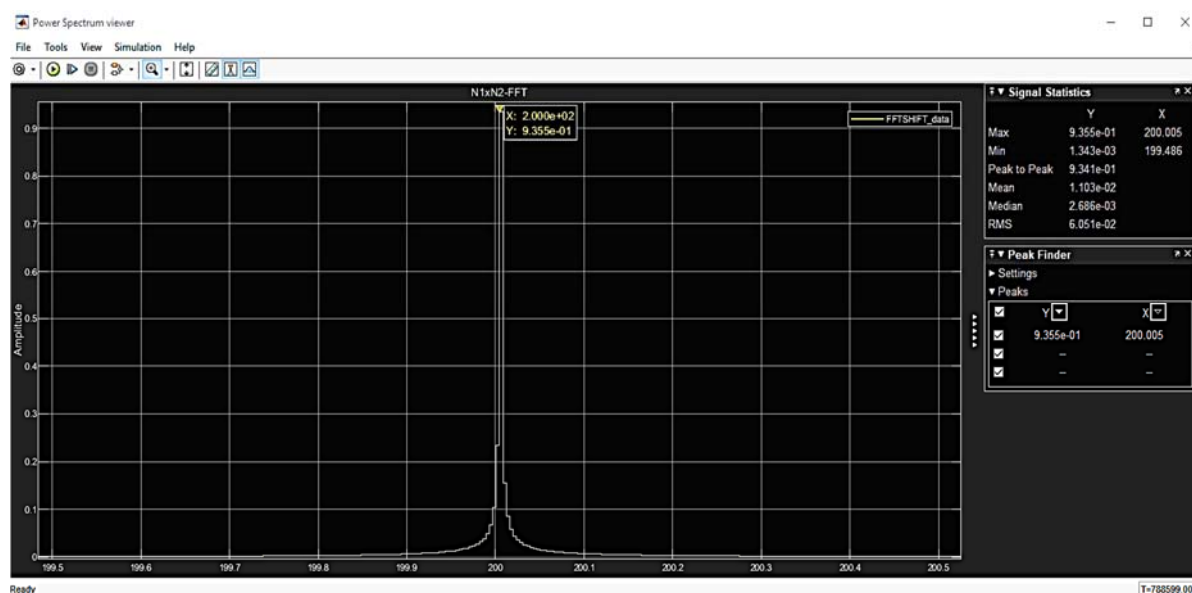


Рис. 5. Результирующий спектр сигнала в Power Spectrum Viewer

Далее кратко рассмотрена типовая методика настройки утилиты HDL Workflow Advisor, генерации HDL-кода и проекта в САПР Quartus при условии наличия в распоряжении разработчика предустановленной САПР совместимой версии.

Предварительно открыв в Simulink интерактивное окно общей модели системы (см. рис. 4), подвести курсор к блоку модели алгоритма СДПФ (на рис. 4 это блок FFT-reorder) и нажать правую кнопку мыши. В выпадающем списке выбрать HDL-coder и во вновь появившемся подменю выбрать и запустить HDL Workflow Advisor. Выполнить необходимые настройки его параметров (рис. 6). Для этого дадим краткие пояснения.

В самом первом пункте (п.1.1, рис. 6) приложения разработчику предлагается выбор рабочего процесса (target workflow), платформы (development kits), инструмента синтеза (САПР), семейства устройств, кодового названия конкретной микросхемы, ее корпусного исполнения и параметров скорости, рабочего каталога проекта. Выставим в качестве примера: тип рабочего процесса – Generic ASIC/FPGA; инструмент синтеза – Altera Quartus II/ Intel Quartus Prime совместимой версии; семейство – Arria 10 и

микросхему – 10AX115S3F45E2SG; наименование каталога оставим по умолчанию. Выполнить генерацию задачи.

В следующем пункте (п.1.2, рис. 6) следует выбрать рабочую частоту системы в МГц. В пункте 2 оставим все значения параметров, установленными по умолчанию и выполним их соответствующую генерацию.

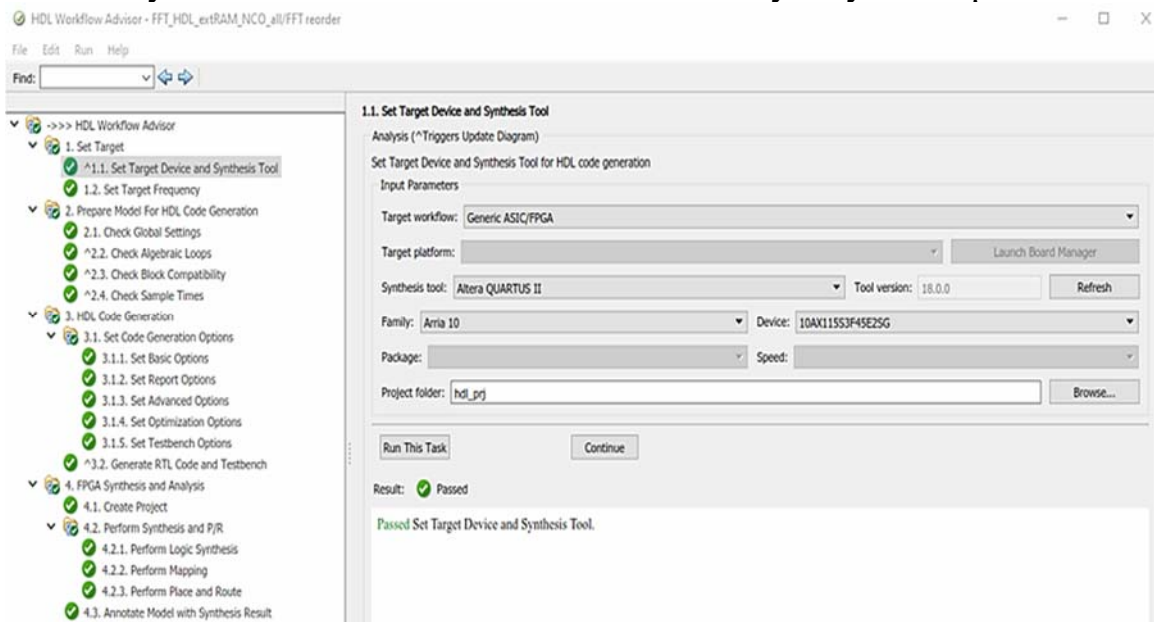


Рис. 6. Окно HDL Workflow Advisor со всеми выполненными пунктами

В пункте 3 необходимо изменить п.3.1.5, где следует выставить настройки TestBench с поддержкой ПО ModelSim-Intel FPGA edition версии, совместимой с применяемым пакетом САПР, осуществить генерацию самого файла TestBench и ко-симуляционной модели. В пункте 3.2 конкретизируется окончательный перечень генерируемых файлов, а именно: RTL-код, TestBench, Validation model.

Замечание. В том случае, когда генерация TestBench и Validation model не планируется, то п.3.1.5 следует пропустить, а в п.3.2 – не указывать соответствующие опции.

В пункте 4.1 можно всё оставить по умолчанию, или, как в нашем случае, выбрать оптимизацию пространства (Area) FPGA. Так же в данном пункте есть возможность подключения src- и tcl-файлов проекта, если таковые имеются.

Далее всё можно оставить по умолчанию и после запуска генерации каждого пункта следует оценить полученный при этом результат. Спустя какое-то время приложение выведет отчёты о генерации RTL-кода, о зани-

маемых системой ресурсах (рис. 7), а в указанных директориях появятся сгенерированные файлы проекта.

И наконец, запускаем САПР Quartus установленной версии и из директории со сгенерированным проектом открываем qpf-файл с именем FFT_reorder_quartus. В результате должно открыться интерактивное окно рабочего проекта СДПФ (рис. 8) с автоматически сгенерированным головным файлом FFT_reorder.vhd, соответствующим ранее выбранному в Simulink блоку.

Fitter Summary	

Fitter Status	; Successful - Tue May 17 02:52:15 2022
Quartus Prime Version	; 18.0.0 Build 219 04/25/2018 SJ Pro Edition
Revision Name	; FFT_reorder_quartus
Top-level Entity Name	; FFT_reorder
Family	; Arria 10
Device	; 10AX115S3F45E2SG
Timing Models	; Final
Logic utilization (in ALMs)	; 5,865 / 427,200 (1 %)
Total registers	; 14188
Total pins	; 104 / 960 (11 %)
Total virtual pins	; 0
Total block memory bits	; 21,642,772 / 55,562,240 (39 %)
Total RAM Blocks	; 1,382 / 2,713 (51 %)
Total DSP Blocks	; 67 / 1,518 (4 %)
Total HSSI RX channels	; 0 / 72 (0 %)
Total HSSI TX channels	; 0 / 72 (0 %)
Total PLLs	; 0 / 144 (0 %)

Рис. 7. Отчёт о занимаемых ресурсах проекта

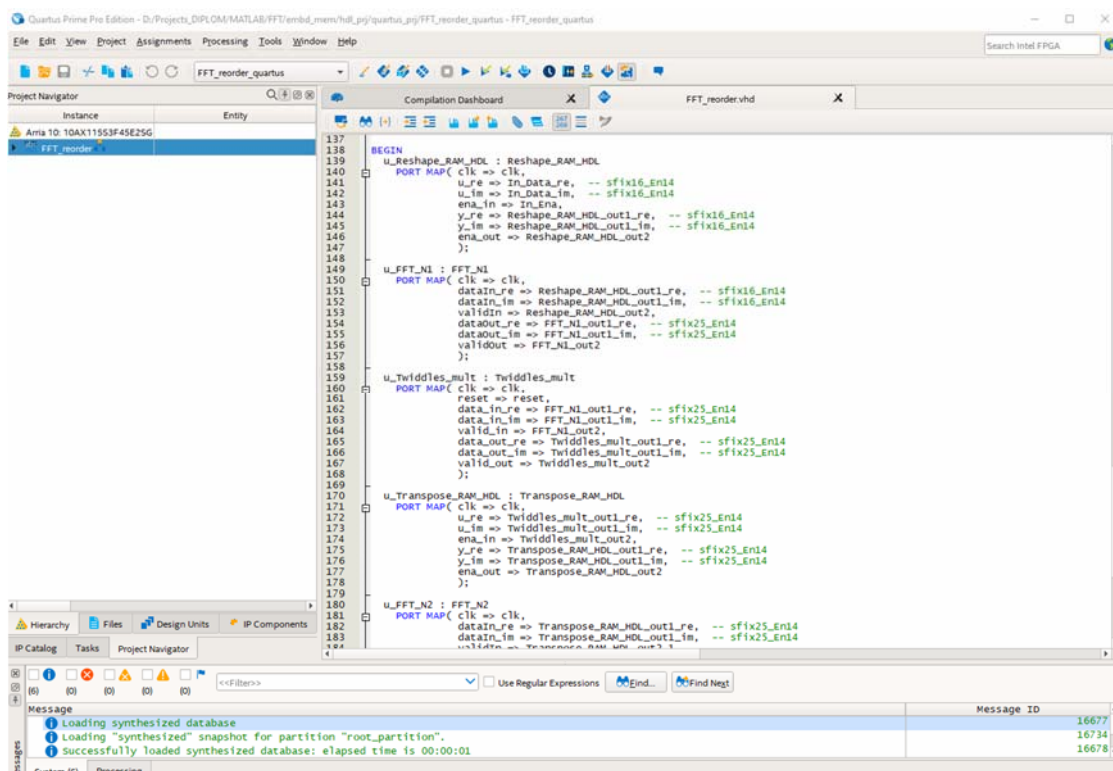


Рис. 8. Сгенерированный проект в Quartus

Запускаем компиляцию проекта, по окончании которой должен быть выведен отчёт о занимаемых проектом ресурсах выбранной FPGA. Здесь следует отметить, что сборка проекта САПР ведется автоматически в несколько этапов: анализ и синтез (Analysis & Synthesis), компоновщик (Fitter), сборщик (Assembler), анализатор потребления питания (Power Analyzer), временной анализатор (TimeQuest Timing Analyzer). Статус каждого этапа можно отслеживать в окне статуса (вызывается через меню View -> Utility Windows -> Status). Результаты компиляции должны соответствовать рис. 7, что в случае отсутствия ошибок как раз и доказывает работоспособность и результативность метода.

Дальнейшие действия могут быть направлены на верификацию полученной HDL-модели, в частности, на проверку соответствия значений ее характеристик требованиям спецификации, в том числе и за счет ко-симуляции HDL-описания совместно с математической моделью, ранее созданной и промоделированной в Simulink [2, 7].

Выводы

Как видно из вышеизложенного материала статьи, в настоящее время процесс автоматизированной подготовки к автогенерации HDL-проектов стал более высокоуровневым и интегрированным при условии наличия в распоряжении разработчика всех необходимых и совместимых по версиям предустановленных программных продуктов. На примере автоматизированного синтеза в базисе FPGA модуля СДПФ был экспериментально апробирован поддерживаемый MathWorks совместно с Intel маршрут Модельно-ориентированного проектирования HDL-описаний цифровых устройств. Получены конкретные характеристики проекта, доказывающие работоспособность и результативность метода. В дальнейшем предполагается выполнить проверку проекта на аппаратуре целевой платы и его полную валидацию с учетом ограничений пакета Simulink по выполнению ко-симуляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Что такое модельно-ориентированное проектирование [Электронный ресурс]/. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: – <https://hub.exponenta.ru/post/chto-takoe-modelno-orientirovannoe-proektirovanie409> (дата обращения: 23.05.2022).
2. *Песельник, М.* Исследование проектных решений с помощью оптимизаций HDL Coder [Электронный ресурс]/. – Электрон. текстовые дан. – Режим

- доступа: – <https://exponenta.ru/events/issledovanie-proektnyx-reshenij-pri-pomoshhi-optimizacii-hdl-coder>;
<https://www.mathworks.com/videos/accelerate-design-space-exploration-using-hdl-coder-optimizations-100981.html> (дата обращения: 24.05.2022).
3. *Глинченко, А. С.* Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] : курс лекций / А. С. Глинченко. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – С. 7-27, 97-117; Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: http://optic.cs.nstu.ru/files/Lit/Image/u_lectures.pdf (дата обращения: 23.04.2022).
 4. Реализация узла БПФ с плавающей точкой на ПЛИС [Электронный ресурс]/. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/322728/> (дата обращения 20.04.2022).
 5. *Макаренко, А. А.* Расчет цифровых фильтров методом автоматизированного проектирования [Текст] : учебное пособие / А. А. Макаренко, М. Ю. Плотников. – СПб. : Изд-во НИУИТМО, 2014. – 50 с.
 6. Сверхдлинное преобразование Фурье на FPGA [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/526690/> (дата обращения: 21.04.2022).
 7. *Пьявченко, А. О.* Проектирование и отладка цифровых устройств с применением САПР [Текст] : учебное пособие/ А. О. Пьявченко, М. Ю. Поленов, С. А. Черный ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. – 194 с.

Беляев Александр Александрович, студент группы КТсо5-1 Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347900, телефон: +7 (988) 51-03-150, email: aleksb@sfedu.ru.

Кошарный Владимир Александрович, начальник отдела разработки встроенного ПО, АО РТИ, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Большая Садовая 154, 344022, телефон: +7 (863) 29-50-835, email: vkosharniy@rti-mints.ru.

Пьявченко Алексей Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры Вычислительной техники, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, телефон: +7 (918) 52-58-872, email: aop61@mail.ru.

Belyaev Alexander Alexandrovich, student of the KTso5-1 group of the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 22 Chekhov street, 347900, phone: +7 (988) 51-03-150, email: aleksb@sfedu.ru.

Kosharny Vladimir Alexandrovich, Head of Embedded Software Development Department, JSC RTI, Russia, Rostov-on-Don, 154 Bolshaya Sadovaya street, 344022, phone: +7 (863) 29-50-835, email: vkosharniy@rti-mints.ru.

Pyavchenko Aleksey Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 1 Engels Street, 347900, phone: +7 (918) 52-58-872, email: aop61@mail.ru.

УДК [004.032]

Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КВАНТОВОГО ВАРИАЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КВАНТОВЫХ КОДОВ С ИСПРАВЛЕНИЕМ ОШИБОК

Считается, что квантовые коды с исправлением ошибок (ККИО) необходимы для крупномасштабных отказоустойчивых квантовых вычислений. За последние два десятилетия были разработаны различные методы построения ККИО, что привело к появлению множества семейств кодов. Однако большинство этих кодов не подходят для краткосрочных квантовых устройств. В работе представлен устойчивый к шуму вариационный квантовый алгоритм для поиска квантовых кодов с аппаратно-эффективной схемой кодирования. Функции стоимости вдохновлены наиболее общими и фундаментальными требованиями ККИО. Учитывая целевой шумовой канал (или параметры целевого кода) и граф подключения оборудования, оптимизировали неглубокую вариационную квантовую схему для подготовки базовых состояний подходящего кода. Работа проливает свет на понимание ККИО в целом, что также может помочь улучшить краткосрочную производительность устройства с помощью адаптивных к каналу кодов с исправлением ошибок.

Актуальность данных исследований заключается в математическом и программном моделировании и реализации корректирующих кодов для исправления нескольких видов квантовых ошибок в рамках разработки и выполнения квантовых алгоритмов для решения классов задач классического характера.

Научная новизна данного направления выражается в исключении одного из недостатков квантового вычислительного процесса. В настоящее время во многих передовых странах мира интенсивно ведутся научно-исследовательские работы по разработке и созданию квантовых компьютеров и их программного обеспечения, наблюдается стремительный рост интереса к квантовым компьютерам. Публикуется большое количество статей и монографий. В работе приведены основные теоретические и практические результаты в области квантового компьютеринга.

Квантовая ошибка; квантовый алгоритм; кубит; модель квантового вычислителя; квантовое запутывание; суперпозиция; квантовый параллелизм.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich, Potapov Viktor Sergeevich

DEVELOPMENT OF A QUANTUM VARIATIONAL LEARNING ALGORITHM FOR QUANTUM CODES WITH ERROR CORRECTION

It is believed that quantum error-correcting codes (QECCs) are necessary for large-scale fault-tolerant quantum computing. Over the past two decades, various methods have been developed for constructing FCCs, leading to the emergence of many families of codes. However, most of these codes are not suitable for short-term quantum devices. The paper presents a noise-resistant variational quantum algorithm for searching quantum codes with a hardware-efficient coding scheme. The cost functions are inspired by the most general and fundamental requirements of the QECCs. Given the target noise channel (or target code parameters) and the equipment connection graph, a shallow variational quantum circuit was optimized to prepare the base states of the appropriate code. The work sheds light on the understanding of QECCs in general, which can also help improve short-term device performance with channel-adaptive error-correcting codes.

The relevance of these studies lies in the mathematical and software modeling and implementation of corrective codes to correct several types of quantum errors in the development and implementation of quantum algorithms for solving classes of problems of a classical nature. The scientific novelty of this direction is expressed in the elimination of one of the shortcomings of the quantum computing process. Currently, in many advanced countries of the world, intensive research work is underway to develop and create quantum computers and their software, and there is a rapid growth of interest in quantum computers. A large number of articles and monographs are published. The paper presents the main theoretical and practical results in the field of quantum computing.

Quantum error; quantum algorithm; qubit; quantum computer model; quantum entanglement; superposition; quantum parallelism.

Введение

Отказоустойчивые квантовые компьютеры [1] обещают решать некоторые вычислительные задачи намного быстрее, чем классические машины, такие как моделирование квантовых процессов [2], простая факторизация, решение линейных систем уравнений [3]. Однако квантовая информация, переносимая современными зашумленными квантовыми системами промежуточного масштаба, очень хрупка и может быть легко изменена окружающей средой. Наиболее многообещающим методом поддержания согласованности и защиты квантовой информации от шума [4] являются квантовые коды с исправлением ошибок. Основная идея квантовой коррекции ошибок [5] состоит в том, чтобы закодировать низкоразмерное квантовое состояние в более крупной системе, чтобы ошибки, возникающие во время вычислений, можно было исправить из-за физической избыточности. Пока уровень шума p ниже определенного порога, ККИО могут исправить ошибку и снизить вероятность ошибки с $O(p)$ до более высоких порядков. В последние годы также были замечены внутренние связи ККИО с другими областями физики, такими как квантовая гравитация [6]. Книл и Лафламм разработали достаточные и необходимые условия (известные как условия Книля-Лафламма) для квантовой коррекции ошибок [7]. Однако решение этих систем уравнений в общем случае чрезвычайно сложно. Поэтому многие открытые проблемы в этой области остаются нерешенными. На практике исследователи обычно анализируют ККИО в рамках системы Паули и разрабатывают различные семейства ККИО, такие как поверхностные коды [8, 9], коды Калдербэнка-Шора-Стина [10, 11], стабилизирующие коды [12], коды, стабилизированные кодовым словом [13, 14], квантовые коды с проверкой на четность с низкой плотностью [15, 16]. До сих пор в экспериментах не было реализовано ни одного логического кубита/операции с высокой точностью, поскольку текущие уровни шума все еще намного превышают требования. Шумовые каналы на разных физических платформах существенно различаются [17, 18]. Симметричные конструкции ККИО в рамках концепции Паули не могут быть напрямую адаптированы к неэрмитовым/неунитарным шумовым каналам. Крайне желательно разработать асимметричные или адаптивные к каналу ККИО с аппаратно-эффективным кодером. Такие адаптированные к

устройствам коды могут более эффективно защищать логическую информацию. Помимо аналитических построений, исследователи давно пытаются найти ККИО вычислительными методами.

1. Теоретические основы квантовых вычислений

Несмотря на наличие различных методов построения ККИО, почти ни одно построение не выходит за рамки Паули. Работа направлена на поиск квантовых кодов, основанных на наиболее фундаментальном принципе, т. е. на условиях Книлла-Лафламма и условиях обнаружения квантовых ошибок. Важнейшим инструментом в разработанной схеме является вариационная квантовая схема, состоящая из нескольких слоев параметризованных квантовых вентилях. Структура алгоритма и последующая конкатенация кода показаны на рис. 1. Основным компонентом вариационного алгоритма является функция (функции) стоимости. Определим функции стоимости следующим образом. Рассмотрим множество ошибок $\varepsilon = \{E_\mu\}$ и квантовый код [19] длины n с параметризованными ортогональными базисными состояниями [20]

$$\{|\psi_1(\theta)\rangle, |\psi_2(\theta)\rangle, \dots, |\psi_K(\theta)\rangle\}. \quad (1)$$

Определяем 1-нормовую и 2-нормовую функции стоимости

$$C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta) = \sum_{E_\mu \in \varepsilon} \left(\sum_{1 \leq i \leq j \leq K} \langle \psi_i | E_\mu | \psi_j \rangle + \sum_{j=1} \langle \psi_j | E_\mu | \psi_j \rangle - \langle E_\mu^- \rangle / 2 \right), \quad (2)$$

$$C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}(\theta) = \sum_{\alpha, \beta} \left(\sum_{1 \leq i \leq j \leq K} |\langle \psi_i | E_\mu | \psi_j \rangle|^2 + \sum_{j=1} \langle \psi_j | E_\mu | \psi_j \rangle - \langle E_\mu^- \rangle / 4 \right). \quad (3)$$

По-видимому, $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ и $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}$ всегда неотрицательны и имеют одинаковые нулевые точки. Чтобы найти симметричные коды с параметрами кода $((n; K; d))$, используем модель ошибок Паули и выбираем

$$\varepsilon = \{O_\alpha \mid wt(O_\alpha) < d\}, \quad (4)$$

где O_α – тензорные произведения Паули [21]. Аналогично при поиске асимметричных кодов с кодовыми параметрами $((n; K; d(c)))$ выбираем

$$\varepsilon = \{O_\alpha \mid wt_e(O_\alpha, c_z) < d_e(c_z)\}. \quad (5)$$

Чтобы найти адаптивные к каналу коды для общего шумового канала $N(p) = \sum_\alpha E_\alpha p E_\alpha'$, выбираем $\varepsilon = \{E_\alpha' E_\beta \mid E_\alpha, E_\beta\}$ – операторы Крауса [22] для N .

Отметим, что множество ошибок E в принципе может включать неунитарные и неэрмитовы [23] ошибки. Для таких ошибок мы можем либо преобразовать их в ошибки Паули, либо смоделировать их напрямую, добавив вспомогательные кубиты [24] и выполнив меры с положительными операторными значениями. На практике из-за неточной реализации изометрии кодирования условия квантовой коррекции/обнаружения ошибок не вы-

полняются в точности, и ККИО не могут полностью защитить информацию от ошибок. Тем не менее, ККИО по-прежнему могут обнаруживать и исправлять большинство ошибок. Такие приближенные схемы квантовой коррекции ошибок имеют большие перспективы [25]. Параметр характеризует неточность приближенного кода. На рис. 1 представлена схематическая иллюстрация ККИО и конкатенации квантового кода, слева изображено обучение кодировщика с помощью мини-пакетного обучения: итеративно выбираем ошибки из набора ошибок, запускаем вариационную квантовую схему $U(\theta)$ и проводим измерения, затем обновляем θ . Справа изображено последствие нахождения квантовых кодов кодировщиками, иерархически объединяем эти кодеры, чтобы получить квантовый код большого расстояния.

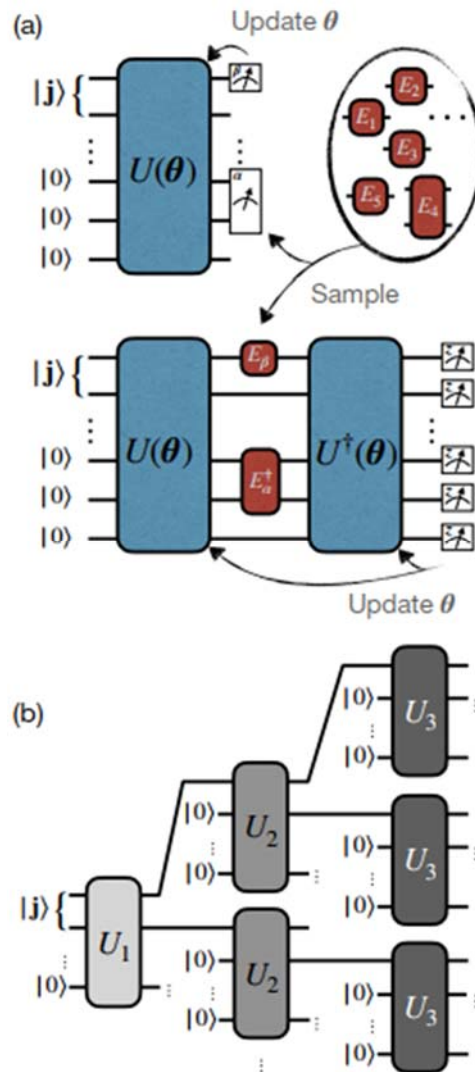


Рис. 1. Схематическая иллюстрация ККИО и конкатенации квантового кода

2. Разработка алгоритма

Вариационные квантовые схемы (ВКС) широко используются в краткосрочных квантовых алгоритмах для различных задач [26], таких как подготовка основного состояния [27], оценка собственной энергии, сжатие квантовых данных, компиляция квантовых схем [28]. Дадим чистое состояние продукта в качестве входных данных, итеративно обновите параметры схемы на основе результатов измерений и, наконец, выведем желаемое состояние. В ВКС выходные состояния служат базовыми состояниями квантового кода, а его кодировщик задается квантовой схемой. Предположим, у нас есть устройство с аппаратным графом подключения G . Вершины обозначают кубиты, а ребра обозначают соседние пары кубитов. К каждому кубиту можно применять однокубитные гейты, а к соседним кубитам – двухкубитные гейты. Мы стремимся найти K -мерный ККИО, который может обнаруживать набор ошибок $\varepsilon = E_\mu$, а схема кодирования должна быть как можно более мелкой. Перед запуском алгоритма разрабатываем многоуровневую ВКС, которая эффективна для графа связности. Обозначим количество слоев ВКС как L , максимально допустимое количество слоев как L_{\max} , эволюцию ВКС как $U(\theta)$, где θ – параметры схемы. Начинаем с $L = 1$ и выбираем начальное θ случайным образом. Кроме того, тщательно выбираем $k = \log(K)$ физических кубитов для подготовки логических данных, где логарифм дается по основанию 2. Сначала инициализируем выбранные кубиты одной из K бинарных строк $|0\rangle, |1\rangle, \dots, |K-1\rangle$, а остальные кубиты инициализируем $|0\rangle^{\otimes(n-k)}$. Эти состояния охватывают пространство входного кода

$$C_{in} = \text{span}\{|0\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}, \dots, |K-1\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}\}, \quad (6)$$

где C_{in} – ККИО с расстоянием $d = 1$. Функции стоимости можно оценить, запустив определенные схемы и выполнив измерения. Для оценки $\langle \psi_j | E_\mu | \psi_j \rangle$ подготавливаем начальное состояние $|j-1\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}$, эволюционируем систему с ВКС $U(\theta)$, затем измеряем локальную наблюдаемую E_μ . Если ошибки $E_{\mu_1}, E_{\mu_2}, \dots$ коммутируют, их можно измерить одновременно в одном измерении. Чтобы оценить $|\langle \psi_i | E_\mu | \psi_j \rangle|$, начинаем с $|j-1\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}$, затем последовательно эволюционируем систему с $U(\theta)$, E_μ и $U(\theta)$, затем измеряем конечное состояние в вычислительном базисе. Измерениям помогает постселекция: сначала измеряем $n-k$ вспомогательных кубитов, если результат $|0\rangle^{n-k}$, измеряем оставшиеся k кубитов. Обозначим вероятность

получения двоичной строки $|i-1\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}$ как p_{ij} , $\langle\psi_j|E_\mu|\psi_j\rangle = \sqrt{p_{ij}}$. В приведенном выше описании предполагаем, что набор ошибок E состоит только из ошибок Паули. Не имеет значения, включает ли E неунитарные или неэрмитовы члены. С этим справится добавление вспомогательных кубитов или вращения Паули. Оптимизация θ состоит из двух этапов. Первый и основной этап — это мини-пакетное обучение. После выборки начального θ минимизируем $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}$ с мини-пакетным градиентным спуском. В рамках каждой итерации отбираем подмножество $\varepsilon_S \subset \varepsilon$, оцениваем соответствующую частичную «2-нормовую функцию стоимости C » и ее градиент с помощью измерений, затем выполним один градиентный спуск со скоростью обучения η . Необходимое количество измерений для оценки $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}(\theta)$ с точностью до аддитивной ошибки имеет порядок $O(K^2 |\varepsilon_S|^2 / \varepsilon^2)$. Градиент можно оценить с помощью конечной разности или комбинации цепного правила и правила сдвига параметра. Мини-пакетный градиентный спуск обеспечивает более надежную сходимость и позволяет избежать попадания в ловушку локального минимума. Повторяем выборку и градиентный спуск до сходимости. Причина, по которой сначала минимизируем $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}$, заключается в том, что она сходится намного быстрее, чем $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$. Кроме того, $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}$ дифференцируемо, а $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ — нет. Если набор ошибок E состоит из слишком большого числа членов, многообещающим альтернативным методом является построение «классических теней» для каждого базисного состояния $|\psi_j\rangle$, а затем использование теней для классической оценки функций стоимости. После обучения мини-пакетов, если $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}$ относительно мало (например, $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2} < 0,01$), оцениваем $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ и подстроим параметры θ относительно него, так как $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ напрямую связано с неточностью кода. Используем метод Пауэлла, безградиентный оптимизатор для тонкой настройки. Если $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ меньше приемлемого допуска стоимости $C_{tol}^{l_1}$, останавливаем оптимизацию и выводим окончательные параметры θ . Устанавливаем толерантность как

$$C_{tol}^{l_1} \equiv 1 \times 10^{-6}. \quad (7)$$

В идеальном случае получаем оптимальные параметры $\theta_{opt} = \arg \min C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta)$.

Вывод ККИО

$$C_{out}(\theta_{opt}) = span\{|\psi_1\rangle = U(\theta_{opt})|0\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}, |\psi_1\rangle = U(\theta_{opt})|1\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)}, \dots$$

$$..., |\psi_K\rangle = U(\theta_{opt})|K-1\rangle|0\rangle^{\otimes(n-k)} \} \quad (8)$$

является целевым приближенным квантовым кодом с малой неточностью. Вариационная квантовая схема $U(\theta)$ служит схемой кодирования. Далее можем удалить избыточные гейты из ВКС. $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ больше $C_{tol}^{l_1}$, увеличиваем глубину схемы L и повторяем шаги оптимизации. Если $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}$ всегда больше допуска, даже когда $L = L_{\max}$, нам не удастся найти подходящий код. Подробная процедура проиллюстрирована в алгоритме 1. Алгоритм ВКС ищет в этом подмножестве подходящий код. Когда $U(\theta)$ сверхпараметризован, он может исследовать все соответствующие направления, а набор достижимых выходных кодов эквивалентен $Gr(K; 2^n)$, т. е. ВКС способен находить произвольные $((n; K))$ квантовый код.

Алгоритм 1: Квантовое вариационное обучение для квантовых кодов с исправлением ошибок

Input: набор ошибок E , аппаратно-эффективный ВКС $U(\theta)$ с L слоями, приемлемое количество слоев L_{\max} , приемлемый допуск по стоимости $C_{tol}^{l_1}$.

Output: приближенный квантовый код с аппаратно-эффективным кодировщиком, обнаруживающим E .

while $L \leq L_{\max}$ и $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta) > C_{tol}^{l_1}$ **do**

while $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}(\theta)$ не сходится **do**

 Выберите подмножество $\varepsilon_S \subset \varepsilon$.

 Инициализируйте систему для K двоичных строк.

 Запустите $U(\theta)$, выведите $\{|\psi_j\rangle\}$.

 Измерьте наблюдаемые $E_\mu \in \varepsilon_S$.

 Инициализируйте систему для K двоичных строк.

 Запустите $U(\theta)E_\mu U(\theta)$ для $E_\mu \in \varepsilon_S$.

 Реализуйте проективные измерения.

 Оцените $C_{n,K,\varepsilon_S}^{l_2}(\theta)$ и его градиент.

 Выполните шаг градиентного спуска, обновите θ .

end

if $C_{n,K,\varepsilon}^{l_2}(\theta) < 0,01$, **then**

while $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta)$ не сходится **do**

 Инициализируйте систему для K двоичных строк.

 Запустите $U(\theta)$, выведите $\{|\psi_j\rangle\}$.

Измерьте наблюдаемые $E_\mu \in \varepsilon$.

Инициализируйте систему для K двоичных строк.

Запустите $U(\theta)E_\mu U(\theta)$ для каждого $E_\mu \in \varepsilon$.

Оценка $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta)$ и его градиент.

Свести к минимуму $C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta)$, обновить θ .

end

end

$L \leftarrow L + 1$.

end

$\theta_{\text{opt}} \leftarrow \theta$.

Return: $\theta_{\text{opt}}, C_{n,K,\varepsilon}^{l_1}(\theta_{\text{opt}})$.

Выводы

В настоящее время активно развивается теория квантовых вычислений. Несмотря на то, что идея квантового компьютера была высказана еще Р. Фейнманом в 1982 г. и с тех пор проводятся научные исследования по этой тематике, квантовые компьютеры еще не созданы. Однако, уже сейчас ясно, что теоретических ограничений для этого нет. Кроме того, имеются определенные достижения в области теории квантовых вычислений.

В ходе исследования была продемонстрирован устойчивый к шуму вариационный квантовый алгоритм для поиска квантовых кодов с аппаратно-эффективной схемой кодирования. Учитывая целевой шумовой канал (или параметры целевого кода) и граф подключения оборудования, была оптимизирована неглубокая вариационная квантовая схема для подготовки базовых состояний подходящего кода.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00368.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jones N. C., Whitfield J. D., McMahon P. L., Yung M.-H., Meter R. V., Aspuru-Guzik A., and Yamamoto Y. Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers, *New Journal of Physics* 14, 115023 (2012);
2. Shor P. W. Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, *SIAM J. Comput.* 26, 1484.1509 (1997);
3. Harrow A. W., Hassidim A. and Lloyd S. Quantum algorithm for linear systems of equations, *Phys. Rev. Lett.* 103, 150502 (2009);

4. *Shor P. W.* Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory, *Phys. Rev. A* 52, R2493 (1995);
5. *Gottesman D.* Stabilizer codes and quantum error correction (California Institute of Technology, 1997);
6. *Bernstein E., Vazirani U.* Quantum complexity theory. In *Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing*, pages 11 – 20, 1993;
7. *Кайе Ф.* Введение в квантовые вычисления [Текст] / Ф. Кайе, Р. Лафламм. – Москва; Ижевск: ПХД, 2009. – 360 с.;
8. *Guzik V.* Architecture and Software Implementation of a Quantum Computer Model / V. Guzik, S. Gushanskiy, M. Polenov, V. Potapov // 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOS), Czech Republic, 2016. – P. 59 – 68;
9. *Guzik V.* Development of Methodology for Entangled Quantum Calculations Modeling in the Area of Quantum Algorithms // 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOS), Czech Republic, 2017. – P. 106 – 115;
10. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Москва: Изд-во “Физматлит”, 1986. – 544 с.;
11. *Eckert A., Jozsa R.* Quantum Computation and Shor’s Factoring Algorithm, *Rev. Mod. Phys.* 68(3), 733 – 753 (1996);
12. *Гузик В. Ф.* Разработка системы требований к архитектуре квантового вычислителя [Текст] / В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, В. С. Потапов // Национальная ассоциация ученых (НАУ) # I (6), 2015 / Технические науки. – Екатеринбург, 2015. – С.127 – 130;
13. *Altaisky M. V.* Entanglement in a quantum neural network based on quantum dots / M. V. Altaisky N. N. Zolnikova N. E. Kaputkina V. A. Krylov Yu. E. Lozovik S. Dattani Nikesh [Электронный ресурс]. – URL: <http://arxiv.org/pdf/1512.01141v1.pdf> (дата обращения: 20.03.2022);
14. *Barenco A., Bennett C. H., Cleve R. et al.* Elementary gates for quantum computation // *Phys. Rev. A.* 1995 – Nov Vol. 52, no 5. – P. 3457 – 3467;
15. *Boneh D. and Lipton R. J.* Quantum cryptanalysis of hidden linear functions. In Don Coppersmith, editor, *CRYPTO '95, Lecture Notes in Computer Science*, pages 424-437. Springer – Verlag, 1995;
16. *Васильев Р. Б.* Квантовые точки: синтез, свойства, применение [Текст] / Р. Б. Васильев Д. Н. Дирин. – Москва: МГУ, 2007. – С. 50;
17. *Гузик В. Ф.* Количественные характеристики степени запутанности [Текст] / В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, В. С. Потапов // Известия ЮФУ. Техни-

- ческие науки. Моделирование физических процессов и систем. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. – № 3. – С. 76 – 86;
18. *Rieffel E., Polak W.* An introduction to quantum computing non-physicists // *ACM Computing Surveys*. – 2000. Vol. 32, no 3. – P. 300 – 335;
 19. *Behrman E.C.* A Quantum Neural Network Computes Entanglement / V. Chandrashekar, Z. Wang, C. K. Belur, J. E. Steck [Электронный ресурс]. – URL: <http://arxiv.org/ftp/quant-ph/papers/0202/0202131.pdf> (дата обращения: 20.03.2022);
 20. *Postler L., Heußen S., Pogorelov I., Rispler M., Feldker T., Meth M., Marciniak C.D., Stricker R., Ringbauer M., Blatt R., Schindler P., Müller M. and Monz T.* Demonstration of fault-tolerant universal quantum gate operations (2021), arXiv:2111.12654;
 21. *Dawson C. M., Haselgrove H. L. and Nielsen M. A.* Noise thresholds for optical quantum computers, *Phys. Rev. Lett.* 96, 020501 (2006);
 22. *Wilén C. D., Abdullah S., Kurinsky N. A., Stanford C., Cardani L., D’Imperio G., Tomei C., Faoro L., Ioffe L. B., Liu C. H., Opremcak A., Christensen B. G., DuBois J. L. and McDermott R.* Correlated charge noise and relaxation errors in superconducting qubits, *Nature* 594, 369 (2021);
 23. *Guo Q., Zhao Y.-Y., Grassl M., Nie X., Xiang G.-Y., Xin T., Yin Z.-Q. and Zeng B.* Testing a quantum error correcting code on various platforms, *Science Bulletin* 66, 29 (2021);
 24. *Yu S., Chen Q. and Oh C. H.* Graphical quantum error correcting codes (2007), arXiv:0709.1780;
 25. *Hu D., Tang W., Zhao M., Chen Q., Yu S. and Oh C. H.* Graphical non-binary quantum error-correcting codes, *Phys. Rev. A* 78, 012306 (2008).24;
 26. *Li M., Gutierrez M., David S. E., Hernandez A. and Brown K. R.* Fault tolerance with bare ancillary qubits for a $[[7,1,3]]$ code, *Phys. Rev. A* 96, 032341 (2017);
 27. *Fosel T., Tighineanu P., Weiss T. and Marquardt F.* Reinforcement learning with neural networks for quantum feedback, *Phys. Rev. X* 8, 031084 (2018);
 28. *Baireuther P., O’Brien T. E., Tarasinski B. and Beenakker C. W. J.* Machine-learning-assisted correction of correlated qubit errors in a topological code, *Quantum* 2, 48 (2018).

Гушанский Сергей Михайлович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н., доцент.

Потапов Виктор Сергеевич – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; ассистент.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Potapov Viktor Sergeevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; assistant.

УДК 004.932

Новиков Анатолий Иванович

АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЕРАТОРОВ С ВЕКТОРНОЙ МАСКОЙ

Обосновывается целесообразность использования векторных масок для решения определенного круга задач цифровой обработки изображений. Поскольку изображение представляет собой матрицу с целочисленными элементами, то традиционно делается вывод о необходимости использования матричных масок для сглаживания изображения, для получения оценок частных производных в задаче детектирования границ и для решения других задач. В докладе приводятся теоретические обоснования и примеры, опровергающие этот вывод и подтверждающие эффективность применения векторных масок для решения названных задач.

Линейный фильтр, нелинейный фильтр, матричная маска, векторная маска, свертка.

Novikov Anatoly Ivanovich

EFFECTIVE ALGORITHMS FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING USING VECTOR MASK FILTERS

The expediency of using vector masks for solving a certain range of digital image processing problems is substantiated. Since the image is a matrix with integer elements, it is traditionally concluded that it is necessary to use matrix masks to smooth the image, to obtain estimates of partial derivatives in the boundary detection problem, and to solve other problems. The report provides theoretical substantiations and examples that refute this conclusion and confirm the effectiveness of the use of vector masks for solving these problems.

Linear filter, non-linear filter, matrix mask, vector mask, convolution.

Введение

Функционирование систем технического зрения (СТЗ) реального времени предполагает применение таких методов и алгоритмов решения задач, стоящих перед конкретной СТЗ, которые обладают низкой вычислительной сложностью. Например, в бортовых СТЗ летательных аппаратов одновременно могут решаться как задачи низкого уровня, так и задачи высокого уровня (совмещение разнородных изображений, обнаружение объектов и т.д.) [1-3]. При этом каждый комплекс задач должен решаться с частотой 25 кадров в секунду. Одним из направлений сокращения вычислительных затрат на обработку изображений является применение линейных операторов (фильтров) с векторными масками для решения определенного круга задач. Ниже рассматриваются две задачи, применение векторных масок в которых позволяет, во-первых, существенно сократить вычислительные затраты, и, во-вторых, обеспечить получение качественного результата на выходе. Первая задача – оценивание дисперсии дискретного белого шума в составе обрабатываемого изображения и модификация на этой основе сигма-фильтра. Вторая задача – получение сглаженных оценок частных производных в задаче детектирования границ перепада яркостей.

Основная часть

1. Оценивание дисперсии и фильтрация шума

Задача фильтрации дискретного белого шума цифрового изображения решается, как правило, в рамках аддитивной модели изображения «сигнал+шум»:

$$I_{ij} = U_{ij} + \xi_{ij}, \quad i = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

или в матричном виде $\mathbf{I} = \mathbf{U} + \mathbf{\Xi}$.

В составе (1) U - плавная низкочастотная составляющая изображения, ξ - некоррелированная нормально распределенная ($\xi \in N(0, \sigma^2)$) случайная составляющая с неизвестной дисперсией $D[\xi] = \sigma_\xi^2$. Для фильтрации дискретного гауссова шума, как правило, используются линейные фильтры с матричными масками. При высоком уровне шума для эффективного подавления последнего приходится увеличивать размер маски, что, в свою очередь, приводит к размытию границ. Выход из ситуации заключается в применении нелинейных фильтров, обладающих учетом локальных свойств изображения и позволяющих сохранять границы без размытия. К числу таких фильтров относятся билатеральный фильтр [4] и сигма-фильтр [5]. Билатеральный фильтр имеет высокую вычислительную сложность, что исключает возможность его применения в СТЗ реального времени.

Сигма-фильтр за счет использования порога Δ учитывает только те пиксели, яркости которых отличаются от яркости центрального пикселя не более, чем на величину порога [5]:

$$\mathbf{A}: \hat{I}_i^{\text{сгл}} = \frac{1}{K} \sum_{s=-k}^k \sum_{t=-k}^k \delta_{st} I_{i+s, j+t}, \quad (2)$$

где

$$K = \sum_{s=-k}^k \sum_{t=-k}^k \delta_{st}, \quad \text{а} \quad \delta_{st} = \begin{cases} 1, & \text{если } |I_{i+s, j+t} - I_{ij}| \leq \Delta, \\ 0, & \text{если } |I_{i+s, j+t} - I_{ij}| > \Delta. \end{cases}$$

Необходимо отметить, что эффективное подавление шума с сохранением границ с помощью сигма-фильтра возможно лишь при условии установления адекватного значения порога отсечения $\Delta = m\sigma$. Для этого необходимо знать значение среднеквадратического отклонения (СКО) σ_ξ дискретного гауссова шума в составе обрабатываемого изображения. Такая модификация сигма-фильтра, основанная на предварительном оценивании СКО σ_ξ шума в составе обрабатываемого изображения, предложена в [6]. Метод оценивания дисперсии дискретного гауссова шума построен на использовании разностных операторов с векторной маской $\mathbf{B} = \mathbf{A}(7) - \mathbf{A}(5)$. Здесь $\mathbf{A}(5), \mathbf{A}(7)$ линейные фильтры с векторными масками длин 5 и 7 соответственно, весовые коэффициенты α_j которых находятся по формуле:

$$\alpha_j = \frac{3}{(4k^2 - 1)(2k + 3)} (3k^2 + 3k - 1 - 5j^2), \quad j = \overline{-k, k}. \quad (3)$$

В соответствии с формулой (3) получаем маски операторов $\mathbf{A}(5)$, $\mathbf{A}(7)$:

$$\alpha^{(5)} = \frac{1}{35}(-3, 12, 17, 12, -3) \quad \alpha^{(7)} = \frac{1}{35}(-3, 12, 17, 12, -3)$$

Операторы $\mathbf{A}(5)$ и $\mathbf{A}(7)$ обеспечивают несмещенное оценивание многочленов до 3-й степени включительно [7]. Разностный оператор (фильтр) \mathbf{B} будет аннулировать низкочастотную составляющую изображения ($\mathbf{B}(\mathbf{U}) \approx 0$) и одновременно выполнять определенную трансформацию случайной составляющей Ξ : $\mathbf{B}(\mathbf{U} + \Xi) \approx \mathbf{B}(\Xi) = \boldsymbol{\eta}$.

В силу некоррелированности значений случайной составляющей ξ в составе изображения дисперсия $D[\eta]$ остаточного шума η будет связана с дисперсией $D[\xi]$ соотношением [6, 7]:

$$D[\eta] = D[B(\xi)] = \sum_{j=-k}^k \beta_j^2 \cdot D[\xi] = \beta_0 \cdot D[\xi]. \quad (4)$$

Из (4) получаем формулу для оценивания искомой дисперсии $D[\xi]$:

$$D[\xi] = D[\eta] / \beta_0. \quad (5)$$

Весовые коэффициенты разностного оператора $\mathbf{B} = \mathbf{A}(7) - \mathbf{A}(5)$ имеют следующий вид [6]: $\beta = \frac{1}{105}(10, -24, 6, 16, 6, -24, 10)$. Откуда $\beta_0 = 16/105$ и формула (5) принимает окончательный вид для практического применения:

$$D[\xi] = \frac{105}{16} D[\eta]. \quad (6)$$

Практическая реализация метода оценивания дискретного гауссова шума в составе изображения заключается в выполнении следующей цепочки вычислений:

1. Изображение разбивается на блоки определенных размеров (от 25x25 до 50x50). В каждом блоке вычисляется дисперсия изображения. Выбирается блок с минимальной дисперсией.

2. В блоке с минимальной дисперсией выполняется построчно обработка изображения с помощью разностного оператора \mathbf{B} . Вычисляется выборочная дисперсия S_η^2 остатка $\boldsymbol{\eta} = \mathbf{B}[\mathbf{I}]$.

3. Вычисляется искомая оценка $\hat{\sigma}_\xi$ СКО шума в исходном изображении по формуле $\hat{\sigma}_\xi = \frac{\sqrt{105}}{4} \sqrt{S_\eta^2}$.

Полученная оценка уровня шума может использоваться для формирования величины порога Δ в сигма-фильтре: $\Delta = m\hat{\sigma}_\xi$.

2. Детектирование границ

Все известные детекторы границ градиентного типа используют матричные маски для получения оценок частных производных в составе градиента функции яркости изображения [3]. В основе матричных масок Собела, Превитта [8] и других авторов лежит известная из математики формула для приближенного вычисления производной одномерного дискретного сигнала $\{f_i\}$: $f'_j = \frac{f_{j+1} - f_{j-1}}{2h}$. Этому преобразованию сигнала отвечает маска $(-1, 0, 1)$. В методе Превитта данная маска повторена для соседних строк (столбцов) с целью учета яркостей в соседних столбцах (строках) и для получения некоторого сглаживающего эффекта. В методе Собела элементы центрального столбца увеличены в 2 раза для придания большего веса пикселям из окрестности центрального пикселя.

Для получения реального сглаживающего эффекта при вычислении оценки частной производной, как показано в [9], целесообразно использовать векторную маску, весовые коэффициенты которой являются оценками метода наименьших квадратов коэффициента b в линейной модели $f(x) = a + bx$. В общем виде искомая векторная маска длины $(2k + 1)$ имеет следующий вид:

$$\frac{3}{k(k+1)(2k+1)}(-k, -k+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, k-1, k). \quad (7)$$

Множитель $3/(k(k+1)(2k+1))$ в составе (7) можно опустить поскольку (в соответствии с логикой градиентных методов) сравниваются между собой значения модулей градиентов в соседних пикселях. Поэтому рабочая маска имеет следующий вид

$$(-k, -k+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, k-1, k). \quad (8)$$

Эта маска обеспечивает нахождение оптимальной (в соответствии с критерием метода наименьших квадратов) оценки параметра b в рамках линейной модели $I(x, y_0) = a + bx + \xi_x, \xi_x \in N(0, \sigma^2), x \in [x_i - k; x_i + k]$ среза изображения $I(x, y)$ по строке y_0 [8]. Аналогично находятся оценки частных производных $\partial_y I_{ij}$ с помощью этой же маски (8), но уже при скольжении по столбцам.

Поскольку оценки частных производных с маской (8) получаются «сглаженными», то отпадает необходимость в предварительном сглажива-

нии (размытии) изображения. Соответственно сокращается вычислительная сложность алгоритма. Это обстоятельство и оригинальные решения на этапе поиска локальных экстремумов модулей градиентов функции яркости позволили создать новый метод градиентного типа детектирования границ [9]. Метод является аналогом и одновременно альтернативой широко известному методу Кенни [10]. Он имеет в среднем в три раза меньшую вычислительную сложность и отличается от метода Кенни формированием итогового контурного изображения с минимальным числом коротких неинформативных линий.

Выводы

Приведено краткое описание методов цифровой обработки изображений с применением векторных масок. Результаты экспериментальных исследований описанных методов будут приведены в расширенной версии доклада.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения. Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова/ М.: Физматлит, 2016.
2. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / М.: Радиотехника, 2008.
3. Гонсалес Р, Вудс Р. Цифровая обработка изображений/ М.: Техносфера 2005.
4. Tomasi C., Manduchi R. Bilateral Filtering for Grey and Color Images // Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision/ Bombay, India, 1998.
5. Lee J.S. Digital Image Smoothing and the Sigma Filter // Computer Vision, Graphics and Image Process/ 1983, 24, № 2.
6. Новиков А.И., Пронькин А.В. Метод оценки уровня шума цифрового изображения // Компьютерная оптика, т. 45, №5. DOI: 10/18287/2412-6179-CO-894.
7. Novikov I. The Formation of Operators with Given Properties to solve Original Image Processing Tasks // Pattern Recognition and Image Analysis / 2015, Vol. 25, № 2. DOI: 10.1134/S1054661815020194.
8. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. - М.: Вильямс, 2004. - 928 с.

9. Новиков А. И., Пронькин А. В. Детектор границ градиентного типа для изображений подстилающей поверхности // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 68. С. 68-76. DOI: 10.21667/1995-4565-2019-68-2-68-76.
10. John Canny. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, no. 6, November, 1986, pp. 679-698.

Новиков Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина, Россия, город Рязань, улица Гагарина 59/1, 390005, телефон: +7 (4912) 72-03-03, email: rgrtu@rsreu.ru.

Novikov Anatoly Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkina, Russia, Ryazan city, Gagarina street 59/1, phone: +7 (4912) 72-03-03, email: rgrtu@rsreu.ru.

УДК 004.4

Сидельников Кирилл Андреевич, Фролов Андрей Евгеньевич,
Хвацев Никита Сергеевич

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

В этой обзорной статье представлено сравнительное исследование различных подходов к решению задачи автоматического распознавания речи, которые широко используются в настоящее время. Обзор раскрывает содержание понятий различных моделей, методов и алгоритмов распознавания речи. Выявлены особенности каждого алгоритма, его преимущества и недостатки. Также для каждой из рассмотренных моделей были выработаны рекомендации по применению.

Распознавание речи, скрытые марковские модели, нейронные сети, динамическая трансформация временной шкалы.

Sidelnikov Kirill Andreevich, Frolov Andrei Evgenevich,
Khvatsev Nikita Sergeevich

COMPARATIVE ANALYSIS OF SPEECH RECOGNITION ALGORITHMS

This review article presents a comparative study of various approaches to solving the problem of automatic speech recognition, which are widely used at the present time. The review reveals the content of the concepts of various models, methods and algorithms of speech recognition. The features of each algorithm, its advantages and disadvantages are revealed. Also, recommendations for use were developed for each of the considered models.

Speech recognition, Hidden Markov models, neural networks, dynamic time warping.

Введение. За последние десятилетия были проведены обширные исследования различных возможных реализаций систем автоматического распознавания речи. Распознавание речи в основном связано с двумя алгоритмами, а именно с акустическим и языковым моделированием. Как акустическое моделирование, так и языковое моделирование являются важными частями современных статистически основанных алгоритмов. Скрытые марковские модели, динамическая трансформация временной шкалы искусственные нейронные сети, глубинные нейронные сети и сквозное распознавание речи являются основными подходами к распознаванию речи. Языковое моделирование используется во многих приложениях обработки естественного языка, таких как классификация документов или статистический машинный перевод [1].

Целью статьи является выработка рекомендаций по применению алгоритмов распознавания речи для уменьшения затрат при выборе системы для коммерческой или научно-исследовательской деятельности.

Скрытые марковские модели. Современные системы распознавания речи общего назначения основаны на скрытых марковских моделях (СММ). Это статистические модели, которые выводят последовательность символов или величин. СММ используются в распознавании речи, потому что речевой сигнал можно рассматривать как кратковременный стационарный сигнал. В коротком временном масштабе (например, 10 миллисекунд) речь может быть аппроксимирована как стационарный процесс [2].

Еще одна причина популярности СММ заключается в том, что их можно обучать автоматически, а также они просты и удобны в использовании с точки зрения вычислений. Каждое слово или каждая фонема будет иметь различное выходное распределение. Скрытая марковская модель для последовательности слов или фонем создается путем объединения отдельных обученных скрытых марковских моделей для отдельных слов и фонем [3].

Декодирование речи будет использовать алгоритм Витерби для поиска наилучшего пути, и здесь есть выбор между динамическим созданием комбинации скрытой марковской модели, которая включает как акустическую, так и языковую модель информации, и ее статическим объединением (конечный автомат с выходом). Возможное улучшение декодирования заключается в том, чтобы хранить набор хороших кандидатов вместо того, чтобы хранить только лучшего кандидата, и использовать лучшую функцию для оценки этих хороших кандидатов, чтобы можно было выбрать лучшего в соответствии с этой оценкой.

Алгоритм динамической трансформации временной шкалы. Данный подход исторически использовался для распознавания речи, но в настоящее время в значительной степени вытеснен более успешным подходом, основанным на СММ.

Алгоритм динамической трансформации временной шкалы – это алгоритм для измерения соответствия между двумя последовательностями, которые могут различаться по времени или скорости [4].

Известным применением является автоматическое распознавание речи, позволяющее справляться с различными скоростями речи. Данный метод позволяет компьютеру находить оптимальное соответствие между двумя заданными последовательностями (например, временными рядами) с определенными ограничениями. То есть последовательности деформируются нелинейно, чтобы соответствовать друг другу. Этот метод выравнивания последовательностей часто используется в контексте скрытых марковских моделей.

Искусственные нейронные сети. Нейронные сети используются во многих аспектах распознавания речи, таких как классификация фонем, классификация фонем с помощью многоцелевых эволюционных алгоритмов, распознавание отдельных слов, распознавание аудиовизуальной речи [5].

Нейронные сети делают меньше явных предположений о статистических свойствах объектов, чем СММ, и обладают рядом качеств, делающих их привлекательными моделями для распознавания речи. При использовании для оценки вероятностей сегмента речевого признака нейронные сети позволяют проводить обучение поиску различий естественным и эффективным способом. Однако, несмотря на их эффективность в классификации кратковременных единиц, таких как отдельные фонемы и отдельные слова, ранние нейронные сети редко были успешны в задачах непрерывного распознавания из-за их ограниченной способности моделировать временные зависимости.

Одним из подходов к решению этой проблемы было использование нейронных сетей в качестве предварительного этапа обработки, преобразования признаков или уменьшения размерности перед распознаванием на основе СММ. Однако рекуррентные нейронные сети и нейронные сети с временной задержкой демонстрируют улучшенную производительность в этой области по сравнению с обычными искусственными нейронными сетями [6].

Глубинные нейронные сети. Данный вид нейронных сетей также находится в состоянии исследования. Глубинная нейронная сеть (ГНС) – это искусственная нейронная сеть, имеющая несколько скрытых слоев, которые находятся между входным и выходным слоем [7]. Глубинные нейронные сети могут моделировать сложные нелинейные взаимосвязи. Архитектуры глубинных нейронных сетей генерируют композиционные модели, где дополнительные слои позволяют компоновать признаки из более низких слоев, что дает огромную способность к обучению и, следовательно, потенциал для моделирования сложных моделей речевых данных.

Одним из фундаментальных принципов глубокого обучения является отказ от ручного конструирования признаков. Этот принцип был впервые успешно исследован в архитектуре глубинного автокодировщика на необработанных спектрограммах [8]. Необработанные данные, включающие особенности речи и формы сигналов, дают отличные результаты при распознавании речи в больших объемах.

Сквозное автоматическое распознавание речи. Традиционные подходы, основанные на фонетике (т.е. все модели, основанные на СММ), требовали отдельных компонентов и обучения для модели произношения, а также для акустической и языковой моделей. В сквозных моделях происходит совместное обучение всех компонентов средства распознавания ре-

чи. Это упрощает сам процесс обучения и развертывания модели. Например, для всех систем на основе СММ требуется n -граммная языковая модель, а типичная n -граммная языковая модель часто занимает несколько гигабайт памяти, что делает их непрактичными для развертывания на мобильных устройствах. Следовательно, современные коммерческие системы распознавания речи развертываются в облаке, а не локально на устройстве, и требуют подключения к сети [9].

Первые системы сквозного автоматического распознавания речи были основаны на коннекционистско-темпоральной классификации (КТК). Система состояла из рекуррентных нейронных сетей и слоя КТК. В данной системе совместно обучаются модель произношения и акустическая модель.

Альтернативным подходом к моделям, основанным на КТК, являются модели, основанные на внимании. Модель, названная «Listen, Attend and Spell» (LAS), буквально «слушает» акустический сигнал, обращает «внимание» на различные части сигнала и «произносит» расшифровку по одному символу за раз [10]. В отличие от моделей на основе КТК, модели, основанные на внимании, не могут напрямую обучать все компоненты системы распознавания речи, включая модель произношения, акустическую и языковую модели. Это означает, что во время развертывания нет необходимости носить с собой языковую модель, что делает ее очень практичной для приложений с ограниченной памятью [11]. Модели, основанные на внимании, добились значительного успеха, в том числе превзошли модели на основе КТК.

Вывод. Распознавание речи, выполненное с использованием различных алгоритмов машинного обучения и методов извлечения признаков, дает различные результаты. Например, использование скрытых марковских моделей приводит к ускорению общего поиска. Также использование алгоритма динамической трансформации временной шкалы при совместном использовании со скрытыми марковскими моделями позволяет снизить частоту ошибок при распознавании слов. Однако модели относящиеся к сквозному распознаванию речи имеют также низкий процент ошибок при распознавании слов, но при этом являются практичным вариантом для приложений с ограниченной памятью. А также с помощью сквозного подхода может быть упрощено обучение данных, так не требуется словарь и производится сопоставление аудио непосредственно с текстами без необходимости определения каких-либо предыдущих данных.

Стандартным подходом является сочетание скрытых марковских моделей с алгоритмами динамической трансформации временной шкалы, для которых заранее требуется языковая модель и фонетический словарь. В итоге, согласно анализу, данный подход позволяет достигнуть наиболее точных результатов в автоматическом распознавании речи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тампель И.Б. Автоматическое распознавание речи – основные этапы за 50 лет / И.Б. Тампель // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – № 6. – С. 957–968.
2. Gaida C. Comparing open-source speech recognition toolkits [Электронный ресурс]. / C. Gaida et al. // Technical Report of the Project OASIS. – URL: <http://suendermann.com/su/pdf/oasis2014.pdf> (дата обращения: 30.05.2022).
3. Балакшин П.В. Алгоритмические и программные средства распознавания речи на основе скрытых марковских моделей для телефонных служб поддержки клиентов: дис. ... канд. техн. Наук : 05.13.11 : защищена 10.12.2015 : утв. 08.06.2016 / Балакшин Павел Валерьевич. – СПб.: Университет ИТМО, 2014. – 127 с.
4. Гусев М.Н. Система распознавания речи: основные модели и алгоритмы / М.Н. Гусев, В.М. Дегтярев. – СПб.: Знак, 2013. – 128 с.
5. Povey D. et al. Subspace Gaussian mixture models for speech recognition // Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010 IEEE International Conference on. – IEEE, 2010. – С. 4330-4333.
6. Беленко М.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом / М.В. Беленко // Сборник трудов V Всероссийского конгресса молодых ученых. Т. 2. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – С. 45-49.
7. Купяткова И. С., Карпов А. А. Разновидности глубоких искусственных нейронных сетей для систем распознавания речи // Труды СПИИРАН. – 2016. – Т. 6. – №. 49. – С. 80-103.
8. Sundermeyer M., Schlüter R., Ney H. LSTM Neural Networks for Language Modeling // Interspeech. – 2012. – С. 194-197.
9. Алимуратов А.К. Адаптивный метод повышения эффективности голосового управления / А.К. Алимуратов, П.П. Чураков // Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии» – 2016. – С. 196-200.
10. Ogata K. Analysis of articulatory timing based on a superposition model for VCV sequences / K. Ogata, K. Nakashima // Proceedings of IEEE International

Conference on Systems, Man and Cybernetics – 2014. – January ed. – P. 3720-3725.

11. *Xiong W. et al.* The Microsoft 2016 conversational speech recognition system // arXiv preprint arXiv:1609.03528. – 2016.

Сидельников Кирилл Андреевич, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344000, телефон: +7 (909) 401-09-01, email: kirill.sidelnikov@icloud.com.

Фролов Андрей Евгеньевич, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344000, телефон: +7 (918) 893-21-42, email: frolove_andrey@vk.com.

Хвацев Никита Сергеевич, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344000, телефон: +7 (989) 617-88-54, email: khvatsev@mail.ru.

Sidelnikov Kirill Andreevich, student of the Don State Technical University, 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin square 1, phone: +7 (909) 401-09-01, email: kirill.sidelnikov@icloud.com.

Frolov Andrei Evgenevich, student of the Don State Technical University, 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin square 1, phone: +7 (918) 893-21-42, email: frolove_andrey@vk.com.

Khvatsev Nikita Sergeevich, student of the Don State Technical University, 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin square 1, phone: +7 (989) 617-88-54, email: khvatsev@mail.ru.

УДК 004.032.26

Калинин Никита Владимирович, Корячко Вячеслав Петрович,
Никифоров Михаил Борисович

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ РЕСТАВРАЦИИ КАРТИН

В данной статье рассматривается способ реставрации картин с применением сверточной нейронной сети VGG19. Реализован алгоритм, предложенный в 2015 году Леоном Гатисом. Пиксели исходного изображения рассматриваются в алгоритме градиентного спуска как настраиваемые параметры. Чем ближе исходное изображение к желаемому, тем критерий качества должен

быть меньше. Нейронная сеть в данном случае дает возможность оценить конкретность и степень стилизации.

Нейронные сети, обработка изображений, перенос стилей.

Kalinin Nikita Vladimirovich, Koryachko Vyacheslav Petrovich,
Nikiforov Mikhail Borisovich

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN RESTORATION OF PICTURES

This article discusses a method for restoring paintings using the VGG19 convolutional neural network. The algorithm proposed in 2015 by Leon Gatys has been implemented. The pixels of the original image are treated as adjustable parameters in the gradient descent algorithm. The closer the source image is to the desired one, the lower the quality criterion should be. The neural network in this case makes it possible to assess the specificity and degree of stylization.

Neural networks, image processing, style transfer.

Введение

Картины, так же, как и все в этом мире, имеют свойство стареть. И когда они становятся старше, они начинают изнашиваться и повреждаться. Задача реставраторов – нарисовать недостающий участок именно так, какой он был изначально, с сохранением стиля первоначального автора. В таком нелегком деле реставраторам должны приходить на помощь современные технологии – нейронные сети, способные повторить стиль первоначального автора. Любые реставрационные работы с применением нейросетей связаны с восстановлением какого-либо утраченного участка. Существует два основных принципа, по которым с помощью нейросетей можно восстановить участок изображения:

1. Нейросеть на основе других работ автора пытается самостоятельно заполнить недостающий участок. Данный вариант сложен в реализации, к тому же восстановленный фрагмент может сильно отличаться от первоначального.

2. Опытный реставратор самостоятельно зарисовывает утраченный участок, а нейронная сеть уже переносит основной стиль автора.

Второй способ более предпочтителен, так как он не требует большой обучающей выборки, алгоритм будет более прост, а качество реставрационных работ будет высоким. В данной задаче применяются сверточные

нейронные сети, так как именно они предназначены для распознавания на изображениях основных паттернов для последующего переноса, которые человек не может выделить самостоятельно.

Нейронный перенос стиля

Сверточные сети предназначены для распознавания основных паттернов на изображениях. На вход нейрона подается сигнал только в пределах ограниченной области (как правило, апертурой 3x3 пикселей). Затем апертура смещается на какое-то число пикселей и сигнал подается уже на второй нейрон. Таким образом выполняется сканирование всего изображения.

Сверточные нейронные сети работают на принципе фильтров, которые распознают определенные характеристики изображения (например, прямых линий). Фильтр, по своей сути, это обычная матрица, применение которой дает определенный эффект.

Алгоритм нейронного переноса стиля был разработан в 2015 году командой, состоящей из Леона Гатиса, Матиаса Бетге и Александра Экера. Разработка позволяет преобразовывать входное изображение в соответствии со стилем второго. То есть существует 2 входных изображения:

1. Контент (ContentImage) – изображение, которое требуется стилизовать.
2. Стил (StyleImage) – изображение, стиль которого требуется применить.

Далее алгоритм изменяет контентное изображение таким образом, чтобы оно соответствовало стилевому изображению. В оригинальном алгоритме в качестве модели сверточной нейронной сети применялась сеть VGG16, однако сейчас данный алгоритм реализуется на более развитой сети VGG19.

Сеть VGG16 является сверточной сетью, которая способна определять некоторые паттерны, которые человек не способен распознать (тонкие прямые линии, кривые различной формы, окружности и так далее). Такие паттерны именуются признаками, а набор подобных элементов – карта признаков. Выполняется выделение карт признаков с помощью первого сверточного слоя сети VGG16. Уже 10-ый слой способен распознавать более сложные паттерны – машина, дерево, кошка и тому подобное.

Выполняя передачу стиля, нейронная сеть не обучается. Скорее итеративно модифицируется каждый пиксель таким образом, чтобы минимизировать функцию затрат (потерь). Другими словами, при обучении

нейронных сетей мы обновляем веса и смещения, но при передаче стиля мы сохраняем веса и смещения постоянными.

Функция затрат существует на основе двух понятий - потеря стиля ($L_{content}$) и потеря контента (L_{style}).

$$L_{content}(C, G, L) = \frac{1}{2} \sum_{ij} (a[l](C)_{ij} - a[l](G)_{ij})^2,$$

где a — тензор выходов слоев сети, l — номер сверточного слоя, C — изображение, G - сгенерированное изображение, S - стиль изображения.

$$L_{style}(S, G, l) = \frac{1}{4N_l^2 M_l^2} (\sum_{ij} (GM[l](S)_{ij} - GM[l](G)_{ij}))^2,$$

где $GM[l](S)$ – матрица Грама для стилового изображения, $GM[l](G)$ – матрица Грама для стилового изображения.

Общая функция потерь выглядит следующим образом:

$$L_{total}(S, C, G) = \alpha L_{content} + \beta L_{style},$$

где α и β – коэффициенты значимости.

Постановка задачи

Предположим, что требуется реставрировать картину, на которой представлена на рис. 1.



Рис. 1. Картина Винсента Ван Гога «Звездная ночь»

В ней утрачен фрагмент, который на самом деле был вырезан для последующего сравнения результатов (рис. 2). Задача – на рисунок реставратора выполнить перенос стиля автора.

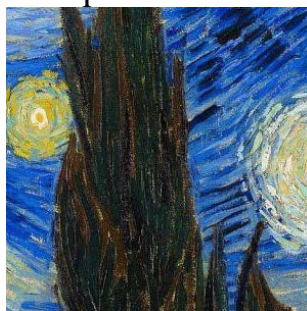


Рис. 2. Удаленный фрагмент

Общее описание идеи алгоритма

VGG19 – сверточная нейронная сеть, состоящая из 19 слоев. Данная сеть обучена на обучающем множестве, состоящем из 10 000 000 изображений размером 224x224 пикселей [1]. Данная нейронная сеть изначально применяется в задачах классификации, но после некоторых модификаций VGG19 допустимо применять в задачах переноса стиля[2].

На данный момент существует множество подобных алгоритмов разной степени вычислительной сложности. В рамках выполняемой работы будет реализован алгоритм, предложенный в 2015 году Леоном Гатисом. Идея проста – берется исходное изображение, вернее его пиксели, которые рассматриваются в алгоритме градиентного спуска как настраиваемые параметры. Чем ближе исходное изображение к желаемому, тем критерий качества должен быть меньше. Такой алгоритм реально реализовать и без нейронной сети, однако именно она дает возможность оценить конкретность и степень стилизации. Таким образом, нейронная сеть используется при вычислении критерия качества. В ходе выполнения работы был разработан способ переноса стиля одного изображения на другое на основе алгоритма Леона Гатиса. Разработана оценка качества переноса стиля, которое оценивает нейронная сеть VGG19 с помощью метода градиентного спуска.

Результаты работы метода

Вместо реставратора изобразим недостающий фрагмент. Делается это в простейшем графическом редакторе.



Рис. 3. Восстановленный вручную рисунок

Теперь создадим изображение стилей – возьмем уже имеющееся изображение и из его частей приблизительно и крупными мазками соберем новое. Оно служит для того, чтобы алгоритм примерно понимал, в какую область какой стиль применить. Такое изображение полностью создано из участков исходного (рис. 4)



Рис. 4. Изображение стилей

Меняя количество итераций, рассмотрим самый успешный результат (100 итераций, так как именно на нем сильнее всего проявились мазки кистью, и он более насыщен по цветовой гамме), полученный алгоритмом, с восстановленным вручную. Можно заметить, что даже схематичный набросок нейронная сеть способна преобразовать в нечто похожее на исходное изображение.

Таблица 1

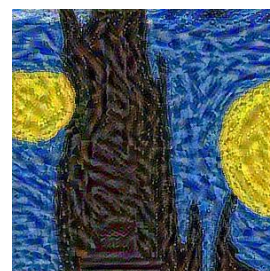
Сравнение результатов



Ручной набросок



Оригинальный фрагмент



Восстановленный рисунок с применением нейронной сети

В качестве дополнительного эксперимента был проведен перенос стиля на изображение. На рис. 5 изображен Рязанский Государственный Радиотехнический Университет в стиле картины Винсента Ван Гога «Звездная ночь».

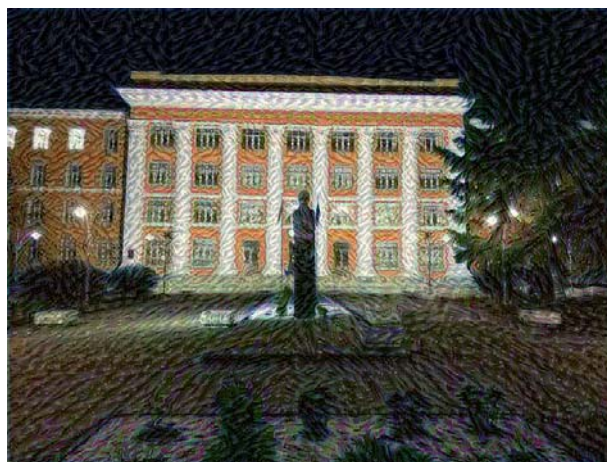


Рис. 5. Применение стиля к изображению

Заключение

В задачах реставрации картин основная проблема заключается в том, что художник-реставратор может случайно привнести собственные правки в исходный стиль полотна. Данная работа направлена в помощь таким специалистам. В ходе выполнения работы был разработан способ перенесения стиля одного изображения на другое. Сделано это с помощью метода градиентного спуска, критерий качества которого оценивает нейронная сеть VGG19.

В ходе проделанных экспериментов было выяснено, что данный способ позволяет даже из схематичного изображения реставрируемой области получить качественный результат – алгоритм добавил мазки кистью и сделал изображение более насыщенным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Документация по VGG19. Электронный ресурс: [URL] <https://docs.exponenta.ru/deeplearning/ref/vgg19.html>. Дата обращения: 8 апреля 2022.
2. Simonyan K. VERY DEEP CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR LARGE-SCALE IMAGE RECOGNITION, / Simonyan K. – «ICLR», 2015
3. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере. / А.Н. Горбань - «Наука», 1996. — 276 с.
4. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей /А.Н. Горбань - «Параграф», 1990. — 160 с.
5. Дефекты живописи. Электронный ресурс: [URL] <https://holsta.net/articles/defekti-zhivopisi.html>. Дата обращения: 15 апреля 2022.

6. *Емельянов-Ярославский Л. Б.* Интеллектуальная квазибиологическая система, М., «НАУКА», 1990 — книга о одном подходе самообучения в соответствии с квазибиологической парадигмой
7. Краткое введение в тензоры. Электронный ресурс: [URL] <https://habr.com/ru/post/261563/>. Датаобращения: 16апреля 2022.
8. Мандель И. Д. Кластерный анализ. / И. Д. Мандель «Финансы и статистика», 1988.
9. Нейронная сеть // Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов. — М. : Большая российская энциклопедия, 2004—2017.
10. *Сигеру О.* Нейроуправление и его приложения / Сигеру О. «ИПРЖР», 2000. — 272 с.
11. Синтез цвета // Фотокинетика: Энциклопедия / Гл. ред. Е. А. Иофис. — М.: Советская энциклопедия, 1981. — 447 с.
12. *Тадеусевич Р.* Элементарное введение в технологию нейронных сетей с примерами программ / Перевод И. Д. Рудинского «Телеком», 2011. — 408 с.
13. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика /Ф. Уоссермен «Мир», 1992. — 240 с. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. ISBN 5-86134-060-9.
14. *Шлезингер М.* Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М. Шлезингер — Киев.
15. *Zalta E.* Stanford Encyclopedia of Philosophy / E. Zalta - Stanford University, 2019 – 103 p.

Калинин Никита Владимирович, магистрант Рязанского Государственного Радиотехнического Университета им. В.Ф. Уткина, город Рязань, улица Гагарина 59/1, телефон +7(920)9545025, email: nikit.kalinin.2000@mail.ru.

Корячко Вячеслав Петрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой САПР ВС Рязанского Государственного Радиотехнического Университета им. В.Ф. Уткина, город Рязань, улица Гагарина 59/1.

Никифоров Михаил Борисович, к.т.н., доцент, директор НОЦ «СпецЭВМ» Рязанского Государственного Радиотехнического Университета им. В.Ф. Уткина, город Рязань, улица Гагарина 59/1.

Kalinin Nikita Vladimirovich, undergraduate of the Ryazan State Radio Engineering University. V.F. Utkina, Ryazan city, Gagarin street 59/1, telephone +7(920)9545025, e-mail: nikit.kalinin.2000@mail.ru.

Koryachko Vyacheslav Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the SCAD CS Department of the Ryazan State Radio Engineering University named after. V.F. Utkina, Ryazan city, Gagarin street 59/1.

Nikiforov Mikhail Borisovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of REC «SpetsEVM», Ryazan State Radio Engineering University. V.F. Utkina, Ryazan city, Gagarin street 59/1.

УДК 21474

Синютин Сергей Алексеевич, Шпаковская Оксана Юрьевна

РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ КОРПУСА ПОРТАТИВНОГО ПНЕВМОТРЕНАЖЕРА НА ОСНОВЕ ТРУБКИ ФЛЕЙША

Статья посвящена разработке модели компактного портативного пневмотренажера, предназначенного для тренировки и диагностики респираторной системы в домашних условиях. Пневмотренажер позволяет не только выявить возможные патологии дыхательной системы, но и проводить серии дыхательных упражнений, направленных на активацию дыхательных функций. Приложение в андроидустройстве в индивидуальном порядке регулирует уровень сложности тренажно-игровой ситуации. Собирает и обрабатывает аналитику данных. При необходимости останавливает дыхательное упражнение. Целью работы было создание портативного тренажера, с минимальными размерами корпуса, простого в использовании, предназначенного для домашнего использования, доступного по цене для среднестатистического пользователя.

Тренажер дыхания, пневмотренажер, COVID-19, пневмония, спирография, спирометрия, трубка Флейша, моделирование, микроконтроллер.

Sinutin Sergey Alekseevich, Shpakovskaya Oksana Yurievna

DEVELOPMENT OF A 3D MODEL OF A PORTABLE HOUSING A PNEUMATIC TRAINER BASED ON A FLEISCH TUBE

The article is devoted to the development of a model of a compact portable pneumatic simulator designed for training and diagnosing the respiratory system at home. The pneumatic simulator allows not only to identify possible pa-

thologies of the respiratory system, but also to conduct a series of breathing exercises aimed at activating respiratory functions. The application in the android device individually regulates the level of complexity of the training and game situation. Collects and processes data analytics. If necessary, stops the breathing exercise. The aim of the work was to create a portable simulator, with a minimum body size, easy to use, designed for home use, affordable for the average user.

Breathing simulator, pneumatic simulator, COVID-19, pneumonia, spirometry, Fleisch tube, modeling, microcontroller.

Проблема заболевания пневмонией, вызванной новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) охватила все страны мира. Пандемия привела к увеличению нагрузки на всю систему здравоохранения: нехватка лечебного персонала, переполненные больницы и поликлиники, потребность пациентов в кислородном оборудовании и аппаратах искусственной вентиляции легких (ИВЛ) для реанимационных мероприятий. Возникла необходимость разработки и применения дыхательных аппаратов и тренажеров дыхания, позволяющих активировать дыхательные функции, снизить риск возникновения осложнений, провести реабилитационные процедуры и оценку функционального состояния дыхательной системы пациента [2].

Обзор существующих аналогов показал, что в настоящее время существует множество приборов для диагностики и тренировки дыхательной системы, которые могут применяться в стационаре и в пределах поликлиник из-за их габаритов и требуют присутствия специалиста, обладающего медицинскими знаниями. Также существуют приборы для тренировки дыхания, которые могут использоваться дома, но данные приборы не диагностируют особенности дыхательной системы, не визуализируют результаты тренировок, не обрабатывают данные об изменениях работы респираторной системы [1,3-5]. Поэтому весьма актуальной задачей является разработка компактного, доступного по цене, позволяющего пользователю, не обладающему профессиональными медицинскими и техническими знаниями проводить индивидуальную реабилитацию респираторной дыхательной системы, с возможностью проведения объективной оценки респираторной системы.

Одними из основных методов диагностики параметров дыхания является спирометрия и спирография. Данные методики основаны на измерении параметров воздушного потока в процессе дыхания, таких физиче-

ских величин как давление и скорость его изменения (поток). Современные спирографы результаты механического измерения величины преобразуют в электрические сигналы, позволяют оценивать состояние дыхательной системы человека, выявлять заболевания. В качестве метода для измерения потока был выбран метод трубка Флейша - устройство, представляющее собой трубу, внутри которой находится аэродинамическое сопротивление в виде решетки. С помощью установленного дифференциального датчика измеряем разницу давлений, возникающего при протекании воздуха в трубке до воздушного сопротивления (решетки) и после решетки. Разница давлений до и после сопротивления пропорциональна объему воздуха, протекающего сквозь решетку за единицу времени, то есть скоростному потоку.

На рис. 1 представлен эскиз модели портативного пневмотренажера, представляющая собой малогабаритный прибор, состоящий из трубки, внутри которой имеется аэродинамическое сопротивление (мембрана). В пространстве за мембраной находится высокочувствительный датчик давления [1,6,7] и датчик температуры, который используется для регистрации скорости и направления воздушного потока.

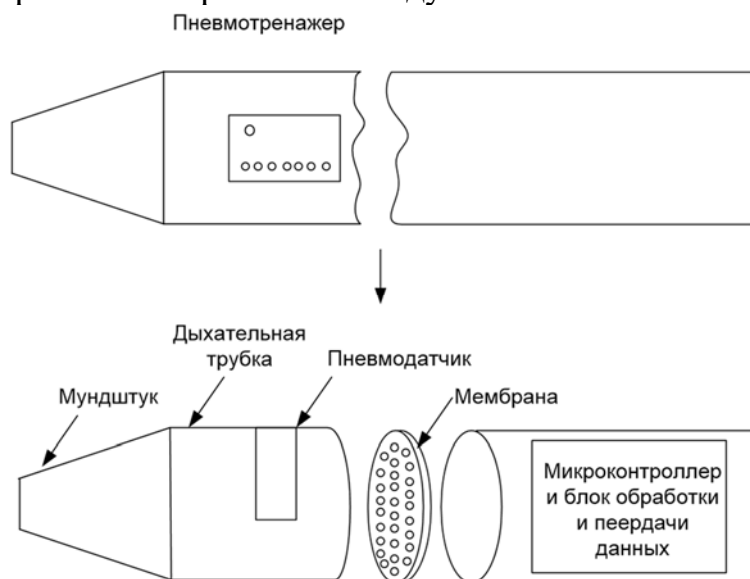


Рис. 1. Создание эскиза дыхательной трубки (трубки Флейша), в состав которой входит датчик давления

Человек дышит в трубку, поток воздуха поступает на датчик, подключенный к микроконтроллеру, который обрабатывает и передает данные по радиоканалу на андроид-устройство. Приложение в андроид-устройстве

отображает эти данные в виде определенной тренажно-игровой картинки [1].

Далее была разработана модель конструкции, которая вмещает все необходимые элементы пневмотренажера (микроконтроллер, аккумулятор, модуль связи, датчик, клавиатуру) и отвечает требованиям портативности и малогабаритности.

Для разработки конструкции был выбран продукт OpenScad. OpenScad- это программа 2D/3D и твердотельного моделирования, которая основана на функциональном программном языке, используемая для создания моделей, которые можно отобразить на экране и экспортировать в различные 2D/3D форматы файлов.

Для создания модели прибора и компоновки составляющих элементов, были разработаны модели этих устройств, в виде параллелепипедов с соответствующими габаритными размерами.

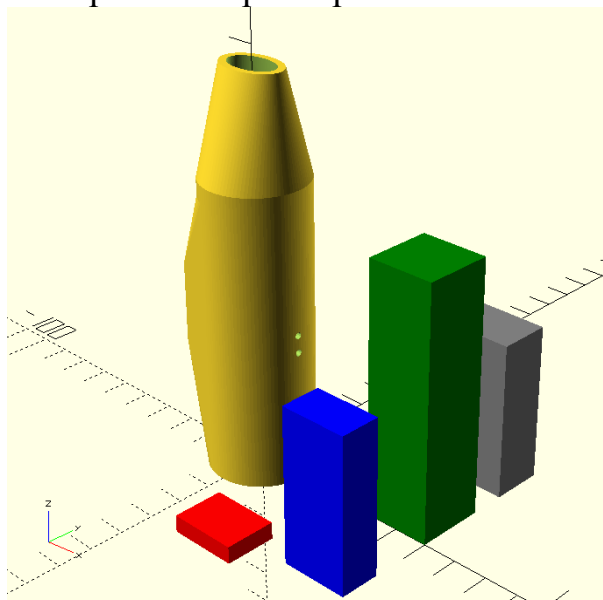


Рис. 2. Габаритные размеры внутренних компонентов прибора (зеленый – аккумулятор, серый – микроконтроллер, синий – модуль связи, красный – датчик давления)

В данном варианте корпуса разместить все оборудование не представляется возможным.

Следующим шагом стало моделирование добавочного прямоугольного корпуса, в котором находится аккумулятор, модуль связи, микроконтроллер и совмещение его с цилиндром-загубником, в котором находится датчик давления.

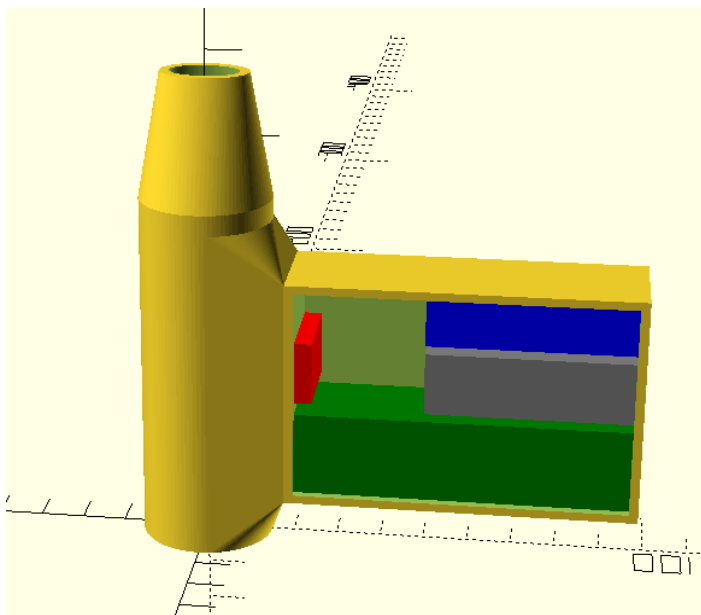


Рис. 3. Модель пневмотренажера №1

Представленная на рис. 3 модель пневмотренажера вмещает все необходимые элементы прибора, но форма корпуса нетехнологична - требуется весьма сложная прессформа при массовом производстве, что приведет к повышению стоимости изготовления прибора.

Решение данной проблемы станет возможным, если использовать не продольную компоновку элементов, а поперечную. Для этого необходимо развернуть трубу на 90 градусов. Причем диаметр трубы должен соответствовать размеру прямоугольного корпуса. Прямоугольный корпус закрывается съемной крышкой.

Поскольку первая часть трубки Флейша непосредственно сообщается с атмосферой и формирует направленный поток, то без больших погрешностей для относительных измерений потока можно её убрать, оставив только часть трубки за аэродинамическим сопротивлением. При этом можно использовать один высокоточный датчик давления до эксперимента он фиксирует статическое атмосферное давление, во время экспериментов - давление во второй части трубки Флейша, считая, что атмосферное давление сильно не меняется во время эксперимента. Поскольку в рамках задач проекта интерес представляет лишь движение потока, изменением атмосферного давления во время эксперимента можно пренебречь.

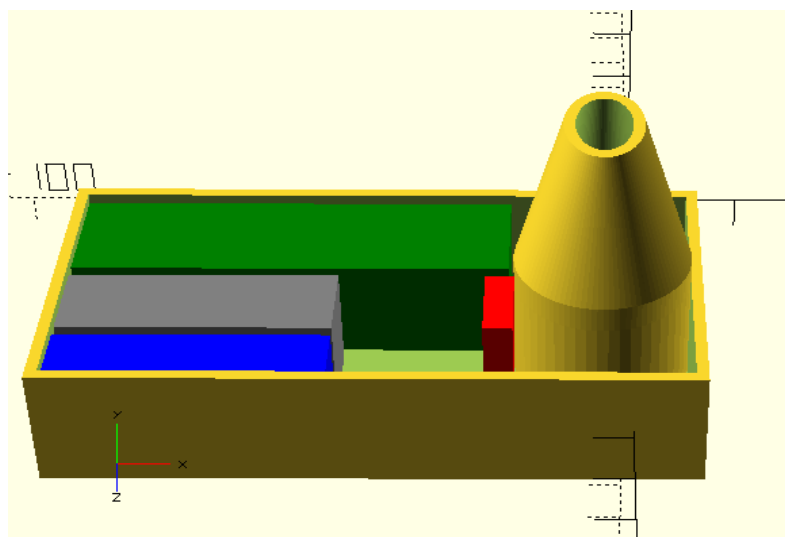


Рис. 4. Модель пневмотренажера №2

На рис. 4 представлена вторая модель пневмотренажера с поперечной компоновкой элементов. В данном варианте удалось скомпоновать все элементы прибора. Данный вариант является наиболее компактным, технологичным, удобным для использования, менее хрупким за счёт уменьшения выступающих элементов.



Рис. 5. Модель пневмотренажера с поперечной компоновкой элементов

С помощью данного прибора при наличии андроид-устройства пользователь сможет тренировать дыхательную систему в домашних условиях. Данный прибор позволит активировать дыхательные функции и снизить риск возникновения осложнений для людей страдающих хроническими заболеваниями дыхательных путей, а также от последствий пневмонии, в том числе вызванной COVID-19. Данный прибор будет актуален и интересен спортсменам, которым необходимо вырабатывать правильный темп и глубину дыхания, а также людям, следящим за своим здоровьем для проведения дыхательного тренинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Леонова А.В., Синютин С.А., Шпаковская О.Ю.* «Разработка портативного пневмотренажера для тренировки дыхательной системы в борьбе с последствиями от перенесенного COVID-19»//Инженерный вестник Дона, №4 (2022) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7575 (дата обращения: 5.05.2022)
2. Газета.ru. «Медленное умирание: как восстановиться от Covid 19 в России» от 12.11.2020 //Электронный ресурс: <https://www.gazeta.ru/social/2020/11/11/13357159.shtml?updated>, (дата обращения 12.12.2021).
3. *Miller M.R., Crapo R., Hankinson J. et al.* General considerations for lung function testing. Eur. Respir. J. 2005; 26 (1): 153–161.
4. Официальный сайт медицинских международных исследований URL: spirometry.com (дата обращения: 08.04.2022).
5. *Richardson C.H., Orr N.J., Ollosson S.L., Irving S.J., Balfour-Lynn I.M., Carr S.B.* Initiating home spirometry for children during the COVID-19 pandemic Dept. Paediatric Respiratory Medicine, Royal Brompton Hospital, London, UK. URL: spirometry.com/publications (дата обращения: 08.04.2022).
6. *Тараканов С. А., Кузнецов В. И., Кузнецов А. О.* Длительный мониторинг дыхания человека // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2017 (дата обращения: 08.04.2022).
7. *Лысенко И.Е.* Моделирование интегрированного внутреннего упругого подвеса микромеханического устройства // Инженерный вестник Дона, 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/223 (дата обращения: 08.04.2022)

Синютин Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой встраиваемых и радиоприемных систем института радиотехнических систем и управления в составе Южного Федерального Университета.

Шпаковская Оксана Юрьевна, магистр института радиотехнических систем и управления ЮФУ.

Sinyutin Sergey Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management at the Southern Federal University.

Shpakovskaya Oksana Yurievna, Master of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University.

ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОАНЕМОМЕТРА

В работе рассматривается возможность повышения точности измерений значений скорости потока жидкости с помощью термоанемометрических измерителей при использовании метод построения пространственной мульти-сегментной передаточной характеристики на основе нелинейных пространственных элементов. Рассматриваемая модель передаточной характеристики максимально адаптирована к особенностям конфигурации функции преобразования первичного измерительного преобразователя, фактически повторяя ее пространственную форму с учетом нелинейности, дрейфа нуля и влияния температуры на выходной сигнал преобразователя. Такой метод обеспечивает низкую погрешность вычисления скорости потока жидкости. Исследование проводилось на основе экспериментальных данных, полученных в процессе их градуировки реального чувствительного элемента при различных значениях температуры. Полученные результаты показывают, что максимальная приведенная погрешность измерения скорости потока жидкости термоанемометром с применением рассматриваемого метода не превышает 0,45% при произвольной, зафиксированной при проведении измерений температуре.

Термоанемометрический измеритель, пространственная мульти-сегментная характеристика преобразования, погрешность, скорость потока жидкости, аппроксимация, метод наименьших квадратов.

Udod Evgeniy Vasilyevich

FORMATION OF ERRORS IN DIGITAL PRESSURE SENSORS

The paper considers the possibility of improving the accuracy of measurements of fluid flow velocity values using thermoanemometric meters when using the method of constructing a spatial multi-segment transfer characteristic based on nonlinear spatial elements. The considered model of the transfer characteristic is maximally adapted to the configuration features of the conversion function of the primary measuring converter, actually repeating its spatial form, taking into account the nonlinearity, zero drift and the influence of temperature on the output signal of the converter. This method provides a low error in calculating the fluid flow rate. The study was conducted on the basis of experimental data obtained during their calibration of a real

sensor element at different temperature values. The results obtained show that the maximum reduced error of measuring the fluid flow velocity by a thermoanemometer using the method under consideration does not exceed 0.45% at an arbitrary temperature recorded during measurements.

Thermoanemometric meter, spatial multi-segment characteristic of the transformation, error, fluid flow rate, approximation, least squares method.

Снижение погрешности и повышение достоверности определения значений физических величин представляет собой одну из важнейших задач совершенствования математических и алгоритмических методов обработки данных в микропроцессорных датчиках физических величин [1, 2]. Проблема повышения точности измерений актуальна как при построении датчиков и измерительных устройств [3 – 5], так и при применении результатов измерений для решения задач мониторинга и управления, в том числе, оценки и прогнозирования состояния контролируемых физических переменных и объектов [6, 7]. Снижение погрешности измерений связано с используемой в датчике модели характеристики преобразования (градуировочной характеристики).

Обработка поступающих сигналов в микропроцессоре датчика может осуществляться с использованием различных моделей характеристики преобразования, таких как кусочно-линейная аппроксимация пространственной характеристики преобразования датчика [8], матричная полиномиальная модель [5 – 8], аппроксимация характеристики с использованием сплайнов [7], алгоритмы нейронных сетей [8].

Перечисленные модели используют единого представление характеристик преобразования для всей области изменения измеряемой величины и внешнего влияющего фактора (области определения характеристики) [8]. Для повышения точности измерения скорости потока жидкости с помощью термоанемометрических измерителей (ТА) в работе предлагается использовать метод мультисегментной аппроксимации характеристики преобразования микропроцессорного датчика [1 – 4]. Исследование эффективности применения метода мультисегментной аппроксимации проводилась на основе экспериментальных данных, полученных в процессе градуировки реального датчика при различных значениях температуры и скорости потока жидкости. Испытания проводились для двух однотипных термоанемометрических измерителей скорости потока жидкости (№1 и №2) в диапазонах скоростей потоков (ориентировочно) от 1,46 м/с до 11,5 м/с для

первого образца и от 1,79 м/с до 15,00 м/с для второго образца при 4-х значениях температуры для первого образца ($T \sim 23-25^{\circ}\text{C}$, $\sim 30^{\circ}\text{C}$, $\sim 38-39^{\circ}\text{C}$, $\sim 45-47^{\circ}\text{C}$) и 6-ти значениях температуры для второго образца ($T \sim 21-23^{\circ}\text{C}$, $\sim 25^{\circ}\text{C}$, $\sim 30-31^{\circ}\text{C}$, $\sim 35-36^{\circ}\text{C}$, $\sim 40-41^{\circ}\text{C}$, $\sim 45-47^{\circ}\text{C}$).

Данные испытаний термоанемометрических измерителей скорости потока жидкости характеризуются значительной нелинейностью при задаваемой температуре, изменяющейся в небольшом диапазоне величин относительно некоторого среднего значения. Диапазоны отклонений температуры достигали значений в $1-2^{\circ}\text{C}$. Нелинейность наблюдается на всем диапазоне изменения скорости потока жидкости. Зависимость электрического сигнала канала измерения скорости потока U_{ta} ТА от температуры также имеет нелинейный характер. При увеличении температуры для одних и тех же значениях скорости потока выходной сигнал U_{ta} уменьшается, что на графиках рис. 1 и рис. 2 выглядит как "сползание" характеристики, то есть сдвиг в область более низких значений измеряемого электрического сигнала.

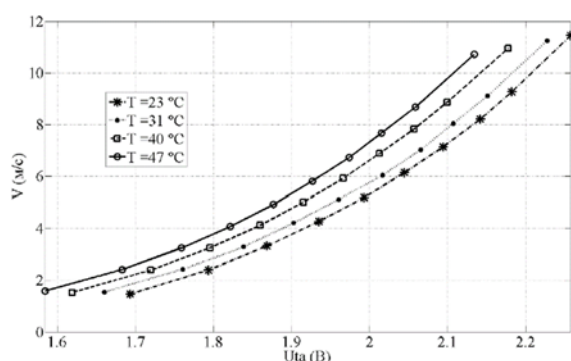


Рис. 1. Изменение сигнала ТА №1 в зависимости от скорости потока жидкости при различных температурах

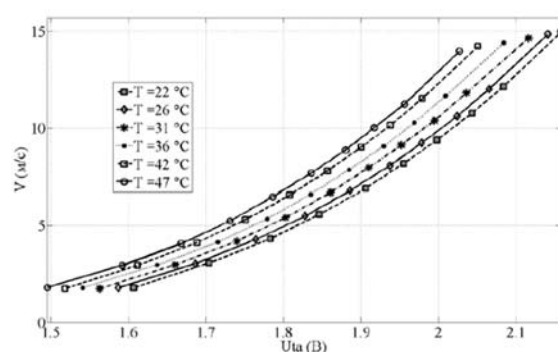


Рис. 2. Изменение сигнала ТА №2 в зависимости от скорости потока жидкости при различных температурах

Кроме того, реальная характеристика преобразования ТА представляет вогнутую поверхность в системе параметров $V \times U_{ta} \times T$, которая имеет особенность, – это вогнутая поверхность относительно области определения $U_{ta} \times T$, границы поверхности не параллельны относительно оси OT (рис. 3, 4).

Пространственную мультисегментную характеристику преобразования (МСХП) для ТА формировали по данным испытаний следующим образом:

- по параметру $U_{та}$ значения выбирались для каждой задаваемой температуры из ряда значений через один, начиная со значения, соответствующего наименьшей скорости потока жидкости;
- не выбранные для построения градуировочной характеристики значения использовались для оценки погрешностей вычисления измеренных скоростей потока жидкости с помощью МСХП.

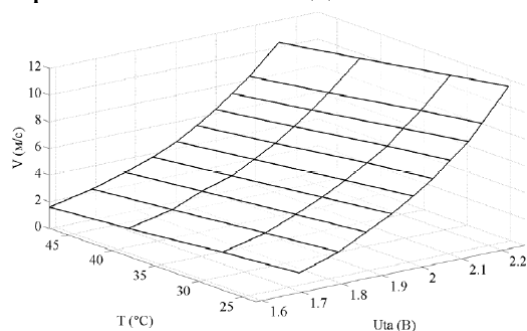


Рис. 3. Характеристика преобразования ТА №1 в пространстве $V \times U_{та} \times T$, построенная по результатам испытаний

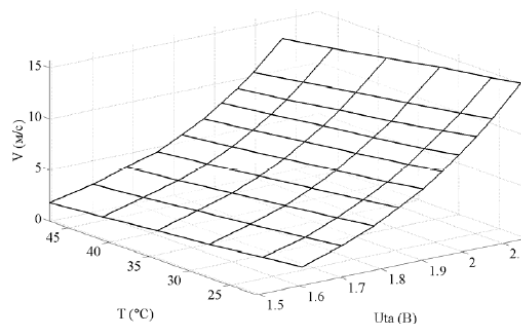


Рис. 4. Характеристика преобразования ТА №2 в пространстве $V \times U_{та} \times T$, построенная по результатам испытаний

Количество сегментов по осям температур $0T$ и $0U_{та}$ – 3шт.

Коэффициенты аппроксимации МСХД определяли методом наименьших квадратов для каждого сегмента с использованием экспериментальных точек, принадлежащих области определения сегмента.

На рис. 5 и рис. 6 представлены графики приведенной погрешности вычисления значений скорости движения жидкости для ТА №1 и ТА №2 с использованием нелинейных пространственных элементов МСХП при задаваемых температурах. Следует отметить, что погрешность аппроксимации в данном случае значительно ниже 0,01%, что позволяет не учитывать ее при измерениях.

Из всего выше сказанного можно сделать следующие выводы:

- при корректном системном подходе к проектированию цифрового датчика скорости потока жидкости суммарная суммарная погрешность измерения будет значительно меньше суммарной погрешности аналогового датчика;
- погрешность измерения скорости потока жидкости с помощью термоанемометра с использованием мультисегментной пространственной характеристики преобразования позволяет получить результат с макси-

мальной приведенной погрешность $\sim 0,45\%$ при произвольной температуре, зафиксированной при проведении измерений;

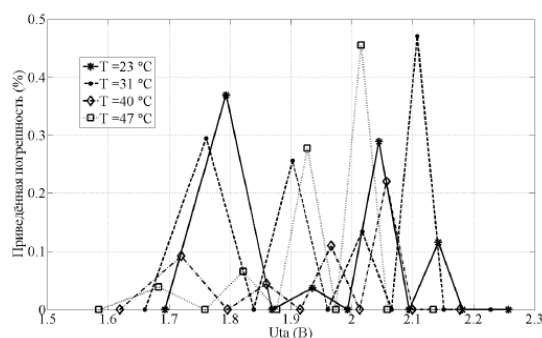


Рис. 5. Графики приведенной погрешности вычисления скорости потока жидкости с помощью мультисегментной характеристики преобразования ТА №1

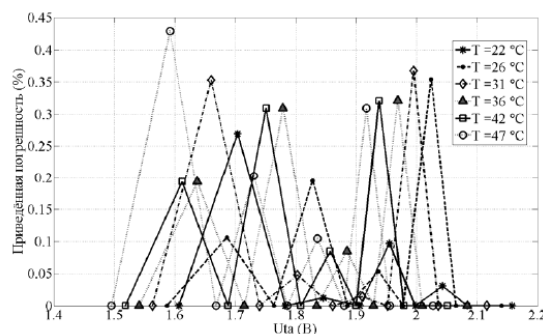


Рис. 6. Графики приведенной погрешности вычисления скорости потока жидкости с помощью мультисегментной характеристики преобразования ТА №2

– необходимо применять и совершенствовать математические и алгоритмические методы компенсации влияния внешних факторов в виде температурного воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Аш Ж. и др. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер с франц. М.: Мир, 1992.
3. Научно-технические, технологические и практические основы конструирования датчиковой аппаратуры для измерений физических величин: монография. Том 1. Датчиковая аппаратура давлений: монография / М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 579 с.
4. Клевцов С.И., Линьков В.С., Веретельников Ю.А., Кузьминов В.Г. Погрешности вычисления давления в интеллектуальном датчике при матрично-полиномиальной аппроксимации его градуировочной характеристики // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2004. Т. 37. № 2. С. 30-48
5. Янчик В.В., Панич А.Е., Янчик Вл.В. Перспективы применения интегрированных многофункциональных преобразователей в пьезоэлектрических датчиках механических величин // Инженерный вестник Дона, 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/209

6. Клевцов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. Т.106. №5. С. 43-48.

7. Бобровников Н.Р., Яркин С.В., Гридин Ю.Н., Стрыгин В.Д., Чертов Е.Д. Математическое обеспечение микропроцессорных преобразователей аналоговых пневматических сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002, №2, С. 36-39.

8. Клевцов С.И., Удод Е.В. Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2005. Т.45. №1. С. 99-107.

Удод Евгений Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры встраиваемых и радиоприёмных систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7(863) 218-40-00 доб.30119, email: evudod@sfedu.ru

Udod Eugene Vasilevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of embedded and radio receiving systems Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, phone+7(863) 218-40-00 add.30119, email: evudod@sfedu.ru

УДК 621.396

Слепцов Алексей Геннадьевич, Берешполов Игорь Сергеевич

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ РЕЗЮМЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ РЕКРУТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ

Резюме — это полуструктурированный (слабоструктурированный) документ. Это означает, что в каждом файле содержатся данные, в которых можно выделить некоторую структуру, но структура этих данных недостаточно строгая для хранения их в традиционных системах. Существует потребность в модели интеллектуального анализа текста, которая фильтрует ключевые слова, такие как опыт, интерес, квалификация и т. д.

В этой статье предлагается подход к извлечению информации из резюме, который включает в себя классификацию текстовых блоков. Эксперименталь-

ные результаты на реальном наборе данных показывают, что алгоритм извлечения информации из резюме реализуем и эффективен.

Извлечение информации, оптимизация алгоритма, рекрутинговая система

Sleptsov Alexey Gennadievich, Bereshpolov Igor Sergeevich

OPTIMIZATION OF THE ALGORITHM FOR EXTRACTING INFORMATION FROM THE RESUME FOR THE EFFECTIVE OPERATION OF THE RECRUITING SYSTEM

A resume is a semi—structured (loosely structured) document. This means that each file contains data in which some structure can be distinguished, but the structure of this data is not strict enough to store them in traditional systems. There is a need for a text mining model that filters keywords such as experience, interest, qualifications, etc.

This article suggests an approach to extracting information from a resume, which includes the classification of text blocks. Experimental results on a real data set show that the algorithm for extracting information from a resume is realizable and effective.

Information extraction, algorithm optimization, recruitment system.

Введение

Рекрутинговые платформы в Интернете играют важную роль. В настоящее время почти каждая компания или отдел публикует свои требования к работе на различных онлайн-платформах по подбору персонала [1]. Интернет-рекрутинг очень полезен для экономии времени как работодателей, так и сотрудников

Многие резюме написаны не в соответствии со стандартным форматом или определенным файлом-шаблоном. Это явление означает, что структура данных резюме имеет большую неопределенность. Наиболее сложной частью является отсутствие стандартной структуры и формата резюме, что делает краткий список желаемых профилей для необходимых ролей очень утомительным и трудоемким [2]. Возможность отсеять нерелевантные профили как можно раньше в конвейере приводит к экономии средств, как по времени, так и по деньгам

Почти каждый кандидат пытается использовать уникальный шаблон для размещения информации в своем резюме. Даже шаблоны, которые человеческому глазу могут показаться неразличимыми, по-разному обраба-

тываются компьютером. Это создает возможность использования сотен тысяч шаблонов для написания резюме по всему миру. Не все шаблоны легко читать. Например, в резюме можно найти таблицы, графики, столбцы, и каждый такой объект нужно читать по-разному. Поэтому легко сделать вывод, что парсеры на основе правил не имеют шансов, и требуется интеллектуальный алгоритм для осмысленного извлечения текста из необработанных документов (pdf, doc, docx и т. д.).

Извлечение информации из резюме

Вход. Учитывая набор резюме с различными типами файлов, такими как doc, Docx и pdf, эти файлы будут обработаны Tika, чтобы получить необработанный текст, где макеты таблиц, тип шрифта, а цвета шрифта будут удалены [3]. Инструментарий Apache Tika обнаруживает и извлекает метаданные и текст из более чем тысячи различных типов файлов (таких как PPT, XLS и PDF).

Выход. Структурированные выходные данные резюме должны содержать факты о человеке, записанные в файле резюме [2]. В процессе предварительной обработки данных необработанный текстовый контент извлекается из исходных файлов резюме, а некоторые подготовленные работы по обработке используются для очистки данных от шумов, внесенных с помощью Tika, включая удаление изображений, фоновых цветов и водяных знаков.

Классификация текстовых блоков. Классификация текстовых блоков является важным шагом в этом процессе извлечения [4]. Большинство людей любят писать подпись в начале каждого блока, например, «Образование», «Эксперименты проекта» и «Интересы и хобби». Каждое предложение с тегом рассматривается как одно слово для вычисления его частоты во всем наборе данных, поскольку большая часть заголовка всегда занимает всю строку. Формула вероятности, используемая для поиска потенциальных слов заголовка, определяется как Simple.

$$p(\text{caption}_i) = \frac{\text{Count}_{\text{sentence}_i}}{\text{Count}_{\text{resume}}} \quad (1)$$

где sentence_i количество предложений, появляющихся в наборе данных, а $\text{Count}_{\text{resume}}$ общее количество набора данных резюме [2]. После удаления стоп-слов и некоторого текстового модификатора синонимы было легко найти и сгруппировать в другой кластер с другим заголовком блока.

Для каждого резюме есть некоторая скрытая синтаксическая информация о структуре, которая отличается от поверхностной информации, такой как размер шрифта, цвет шрифта и ячейки.

После очистки необработанного текста строки текста резюме подготавливаются [5]. Собирается множество сущностей имени, таких как название университета, название компании, должность и отдел, которые легко извлечь из различных носителей в Интернете. Некоторые примеры данных представлены на рис. 1. Эти данные используются для обучения базового классификатора, включая название университета, название должности, название отдела, идентификационный номер и т.п.

Название университета	Название компании	Название должности
Институт международных экономических связей	Здоровая Ферма	Менеджер
Северо-Западный институт управления РАНХиГС	Полати	Журналист
Российский новый университет	Мукомольный завод МуЗа	Системный администратор
Волго-Вятский филиал МТУСИ	Газстройпром	Инженер

Рис. 1. Образцы данных мультиклассового классификатора

Экспериментальные данные

Алгоритм протестировали для оценки его производительности на реальном наборе данных. Сравнительный анализ проводится по классификации текстовых блоков и подробному извлечению знаний по трем модулям, включая опыт образования, опыт работы и основную информацию для каждого резюме [3].

Набор данных. Чтобы проверить предложенный алгоритм, был проведен эксперимент с тестовыми резюме, которые выложены в открытых источниках. Все резюме помечены для извлечения информации, включая начальную позицию, конечную позицию и имя атрибута каждого тега

Меры. Стандартная точность, полнота и мера используются для оценки экспериментальных результатов. Точность сообщает, насколько хорошо система может идентифицировать информацию из резюме, а отзыв сообщает, что система фактически пытается извлечь [4]. Таким образом, эти две метрики можно рассматривать как меру полноты и правильности.

С целью выявить наиболее удачные инструменты классификации, такие как используемый алгоритм с меняющимися параметрами и предварительную обработку документов (нормализация, отбрасывание стоп-слов), полученные результаты были оценены по следующим критериям [5]:

- точность (англ. precision) – показывает, какая часть от тех документов, которых классификатор посчитал соответствующими рассматриваемому классу действительно ему принадлежат;
- полнота (англ. recall) – характеризует способность классификатора находить как можно больше объектов, относящихся к классу;
- F-мера – является объединением первых двух характеристик, представляет собой среднее гармоническое точности и полноты.

Данные метрики также применяются в области информационного поиска для оценки качества работы поисковых систем.

Если рассматривать документы на принадлежность некоторому классу X , то все полученные результаты категоризации можно представить в виде таблицы, которая называется «таблицей сопряжённости» или «матрицей неточностей» (confusion matrix):

		Ожидалось	
		1	0
Получили	1	TP (true positive)	FP (false positive)
	0	FN (false negative)	TN (true negative)

Рис. 2. Матрица неточностей для класса X

Здесь 1 означает, что элемент принадлежит X , 0 – не принадлежит.

В таблице содержится информация сколько раз система приняла верное и сколько раз неверное решение по документам заданного класса. А именно: TP — истинно-положительное решение; TN — истинно-отрицательное решение; FP — ложно-положительное решение; FN — ложно-отрицательное решение [1].

Формулы, по которым рассчитываются метрики «точность» и «полнота» ввиду введённых обозначений:

$$Precision = \frac{tp}{tp+fp} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{tp}{tp+fn} \quad (3)$$

$$F_measure = \frac{2}{\frac{1}{Precision} + \frac{1}{Recall}} \quad (4)$$

Оценка классификации текстовых блоков

Из каждого резюме мы извлекаем четыре основных блока: основная информация, образование, опыт работы и самооценка [2]. В результате алгоритмы извлечения, ориентированные на область резюме, не зависят от тестового корпуса

Результаты извлечения в модуле «Образовательный опыт». На рис. 3 показаны результаты извлечения по образовательному модулю.

Имя модуля	Точность	Полнота	F-мера
Название школы	0,950	0,845	0,897
Название университета	0,947	0,834	0,879
Уровень образования	0,795	0,901	0,845
Дата получения образования	0,757	0,876	0,811

Рис. 3. Результаты извлечения информации об образовании кандидата

Результаты извлечения в модуле «Опыт работы». Результаты детальных знаний, извлеченных из рабочих экспериментов, показаны на рис. 4.

Имя модуля	Точность	Полнота	F-мера
Название компании	0,914	0,811	0,893
Должность	0,923	0,798	0,913
Описание	0,845	0,796	0,856
Опыт работы	0,848	0,885	0,843

Рис. 4. Результаты извлечения информации об опыте работы кандидата

Результаты извлечения в модуле базовой информации. На рис. 5 показаны подробные сведения о конкретных значениях в основной информации.

Имя модуля	Точность	Полнота	F-мера
Имя	0,954	0,933	0,956
Эл.почта	0,991	0,876	0,837
Город	0,914	0,873	0,921
Профессиональные навыки	0,956	0,787	0,871

Рис. 5. Результаты извлечения информации о базовой информации кандидата

Вывод

Поиск подходящего кандидата в большом количестве резюме — сложная задача для любой компании в наши дни. Классификация резюме кандидата — трудоемкий, длительный и ресурсоемкий процесс. В этой статье факты знаний извлекаются из резюме с различными текстовыми форматами и типами файлов с помощью алгоритма. Эта работа направлена на повышение точности извлечения информации из личных резюме. Полезно создать репозиторий резюме для сотрудников отдела кадров и компаний, ориентированных на рекрутинг через Интернет. Данный подход

анализа и извлечения данных из резюме может исключить большую часть ручной работы, что может сэкономить много денег и времени.

Между тем, экспериментальные результаты на тестовом наборе данных показывают, что точность и полнота извлечения резюме с произвольным текстом показывают высокую эффективность

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лисенков И. А., Кузнецов В. А., Леонова Н. М.* Обработка неструктурированной текстовой информации с помощью алгоритмов машинного обучения / Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. – 2020. – Т. 9. – № 4. – С. 376-384.
2. *Захарова А. А.* Кластеризация текстовых документов с учетом семантической информации / Альманах научных работ молодых учёных Университета ИТМО: Материалы XLIX научной и учебно-методической конференции, Санкт-Петербург. – 2020 – С. 90-93.
3. *Мусаев А. А., Григорьев Д.А.* Обзор современных технологий извлечения знаний из текстовых сообщений Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13. – № 6. – С. 1291-1315.
4. *Казенников А. О., Трифонов Н. И.* Автоматизация извлечения информации из web-страниц новостных сообщений / Информатизация образования и науки. – 2022. – № 1(53). – С. 39-48.
5. *Тихонова М. И.* Извлечение информации из резюме методами автоматической обработки текста / Системы компьютерной математики и их приложения. – 2019. – № 20-1. – С. 72-78

Слепцов Алексей Геннадьевич – e-mail: maslo_net@mail.ru, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, телефон +7 918 578 4555

Берешполов Игорь Сергеевич – e-mail: garry@kopr.ru, Южный федеральный университет, 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Sleptsov Alexey Gennadievich – e-mail: maslo_net@mail.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia, phone +7 918 578 4555

Bereshpolov Igor Sergeevich – e-mail: garry@kopr.ru, Southern Federal University 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia.

Секция – Локальные и распределенные системы мониторинга
и управления

УДК 004.42+004.3

Проскуряков Александр Викторович, Легиныков Родион Олегович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ КРИПТОВАЛЮТНЫХ НОВОСТЕЙ**

В рамках работы обоснована актуальность создания криптоновостного портала. Рассмотрены принципы Web3. Описаны принципы и этапы применяемые в процессе разработки приложения. Также в рамках работы предоставлено готовое приложение.

Криптовалюты, смарт-контракт, децентрализованные приложения.

Proskuryakov Alexander Viktorovich, Leginkov Rodion Olegovich

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CRYPTOCURRENCY NEWS
INFORMATION SYSTEM**

The paper substantiates the relevance of creating a crypto news portal is substantiated. The principles of Web 3 are considered. The principles and stages used in the application development process are described. Also, the application has been provided as part of the work.

Virtual cryptocurrencies, smart contract, decentralized applications.

Введение

Web3 – новое направление интернета, которое находится в стадии становления [1]. Оно уже обрело большую популярность и поддержку в обществе из-за своих преимуществ. В Web3 предлагает переход от централизованных организаций к децентрализованным приложениям. Кроме того, Web3 предоставляет собственную систему платежей в виде криптовалют, которая позволяет уйти от различных платежных систем и банковских платежей [2].

В наше время криптовалюты начинают играть все большую роль в экономической жизни. С каждым годом увеличивается количество децентрализованных приложений, а технологии развиваются с невероятной скоростью. Поэтому нам необходимо понимать насколько важными являются процесс получение актуальных новостей, возможность анализировать ры-

нок криптовалют и иметь возможность пользоваться преимуществами блокчейн технологий. Все это в совокупности обуславливает актуальность разработки такого новостного портала, где пользователи смогут получать новую информацию о криптовалютах, анализировать рынок с помощью современных методов анализа и пользоваться преимуществами децентрализованных приложений.

Постановка задачи

Предметной областью веб-приложения является криптоновостной портал. Используются технологии: React.js, Next.js, Hardhat, Web3, Alchemy, HTML5, CSS3.

Целью разработки информационной системы является обеспечение пользователей актуальной информацией о криптовалютах, обеспечение более быстрого доступа к интересующим его статьям и упрощение взаимодействия с блокчейн технологиями и различными способами анализа рынка.

В соответствии с целью сформирована задача, а именно, следующий список объектов разработки:

- 1) интеграция с лентой новостей;
- 2) страница всех криптовалют;
- 3) добавление различных способов анализа рынка;
- 4) реализация смарт контракта на перевод эфира с одного кошелька на другой;
- 5) авторизация через metamask;
- 6) добавление графиков криптовалют.

Анализ предметной области

Был проведен обзор аналогов: CoinMarketCap и CryptoNews [7]. Они предоставляют широкую возможность для изучения новостей, стоимости и графиков криптовалют. Но в сравнении с другими информационными сервисами, сервис криптоновостей имеет несколько важных особенностей. Полученная информация была учтена при разработке требований.

В разработанных требованиях выделены бизнес-требования, требования пользователей и функциональные требования.

Бизнес-требование – повышение удобства поиска информации о криптовалютах. Внедрение системы поможет объединить информацию из разных источников в одном месте и позволит пользователям пользоваться криптовалютой.

Пользовательские требования предполагают наличие удобного интерфейса и возможность просматривать сайт с мобильных устройств.

Функциональные требования определяют поведение системы, связанное с получением и отправкой информации. Система должна выполнять отправку эфира с одного кошелька на другой и выводить актуальные новости.

Реализация

Для реализации самого приложения была выбрана среда разработки Visual Studio Code. Visual Studio Code – Редактор исходного кода, разработанный Microsoft для Windows, Linux и macOS. Позиционируется как «лёгкий» редактор кода для кроссплатформенной разработки веб- и облачных приложений. Включает в себя отладчик, инструменты для работы с Git, подсветку синтаксиса, IntelliSense и средства для рефакторинга. Имеет широкие возможности для кастомизации: пользовательские темы, сочетания клавиш и файлы конфигурации [3]. Реализация включила в себя разработку клиентской части и смарт контрактов.

При разработке клиентской части для оптимизации нагрузки была выбрана microfrontend архитектура. Microfrontend – это подход, при котором приложение состоит как минимум из двух компонентов, функционирующих как автономные приложения. К примеру, все разделы сайта, такие как шапка, компоненты поиска, навигации и отображения контента, могут быть разными приложениями, которые разрабатываются, развёртываются и обслуживаются по отдельности [4].

Кроме того, при реализации клиентской части была сделана адаптация под мобильные устройства. Пример мобильной адаптации предоставлен на рис. 1.

Получение новостей

На странице Newsпользователь попадает на страницу со всеми новостями, где у него имеется возможность просмотреть самые свежие новости и отфильтровать криптоновости, по интересующей его тематике. Пример страницы предоставлен на рис. 2. Для получения самых актуальных новостей была сделана интеграция с Bing News Search API[5].

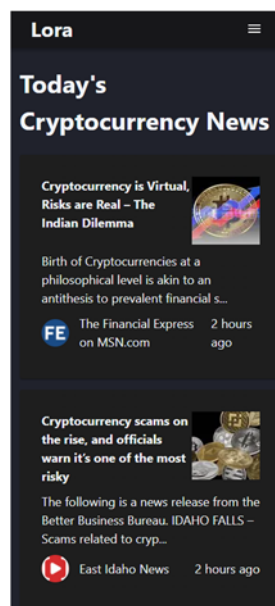


Рис. 1. Мобильная адаптация

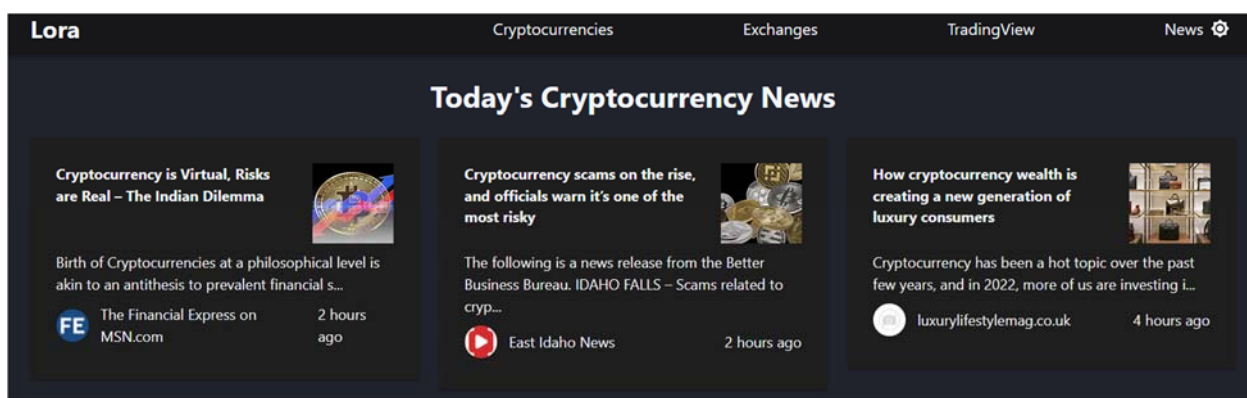


Рис. 2. Страница криптоновостей

Стоимость криптовалют

На странице *Cryptocurrencies* пользователь видит перед собой список всех криптовалют. На этой странице он может наблюдать изменение стоимости, общую капитализацию, при клике на определенную криптовалюту в таблице, пользователь будет перенаправлен на страницу с полной информацией о монете, где он сможет ознакомиться с более полной информацией и изучить график. Кроме того, на данной странице пользователь будет иметь возможность найти интересующую его криптовалюту. Пример предоставлен на рис. 3. Для получения актуальной информации была реализована интеграция с *CoinGeckoApi* [10], из-за чего наши пользователи будут видеть самую актуальную информацию.

Lora Cryptocurrencies Exchanges TradingView News

Today's Cryptocurrency Prices by Lora

#	Symbol	Price	24h Change	7d Change	30d Change	Market cap
1	Bitcoin (BTC)	\$44,705	1.11%	5.93%	16.53%	\$846,711,556,507
2	Ethereum (ETH)	\$1,156.45	1.33%	7.57%	21.48%	\$377,901,124,174
3	USD Coin (USDC)	\$0.999901	0.00%	-0.01%	-0.13%	\$81,308,236,452
4	Cardano (ADA)	\$0.41663	0.88%	4.26%	15.30%	\$68,837,446,948
5	Bitcoin Cash (BCH)	\$1	0.13%	0.02%	-0.00%	\$52,009,619,197
6	XRP	\$0.834998	0.66%	1.85%	19.55%	\$40,012,832,623
7	Monero (XMR)	\$11.53	0.08%	25.54%	32.07%	\$16,002,244,457
8	Solana (SOL)	\$101.3	0.42%	9.63%	13.70%	\$32,812,615,608
9	Litecoin (LTC)	\$93.49	0.27%	1.80%	18.27%	\$32,175,434,062
10	Dogecoin (DOGE)	\$0.0105	1.00%	8.79%	30.70%	\$21,042,429,023

Рис.3. Страница криптовалют

TradingView

Для того чтобы дать пользователем возможность анализировать рынок с помощью современных инструментов было решено сделать интеграцию с TradingView. TradingView – веб-сервис и социальная сеть для трейдеров, в основе которой лежит платформа технического анализа. Проект был запущен в сентябре 2015 года[6]. Пример предоставлен на рис. 4.

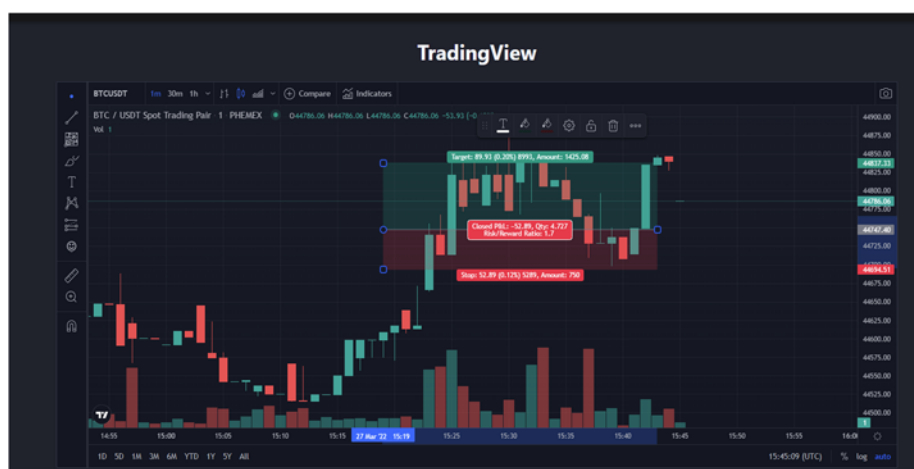


Рис. 4. Страница TradingView

Смарт-контракты

Для реализации функционала перевода эфириума с одного кошелька на другой был создан смарт-контракт [8]. Для того чтобы локально протестировать solidity [9] код смарт-контракта и развернуть его в сети был использован hardhat.

При нажатии пользователем на кнопку ConnectWallet, происходит авторизация пользователя через metamask [11], после того как кошелек будет

успешно подключен к сайту, у пользователя появится возможность перевести эфир с одного кошелька на другой. Пример предоставлен на рис. 5.

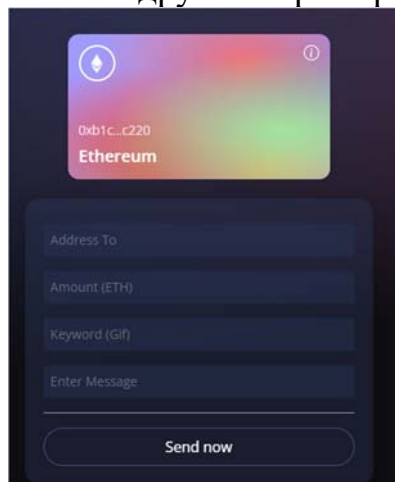


Рис. 2. Страница перевода эфира

Научная новизна. Результаты

В процессе теоретических и прикладных исследований в рамках данной предметной области были получены следующие результаты:

- 1) проведён анализ и выполнено обоснование актуальности темы исследований, представленной в докладе;
- 2) выполнен подробный анализ предметной области;
- 3) был разработан функционирующий прототип, выполняющий все необходимые функции, соответствующие требованиям;
- 4) данная система обладает большими перспективами внедрения в связи с актуальностью блокчейн технологий;
- 5) проведена апробация данной темы теоретических и прикладных исследований в виде докладов на всероссийской конференции ФПАКТИБ 2022 и конференции ЮФУ «Неделя науки 2022».

В перспективе процессе развития разработки дальнейшем в данную систему будут добавлены: своя собственная криптовалюта, собственный обменник криптовалюты, NFT коллекция, метавселенная.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Web3 // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Web3>
2. Введение в Web3 // ethereum URL: <https://ethereum.org/en/web3/>
3. Visual Studio Code // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_Code
4. Микрофронтенды – URL: <https://medium.com/nuances-of-programming>

5. Bing News Search API – URL: <https://www.microsoft.com/en-us/bing/apis/bing-news-search-api>
6. TradingView – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/TradingView>
7. Главные // Crypto News URL: <https://cryptonews.net/ru/>
8. What are smart contracts on blockchain? // IBM URL: <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts>
9. Solidity // docs solidity URL: <https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.14/>
10. Coingecko // coingecko URL: <https://www.coingecko.com/ru>
11. A crypto wallet // metamask URL: <https://metamask.io/>

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса, 1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru.

Леги́нков Родион Олегович, студент группы КТб04-8 кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Бакинская, 81 347942, телефон: +7(989) 502-87-27, email: leginkov@sfnedu.ru.

Proskuryakov Alexander V., senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street, 1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru.

Leginkov Rodion Olegovich, student of group K MSW 4-8 Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Baku street, 81 347942, phone: +7(989) 502-87-27, email: leginkov@sfnedu.ru.

УДК 004.75:53.087.92

Пьявченко Алексей Олегович, Юлков Денис Сергеевич

ВСТРАИВАЕМЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В данной статье рассматривается встраиваемый программно-аппаратный модуль шифрования как один из вариантов решения задачи криптографической защиты данных в автоматизированной системе мониторинга

технологических объектов с применением ПЛИС-технологий и алгоритма шифрования по ГОСТ Р 34.12.2015.

Приведенные в статье результаты доказывают реализуемость и эффективность предлагаемого подхода при создании программно-аппаратных средств первой линии криптографической защиты в составе существующих сенсорных систем с применением аппаратных компонентов, имеющих отечественные аналоги.

Автоматизированная система мониторинга, программируемая логическая интегральная схема, криптография, микроконтроллер, блок шифрования, программно-аппаратный модуль.

UDC 004.75:53.087.92

Pyavchenko Aleksey Olegovich, Yulkov Denis Sergeevich

INTEGRATED HARDWARE AND SOFTWARE MODULE FOR DATA ENCRYPTION FOR AUTOMATED SYSTEMS OF MONITORING TECHNOLOGICAL OBJECTS

This article discusses an embedded software and hardware encryption module as one of the options for solving the problem of cryptographic data protection in an automated system for monitoring technological objects using FPGA technologies and an encryption algorithm according to GOST R 34.12.2015.

The results presented in the article prove the feasibility and effectiveness of the proposed approach in creating software and hardware for the first line of cryptographic protection as part of existing sensor systems using hardware components that have domestic counterparts.

Automated monitoring system, programmable logic integrated circuit, cryptography, microcontroller, encryption unit, software and hardware module.

Введение

Как известно, технологические объекты – это комплекс установок, устройств и оборудования, которые предназначены для преобразования материально-энергетических потоков в некий продукт, пригодный для потребления. К ним относят энергетические объекты, машиностроительные объекты, химические объекты и т.д.

Так современные нефтегазодобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия представляют собой сложные комплексы технологических объектов, рассредоточенных на больших площадях, размеры которых до-

стигают десятков и сотен квадратных километров. При этом, добыча нефти и газа ведется круглосуточно, в любую погоду, и именно поэтому для нормальной работы нефтегазодобывающего предприятия необходимо обеспечить надежную работу автоматизированного оборудования, дистанционный многопараметрический контроль за работой технологических объектов и их агрегатным состоянием.

Необходимость использования современных беспроводных сетевых ИТ-решений компаниями нефтегазового сектора обусловлена рядом факторов: географический масштаб бизнеса, сложная разветвленная структура нефтегазодобывающих предприятий, высокие требования к безопасности, необходимость соблюдения международных стандартов [1]. Так, например, системы мониторинга трубопроводов, как правило, решают четыре основных класса задач: обнаружение утечек, мониторинг состояния, мониторинг коррозии, мониторинг вандализма. В состав таких систем входит множество различных интеллектуальных датчиков (ИД), средств обработки, хранения и индикации данных, объединенных между собой беспроводными каналами связи и образующих сетевые сенсорные конфигурации. Причем подобные беспроводные сенсорные сети (БСС) имеют площади покрытия от нескольких десятков квадратных метров до нескольких квадратных километров и более, что делает их уязвимыми с точки зрения вмешательства злоумышленников с целью перехвата и подмены данных [2]. Ведь в отдельных случаях несанкционированный съем, а то и подмена информации в интересах злоумышленников в одной или сразу в нескольких ключевых точках съема может в лучшем случае привести к экономическим потерям, а в худшем – к техногенным катастрофам с глобальными последствиями.

Как уже отмечалось в [3], для обеспечения достаточного уровня защиты каналов связи с ИД от большинства кибератак в качестве первой линии защиты в составе защищенных средств измерений могут использоваться криптографические методы, имеющие программную или аппаратную реализацию.

Чисто программная реализация криптографических алгоритмов зачастую не может быть эффективно выполнена на микроконтроллерном ядре ИД в виду его малоресурсности и недостаточной вычислительной мощности [4, 5]. В тоже время аппаратная реализация криптографических алгоритмов в базисе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) таких, как CPLD и FPGA, используемых совместно с вычислительным яд-

ром ИД в качестве криптографических сопроцессоров, открывает перед разработчиком широкие возможности по организации защищенной работы ИД в реальном масштабе времени, что и обуславливает актуальность и необходимость тематики настоящих исследований.

Основная часть

В рамках статьи рассматривается один из вариантов решения задачи разработки на структурном и функциональном уровнях программно-аппаратного модуля шифрования сенсорной информации как средства первой линии криптографической защиты для применения в составе автоматизированных систем мониторинга технологических объектов. Причем настоящая работа является результатом продолжения исследований, изложенных в [6].

Структурная схема модуля

Предлагаемая к рассмотрению структурная схема модуля шифрования данных для автоматизированных систем мониторинга представлена на рис.1.

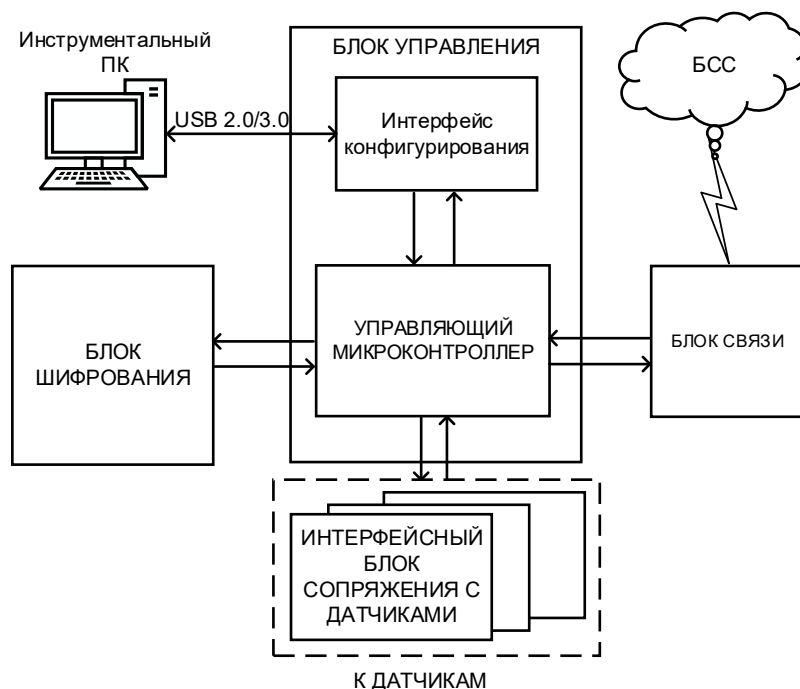


Рис. 1. Структурная схема модуля шифрования данных для автоматизированных систем мониторинга

Главную роль в обработке информации здесь играет блок управления (БУ). Он представляет собой микроконтроллер, который управляет всеми остальными элементами модуля, координирует их работу, поддерживает протоколы взаимодействия с внешними датчиками различного типа, под-

ключаемыми к модулю посредством соответствующих интерфейсных блоков сопряжения (ИБС), выполняет сбор, предварительную обработку и шифрование сенсорных данных, организует их отправку в беспроводную сенсорную сеть на соответствующие сетевые центры сбора и обработки данных с учетом поддерживаемых ими сетевых стандартов.

Встроенный в модуль блок шифрования (БШ) обеспечивает ускорение процесса шифрования сенсорной информации за счет аппаратной параллельно-конвейерной реализации криптографических алгоритмов.

Функции доступа к БСС и организации сетевого обмена возложены на блок связи (БС) из состава модуля. Фактически БС решает задачу поддержки протоколов транспортного, логического и физического уровней БСС, а задачи сетевого и прикладного уровней возложены на сам БУ с учетом особенностей его применения. Здесь же следует отметить, что возможность включения в модуль разнотипных ИБС, проектируемых под соответствующие датчики, значительно расширяет возможности модуля в целом при подключении к защищенной БСС как аналоговых, так и цифровых датчиков, ранее уже установленных на объекте.

Выбор алгоритмического базиса криптографической защиты

Большинство традиционных методов криптографической защиты не подходят для устройств с низким энергопотреблением, таких как беспроводные сенсорные сети. Это во многом связано с тем, что типичные методы обмена ключами используют асимметричную криптографию, также называемую криптографией с открытым ключом. В этом случае необходимо поддерживать два математически связанных ключа, один из которых является открытым, а другой - закрытым. Это позволяет шифровать данные с помощью открытого ключа и дешифровать с помощью закрытого ключа. Проблема с асимметричной криптографией в беспроводной сенсорной сети заключается в том, что она обычно требует слишком больших вычислительных ресурсов для отдельных узлов сенсорной сети [7, 8].

Для систем с ограниченной вычислительной мощностью в основном выбирают симметричные алгоритмы шифрования. Они используют один общий ключ, известный только двум взаимодействующим узлам. Этот общий ключ используется как для шифрования, так и для дешифрования данных. Традиционным примером симметричной криптографии является DES [8]. В свете известных недостатков DES были предложены другие системы симметричной криптографии, используемые в БСС, включая 3DES (Triple DES), RC5, AES, а также отечественный ГОСТ шифрования «Маг-

ма». Результаты сравнения наиболее известных алгоритмов симметричного шифрования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение алгоритмов шифрования

Название	Размер ключа	Размер блока данных	Количество раундов
DES	56	64	16
3DES	168, 112, 56	64	48
DEX-X	184	64	16
Blowfish	32-448, 8-128	64	16
Twofish	128, 192, 256	128	16
AES	128, 192, 256	128	32
ГОСТ Р 34.12-2015	256	64	32

В алгоритме шифрования ГОСТ Р 34.12-2015 блок подстановки не фиксирован, как в DES, и является секретным параметром. Ключ гораздо больше - 256 бит, что делает невозможной атаку перебором. Опыт DES показывает, что выбор подстановки решающим образом влияет на стойкость шифра. Механизмы рассеивания в ГОСТ Р 34.12-2015 и DES различаются. Если в DES рассеивание достигается перестановкой бит в блоке текста и подстановкой, то в ГОСТ Р 34.12-2015 оно осуществляется в основном сложением по модулю 2^{32} , подстановкой и сдвигом.

Для повышения стойкости к дифференциальному и линейному методам криптоанализа желательно выбирать экстремальные подстановки с нелинейностью 4 и рассеиванием 1. Кроме того, наиболее вероятная разность двух выходов подстановки при фиксированной разности входов должна иметь малую вероятность (разности определяются суммой по модулю 2). Однако нахождение таких подстановок сопряжено со значительными трудностями. Число циклов в ГОСТ Р 34.12-2015 по сравнению с DES увеличено вдвое. Согласно [9], криптоанализ усеченного 24-циклового ГОСТ Р 34.12-2015 без последних восьми циклов показал, что стойкость его превышает 2^{54} для случайного блока подстановки.

ГОСТ Р 34.12-2015 является отечественным стандартом симметричного шифрования, он используется в сертифицированных средствах криптографической защиты информации, применяемых в государственных информационных системах и, в некоторых случаях, в коммерческих системах. Размер блока 64 бита, размер ключа 256 бит, число раундов 32. Упрощенная структура раунда шифрования и простая обратимая функция

шифрования, увеличенное число раундов, тривиальная схема генерации ключевых элементов из ключа - в качестве ключевых элементов на раундах шифрования используются 32-битные фрагменты ключа, причем каждый фрагмент используется 4 раза. Алгоритм не содержит нерегулярных битовых перестановок, а таблица подстановок не фиксирована в алгоритме и является долговременным ключевым элементом [9].

Данный шифр имеет ряд достоинств, которые позволяют применять его в системах шифрования. Важное достоинство шифра «Магма» - устойчивость к линейному и дифференциальному криптоанализу за счет применения специальных криптографических подстановок [9]. Ещё одно достоинство шифра «Магма» - сравнительно малое количество GE вентилях, необходимых для реализации, что характеризует данный шифр простым и не требовательным к ресурсам производительности в условиях его аппаратной реализации.

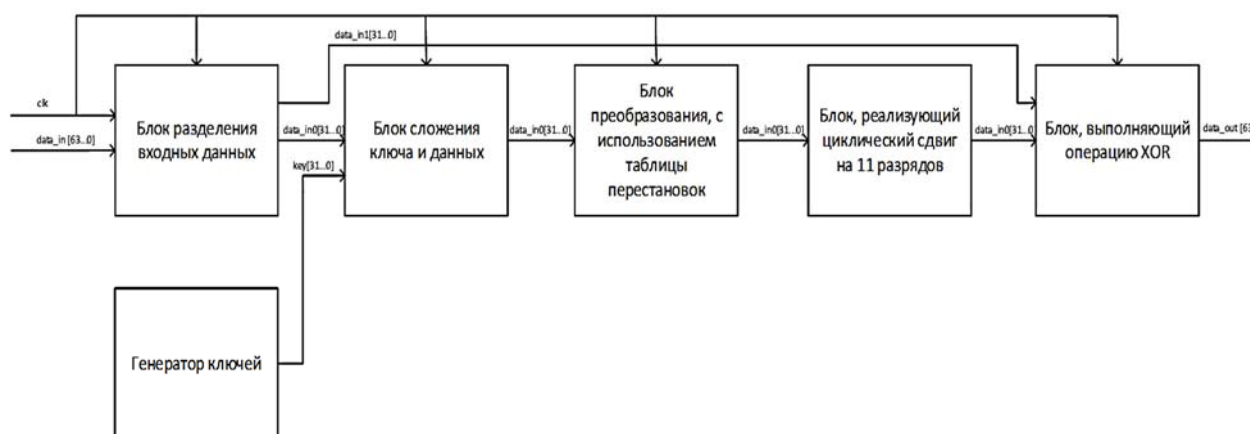
Экспериментальная часть

В рамках работы был поставлен эксперимент по реализации на языке Verilog алгоритма шифрования «Магма». При этом были написаны такие HDL-модули, как модуль суммирования субблока данных с ключом, модуль, реализующий циклический сдвиг, модуль, реализующий операцию исключающее «или» и др.

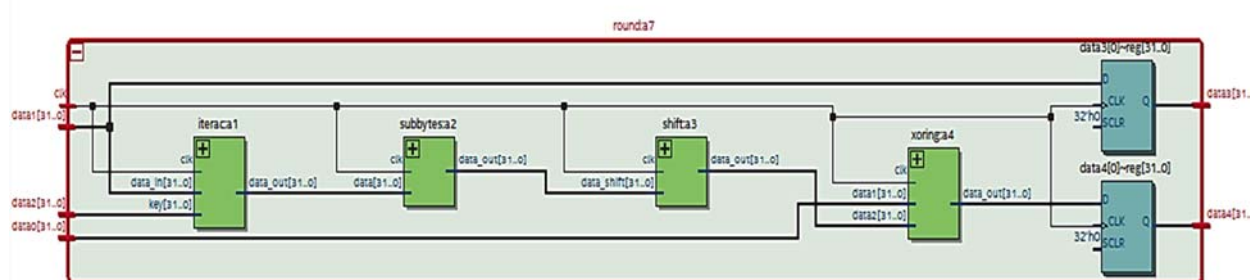
Проверка полученных результатов проводилась с применением САПР Quartus 20.1.1 Lite Edition. В модели было использовано 6056 логических элемента ПЛИС Cyclone IV EP4CE22F17C6 демонстрационной платы DE0-Nano [11].

Для тестирования модуля был разработан тест-бенч, в котором генерируются ключ, входные данные, подаваемые затем на блок шифрования (рис. 2,а). Значения тестовых векторов данных задавались из соответствующего приложения к ГОСТ Р 34.12-2015 [9].

Проведенные эксперименты доказали работоспособность и эффективность предложенной реализации. На рис. 2,б представлена структура одного раунда шифрования, полученная с помощью встроенной в САПР утилиты Quartus RTL Viewer. Общее время выполнения 32 раундов шифрования входных данных составило 3,23 мкс при частоте тактирования, равной 50МГц.



а



б

Рис. 2. Структура блока шифрования и его реализация:

а – структура блока в составе тест-бенча; б – аппаратная реализация одного раунда шифрования

В дальнейшем с целью экспериментальной апробации изложенных выше принципов построения был разработан макет программно-аппаратного модуля шифрования в составе базового микроконтроллерного модуля, выполняющего роль БУ, блока шифрования и блока связи (рис. 3). При этом в качестве базового микроконтроллерного модуля была использована демонстрационная плата STM32F4Discovery с микроконтроллером STM32F407VGT. На микроконтроллер возложены функции съёма данных с датчиков, управления блоком шифрования и блоком связи. Разработка программного кода производилась в среде Keil uVision 5 на языке C.

Для тестирования работоспособности модуля использовался один цифровой датчик DHT11, поддерживающий HART-протокол, и два аналоговых датчика TMP36.

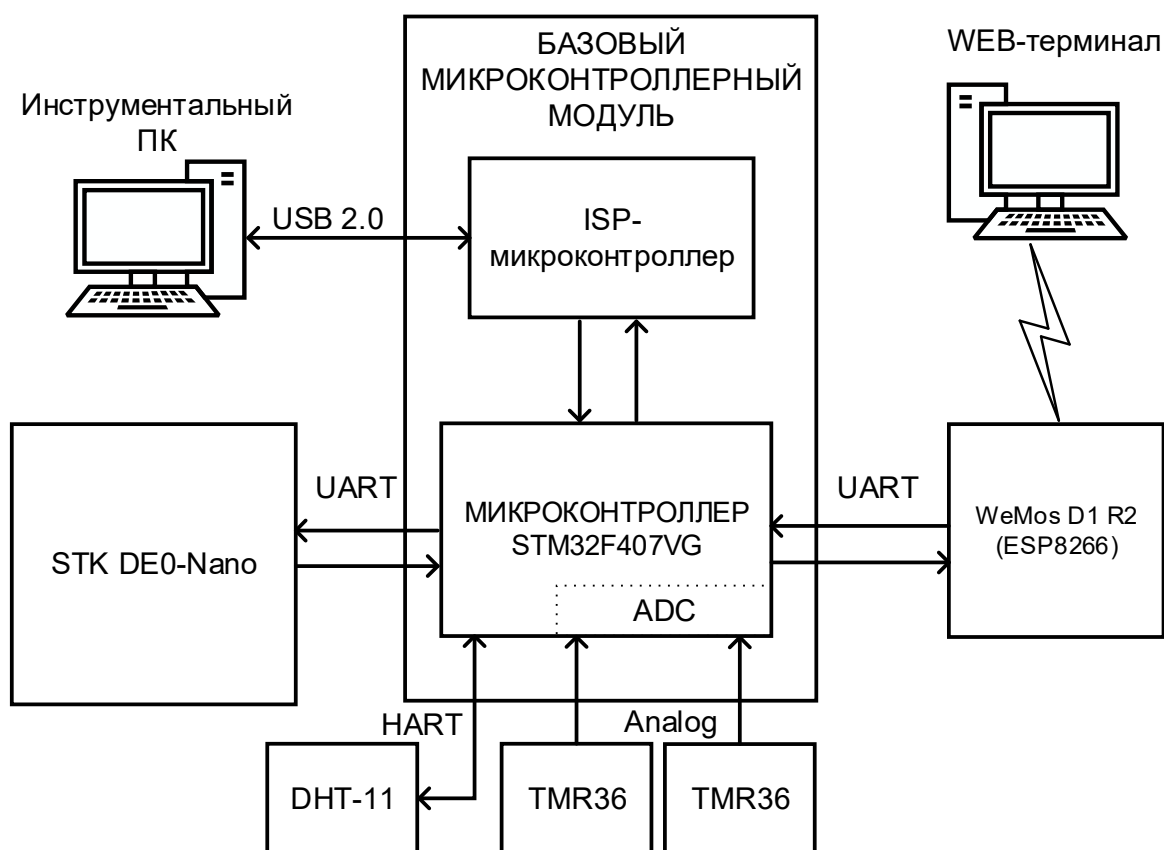


Рис. 3. Структура экспериментального макета программно-аппаратного модуля шифрования с учетом инструментальных средств интерактивной отладки и тестирования

В качестве блока шифрования использовалась платформа STK DE0-Nano (Terasic, USA) с FPGA EP4CE22F17C6. Разработка и отладка блока шифрования производилась на языке Verilog с применением Quartus 20.1.1 Lite Edition. С целью организации устойчивого взаимодействия с модулем был разработан и реализован оригинальный протокол связи. Протокол является логической надстройкой над интерфейсом UART, и может быть применен и к другим цифровым последовательным байт-ориентированным каналам связи, имеющим аппаратную поддержку в микроконтроллере.

Для реализации блока связи была выбрана плата WeMos D1 R2 на базе ESP8266. Разработка программного кода web-сервера велась в Arduino IDE с использованием библиотек ESP8266WiFi и ESP8266WebServer.

Для тестирования беспроводного канала связи и получения данных с модуля была развернута на ПК программная точка доступа с поддержкой Wi-Fi USB Adapter (модель WL-WN685N1) и написана веб-страница, изображение которой приведено на рис. 4. При этом страница поддерживает

взаимодействие пользователя по беспроводному каналу связи с модулем с целью организации командного интерфейса управления им, приема зашифрованных данных, их дешифрования, контроля устанавливаемых границ изменения значений технологических переменных и отображения полученных результатов на экране Web-терминала.

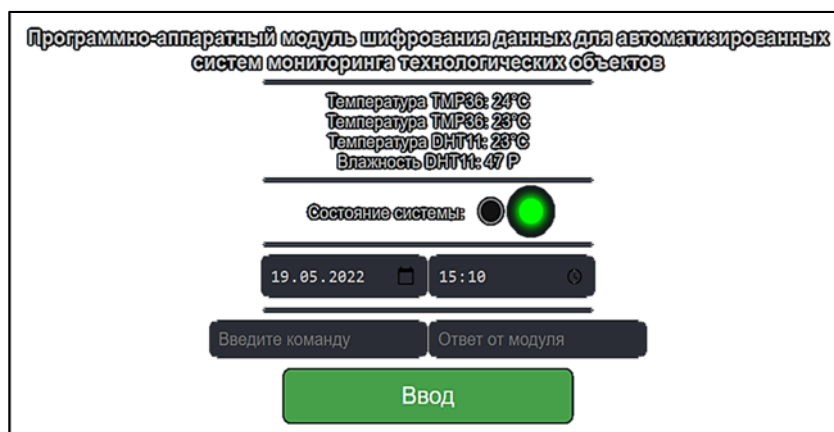


Рис. 4. Веб-страница модуля при включенном режиме дешифрования

В рамках работы также была выполнена проверка эффективности программной и аппаратной реализаций ГОСТа Р34.12-2015. Результаты сравнения приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что без учета загрузки/выгрузки данных аппаратная реализация в базе ПЛИС DE0-Nano (на частоте 50 МГц) более чем в 390 раз быстрее по сравнению с программной реализацией этого же алгоритма на МК типа STM32F407 на частоте ядра, равной 168 МГц.

Таблица 2

Сравнение временной сложности с использованием программной и аппаратной реализации без учета загрузки/выгрузки данных

Вариант реализации	Время, мкс
Программная реализация	1261,2
Аппаратная реализация	3,23

Выводы

На взгляд авторов, представленные в статье результаты доказывают реализуемость и эффективность предлагаемого подхода при создании программно-аппаратных средств первой линии криптографической защиты в составе существующих сенсорных систем с применением аппаратных компонентов, имеющих отечественные аналоги.

Реализованный в рамках работы аппаратный блок шифрования по ГОСТ Р 34.12.2015 показал высокую пропускную способность и скорость шифрования, что в условиях структурного распараллеливания позволяет вести параллельное шифрование/дешифрование данных, поступающих сразу от нескольких сенсоров, при условии, что размер шифруемого пакета не превышает заданный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Носкова А.И., Токранова М.В.* Обзор автоматизированных систем мониторинга // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2017. [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-avtomatizirovannyh-sistem-monitoringa>.
2. *Барабанова Е. А., Мальцев Д. Б., Есауленко В.Н., Руденко М.Ф.* Распределенная система контроля технологических объектов нефтегазовой промышленности на базе беспроводной сенсорной сети // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredeleonnaya-sistema-kontrolya-tehnologicheskikh-obektov-neftegazovoy-promyshlennosti-na-baze-besprovodnoy-sensornoj-seti>.
3. *Иванов Ю. И.* Современное состояние дел в области создания систем с интеллектуальными датчиками [Текст] / Ю. И. Иванов, К. В. Колоколова, А. Я. Номерчук, В. В. Соловьев, В. В. Шадрина, Д. Ю. Щербак // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2020): сборник трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Таганрог, 3–5 декабря 2020 г.). : в 3 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020.– Т.1– С.: 7-12.
4. *Мельников В.В.* Защита информации в компьютерных системах. – Москва: Финансы и статистика, 1997.– 368 с.:ил.
5. *Пьявченко О. Н., Пьявченко А. О.* Схемотехнические решения и элементная база интеллектуальных микропроцессорных модулей [Текст]: Учебное пособие/Под ред. д.т.н., профессора О. Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. –236 с.
6. *Юлков Д. С.* Один из подходов к организации защиты данных в беспроводных сенсорных сетях/ А.О. Пьявченко А. О., Д.С. Юлков // Информа-

- ционные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2020): сборник трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Таганрог, 9–11 декабря 2021 г). / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021.– С.: 78-83.
7. Опыт применения беспроводных технологий в промышленности [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа <https://www.emerson.ru/ru-ru>
 8. Берников В. О. Сравнительный анализ криптостойкости симметричных алгоритмов шифрования // Труды БГТУ. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. 2020. [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-kriptostoykosti-simmetrichnyh-algoritmov-shifrovaniya>.
 9. ГОСТ Р 34.13-2015 "Информационная технология. Криптографическая защита информации. Режимы работы блочных шифров" [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200121984>.
 10. *Abdullah Said Alkalbani, T. Mantoro, and A. O. M. Tap.* Comparison between rsa hardware and software implementation for wsns security schemes. In Proceeding of the 3rd International Conference on Information and Communication Technology for the Moslem World (ICT4M) 2010, p. 84–89.
 11. Terasic DE0-Nano User Manual [Электронный ресурс] /. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=139&No=593&PartNo=4>.

Юлков Денис Сергеевич – Южный федеральный университет; e-mail: dyulkov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; кафедра вычислительной техники; студент.

Пьявченко Алексей Олегович – Южный федеральный университет; e-mail: aop61@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371656; кафедра вычислительной техники; канд. техн. наук; доцент, Старший научный сотрудник.

Yulkov Denis Sergeevich – Southern Federal University; e-mail: dyulkov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the department of computer engineering; student.

Pyavchenko Aleksey Olegovich – Southern Federal University; e-mail: aop61@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

Мангушев Александр Вячеславович

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ MQTT КЛИЕНТ НА БАЗЕ ОДНОКРИСТАЛЬНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Разработана микропроцессорная система, осуществляющая передачу данных и обработку команд по протоколу MQTT в сети Интернет. Программное обеспечение для микроконтроллера написано на языке Си с применением операционной системы реального времени (ОСРВ) FreeRTOS. Устройство способно самостоятельно восстанавливать подключение к сети. Предусмотрена возможность подключения различных периферийных устройств. Главной особенностью устройства является возможность удаленного обновления программного обеспечения микроконтроллера (OTA).

Интернет вещей, протокол mqtt, микроконтроллер, gsm, операционная система реального времени, ota.

Mangushev Alexander Vyacheslavovich

UNIVERSAL MQTT CLIENT BASED ON A SINGLE-CHIP MICROCONTROLLER

A microprocessor system has been developed that transmits data and processes commands over the MQTT protocol on the Internet. The software for the microcontroller is written in C using the FreeRTOS real-time operating system (RTOS). The device is able to restore the network connection on its own. It is possible to connect various peripheral devices. The main feature of the device is the ability to remotely update the microcontroller software (OTA).

Internet of things, mqtt protocol, microcontroller, gsm, real-time operating system, ota.

Введение

Со все большим распространением Интернета становится достаточно легко подключить разработанное устройство к сети, что позволяет с меньшим вмешательством человека автоматизировать различные процессы.

Например, в медицине для выявления нарушения сердечного ритма применяют суточное мониторирование ЭКГ, при котором данные о работе сердца становятся доступны только в конце измерений. Вместе с тем может возникнуть необходимость промежуточного контроля процесса – в этом случае целесообразно передавать данные на сервер, где они сразу готовы для анализа специалистом. Поэтому разработка устройств – микропроцессорных систем, получающих и отправляющих в Интернет данные в режиме реального времени, обеспечивающих возможность оперативного отслеживания показаний датчиков и возможность удаленного управления различными приборами, представляется актуальной.[1]

Аппаратная часть MQTT-клиента

В качестве центрального микроконтроллера был применен STM32F446RE [2], поскольку имеет достаточную память и быстродействие, аппаратную поддержку вычислений с плавающей точкой, необходимых в перспективе использования разрабатываемого устройства в приложениях, требующих широкого использования цифровой обработки сигналов.

Для выхода в Интернет используется GSM/GPRS модуль SIM800[3], поддерживающий подключение к сети при помощи стека TCP/IP. Управляющий микроконтроллер реализует прикладной протокол обмена данными в рамках сообщений, передаваемых по протоколу MQTT[4], работающему поверх протокола TCP. Само TCP-соединение осуществляется средствами GSM-модуля. Управление GSM-передатчиком производится через интерфейс UART посредством передачи AT-команд. Также следует отметить, что у производителя данных модулей имеются линейки для более современных стандартов связи (в первую очередь, NB IoT [5]) с практически полной сохранностью протокола общения, что в будущем позволит без особых сложностей перенести проект на другой класс беспроводных сетей [6].

В текущей версии модуля выведены все основные аппаратные интерфейсы контроллера: I2C, UART, SPI, а также некоторое количество портов ввода-вывода, что позволяет без труда подключать дополнительное оборудование. Во время отладки программы в качестве внешнего сенсора применялся датчик температуры DS18B20.

Алгоритм работы устройства

Программа для микроконтроллера основана на операционной системе реального времени (ОСРВ) FreeRTOS [7,8], работа с периферийными

устройствами осуществляется при помощи предоставляемой производителем микроконтроллеров библиотеки HAL, обеспечивающей переносимость кода между микроконтроллерами STM32 различных серий. Такое решение позволяет в будущем поддерживать код и добавлять новую функциональность.

Рассмотрим алгоритм работы системы с помощью диаграммы активностей (рис. 1, 2). Каждый из потоков (задач) обозначен в виде законченного алгоритма с бесконечным циклом. После подачи питания начинает выполняться инициализация GSM модуля, происходящая в задаче с самым высоким приоритетом (StartSIM800Task). В случае ошибки на каком-либо этапе инициализация начинается с начала. После её завершения эта задача удаляется, освобождая мьютекс (UARTMutex), отвечающий за доступ потоков к интерфейсу общения с GSM-модулем.

Далее начинает свое выполнение задача, инициализирующая подключение к серверу и подписку на соответствующий топик (StartMQTTConnectTask). В случае нескольких неудачных попыток подключения происходит создание первой задачи (StartSIM800Task) и процесс повторяется. Далее этот поток также уничтожается, и в фоне начинают работать несколько потоков: задача по умолчанию (default_task), задача отправки пинг-пакета (PINGStartTask), задача отправки данных на сервер (StartSIM800SendTask), задача обработки входящих команд (MessHandlerTask) и задача измерения температуры (StartGetTempTask). Для синхронизации работы потоков применяются счетные семафоры, очереди и мьютексы. Задача StartGetTempTask ожидает выставления семафора SemGetTemp, задача StartSIM800SendTask – освобождения мьютекса UARTMutex и наличия сообщений в очереди на передачу, задача MessHandlerTask – наличия новой строки в очереди команд. Задача PINGStartTask отправляет раз в несколько секунд пинг-пакет, поддерживающий соединение открытым. Замер времени между посылками пинг-пакета происходит при помощи таймера, обнуляемого при передаче какого-либо сообщения по соединению.

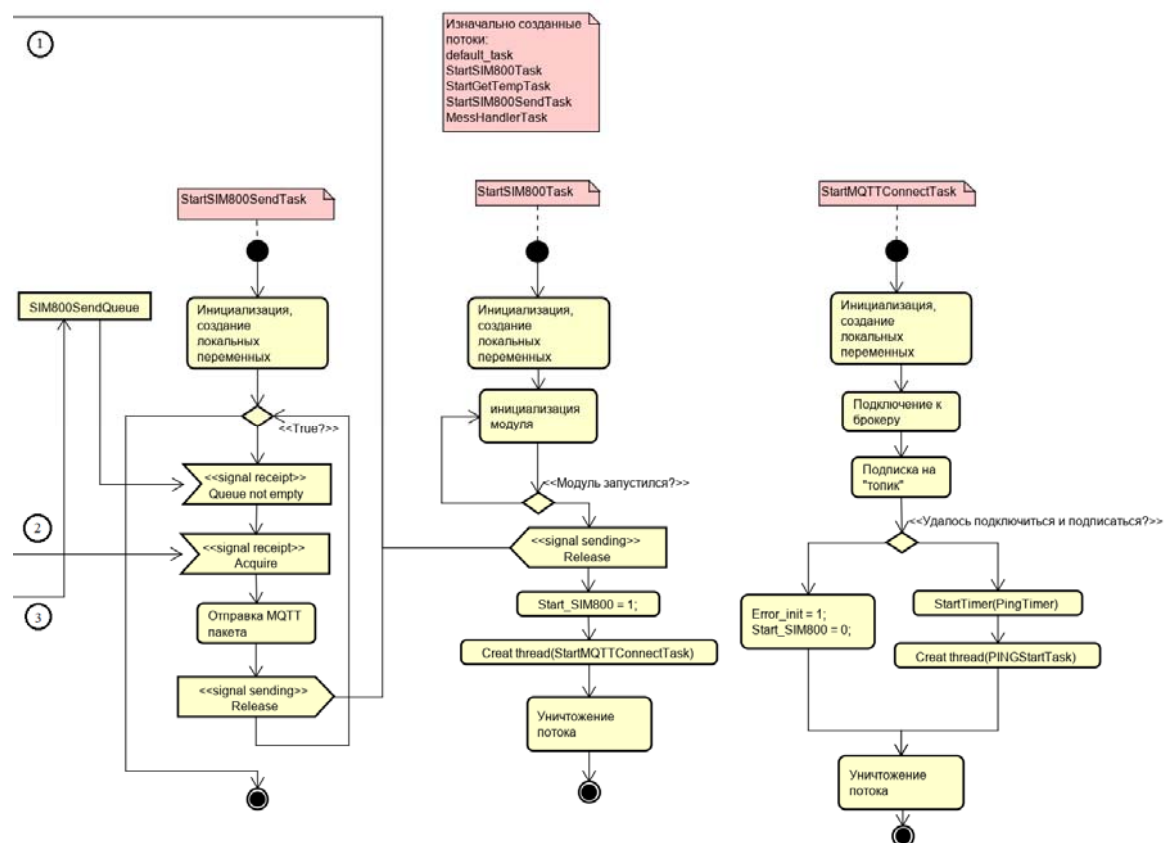


Рис. 2. Диаграмма активностей программы для микроконтроллера, часть 2

Удаленное обновление программы микроконтроллера

Одной из ключевых особенностей системы является возможность удаленно обновить программу микроконтроллера через Интернет (OTA).

Для того чтобы обновить программу, мы предварительно сохраняем файл с ней на сервере и отправляем устройству команду обновления. После этого начнется загрузка файла по протоколу FTP. Загруженный файл сохраняется на внешней микросхеме flash-памяти. Далее управление передается вспомогательному микроконтроллеру, который загрузит новую программу в основной микроконтроллер.

Микросхема памяти, основной и вспомогательный микроконтроллеры соединяются по интерфейсу SPI. Поскольку протокол [9] предусматривает наличие только одного ведущего устройства на шине, для передачи полномочий ведущего основной и вспомогательный микроконтроллеры соединены по интерфейсу UART. Микросхема памяти всегда является ведомым устройством. Изначально оба микроконтроллера сконфигурированы в режиме ведомого. После начала процесса обновления основной контроллер переходит в режим ведущего и записывает данные в микросхему памяти, затем становится ведомым и отправляет вспомогательному микро-

контроллеру команду на разрешение стать ведущим на шине. После загрузки программы в главный контроллер, вспомогательный вновь становится ведомым, и мы снова имеем три ведомых устройства на шине. Такая конфигурация реализуема вследствие того, что для каждого из контроллеров можно настраивать его состояние на шине программным способом без изменения назначения выводов.

В [10] рассматривается создание аналогичного устройства, однако оно имеет ряд недостатков. В качестве GSM/GPRS модуля применен SIM800L, не поддерживающий часть необходимых AT-команд. Также устройство, описанное в [10], состоит из отдельных готовых модулей, что не совсем пригодно для контрактного производства и промышленного применения. Кроме того, программа для микроконтроллера в [10] составлена с использованием уже устаревшей библиотеки SPL, что затрудняет перенос на микроконтроллеры других семейств. Разработанный в настоящей работе прототип сводит указанные недостатки к минимуму.

Выводы

В результате проделанной работы была разработана и изготовлена первая версия устройства, обеспечивающая подключение к MQTT-серверу и обработку некоторого количества команд. Кроме того, была реализована возможность удаленно обновить программу микроконтроллера для дальнейшего совершенствования устройства. В дальнейшем планируется учесть конструктивные недоработки первой версии и изготовить вторую, доработанную версию с целью отладки программного обеспечения в реальных условиях. Планируется также реализовать шифрование трафика с целью предотвращения несанкционированного доступа к управляемым устройствам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ядгарова Ю. В.* Модель и алгоритм выбора программной архитектуры для систем Интернета вещей / Ю. В. Ядгарова // Программные продукты и системы. – 2019. – № 4. – С. 682-689. – EDN QLQDSZ.
2. Микроконтроллеры линейки STM32F446 // Официальный сайт URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f446.html> (дата обращения: 29.05.2022).
3. Модуль SIM800 // Официальный сайт производителя URL: <https://www.simcom.com/> (дата обращения: 29.05.2022).

4. *Ли П.* Архитектура интернет вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.
5. Стандарт NB-IoT: применение и перспективы // Беспроводные технологии. – 2019. – № 3(56). – С. 27-31. – EDN SUHNQH.
6. *Батуев Б.* Работа со встроенным TCP/IP-стеком модулей GSM/GPRS серии SIM800 компании SIMCom Wireless Solutions / Б. Батуев // Беспроводные технологии. – 2016. – № 2(43). – С. 38-43. – EDN XRLINH.
7. Операционная система реального времени FreeRTOS // Официальный сайт URL: <https://www.freertos.org/features.html> (дата обращения: 29.05.2022).
8. Курниц, А. FreeRTOS - операционная система для микроконтроллеров / А. Курниц // Компоненты и технологии. – 2011. – № 2(115). – С. 96-100. – EDN NCDJHZ.
9. Цифровой синтез: практический курс / под общ. ред. А. Ю. Романова, Ю. В. Панчула. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 556 с.
10. *Конченков В.И., Скакунов В.Н.* Реализация MQTT-клиента на основе микроконтроллера: учеб.-метод. пособие – ВолгГТУ. - Волгоград, 2021 – 64 с.

Мангушев Александр Вячеславович, студент второго курса бакалавриата Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Россия, город Волгоград, проспект имени В.И. Ленина 28, 400066, телефон: +7 (988) 052-20-90, email: mangushev2001@yandex.ru.

Mangushev Alexander Vyacheslavovich, second-year undergraduate student of Volgograd State Technical University (VSTU), Russia, Volgograd, Lenin Avenue 28, phone: +7 (988) 052-20-90, email: mangushev2001@yandex.ru.

УДК 621.396

Плаксиенко Владимир Сергеевич

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ РАЗНЕСЕННЫЙ ПРИЕМ ЗАМИРАЮЩИХ СИГНАЛОВ

В условиях замираний для повышения помехоустойчивости эффективно использование разнесенного приема, который позволяет уменьшить как глубину, так и длительность замираний и является частным случаем реализации систем MIMO (multiple input – multiple output), а именно система MISO (multiple input – single output). Основной посылкой применения разнесенного приема является то, что составленный из комбинации двух независимо замирающих сигналов будет характеризоваться менее сильными замираниями, чем любой одиночный сигнал.

Квазиоптимальный, прием, сигнал, алгоритм, обработка, комбинированное сложение, помехоустойчивость, замирания.

Plaksienko Vladimir Sergeevich

QUASI-OPTIMAL DIVERSITY RECEPTION OF FADING SIGNALS

In fading conditions, to increase noise immunity, it is effective to use a spaced reception, which reduces both the depth and duration of fading and is a special case of the implementation of MIMO (multiple input – multiple output) systems, namely the MISO (multiple input – single output) system. The main premise of using a spaced reception is that a signal composed of a combination of two independently fading signals will be characterized by less strong fading than any single signal.

Quasi-optimal, reception, signal, algorithm, processing, combined addition, noise immunity, fading.

Введение

При решении задачи оценки эффективности приема и обработки сигналов в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов параметры принимаемых сигналов могут изменяться во времени и значительно отличаться от параметров переданных [1]. Особую сложность представляют практические ситуации, при которых имеет место неполнота

априорных данных как о параметрах сигналов, так и об условиях их распространения.

Основная часть

В условиях замираний сигналов и их многолучевого распространения эффективно использование информации, получаемой по параллельным каналам приема путем реализации алгоритмов разнесенного приема [2-4], который в современной терминологии является частным случаем систем MIMO (multiple input – multiple output), а именно MISO (multiple input – single output) [3].

Целью работы является рассмотрение основных закономерностей при комбинировании двух случайных процессов по алгоритму автовыбора в качестве процедуры обработки. При решении задачи различения процессы в каналах подвергаются автовыбору, после чего, берется разность преобразованных процессов. При разнесенном приеме после автовыбора берется сумма преобразованных процессов.

Представленные ниже зависимости получены при численном моделировании исследуемых процессов и алгоритмов, а также их обработки на ЭВМ.

При обработке бинарных сигналов плотности распределения вероятностей огибающих процессов в каналах обработки с сигналом и без подчиняются законам Райса ($W_1(x)$) и Релея ($W_2(x)$), вид которых представлен на рис. 1.

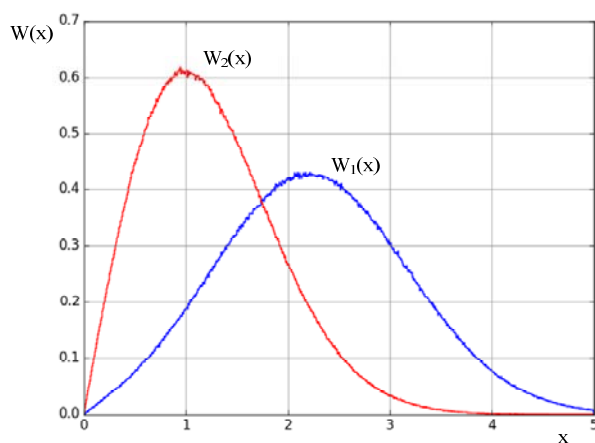


Рис. 1

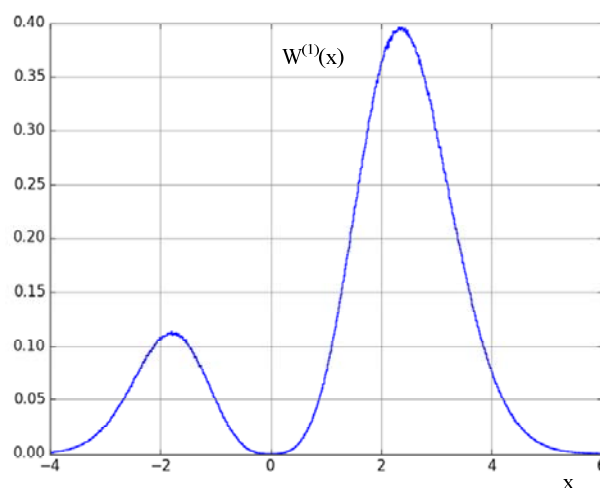


Рис. 2

При принятии решения плотность распределения вероятности процесса на выходе определяется сверткой, а при использовании процедуры авто-

выбора закон распределения процесса $W^{(1)}$ на выходе, как видно из рис. 2, будет бимодальным.

Однако при реализации процедуры типа автовыбора [1] спектры процессов в каналах расширяются и в случае обработки бинарных сигналов необходимо ограничить полосу процессов после автовыбора рамками информационной полосы.

На рис. 3 приведены зависимости плотностей распределения вероятностей процессов,

где $W(x)$ – распределение разностного процесса,

$W^{(1c)}$ – распределение процесса после автовыбора и фильтрации, ограничивающей ширину спектра рамками информационной полосы.

На рис.4 представлены интегральные функции распределения этих плотностей вероятностей.

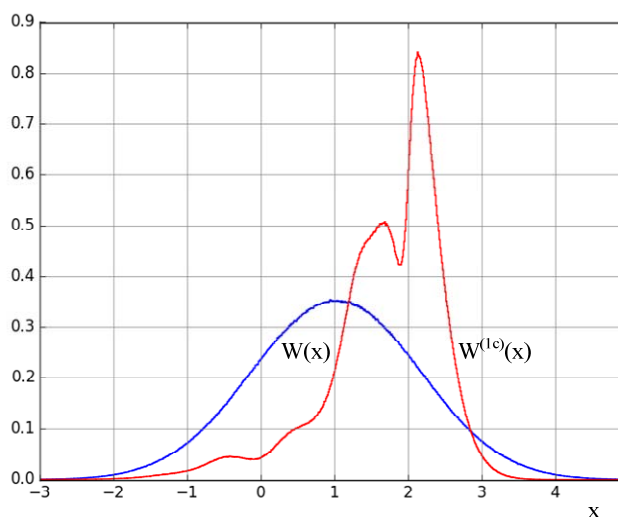


Рис. 3

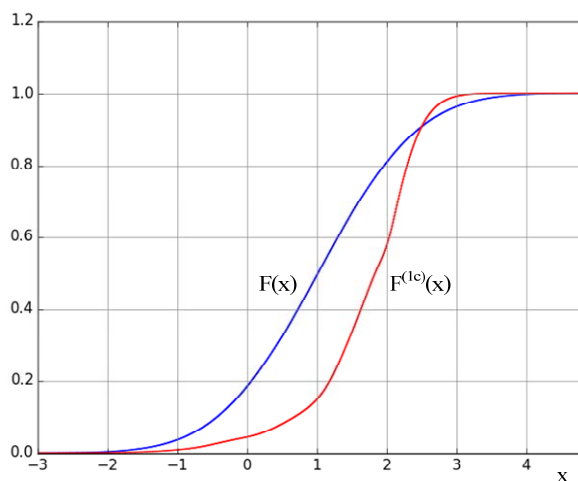


Рис. 4

Об эффективности процедуры обработки можно судить по значению интегральной функции в нуле, которое определяет вероятность ошибочного приема при приеме.

Рассмотрение рис. 4 показывает, что совместное использование автовыбора и фильтрации позволяет снизить потенциальную вероятность ошибочного приема (значения $F(x)$ и $F^{(1c)}(x)$ при $X=0$).

Выводы. Процедуры комбинированного сложения [1,3] достаточно просто реализуются технически дискриминаторами с управляемой характеристикой [4]. Автовыбор является частным случаем комбинирования [2] и может быть использован для повышения эффективности различения сиг-

налов только в сочетании с последующей фильтрацией ограничивающей спектры процессов рамками полосы частот информационного спектра. Автовывбор эффективен только в случае значительного рассогласования ширины спектра сигнала Δf_c и полосы пропускания приемника Δf_{Π} , а именно когда $\Delta f T$ равно 5 и более, где T – длительность элемента сигнала [1,2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плаксиенко В.С. Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2006. - 274 с.
2. Плаксиенко В.С., Фомин Н.Н. и др. Радиоприемные устройства 3-е изд., стереотипное (учебник)/Под ред. Н.Н.Фомина М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 520с.
3. А.с. 1067613 СССР. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/ Плаксиенко В.С. По заявке № 3436672/18-07. Заявл. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2.
4. Плаксиенко В.С., Бондарь П.А. Балансные дискриминаторы с управляемой характеристикой. Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. №3, 2009, с. 12-16.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Встраиваемых и Радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления ЮФУ, Россия, город Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevich, Doctor of technical Sciences (DSc), Professor, Professor of Department of Radio receivers and Embedded systems Institute of radio engineering and management of Southern Federal University, Russia, Taganrog, street of Engels, 1, phone: +7(8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

УДК 621.396

Плаксиенко Владимир Сергеевич

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ КОМБИНИРОВАННОГО СЛОЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Основными факторами, снижающими качество пространственно-временной обработки в условиях многолучевости, особенно в подвижной связи, являются: быстрые и медленные замирания, сдвиг Доплера, а также случайная ЧМ. В условиях замираний для повышения помехоустойчивости эффективно

использование разнесенного приема, который позволяет уменьшить как глубину, так и длительность замираний и является частным случаем реализации систем MIMO (multiple input – multiple output), а именно система MISO (multiple input – single output). Основной посылкой применения разнесенного приема является то, что составленный из комбинации двух независимо замирающих сигналов будет характеризоваться менее сильными замираниями, чем любой одиночный сигнал.

Прием сигналов, алгоритм обработки, комбинированное сложение, помехоустойчивость, замирания.

Plaksienko Vladimir Sergeevich

MODIFIED ALGORITHM OF COMBINED ADDITION IN SIGNAL RECEPTION AND PROCESSING TASKS

The main factors that reduce the quality of spatio-temporal processing in multipath conditions, especially in mobile communications, are: fast and slow fading, Doppler shift, and random FM. In fading conditions, to increase noise immunity, it is effective to use a spaced reception, which allows to reduce both the depth and duration of fading and is a special case of the implementation of MIMO (multiple input – multiple output) systems, namely the MISO (multiple input – single output) system. The main premise of using a spaced reception is that a signal composed of a combination of two independently fading signals will be characterized by less strong fading than any single signal.

Signal reception, processing algorithm, combined addition, noise immunity, fading.

Введение

Существуют различные способы получения независимо замирающих сигналов, в том числе пространственное, поляризационное, временное, частотное и угловое, а также разнесение по боковым [1-6].

Основная часть

Классификация методов обработки сигналов при разнесенном приеме представлена на рис.1 [4,6].

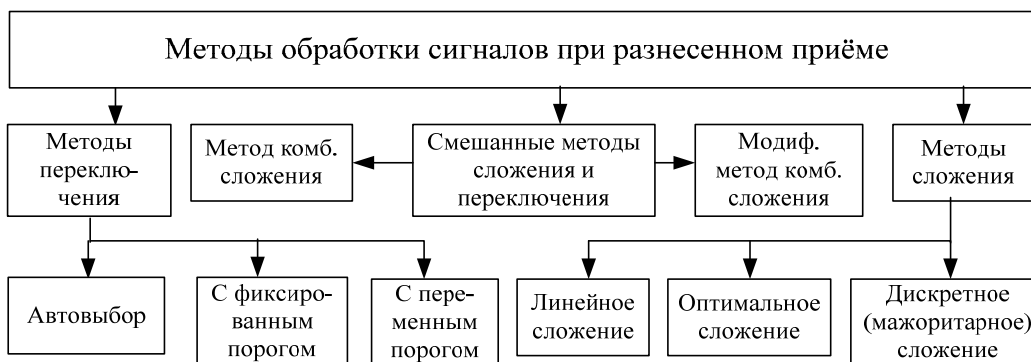


Рис. 1

Системы MISO являются обобщением и дальнейшим развитием разнесенного приема. Процедуры комбинирования сигналов нашли применение и при формировании алгоритмов принятия решения в системах обработки сигналов в условиях неполноты априорных сведений о параметрах сигналов и каналов их распространения [1, 3, 5].

Сравним потенциальные возможности методов комбинирования разнесенных сигналов на примере сдвоенного приема. Определим, для каких пар величин эффективного отношения сигнал/шум в двух каналах $U_{э2}/\sigma_{\Pi}$ результирующее отношение будет равно некоторой величине h при использовании представленных на рис. 1 способов комбинирования разнесенных сигналов. Рассмотрим кривые, по осям координат которых отложены эффективные отношения сигнал/шум в каждом канале [2] – рис. 2. На рис. 3 временные диаграммы при реализации различных алгоритмов [3].

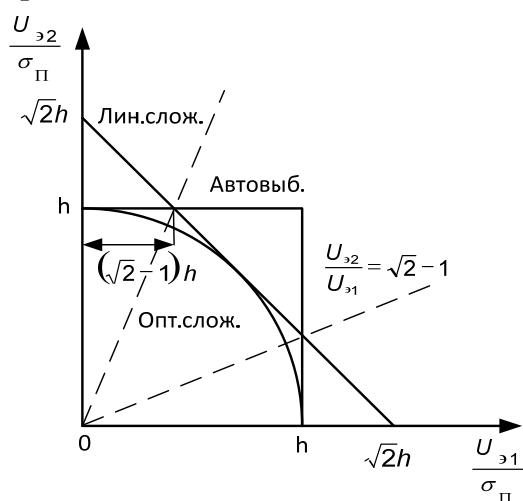


Рис. 2

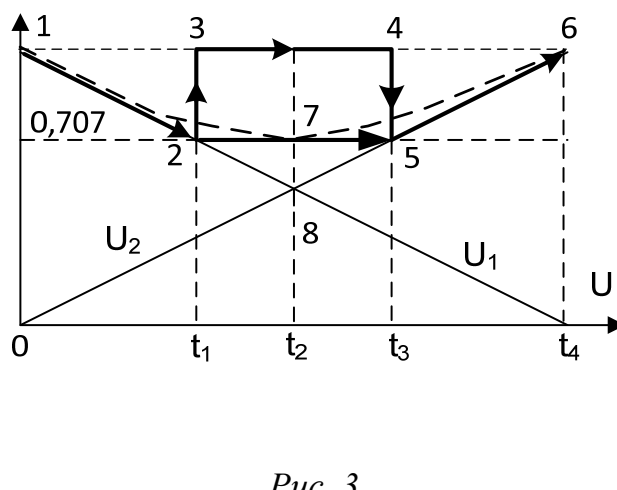


Рис. 3

При *автовыборе* выходное отношение сигнал/шум равно h только тогда, когда это отношение в одном из каналов равно h , а в другом – изменяется в пределах от 0 до h процесс пройдет через точки 1,8,6 (рис. 3).

При *оптимальном сложении* эффективное отношение сигнал/шум на выходе по теореме Бреннана равно h , если только $\left(\frac{S_1}{N_{эфф}}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{N_{эфф}}\right)^2 = h^2$.

Это равенство определяет соответствующую кривую как часть круга в первом квадранте радиусом h с центром в начале координат (процесс на рис. 3 пройдет через точки 1,7,6).

При *линейном сложении* кривая определяется уравнением $\frac{S_1 + S_2}{\sqrt{N_{эфф}^2 + N_{эфф}^2}} = h$, откуда $\frac{S_1}{N_{эфф}} + \frac{S_2}{N_{эфф}} = \sqrt{2}h$. Это уравнение прямой линии (процесс идет через точки 1,3,4,6 – рис. 3).

При отношении амплитуд входных сигналов в пределах $0.414 < \frac{S_1}{S_2} < \frac{1}{0.414}$ характеристики системы с линейным сложением лучше характеристик автовыбора, и, наоборот, вне этого интервала автовыбор лучше линейного сложения.

Возможно *комбинированное сложение*, когда процесс пройдет через точки 1,2,3,4,5,6 – рис. 3. Однако при этом принципиально имеют место паразитная амплитудная модуляция и коммутационные помехи при переходе от алгоритма сложения к автовыбору и наоборот.

Оптимальное сложение всегда реализует максимальное отношение сигнал/шум.

На основе исследования, различных законов распределения выбросов по длительности и по уровню [1], при обработке дискретных сигналов с изменяющейся длительностью синтезирован *модифицированный* алгоритм обработки, повышающий помехоустойчивость при сохранении формы сигнала.

При *модифицированном алгоритме комбинированного сложения* [3] процесс пройдет через точки 1,2,5,6 – рис. 3, т.е. отсутствуют коммутационные помехи и паразитная амплитудная модуляция.

$$\begin{aligned}
 U_i^{(n)} &= \begin{cases} U_i; & U_i > \frac{U_j}{K}; \\ \frac{U_i - K_{\Pi} U_j}{1 - K_{\Pi}}; & KU_j < U_i < \frac{U_j}{K}; \\ 0; & U_i < KU_j; \end{cases} \\
 U_j^{(n)} &= \begin{cases} U_j; & U_j > \frac{U_i}{K}; \\ \frac{U_j - K_{\Pi} U_i}{1 - K_{\Pi}}; & KU_j < U_i < \frac{U_i}{K}; \\ 0; & U_j < KU_i; \end{cases}
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $0 \leq K_{\Pi} \leq 1$ – коэффициент, зависящий от условий приема;

$n = 1 \div m$ – номер цикла обработки;

$i = 1, 2$ – для бинарных сигналов.

При одном цикле обработки по правилу (1) на схему сравнения с порогом подается разностный процесс

$$U^{(1c)} = U_i^{(1)} P(f) - U_j^{(1)} P(f); \tag{2}$$

где $P(f)$ – оператор фильтрации.

В общем случае процесс, сформированный в соответствии с (2), подается на пороговое устройство с нулевым порогом (при сигналах с активной паузой, например, ЧТ) и по знаку определяется значение элемента сообщения.

Вывод. Установлено, что пределом повышения качества обработки на основе модифицированного метода комбинированного сложения является помехоустойчивость, реализуемая неоптимальным некогерентным широкополосным приемом с фильтрацией огибающей сигнала после детектора, согласованной с длительностью элементарного символа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов/ Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин, В.С. Плаксиенко и др.; Под ред. Н.Н. Фомина. М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 520 с. 2-е изд., испр. и доп.
2. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ./Под ред. У.К. Джейкса. – М.: Связь, 1979. – 520 с.

3. Плаксиенко В.С. Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2006. – 274 с.
4. Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е. Особенности комбинирования сигналов при многолучевом приеме. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021» том 2. Материалы Всероссийской НТК с международным участием им. профессора О.Н. Пьявченко: в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. С. 130-135.
5. J.D. Parsons. The Mobile Radio Propagation Channel. Second Edition. 2000 John Wiley & Sons, Ltd. pp 419.
6. А.с. 1067613 СССР. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/ Плаксиенко В.С. По заявке № 3436672/18-07. Заявл. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ВиРПрУ ИРТСУ ЮФУ, Россия, город Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevich, Doctor of technical Sciences (DSc), Professor, Professor of Department of radio receivers and Embedded systems Institute of radio engineering and management of Southern Federal University, Russia, Taganrog, street of Engels, 1, phone: +7(8634) 37-16-26, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

УДК 621.396

Бакшун Дмитрий Иванович

SDR-ПРИЕМНИК ДЛЯ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 0,1..120 МГц

Представлена структура SDR-приемника на основе ПЛИС и персонального компьютера. Рассмотрены вопросы методической, алгоритмической и аппаратной реализации приемника.

Цифровая связь, программно определяемое радио, ПЛИС.

Dmitry Ivanovich Bakshun

SDR RECEIVER FOR 0,1...120 MHZ BAND

FPGA and PC-based SDR receiver structure is presented. Methodical, algorithmical and hardware implementation problems are discussed.

Digital communications, software-defined radio, FPGA.

Введение

SDR является последним достижением цифрового радио. Этот тип приемников является очень востребованным как среди радиолюбителей, так и среди профессионалов, благодаря своим возможностям, о которых подробнее будет рассказано далее. Благодаря развитым технологиям изготовления программируемых интегральных микросхем, приемник, реализованный программным путем, имеет преимущества использования цифровой обработки сигналов, которая позволяет значительно уменьшить влияние аналогового шума на сигнал и повысить стабильность характеристик приемника.

Основная часть

Были рассмотрены уже готовые решения SDR [1][2] и на их основе разработана структурная схема SDR-приемника, которая изображена на рис. 1.

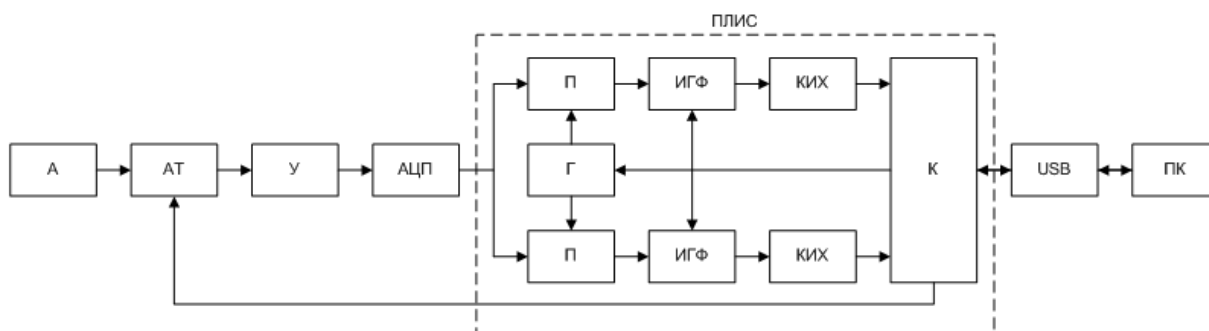


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого SDR (А – антенна; АТ – аттенюатор; У – усилитель; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; П – перемножитель; Г – гетеродин; ИГФ – интеграло-гребенчатый фильтр; КИХ – фильтр с конечной импульсной характеристикой; К – контроллер; USB – контроллер USB; ПК – персональный компьютер.)

Задачей SDR-приемника является дискретизация аналогового сигнала, получение комплексной огибающей нужного диапазона частот и передача данных на ПК.

Для разработки канала дискретизации сигнала выбран АЦП фирмы Analog Devices AD9280 [3]. Существует готовый модуль печатной платы AN108, который содержит сам АЦП AD9280, входной защитный каскад на диодах и драйвер в виде ОУ. На выходе АЦП получаем восьмибитный код с частотой дискретизации 30 МГц.

Выполнение задач получения комплексной огибающей осуществляется, используя готовые компоненты, такие как комплексный гетеродин NCO, CIC и FIR фильтры из пакета DSP производителя ПЛИС.

ФНЧ высокого порядка и с малой полосой необходим для обеспечения высокой избирательности ИГФ. Однако реализовать такой фильтр достаточно сложно. Это связано с тем, что для обеспечения высокого порядка фильтра необходимо иметь большую длительность ИХ при малой полосе пропускания самого фильтра. Математические операции требуют высокого быстродействия. Уменьшить требования к быстродействию можно, используя полифазный ФНЧ [1], рис. 2, главной отличительной особенностью которого является понижение частоты дискретизации.

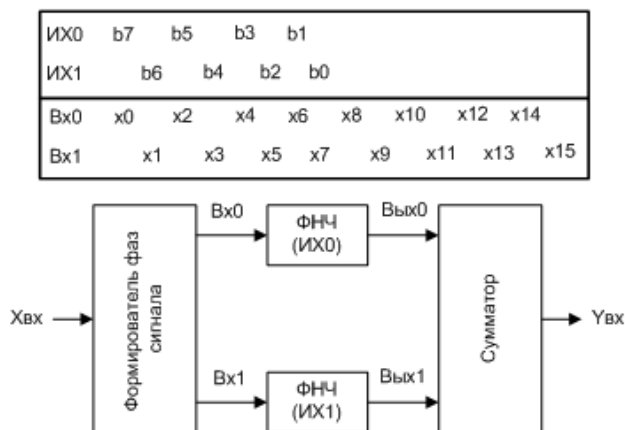


Рис. 2. Структурная схема полифазного фильтра для коэффициента децимации 2

Передаваемой информацией с ПЛИС на ПК являются байты сигнала на выходе ФНЧ, а передаваемой информацией с ПК на ПЛИС являются системные байты задающие настройки приемного модуля. В качестве USB контроллера используется микросхема FT232RL [4]. Один из ее режимов работы называется FIFO, который обеспечивает самую быструю передачу

по USB2.0. Так как FT232H в режиме FIFO не может одновременно осуществлять прием и передачу данных, был разработана структурная схема на рис. 3, по которой осуществляется передача системных байтов с ПК и байтов с приемного модуля используя независимые буферы.

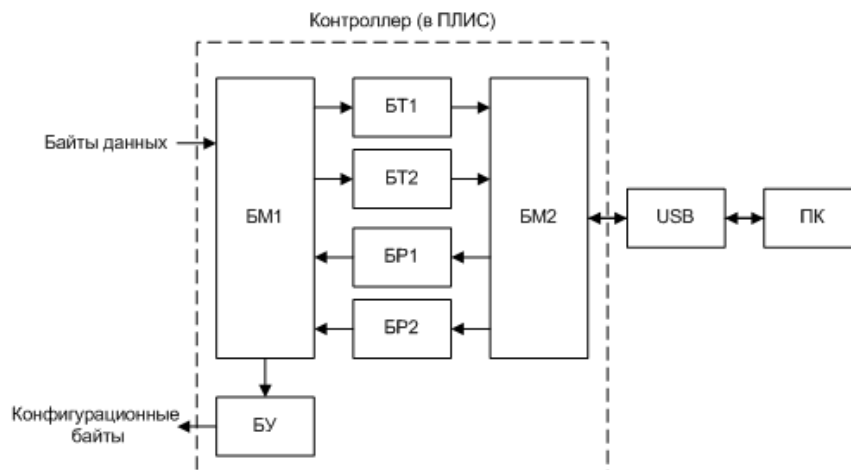


Рис. 3. Структурная схема обмена данными между ПЛИС и ПК (БМ1,2 – блок мультиплексоров 1,2; БУ – блок управления; БТ1,2 – буфер для передачи на ПК; БР1,2 – буфер приема с ПК)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цветков Ф.А. Программно-конфигурируемые радиоустройства: принципы построения и алгоритмы обработки сигналов: учебное пособие / Ф.А. Цветков, В.В. Терешков; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020.- 163 с.
2. SDR ColibriDDS URL:<https://eesdr.com/ru/products-ru/receiver-ru/colibriddc-ru?id=10> (дата обращения: 05.06.2022)
3. Микросхема AD9280 URL:<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9280.pdf> (дата обращения: 05.06.2022)
4. Микросхема FT232H URL:https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/07/DS_FT232H.pdf (дата обращения: 05.06.2022)
5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ, – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006
6. Intel NCO IP
URL:https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug_nco.pdf (дата обращения: 05.06.2022)

7. Intel NCO IP
URL: https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug_nco.pdf (дата обращения: 05.06.2022)
8. Intel библиотека LPM
URL: https://www.intel.ru/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug_lpm_alt_mfug.pdf (дата обращения: 05.06.2022)

Бакшун Дмитрий Иванович, магистрант кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Ростовская область, 347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, Тел.: +7 (8634) 37-16-32, email: dimentr_98@mail.ru.

Bakshun Dmitry Ivanovich, first degree student of Department of fundamentals of Radioengineering, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: dimentr_98@mail.ru.

УДК 621.396

Слонко Артем Евгеньевич

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Представлены результаты разработки виртуального частотно-временного анализатора реального времени на языке Python. Рассмотрены вопросы проектирования и приведены результаты проведенных экспериментов.

Спектральный анализ, спектрограмма, виртуальный прибор, Python.

Slonko Artem Evgenievich

VIRTUAL INSTRUMENT FOR REAL-TIME SPECTRO-TEMPORAL ANALYSIS

Results of development of real-time virtual spectro-temporal analyzer in Python programming language are presented. Some problems of development are discussed and experimental results are shown.

Spectral analysis, spectrogram, virtual instrument, Python.

Введение

Сигналы, существенно нестационарные по спектру, широко распространены в природе и технике. К ним относятся, например, сигналы систем беспроводной цифровой связи, музыкальные и речевые сигналы. Классические методы анализа (спектрального, корреляционного) не дают возможности полноценного исследования нестационарных сигналов, поскольку информация об их динамических свойствах теряется [1].

Метод частотно-временного анализа широко применяется при исследованиях нестационарных сигналов. Результатом его применения является спектрограмма, отображающая динамику изменения мгновенного спектра во времени. Инструменты для получения статичных спектрограмм сигналов имеются в таких пакетах, как MATLAB, LabVIEW, SciPy, однако возможности для исследования сигналов в режиме реального времени отсутствуют. Задачей научной работы стала разработка виртуального прибора, предоставляющего такую возможность. Для разработки был выбран язык Python, сочетающий простоту разработки с широкими возможностями.

Основная часть

Пусть анализируется сигнал $s(nT)$ с частотой дискретизации $F_d = 1/T$. Входными данными для расчета спектрограммы являются размер отрезка L , перекрытие между отрезками p ($0 \leq p < 1$), длительность окна обзора T_{buf} , тип весовой функции и цветовая карта. Для работы в реальном времени используется буфер FIFO на $N_{buf} = T_{buf}F_d$ отсчетов, в который поступают отсчёты $s(nT)$.

Из буфера выбираются отрезки сигнала по L отсчетов с перекрытием pL отсчетов. Каждый отрезок умножается на отсчеты весовой функции $w(nT)$ и дополняется нулями до длины L' [2], равной степени двойки. После этого выполняется прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ) от каждого отрезка с использованием алгоритма БПФ – быстрого преобразо-

вания Фурье (дополнение нулями обеспечивает его наилучшее быстроедействие).

По комплексным отсчетам ДПФ $S_m(k)$ вычисляется оценка модуля спектральной плотности сигнала в дБ:

$$|S_m(jf_k)| = 20 \lg |S_m(k)|, k = 0, 1, \dots, L' - 1 \quad (1)$$

где $m = 0, 1, \dots, M - 1$ – номер отрезка сигнала;

$M = \lfloor \frac{N_{buf} - pL}{L(1-p)} \rfloor$ – число отрезков в буфере;

$f_k = \frac{kF_d}{L'}$ – сетка частот, соответствующих отсчетам ДПФ.

Результаты вычислений по формуле (1) записываются в m -й столбец двумерного буфера, по которому строится спектрограмма. Для отображения децибелов в цвета используется заданная цветовая карта.

После завершения вывода спектрограммы на экран расчет немедленно повторяется, поскольку к этому моменту сигнал в буфере уже изменился: поступили новые отсчеты, а наиболее старые отсчеты из буфера удалены.

Выбор значений параметров L и p влияет на разрешение (количество точек спектрограммы) по времени и по частоте [1], а также на скорость обновления результатов на экране. Количество точек по оси частот равно $\lfloor \frac{L'}{2} \rfloor + 1$, так как показывается полоса частот от 0 до частоты Найквиста. Количество точек по оси времени равно M . Примеры спектрограмм, полученных при разных L , показаны на рис. 1 и 2.

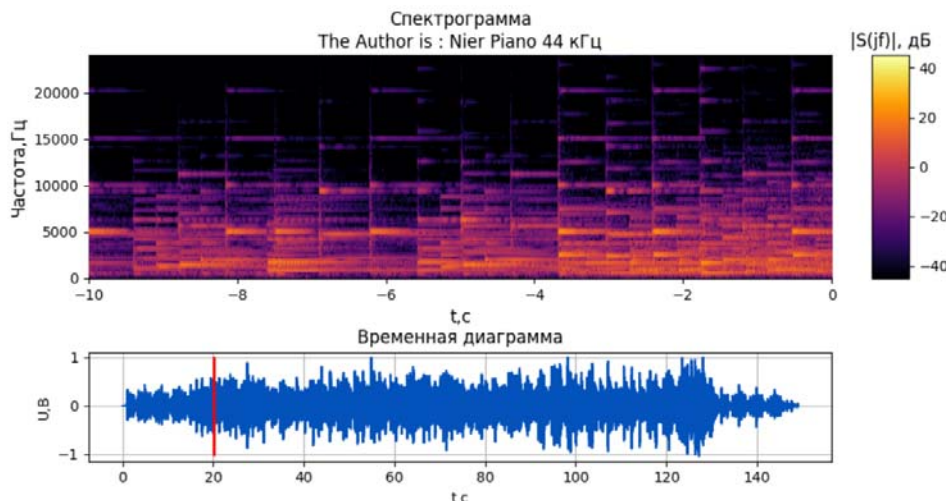


Рис. 1. Спектрограмма при $L=1024$, $p = 25\%$, окно Ханна

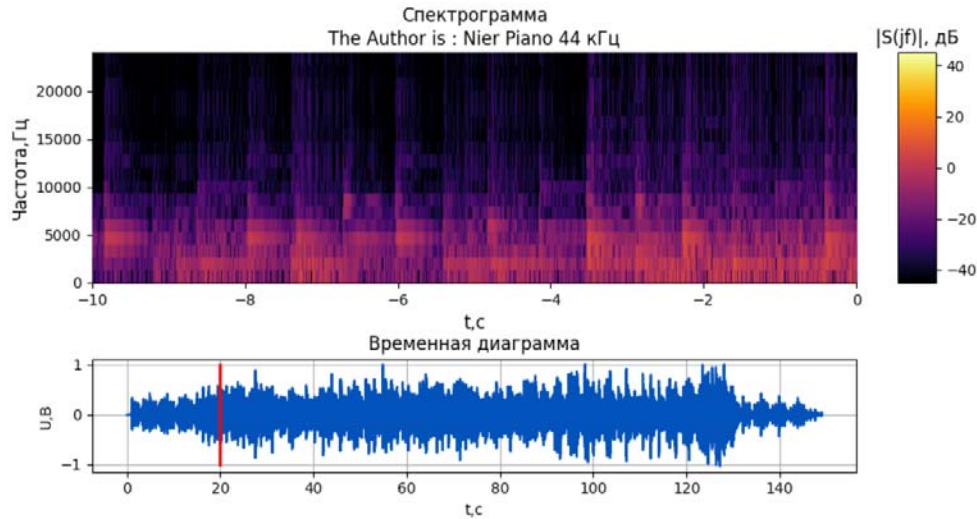


Рис. 2. Спектрограмма при $L=100$, $p = 25\%$, окно Ханна

Скорость обновления результатов (частота кадров) на экране прибора обратно пропорциональна вычислительной сложности расчета одиночной спектрограммы, которая определяется числом действительных операций [3]:

$$N_{calc} = 5ML' \log_2 L'. \quad (2)$$

Помимо расчета спектрограммы выполняется N_{plot} вычислительных операций для вывода спектрограммы на экран. Если принять производительность вычислителя за N_{OPS} вычислительных операций в секунду, то частоту кадров FPS можно выразить следующим образом:

$$FPS = \frac{N_{OPS}}{N_{calc} + N_{plot}}. \quad (3)$$

Были произведены замеры FPS при разных частотах дискретизации, неизвестные параметры $N_{plot} = 1,38 \cdot 10^7$ и $N_{OPS} = 7,54 \cdot 10^8$ были найдены путём аппроксимации экспериментальных данных кривой (3) методом наименьших квадратов [4].

На рис. 3, а приведены зависимости N_{calc} от L/N_{buf} при различных значениях p , $N_{buf} = 4,8 \cdot 10^5$. На рис. 3, б показаны результаты аппроксимации экспериментальных данных зависимостью (3), $T_{buf} = 10$ с, $L = 1024$, $p = 0,25$.

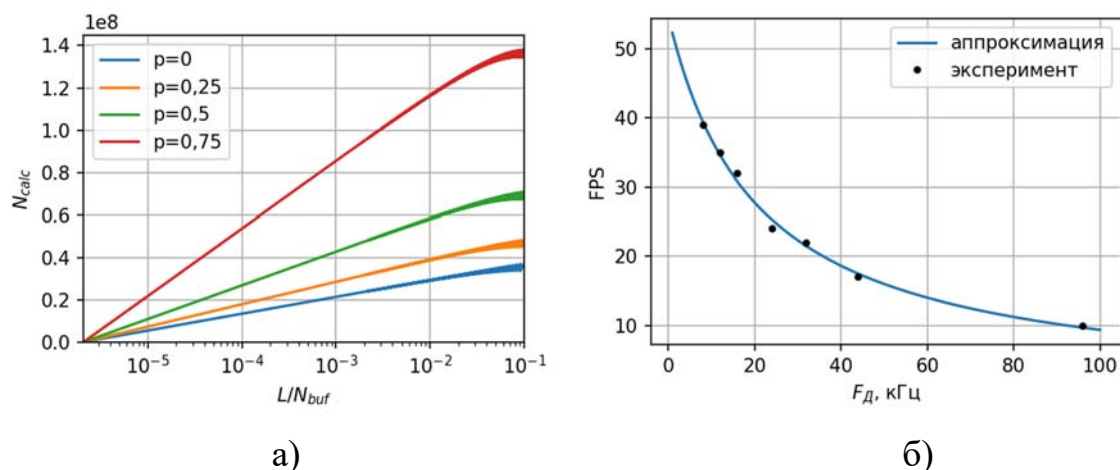


Рис. 3. Зависимости вычислительной сложности расчета спектрограммы от длины отрезка и перекрытия (слева); результаты аппроксимации экспериментальных данных о частоте кадров (справа)

Выводы

Приведенные результаты показывают, что прибор выдает более 20 кадров/с при $F_d < 40$ кГц, то есть возможна комфортная работа с сигналами, полоса которых составляет до 20 кГц. Величину перекрытия не следует выбирать более 0,5, так как большее перекрытие может замедлить работу прибора.

Следует отметить возможность существенной оптимизации используемых алгоритмов для повышения быстродействия виртуального прибора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Boualem Boashash, Time-Frequency Signal Analysis and Processing A Comprehensive. Изд. -2-е испр. и перераб. Учебное пособие. – Лос Анджелес, 2016. – с 10.
2. Max, Spectral Leakage and Zero-Padding of the Discrete Fourier Transform: интернет статья 2019. URL: <https://dspillustrations.com/pages/posts/misc/spectral-leakage-zero-padding-and-frequency-resolution.html> (дата обращения 25.05.2021)
3. Харкевич А.А. Спектры и Анализ. Изд. -5-е испр. и перераб. Учебное пособие. – Москва, 2009. – с 91.
4. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. Изд. -2-е испр. и перераб. Учебное пособие. – Москва, 1962. – с 9.

Слонко Артем Евгеньевич, студент кафедры антенн и радиопередающих систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (научный руководитель доцент каф. ТОР А.А. Марьев), Россия, Ростовская область, 347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, учебно-лабораторный корпус "Д", аудитория Д-110; Телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: slonko@sfedu.ru.

Slonko Artem Evgenievich, student of Department of antennae and transmitting devices, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: slonko@sfedu.ru.

УДК 621.396

Циркуленко Артемий Викторович

ДЕМОНСТРАТОР ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Работа освещает процесс разработки демонстратора цифровой системы связи, создаваемого для образовательных и исследовательских целей.

Цифровая связь, демонстратор, синхронизация, ФАПЧ.

Tsirkulenko Artemiy Viktorovich

DEMONSTRATOR OF DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM

Work is designated to the process of digital communication system demonstrator development, which is being developed for educational and research purposes.

Digital communications, demonstrator, synchronization, PLL.

Введение

В современном мире активно развиваются цифровые системы беспроводной связи, которые повсеместно применяются в тех или иных устройствах, в частности, в устройствах передачи/приема/обработки информации. Таким образом, качественная цифровая система беспроводной связи способна обеспечивать необходимые задачи (например, коммуникацию между людьми) с достаточно высокой скоростью. Однако подходы к моделированию подобных систем изучены не очень подробно.

Основная часть

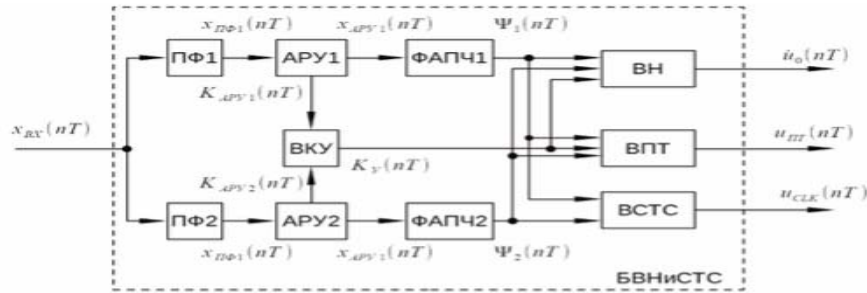
В целом, любую систему беспроводной связи можно разбить на 3 больших функциональных блока: передатчик, собственно канал связи и приемник. Дополнительно в системе связи могут использовать различные корректирующие коды, которые могут исправлять битовые ошибки, так или иначе возникающие в реальных каналах связи в результате воздействия различного рода шумов и флуктуаций. Соответственно для реализации этих кодов применяют кодеры и декодеры.

Важная часть цифровой системы связи – модулятор, который использует заданный тип модуляции. Одним из простейших видов модуляции является двоичная фазовая манипуляция (BPSK, binary phase shift keying), где «двоичная» относится к использованию двух значений начальной фазы (одно для логической единицы, другое – для логического нуля).

Именно этот тип модуляции применялся при моделировании в качестве базового, потому что он довольно прост в реализации и позволяет получить наглядное представление о работе канала связи. При этом реализация остальных видов модуляции после создания базового не представляет никакой сложности. Также он обладает самой большой помехоустойчивостью.

Автором было разработано программное обеспечение (ПО) на языке Python, выполняющее синтез всех структурных элементов цифровой системы беспроводной связи (передатчика, канала связи и приемника) и моделирующее работу такой схемы с применением BPSK-модуляции. Помимо этого были решены задачи кадровой и тактовой синхронизации передатчика и приемника с помощью системы с пилот-тонами.

На рис. 1 показан блок синхронизации передатчика и приемника.



БВНСТС – блок восстановления несущей и сигнала тактовой синхронизации
 ПФ1,2 – полосовые фильтры, настроенные на частоты пилот-тонов
 АРУ – автоматическая регулировка усиления
 ВКУ – вычислитель коэффициента усиления
 ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты
 ВПТ – вычислитель пилот-тонов
 ВН – вычислитель несущей
 ВСТС – вычислитель сигнала тактовой синхронизации

$$K_Y(nT) = \frac{K_{APY1}(nT) + K_{APY2}(nT)}{2} \text{ - коэффициент усиления}$$

где $K_{APY1,2}(nT)$ – коэффициенты усиления АРУ

$$u_{PI}(nT) = \frac{\cos \Psi_1(nT) + \cos \Psi_2(nT)}{K_Y(nT)} \text{ - вычисленные пилот-тоны}$$

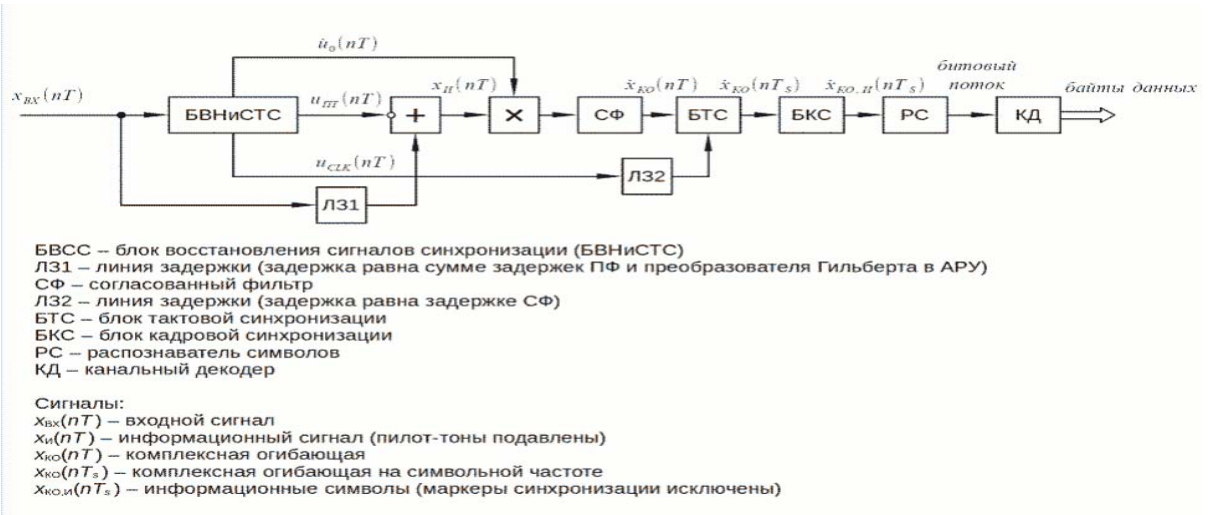
$$\hat{u}_O(nT) = 2 A_{PI} K_Y(nT) e^{-j \frac{\Psi_2(nT) - \Psi_1(nT)}{2}} \text{ - комплексный множитель для выделения квадратур сигнала}$$

где A_{PI} – амплитуда пилот-тона относительно единичного уровня модуляции

$$u_{CLK}(nT) = \cos[\Psi_2(nT) - \Psi_1(nT)] \text{ - сигнал тактовой синхронизации}$$

Рис. 1. Структурная схема блока синхронизации сигнала

На рис. 2 показана структура приемника.



БВСС – блок восстановления сигналов синхронизации (БВНСТС)
 ЛЗ1 – линия задержки (задержка равна сумме задержек ПФ и преобразователя Гильберта в АРУ)
 СФ – согласованный фильтр
 ЛЗ2 – линия задержки (задержка равна задержке СФ)
 БТС – блок тактовой синхронизации
 БКС – блок кадровой синхронизации
 РС – распознаватель символов
 КД – каналный декодер

Сигналы:

$x_{вх}(nT)$ – входной сигнал

$\hat{x}_и(nT)$ – информационный сигнал (пилот-тоны подавлены)

$\hat{x}_{ко}(nT)$ – комплексная огибающая

$\hat{x}_{ко}(nT_s)$ – комплексная огибающая на символьной частоте

$\hat{x}_{ко,и}(nT_s)$ – информационные символы (маркеры синхронизации исключены)

Рис. 2. Структурная схема приемника с синхронизацией

С помощью разработанного ПО были исследованы все этапы формирования цифрового сигнала, прохождения его через канал связи и обработки в приемной части.

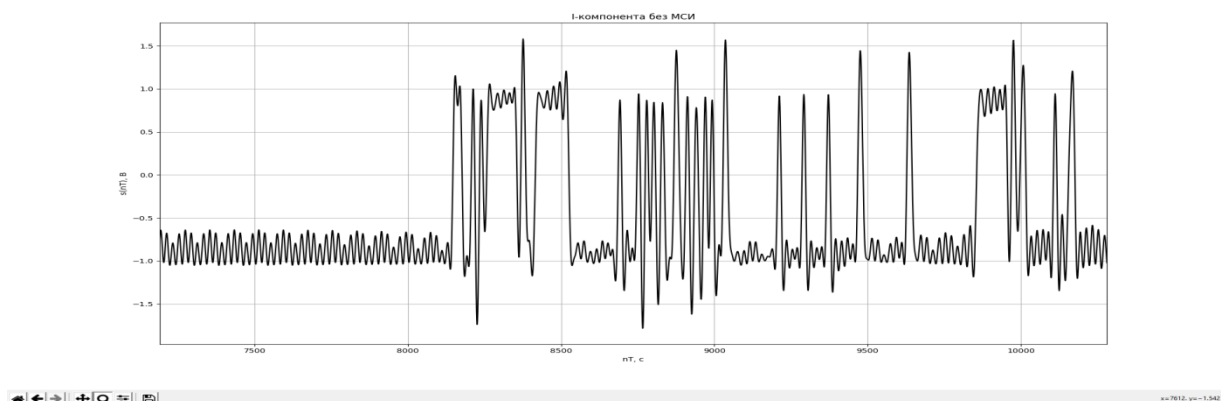


Рис. 3. I-компонента восстановленного BPSK-сигнала

В эксперименте синтезировался случайный сигнал, представляющий собой поток битов. Центральная частота радиосигнала составила 7,5 кГц, частоты пилот-тонов 5,1 и 9,9 кГц. На рис. 3 показан восстановленный сигнал с маркером кадровой синхронизации (последовательностью Баркера).

Видно, что приемник решает задачу тактовой синхронизации (за счет контура ФАПЧ и пилот-тонов) и кадровой синхронизации (за счет последовательности Баркера).

Важность разработки заключается в создании полноценной модели цифровой системы беспроводной связи, которую можно применять в различных областях ЦОС, а также видоизменять ее параметры в соответствии с теми или иными нуждами задач радиотехники и инфокоммуникационных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. — 3-е изд. — СПб.:БХВ-Петербург, 2011.
3. Маркович И.И. Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах – Ростов н/Д: Издательство ЮФУ, 2012.

Циркуленко Артемий Викторович, магистрант кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (научный руководитель доцент каф. ТОР А.А. Марьев), Россия, Ростовская область, 347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, учебно-лабораторный корпус "Д", аудитория Д-110; Телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: acirkulenko@sfnedu.ru.

Tsirkulenko Artemiy Viktorovich, first degree student of Department of fundamentals of radioengineering, Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: acirkulenko@sfedu.ru.

УДК 621.389

Зикий Анатолий Николаевич, Пустовит Алексей Андреевич,
Сальный Игорь Алексеевич, Андрианов Артур Валерьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АТТЕНЮАТОРА САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Проведено моделирование и экспериментальное исследование pin-диодного аттенюатора диапазона 4-8 ГГц. Приведена принципиальная схема аттенюатора, описана его конструкция. Показано, что при нулевом токе управления затухание не превышает 3 дБ, а при токе управления менее 4 мА затухание не меньше 40 дБ.

Диодный аттенюатор, амплитудно-частотная характеристика, характеристика управления, pin-диод, широкополосная линия передачи, гибридная технология.

Zikiy Anatoly Nikolaevich, Pustovit Aleksei Andreevich
Salnyi Igor Alekseevich, Andrianov Artur Valerevich

FREQUENCY DIVIDER WITH VARIABLE DIVISION COEFFICIENT

A simulation and experimental study of a pin-diode attenuator in the 4-8GHz range has been carried out. The schematic diagram of the attenuator is given, its design is described. It is shown that with a zero control current, the attenuation does not exceed 3 dB, and with a control current of less than 4 mA, the attenuation is not less than 40 dB.

Diode attenuator, amplitude-frequency response, control characteristic, pin diode, broadband transmission line, hybrid technology.

Введение

Аттенюаторы нашли широкое применение в приемно-передающей аппаратуре связи, в том числе во входной цепи приемника для обеспечения приема более мощных сигналов, поэтому их исследование является актуальным. Аттенюаторам посвящены десятки книг и брошюр, диссертаций,

сотни статей и патентов [1-8]. Однако нельзя считать достигнутые результаты исчерпывающими, так как появляются новые диоды и микросхемы, патентуются новые схемы и конструкции, расширяются возможности анализа и синтеза с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР).

Целью данной работы является исследование аттенюатора на pin -диодах в сантиметровом диапазоне длин волн.

К аттенюатору предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот 4-8 ГГц;
- величина затухания должна меняться в пределах от 3 до 40 дБ;
- ток управления не должен превышать 15 мА;
- входное и выходное сопротивление 50 Ом.

Аттенюаторы на pin -диодах строят по последовательной, параллельной и последовательно-параллельной схемам [3].

В дециметровом диапазоне волн чаще используют последовательную схему, в сантиметровом и миллиметровом диапазоне волн чаще используют параллельную схему включения диодов. В параллельной схеме проще отводить тепло от диодов, поэтому ее используют для управления сигналами большой мощности в передатчиках [5].

Схема и конструкция

На рис. 1 показана принципиальная схема аттенюатора. Использованы 8 pin -диодов типа 2A536A-5 [1], включённых параллельно в линию передачи. Такое включение является традиционным для сантиметрового диапазона волн. Улучшение согласования входа и выхода аттенюатора достигается тем, что на два диода со стороны входа, и по два диода со стороны выхода ток смещения подается меньше, чем на 4 центральных диода. Управляющий ток подается через развязывающий дроссель в центральную точку аттенюатора.

Расстояние между точками включения диодов в линию выбирается равным четверти длины волны на средней частоте рабочего диапазона частот и составляет 5,3 мм.

Аттенюатор выполнен в корпусе рамочного типа. Все детали, кроме трех соединителей, размещены на печатной плате из поликора размером 48x15x1 мм. Корпус закрыт двумя крышками, при этом на крышке со стороны радиодеталей наклеен поглощающий материал. Соединители типа СРГ50-751ФВ впаяны в корпус.

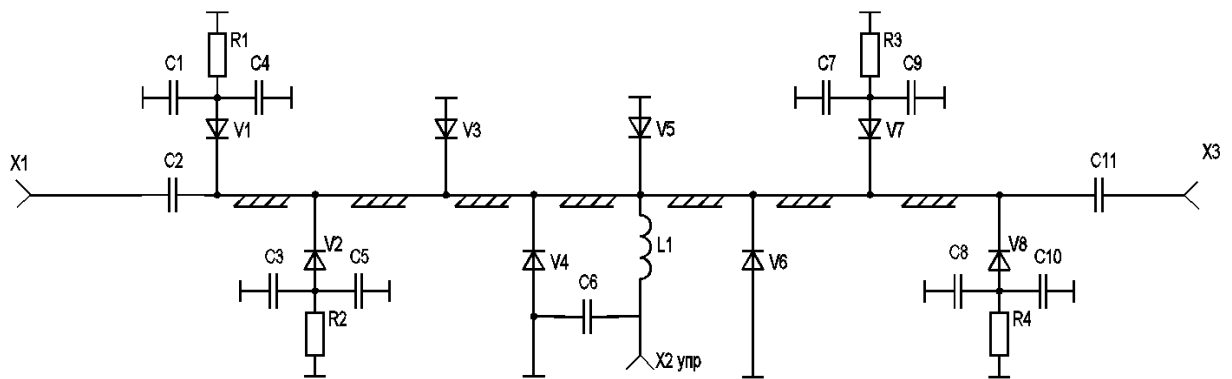


Рис. 1. Принципиальная схема аттенюатора

Моделирование

Моделирование аттенюатора проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office [7,8]. Модель аттенюатора показана на рис. 2. На рис. 3, 4 приведены результаты моделирования аттенюатора, а именно коэффициент передачи S21 при токах управления ноль, 10 и 15 мА.

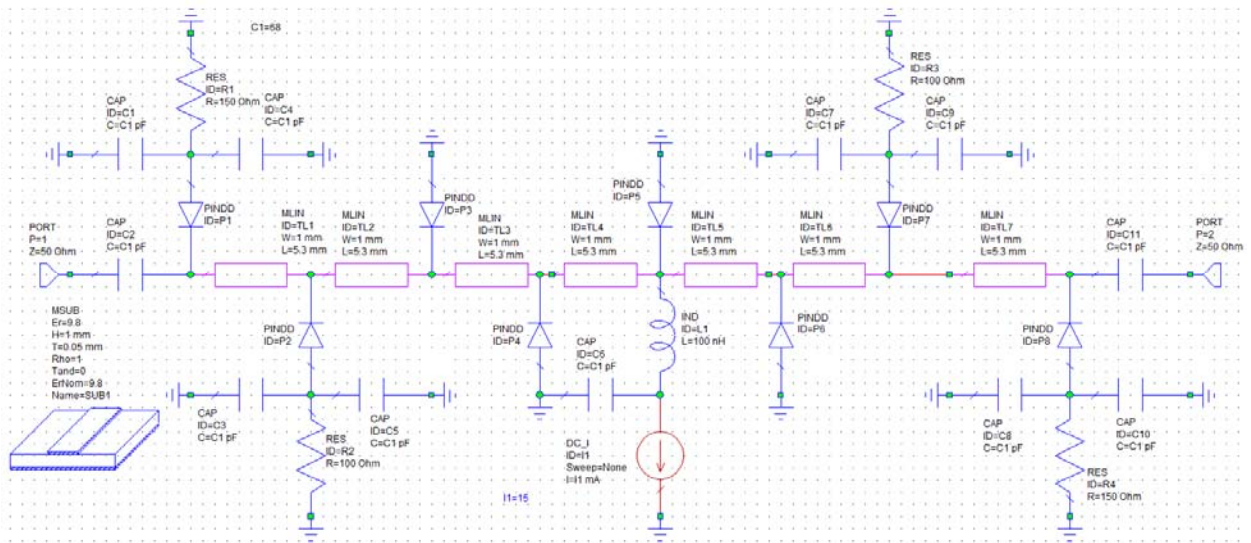


Рис. 2. Модель аттенюатора в MWO

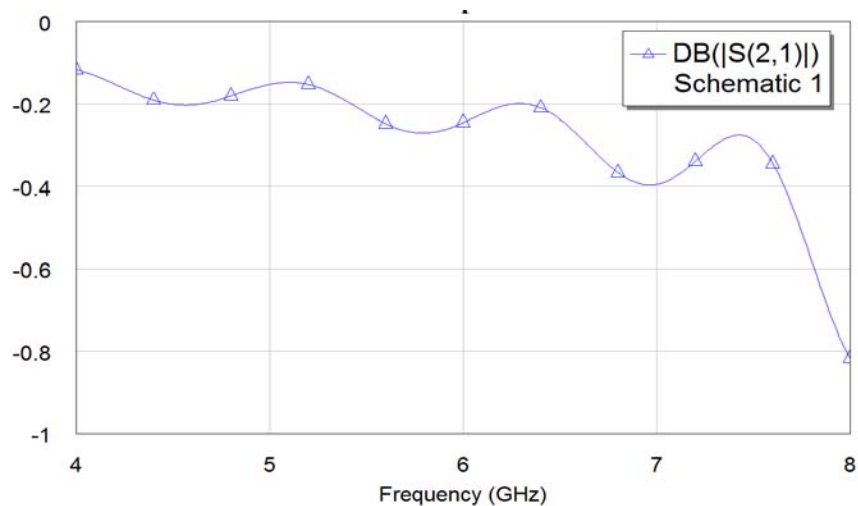


Рис. 3. АЧХ аттенюатора при нулевом токе (MWO)

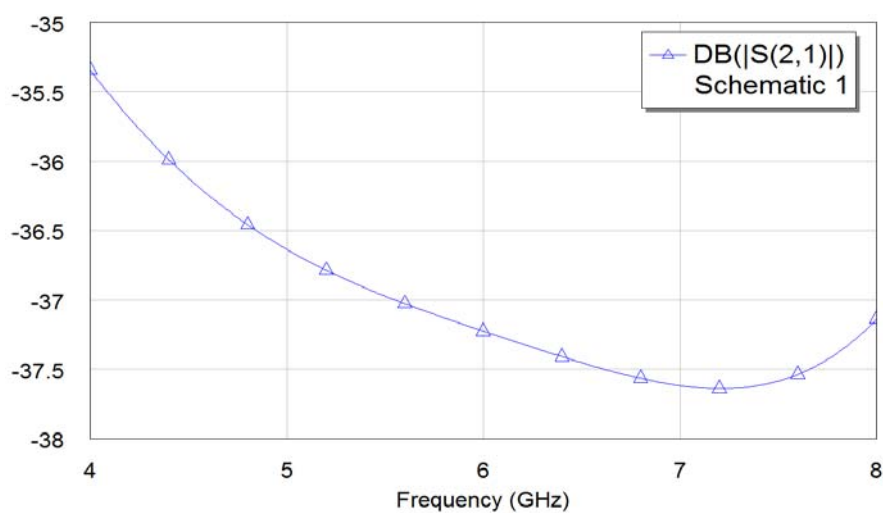


Рис. 4. АЧХ аттенюатора при токе управления 10 мА (MWO)

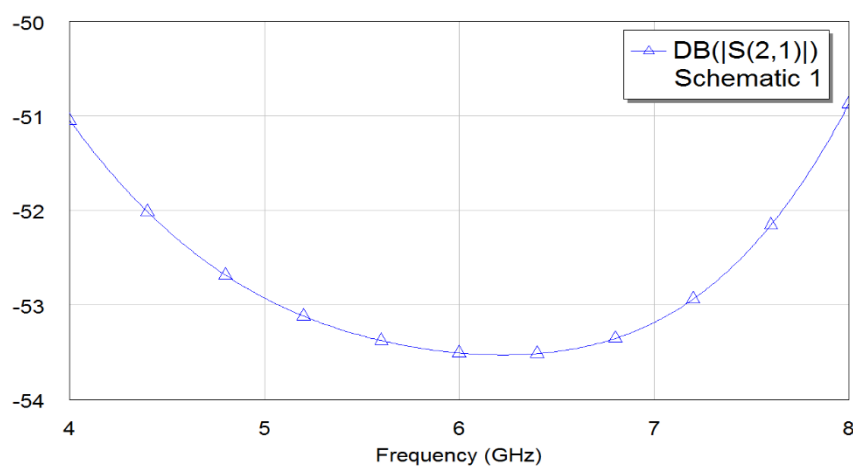


Рис. 5. АЧХ аттенюатора при токе управления 15 мА (MWO)

Из рис. 3-5 видно, что требования к аттенюатору выполняются.

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рис. 6.



Рис. 6. Структурная схема измерительной установки

Первый эксперимент проводился при нулевом управляющем токе. Результат измерения показан на рис. 7. Из этого рисунка видно, что затухание не превышает 2,6 дБ. Второй эксперимент проводился при управляющем токе 1 мА. Результат измерения изображен на рис. 8. Из этого рисунка видно, что затухание составляет не более 8 дБ, при этом неравномерность составляет не более 3 дБ. В третьем эксперименте был установлен ток управления 2 мА. Результат измерения можно видеть на рис. 9. Из него видно, что затухание в диапазоне частот меняется от 19 до 25 дБ. В четвертом эксперименте ток управления составляет 3 мА. АЧХ аттенюатора для этого случая приведен на рис. 10. Затухание при этом составляет от 33-39 дБ. В пятом эксперименте АЧХ аттенюатора снята при токе управления 4 мА.

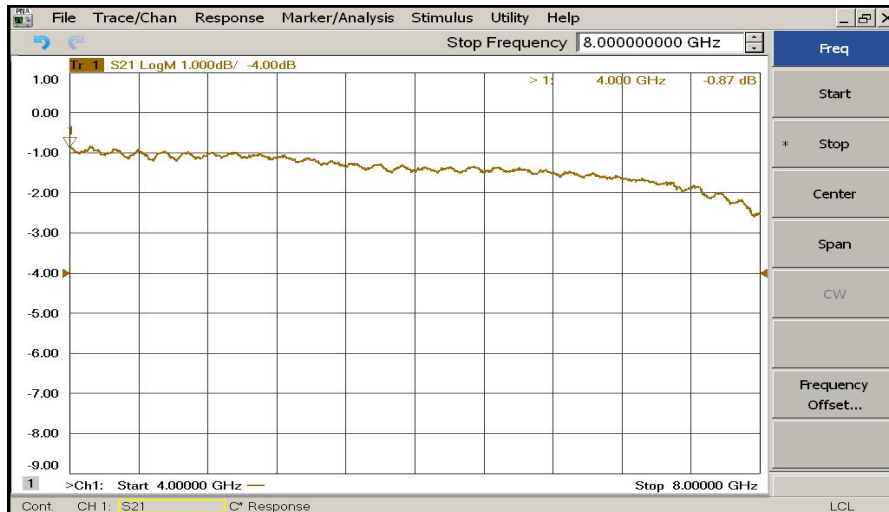


Рис. 7 АЧХ аттенюатора при нулевом токе управления

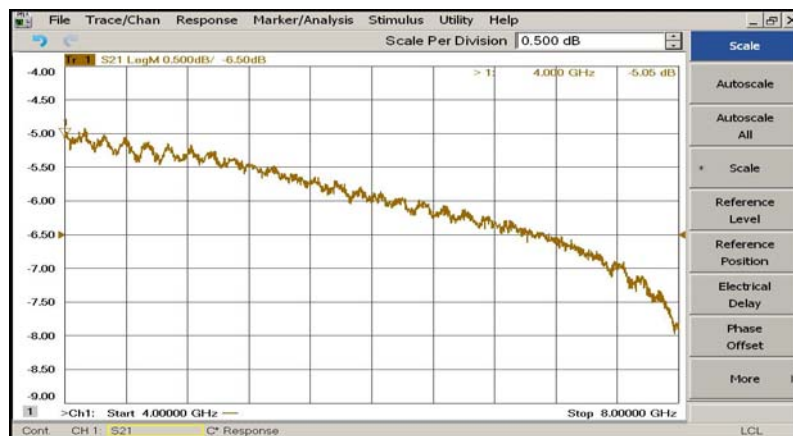


Рис. 8. АЧХ аттенюатора при токе управления 1 мА

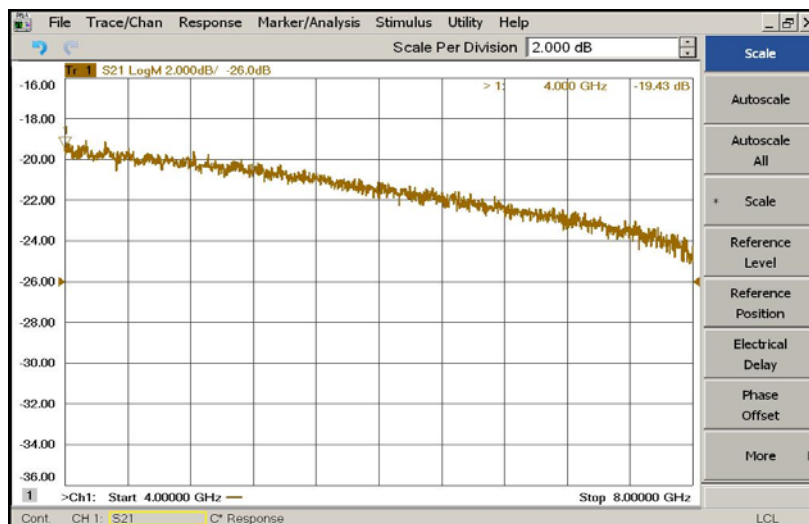


Рис. 9. АЧХ аттенюатора при токе управления 2 мА

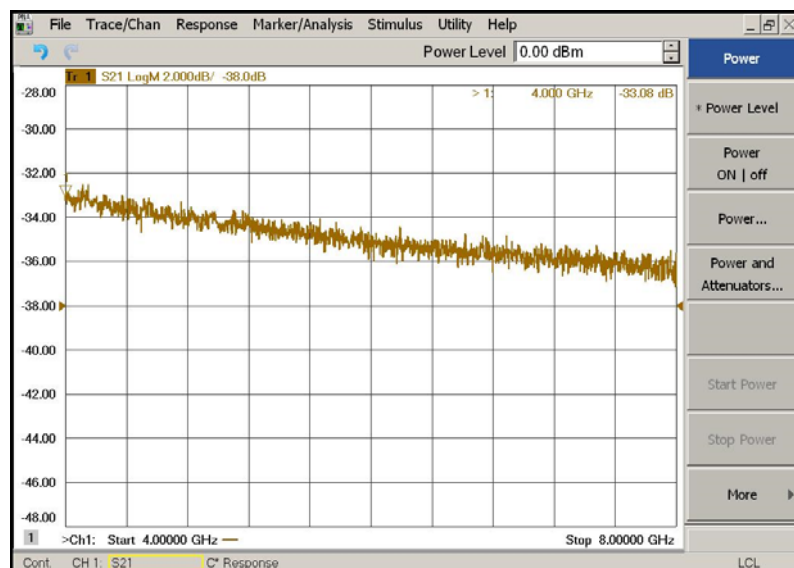


Рис. 10. АЧХ аттенюатора при токе управления 3 мА

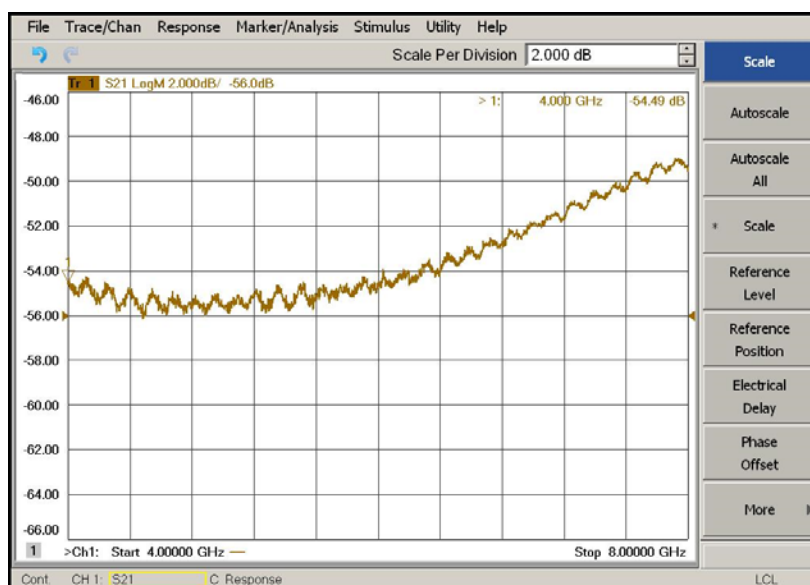


Рис. 11. АЧХ аттенюатора при токе управления 4 мА

Таблица 1

Характеристика управления на частоте 6 ГГц в эксперименте

Ток управления, мА	Затухание, дБ	Неравномерность АЧХ, дБ
0	1,5	2,6
1,0	6	3
2,0	21,5	5,5
3,0	35	4
4,0	54	7

Выводы

Проведено моделирование и экспериментальное исследование pin-диодного аттенюатора с параметрами, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Параметры аттенюатора

Наименование параметра, размерность	Задано	Эксперимент
Диапазон рабочих частот, ГГц	4-8	4-8
Минимальное затухание при нулевом токе управления дБ	3	3
Максимальное затухание при токе правления 4 мА, дБ	40	56
Неравномерность затухания в диапазоне рабочих частот 4-8 ГГц, при токе управления 4 мА, дБ	3	7
Волновое сопротивление входа и выхода, Ом	50	50

Из этой таблицы видно, что все требования к аттенюатору выполняются, кроме неравномерности АЧХ, при токе управления 4 мА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полупроводниковые приборы. СВЧ диоды. Справочник. Под ред. Б.А. Наливайко. Томск, МГП «РАСКО», 1992 г. -224с.
2. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Зиновьев С.С., Сальный И.А. Широкополосный аттенюатор с электронным управлением. Инженерный вестник Дона. 2017, №3 URL :ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4282
3. Дзехцер Г.Б., Орлов О.С. Pin-диоды в широкополосных устройствах СВЧ. – М.: Сов. Радио, 1970. -200с.
4. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты. Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. -320с.
5. Кочемасов В.Н., Белов Л.А. Аттенюаторы с электронным управлением. Электроника: НТБ, 2017, №4, с.82-95.
6. Вайсблат А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. –М.: Радио и связь, 1987. -120 с.
7. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave office. Учебное пособие. –М.: Солон-Пресс, 2016. -152с.
8. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ- устройств с помощью Microwave Office. – М.: Солон-Пресс, 2003. -496 с.

Пустовит Алексей Андреевич, аспирант, ведущий инженер конструктор АО Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Россия, город Таганрог ул. Мариупольское шоссе 27/4, 347939, телефон: 8 (952)573-36-09, email: Aleksej555@yandex.ru.

Зикий Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, Институт компьютерных технологий и безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, ул. С-Шило 257, 347939, телефон: 8 (918) 582-22-95, email: zikiy50@mail.ru.

Сальный Игорь Алексеевич, аспирант, начальник сектора АО Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Россия, город Таганрог, ул. Александровская 238, 347930, телефон: 8 (906) 428-49-03, email: igor_salnyi@mail.ru.

Андрианов Артур Валерьевич, специалист, начальник лаборатории, Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Россия, г. Таганрог, 1-й линейный проезд, д 63, 347943, телефон: 89996972926, e-mail: zikiy50@mail.ru.

Pustovit Aleksei Andreevich, graduate student, leading design engineer, Taganrog Scientific Research Institute of Communications, 347922, Russia, Taganrog, 27/4 Mariupolskoe shosse St., phone: 8 (952)573-36-09. E-mail: Aleksej555@yandex.ru.

Zikiy Anatoly Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, senior researcher, 347939, 257 S-Shiloh St., Taganrog, Russia, phone: 8 (918) 582-22-95. E-mail: zikiy50@mail.ru

Salnyi Igor Alekseevich, graduate student, head of sector Taganrog research institute of communication, 347930, Russia, Taganrog, 238 Aleksandrovskaya St., phone: 8 (906) 428-49-03. E-mail: igor_salnyi@mail.ru.

Andrianov Artur Valeryevich, Specialist, Head of the laboratory, Taganrog Scientific Research Institute of Communications, Russia, Taganrog, 1st linear passage, d 63, 347943, phone: 89996972926, e-mail: zikiy50@mail.ru.

УДК 621.397

Калинин Никита Владимирович, Никифоров Михаил Борисович,
Муратов Евгений Рашитович

РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУХПРОВОДНОГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА VERILOG

В данной статье рассматривается разработка I2C-подобного протокола передачи данных на языке описания аппаратуры Verilog на одноплатном компьютере MYS-7Z020-C в среде Vivado.

ПЛИС, протокол передачи данных.

Kalinin Nikita Vladimirovich, Nikiforov Mikhail Borisovich,
Muratov Evgeniy Rashitovich

IMPLEMENTATION OF A TWO-WIRE DATA TRANSFER PROTOCOL ON VERILOG

This article discusses the development of an I2C-like data transfer protocol in the Verilog hardware description language on a single-board computer MYS-7Z020-C in a Vivado environment.

FPGA, data transfer protocol.

Введение

На данный момент в микропроцессорной технике существует множество протоколов передачи данных, но одним из самых популярных остается протокол I2C, разработанный компанией Philips. С помощью данного интерфейса осуществляется обмен данными между периферийными устройствами различных микроконтроллеров и интегральных схем.

I2C применяется во многих различных устройствах, предполагающих простоту разработки и низкую себестоимость изготовления. Данный интерфейс применяется:

- 1) для доступа в модули памяти;
- 2) для связи с АЦП и ЦАП;
- 3) чтение информации с различных датчиков (температура, влажность и так далее);

4) обмен данными между микроконтроллерами.

Основная часть

Общий принцип работы протокола

Шина представлена двумя проводами – шина данных SDA и тактовый сигнал SCL. Эти шины всегда подтянуты вверх. Прием или передача сигналов реализуется прижиманием линии в 0. Как правило, применяются резисторы с сопротивлением равным 10 кОм. Допустимо и применение резисторов с большим сопротивлением, однако следует учесть, что линия будет дольше восстанавливаться в единицу, что в свою очередь снижает скорость передачи данных. Скорость передачи данных в таком интерфейсе равна от 10кбит/с до 100кбит/с^[1].

Устройства делятся на два типа:

1. Ведущий (master) – генерирует тактовый сигнал и управляет процессом передачи данных. Всегда выступает инициатором обмена.
2. Ведомый (slave) – может откликаться на сигналы ведомого. Всего устройств может быть 127.

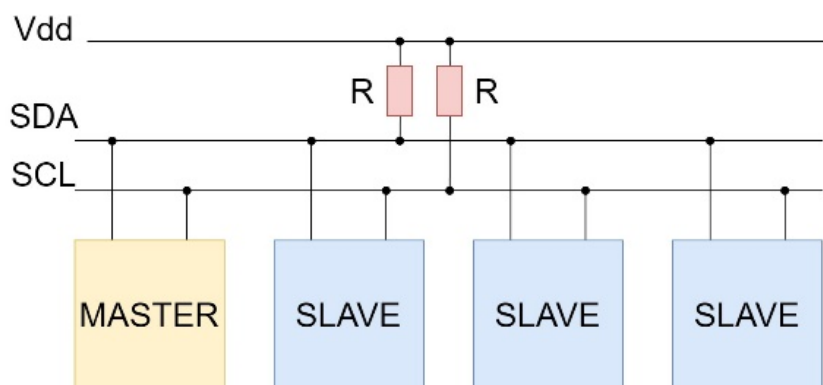


Рис. 1. Схема подключения устройств по интерфейсу

Вся передача состоит из:

1. START сигнала – спад SDA при SCL = 1.
2. Посылки 8 битов от ведущего к ведомому или приема ведущим от ведомого.
3. Сигнала подтверждения А (или ACK). 0 – ответ, 1 – нет ответа.
4. STOP сигнала – фронт SDA при SCL = 1.

Начало работы начинается с формирования START-сигнала. Далее если данные идут от ведущего к ведомому, то последний генерирует тактовый сигнал на SCL и выдает биты на SDA. На каждом фронте SCL ведомый считывает значение. В случае передачи от ведомого к ведущему, ведущий генерирует такты на SCL, при этом прослушивая линию SDA

— считывает данные. Если SCL уходит в 0, то ведомый выставляет на SDA бит, который мастер считывает, когда поднимет SCL обратно. Передача заканчивается все STOP последовательностью.

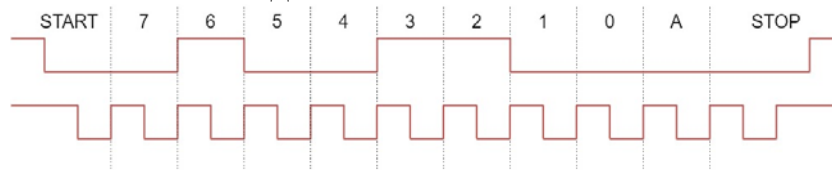


Рис. 2. Пример передачи сигналов по шинам

В интерфейсе есть 2 типа операции – чтение и запись. Запись подразумевает передачу вначале адреса устройства, адреса ячейки памяти и самих данных.

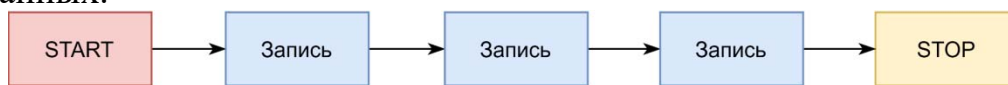


Рис. 3. Операция записи

Чтение реализуется несколько иначе – сначала передается адрес устройства и адрес ячейки памяти в нем, потом по SDA подается повторный START сигнал. Ведомое в это время понимает, что ведущее ожидает от него данные. Далее по SDA передается адрес устройства, после чего ведомое отправляет данные, а ведущее прослушивает линию SDA.



Рис. 3. Операция записи

Обзор существующих решений

На данный момент существует множество доступных реализаций для разных платформ. Самая популярная платформа для работы с микроконтроллерами – Arduino. На ней представлена библиотека Wire, подходящая под семейства Nano, Uno, Mega и Leonardo. Она крайне проста в использовании, но применима только для среды разработки Arduino IDE, которая не позволяет полноценно и легко взаимодействовать с микроконтроллером (в других средах разработки намного проще осуществить работу со внутренними регистрами устройства).

Применяя другую среду разработки, Atmel Studio, можно в полной мере использовать возможности микроконтроллера. Для этой среды существует библиотека AXLIB, но она также содержит другие интерфейсы передачи данных. Это может быть как плюсом (одна библиотека, реализующая множество интерфейсов), так и минусом (при использовании одного

интерфейса, остальное содержимое библиотеки хранится, но не используется).

В случае с ПЛИС, найти универсальное решение практически невозможно из-за разной конфигурации плат и разных задач. Поэтому было принято решение самостоятельно реализовать интерфейс по общеизвестному описанию. В качестве устройства была выбрана ПЛИС Z-turn Board (MYS-7Z020-C).

Реализация интерфейса на языке Verilog

Интерфейс был реализован по схеме автомата – есть несколько связанных состояний, которые выполняют определенную функцию. Основная функция именуется как «Хаб» - она определяет, какая операция будет выполнена следующей, и проводит подготовку данных перед операцией.

Функция «Запись» опускает линию SDA в 0 (1 образуется сама из-за подтягивающего резистора) в случае, если требуется передать по интерфейсу 0. «Чтение» прослушивает линию данных и сохраняет биты SDA. После каждой «Записи» или «Чтения» один раз срабатывает функция «Холостой такт» на линии SCL – этот такт дает возможность ведомому ответить.

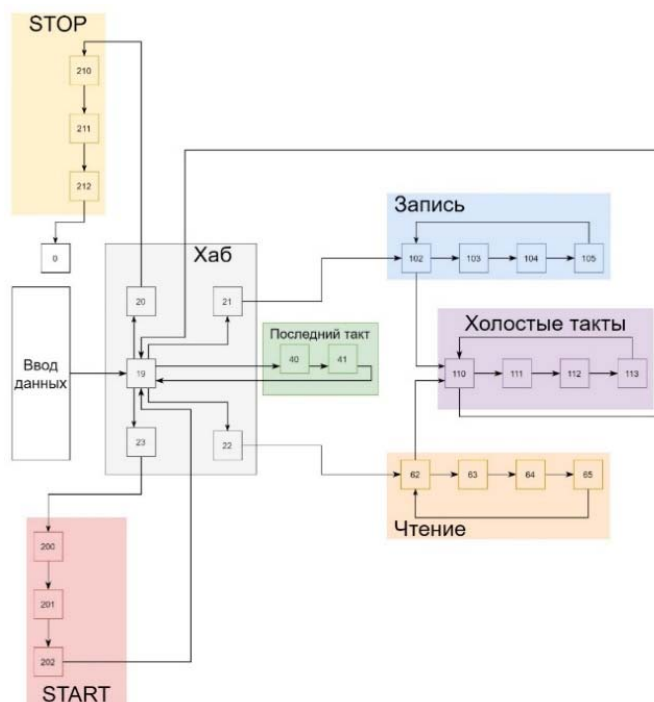


Рис.4. Схема автомата

Во время реализации возникла одна интересная особенность – на ПЛИС сигнал STOP нельзя подавать сразу после ACK - в конце операции нужно добавить еще один холостой такт. В противном случае периферийное устройство ответит (то есть ACK = 0), но линию SDA ведомый не от-

пустит, то есть что бы не делали другие устройства, 0 останется на линии SDA до тех пор, пока ведомый не получит еще 1 такт. Таким образом линию SDA можно заблокировать.

Тестирование разработанного интерфейса

Попробуем в качестве пробы опросить 2 устройства – термодатчик и гироскоп, которые встроены в саму плату. Вначале опросим датчик температуры. Первый посылаемый пакет – адрес устройства. На временной диаграмме на рисунке 5 видно, как устройство отвечает по шине (придавливание шины SDA_i в 0, в то время как шина SDA_r (шина SDA на резисторе) поднята в 1). Далее отправляем адрес ячейки, из которой нужно получить данные. Если устройство приняло адрес, то оно придавит в 0 шину SDA_i. Далее производится попытка поднять шину SDA в 1. В случае, если температурный датчик хочет выставить 0 на линии, он опускает в 0 шину SDA.

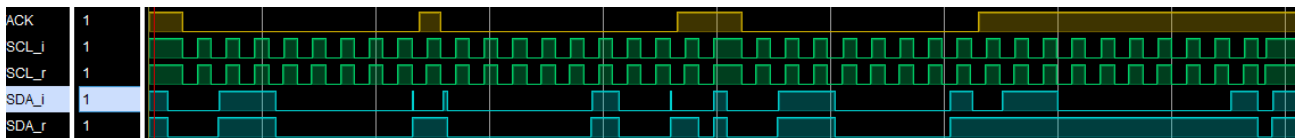


Рис. 5. Временные диаграммы операции чтения

Далее попробуем получить данные с гироскопа, встроенного в плату. На языке C++ создадим небольшую программу, которая конвертирует полученные данные с периферийного устройства в угол наклона. На особенностях реализации не будем останавливаться, так как в данной работе это не так важно. Наиболее значимым здесь является тот факт, что получение данных реализуется с помощью интерфейса I2C.

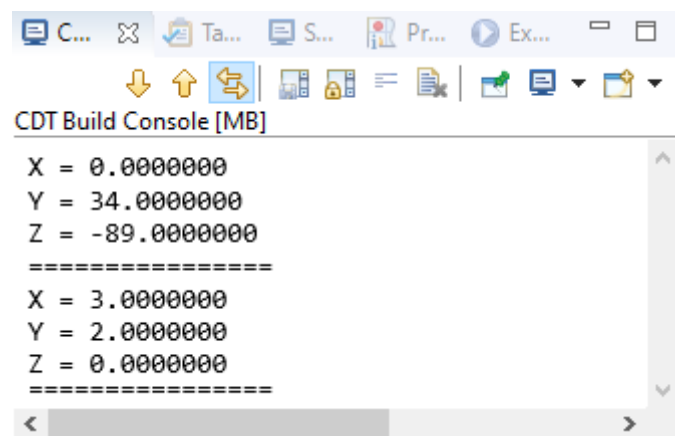


Рис. 6. Показания гироскопа

Вывод

Интерфейс I2C является простым, но одновременно самым распространенным интерфейсом передачи данных, который применяется для связи с периферийными устройствами. Но, не смотря на свою распространенность, реализован он далеко не на всех платформах. В ходе проделанной работы был реализован интерфейс I2C на языке Verilog, а для тестирования разработки – две программы на языке C++.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интерфейсная шина ИС (I2C) // URL: <http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html> (дата обращения : 04.03.2022).
2. FPGA/CPDL// URL: <https://web.archive.org/web/20110324214032/http://www.allhdl.ru/plis.php> (дата обращения 01.06.2022).
3. Новиков А.И., Муратов Е.Р., Никифоров М.Б., Колчаев Д.А. Mathematical modelling of an airborne technical vision system development// E3S Web of Conferences 224, Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020)/ – Moscow, 2020 .
4. Хлуденев А.В. Встроенный логический анализатор на ПЛИС // НТК Оренбург/ - 2010.
5. Троицкий А.М. Методы тестирования и отладки ПЛИС инструменты проектирования ПЛИС // RESEARCH SUCCESS 2021. Нижний Новгород/ - 2021.
6. Беляков П.В. Методы оптимизации в задаче вычисления оптического потока в системе на кристалле // Известия Тульского государственного университета. Технические науки/ – 2019.
7. Братулин А.В. Метод вычисления плотного оптического потока на ПЛИС в реальном времени // Современные информационные технологии и ИТ-образование/ – 2019.
8. Kass M. Snakes: Active contour models, International Journal of Computer Vision/ Статья/ - 1988.
9. Terzopoulou D. Elastically Deformable Models, Computer Graphics – 1987.
10. Novikov A.I., Muratov E.R., Nikiforov M.B., Kolchaev D.A. Mathematical modelling of an airborne technical vision system development// E3S Web of Conferences 224, Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020)/ – Moscow, 2020.

Калинин Никита Владимирович, студент Рязанского Государственного Радиотехнического Университета им. В.Ф. Уткина, город Рязань, улица Гагарина 59/1, телефон +7(920)9545025, email: nikit.kalinin.2000@mail.ru.

Никифоров Михаил Борисович, к.т.н., доцент, директор НОЦ «СпецЭВМ» Рязанского Государственного Радиотехнического Университета им. В.Ф. Уткина, город Рязань, улица Гагарина 59/1.

Муратов Евгений Рашитович, доцент кафедры ЭВМ Рязанского Государственного Радиотехнического Университета им. В.Ф. Уткина, город Рязань, улица Гагарина 59/1.

Kalinin Nikita Vladimirovich, student of the Ryazan State Radio Engineering University. V.F. Utkina, Ryazan city, Gagarin street 59/1, telephone +7(920)9545025, e-mail: nikit.kalinin.2000@mail.ru.

Nikiforov Mikhail Borisovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of REC «SpetsEVM», Ryazan State Radio Engineering University. V.F. Utkina, Ryazan city, Gagarin street 59/1.

Muraton Evgeniy Rashitovich, Associate Professor of the Department of Computers, Ryazan State Radio Engineering University. V.F. Utkina, Ryazan city, Gagarin street 59/1.

УДК 666.655

Мараховский Михаил Алексеевич, Панич Александр Анатольевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ КОНСОЛИДИРОВАННОГО СПЕКАНИЯ НА СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ РАБОТАЮЩЕЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В работе исследовано влияние технологических факторов изготовления сегнетоэлектрической керамики на её эксплуатационные параметры. Технологические факторы процесса изготовления оказывают непосредственное воздействие на характер формирования микроструктуры, а также на функциональные характеристики сегнетоэлектрической керамики. Важнейшей технологической операцией является спекание, при которой формируется микроструктура, механический и электрофизические свойства. В ходе исследования доказана актуальность использования методов консолидированного спекания с целью по-

вышения механических характеристик сегнетоэлектрической керамики, что также снижает её себестоимость.

Пьезокерамика, сегнетоэлектрический, горячее прессование, искровое плазменное спекание.

Marakhovsky Mikhail Alekseevich, Panich Alexander Anatolievich
**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONSOLIDATED
SINTERING METHODS ON THE PROPERTIES OF
FERROELECTRIC CERAMICS OPERATING UNDER EXTREME
CONDITIONS**

The paper investigates the influence of technological factors in the manufacture of ferroelectric ceramics on its operational parameters. Technological factors of the manufacturing process have a direct impact on the nature of the formation of the microstructure, as well as on the functional characteristics of ferroelectric ceramics. The most important technological operation is sintering, in which the microstructure, mechanical and electrophysical properties are formed. The study proved the relevance of using consolidated sintering methods to improve the mechanical characteristics of ferroelectric ceramics, which also reduces its cost.

Piezoceramics, ferroelectric, hot pressing, spark plasma sintering.

Введение

Среди многообразия сегнетоэлектрических материалов особое место занимают материалы предназначенные для эксплуатации в экстремальных условиях. Такие сегнетоэлектрические материалы отличаются стабильностью электрофизических параметров в условиях внешних воздействий высоких температур и давлений. Жесткие эксплуатационные требования предъявляются к преобразователям применяемым в авиационной и космической технике, нефтегазовых комплексах, энергетике и других.

Основные эксплуатационные параметры сегнетоэлектрической керамики формируются на важнейшем технологическом этапе производства - спекании. Процесс спекания керамики заключается в зарождении зерен и формировании керамического каркаса, отвечающего за механические свойства, связанные с диэлектрическими характеристиками керамики (поскольку пьезоэлектрический - это электромеханическое преобразование).

Основная часть

Целью работы являлось исследование влияния различных методов спекания и технологических факторов на функциональные характеристики сегнетоэлектрической керамики предназначенной для работы в экстремальных условиях. В качестве модельного объекта исследования был выбран материал системы $\text{Bi}_{0.75} \text{Ti}_{0.24} \text{Na}_{0.01}$ с относительно высокими значениями пьезоэлектрического модуля d_{33} , устойчивый к воздействию высоких температур (до 500°C) и одноосного механического сжатия (до 1500 кг/см^2) [1]. Указанный материал был получен методом твердофазных реакций.

Кроме спекания традиционным способом в камерной печи при атмосферном давлении, существуют методы консолидированного спекания керамических материалов – горячее прессование (ГП) и искровое плазменное спекание (ИПС), обеспечивающие повышение плотности получаемой керамики. Оба метода спекания понижают финальную температуру спекания и формируют плотную однородную керамическую структуру. В настоящее время особое внимание уделяется методу искрового плазменного спекания, не только снижающему финальную температуру спекания, но и многократно сокращающему продолжительность процесса спекания. Этот метод широко применяется для спекания порошковых материалов (технической, конструкционной и сегнетоэлектрической керамики). Метод ИПС обеспечивает формирование мелкозернистой, близкой к монофазной структуре керамики, в сравнении с традиционным спеканием при атмосферном давлении.

В данной работе были использованы три метода спекания: традиционный метод с использованием камерной печи (АТМ), метод ГП и ИПС. Спекание керамических заготовок проводилось в температурном диапазоне $1000 - 1160^\circ\text{C}$.

Качество полученной сегнетоэлектрической керамики $\text{Bi}_{0.75} \text{Ti}_{0.24} \text{Na}_{0.01}$ оценивалось по результатам сканирующей электронной микроскопии (рис. 1), значениям экспериментальной плотности и электрофизическим параметрам.

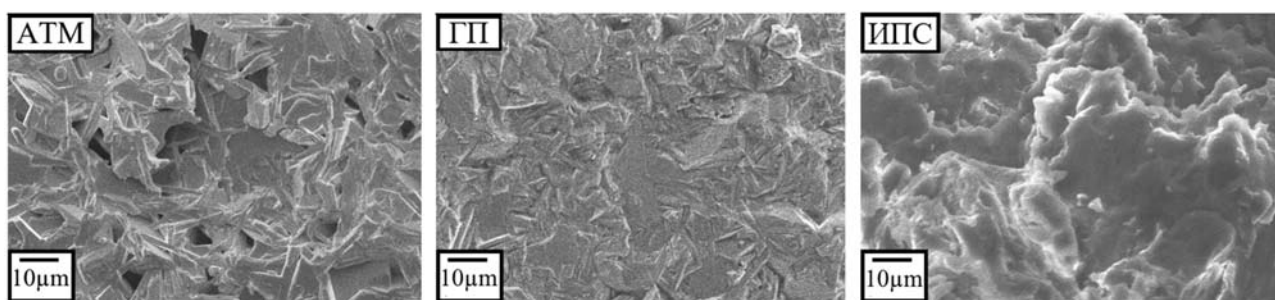


Рис. 1. Микроструктура керамических элементов полученных различными методами спекания

В процессе исследование было установлено, что микроструктура керамических элементов полученных методами консолидированного спекания существенно отличалась от микроструктуры элементов полученных в камерной печи. Керамические элементы полученные методом АТМ обладали микроструктурой с кристаллитами вытянутой формы длиной до 15-17 мкм и толщиной 2-3 мкм. В структуре керамики присутствовало большое количество включений в виде пор. Керамические элементы, полученные методом ГП имели плотную микроструктуру без пор с существенным содержанием стеклофазы. Форма и размеры кристаллитов имели идентичный характер, как и в случае метода АТМ. Спекание методом ИПС обеспечивало плотную структуру подобную расплаву, без четкого очертания кристаллитов и пор. Несмотря на однородную мелкозернистую и бездефектную архитектуру керамических каркасов с повышенными показателями плотности, значения пьезоэлектрического модуля (d_{33}) и относительной диэлектрической проницаемости ($\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$) керамик были соизмеримы, независимо от метода спекания (таблица 1). Однако, существенное снижение температур (на 100 – 160 °С) и длительности спекания (в 50 раз!), значительно сокращают энергозатраты при изготовлении керамических элементов и снижают их себестоимость.

Таблица 1

Свойства керамических элементов полученных различными методами спекания

Метод спекания	Температура спекания, °С	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	d_{33} , пКл/Н	ρ , г/см ³
АТМ	1160	99	24	6,13
ГП	1060	114	25	7,13
ИПС	1000	102	21	7,37

Спекание керамических элементов методами ГП и ИПС приводило к повышению значений плотности (ρ) на 14% и на 20%, соответственно, при одновременном снижении температур спекания на 160 – 200 °С.

Выводы

Таким образом, рассмотренные в работе методы консолидированного спекания являются перспективными способами получения не только сегнетоэлектрических керамик на основе системы $\text{Bi}_{0.75}\text{Ti}_{0.24}\text{Na}_{0.01}$, но и исследованных ранее PCR-8, BST, PMN-PT и других составов [2 - 4].

Авторы выражают благодарность ЦКП «Высокие технологии» за предоставленное измерительное оборудование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. RU, заявка №2139840 от 26.01.1998 г. «Пьезоэлектрический керамический материал»/ Вусевкер Ю.А., Файнридер Д.Э., Панич А.Е., Гориш А.В., Злотников В.А. – Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 20.10.1999 г.
2. *Marakhovsky M.A., Panich A.A., Talanov M.V., Marakhovskiy V.A.* Study of the influence of technological factors on improving the efficiency of ferroelectrically hard piezoceramic material PCR-8 560 (2020) 1–6.
3. *Мараховский М.А., Панич А.А., Мараховский В.А.* Исследование характеристик сегнетокерамики титаната бария-стронция, полученной методом искрового плазменного спекания. INTERMATIC-2018 // Москва. Ч.2. 2018. – 430 с;
4. *Мараховский М.А., Панич А.А.* Получение пьезокерамики системы PMN-PT методом искрового спекания. Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. – 242.

Мараховский Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, начальник сектора НКTB «Пьезоприбор» Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7-904-501-54-31, email: marmisha@mail.ru.

Панич Александр Анатольевич, доктор технических наук, директор, Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Мильчакова, 10, 344090, телефон: +7 (903) 488-88-87, email: rctt.rctt@mail.ru.

Marakhovskiy Mikhail Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Sector of the NKTB "Piezopribor" of the Southern Federal University, Rostov-on-

Don, 10 Milchakova Street, 344090, phone: +7-904-501-54-31, email: marmisha@mail.ru.

Panich Alexander Anatolievich, doctor of engineering, director, Institute of high technologies and piezotechnics Southern Federal University, 344090, Rostov-on-Don, st. Milchakova 10, phone: +7 (903) 488-88-87, email: rctt.rctt@mail.ru.

УДК 621.316.722

Прокопенко Николай Николаевич, Бугакова Анна Витальевна,
Жук Алексей Андреевич

НЕПРЕРЫВНЫЙ КОМПЕНСАЦИОННЫЙ СТАБИЛИЗАТОР С ДИНАМИЧЕСКИМ ПОДАВЛЕНИЕМ ВСПЛЕСКОВ И ПРОВАЛОВ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрены базовые схемы компенсационных стабилизаторов напряжения (КСН) со специальными цепями подавления «всплесков» и «провалов выходного напряжения, для случаев, когда численные значения емкостей конденсаторов в нагрузке сравнительно малы. Кроме этого, предлагаемые схемы имеют более высокое быстродействие при переходе с одного уровня выходного напряжения на другой в случае цифровой коммутации источника опорного напряжения. Компьютерное моделирование КСН, выполненное на моделях биполярных (АБМК 2.2-1, ОАО «Интеграл», Беларусь) и КМОП (XFAB) транзисторов, подтверждает эффективность рассматриваемых схемотехнических решений.

Аналоговая схемотехника, непрерывный компенсационный стабилизатор напряжения, цепь подавления всплесков и провалов выходного напряжения, переходный процесс при импульсном токе нагрузки.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich, Bugakova Anna Vitalievna,
Zhuk Alexey Andreevich

CONTINUOUS COMPENSATING VOLTAGE STABILIZER WITH DYNAMIC SUPPRESSION OF BUMPS AND DIPS OUTPUT VOLTAGE

The basic circuits of compensating voltage stabilizers (CVSs) with special circuits for suppressing bumps and dips output voltage are considered for cases where the numerical values of the capacitances of the capacitors in the load are relatively small. In addition, the proposed circuits have a higher speed when switching from one output voltage level to another in the case of digital switching of the reference voltage

source. Computer simulation of CVSSs, performed on models of bipolar (ABMK 2.2-1, JSC "Integral", Belarus) and CMOS (XFAB) transistors, confirms the effectiveness of the considered circuit solutions

Analog circuitry, compensating voltage stabilizers, output voltage bumps and dips suppression circuit, transient at pulsed load current.

Введение

В современной микроэлектронике широкое применение получили компенсационные стабилизаторы напряжения (КСН) [1-7], которые используются в системах на кристалле (СнК), не допускающих применение конденсаторов большой емкости. Данная проблема в источниках вторичного электропитания нового поколения решается путем введения в схему КСН специальных цепей подавления всплесков и провалов выходного напряжения [1-5].

Цель статьи – рассмотреть новые структуры КСН [7] с эффектом динамического подавления «всплесков» и «провалов» выходного напряжения.

Постановка задачи

Существенный недостаток классических КСН [6] на рис. 1 состоит в том, что при их использовании в СнК, когда невозможно применять на выходе КСН конденсаторы большой емкости (более 70-100пФ), наблюдаются значительные «провалы» и «всплески» выходного напряжения при импульсных токах нагрузки.

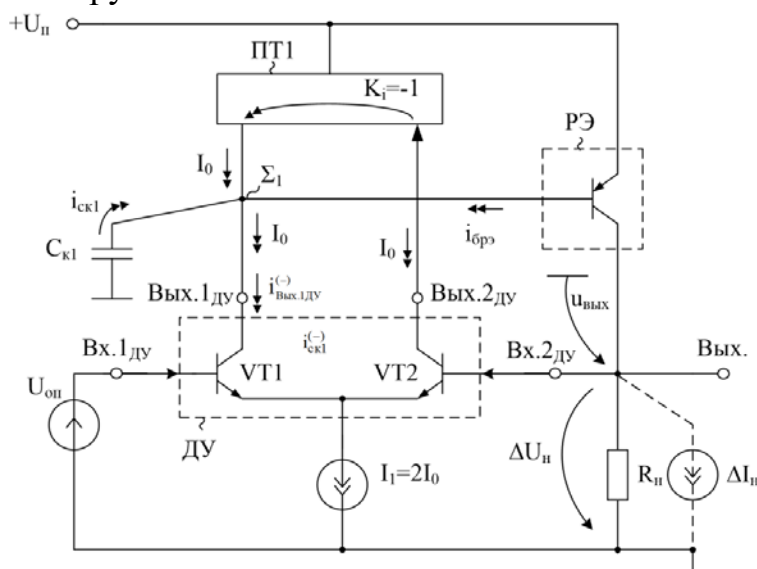


Рис. 1 Классическая схема «Low-Dropout» КСН с высокоомным выходом регулирующего элемента (РЭ)

Для устранения этого недостатка необходимо исключить динамическую перегрузку ДУ [7].

Перспективные архитектуры КСН

В схеме предлагаемого КСН на рис. 2 импульсное изменение тока нагрузки ΔI_n создает приращение ΔU_n , которое передается в эмиттер дополнительного транзистора VT3. Это приводит к формированию достаточно большого импульса тока через дифференцирующий конденсатор C_{k2} , который передается в эмиттер, а далее в коллектор VT1. В результате интегрирующий конденсатор C_{k1} , обеспечивающий устойчивость КСН, перезаряжается большим током $i_{ck1}^{(-)} \gg I_{R1} = 2I_0$, что способствует более быстрому изменению тока на выходе РЭ и уменьшению амплитуды «провала» выходного напряжения. Так, на рис. 3 представлена зависимость амплитуды «провалов» выходного напряжения КСН рис. 2 (полный размах колебаний, В) от емкости дифференцирующего корректирующего конденсатора C_{k2} .

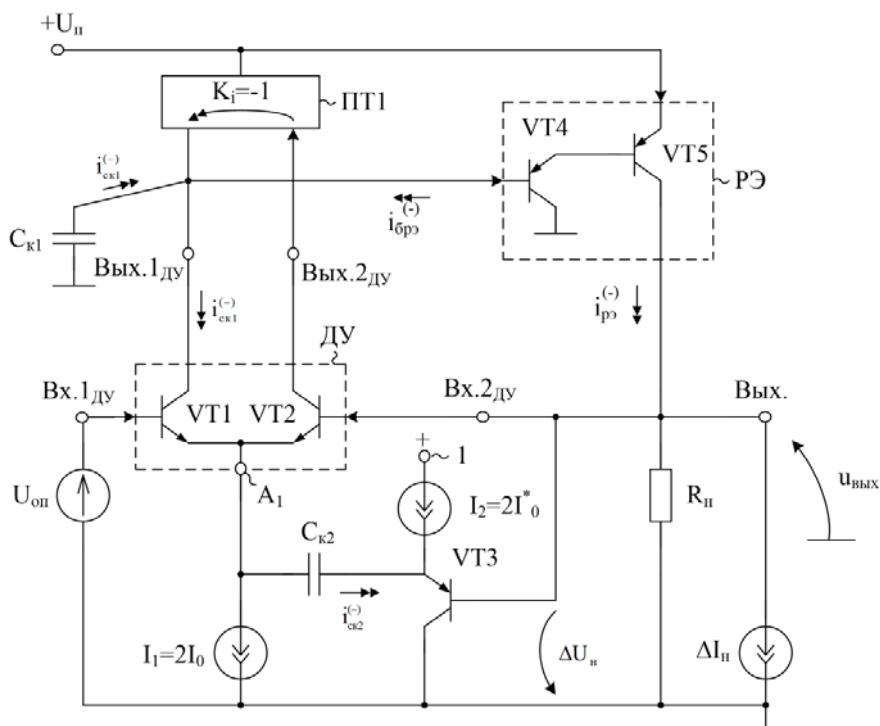


Рис. 2 Схема КСН с цепью динамического подавления «провалов» выходного напряжения при импульсном токе нагрузки (VT3, I_2 , C_{k2})

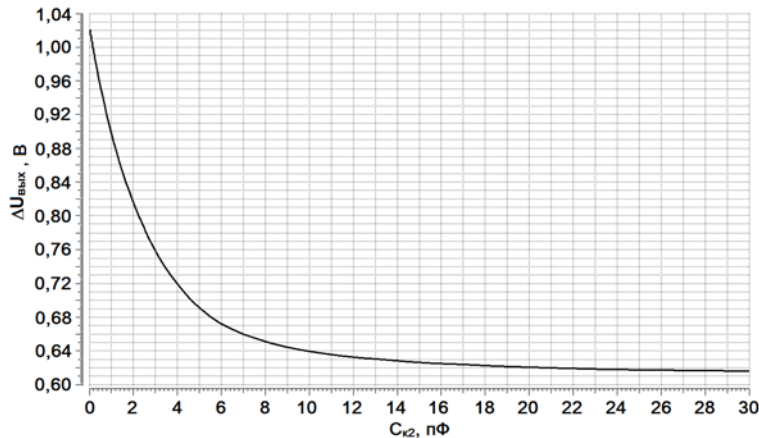


Рис. 3 Зависимость амплитуды «провалов» выходного напряжения КСН рис. 2 от емкости дифференцирующего конденсатора $C_{к2}$

Для подавления как «провалов», так и «всплесков» выходного напряжения, в схему на рис. 4 вводится второй дополнительный транзистор VT3*, что существенно уменьшает численные значения $\Delta U_{\text{вых}}$ (см. рис. 5а, рис. 5б).

На рис. 5 приведена зависимость выходного напряжения стабилизатора рис. 4 от импульсов тока нагрузки $\Delta I_{\text{н}}=5\text{мА}$ при $I_1=I_2=50\text{ мкА}$, $R_1=2\text{ кОм}$, $C_{к1}=80\text{ пФ}$, $U_{\text{оп}}=3\text{В}$ для разных значений емкости дифференцирующего корректирующего конденсатора $C_{к2}$. Компьютерное моделирование проведено в среде LTSpice на моделях транзисторов АБМК 2.2-1 (ОАО «Интеграл», Беларусь).

При цифровой коммутации источника опорного напряжения (как это осуществлено, например, в КСН [7]) в схеме на рис. 4 обеспечивается более быстрый переход с одного уровня выходного напряжения КСН на другой.

Таким образом, предлагаемый КСН обладает сравнительно малым уровнем динамической неустойчивости выходного напряжения при малых значениях емкостей применяемых конденсаторов нагрузки.

В схемах, показанных на рис. 1, рис. 2, рис. 4, возможно также применение КМОП полевых транзисторов.

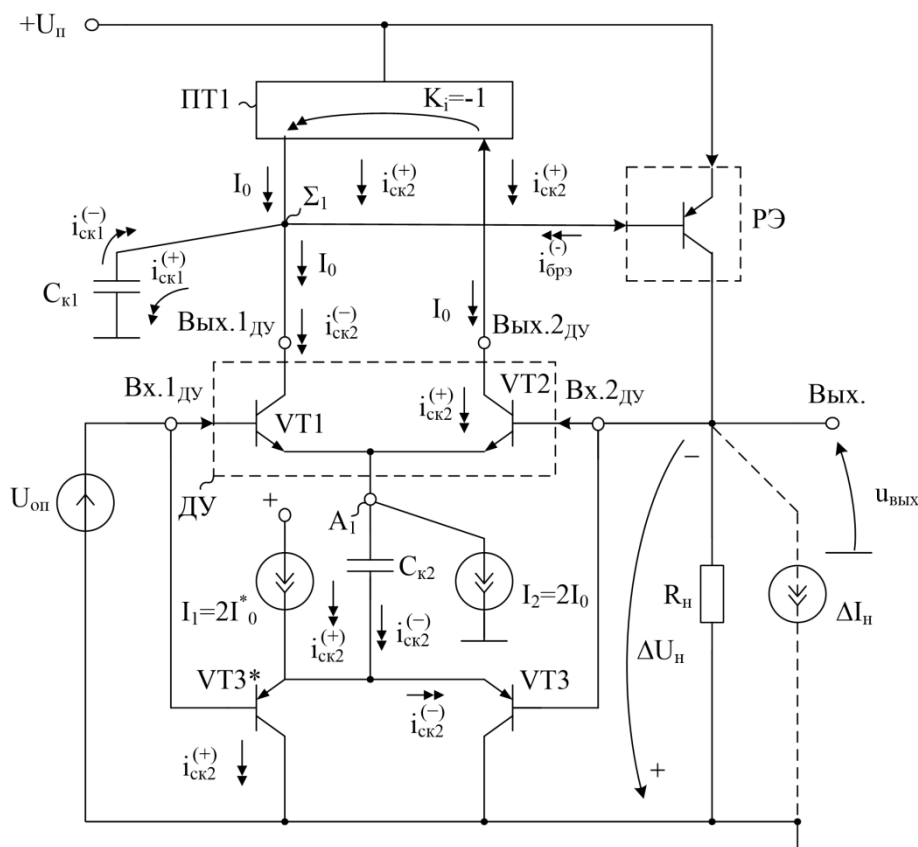


Рис.4 Вторая модификация схемы КСН на рис. 2

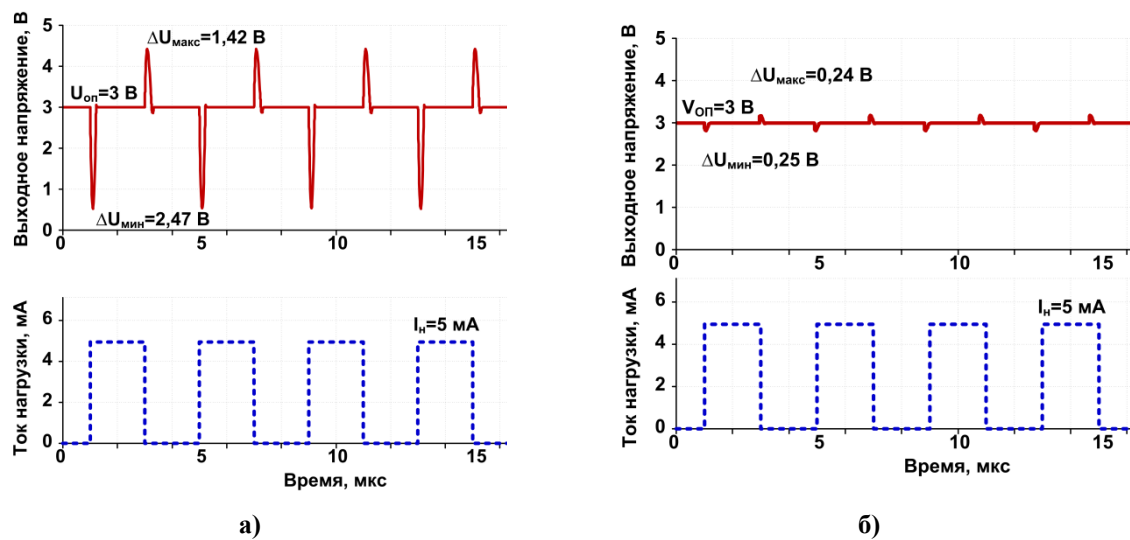


Рис. 5 Зависимость выходного напряжения КСН на рис. 4 от импульсов тока нагрузки для разных значений емкости корректирующего конденсатора:
а) $C_{к2}=0,02$ нФ, б) $C_{к2}=20$ нФ

Выводы

Рассмотрены новые схемы компенсационных стабилизаторов напряжения с цепями подавления «всплесков» и «провалов» выходного напря-

жения. Показана их эффективность для случаев, когда численные значения емкостей применяемых конденсаторов в цепи нагрузки сравнительно малы. Это позволяет создавать непрерывные КСН, обеспечивающие электропитанием IP-модули «систем на кристалле» (СнК). Кроме этого, предлагаемые схемы КСН имеют более высокое быстродействие при цифровой коммутации источника опорного напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Răducan C. et al.* High-Precision Low-Temperature Drift LDO Regulator Tailored for Time-Domain Temperature Sensors // *Sensors*. – 2022. – Т. 22. – №. 4. – С. 1518. doi: 10.3390/s22041518
2. *Kao S. K., Chen J. J., Liao C. H.* A Multipath Output-Capacitor-Less LDO Regulator // *IEEE Access*. – 2022. – Т. 10. – С. 27185-27196. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3157717
3. *wook Kwon S. et al.* Design of capacitor-less LDO regulator with NLRSCR based high robustness ESD protection circuit using dynamic feedback loop for low-voltage applications // *Authorea Preprints*. – 2022. doi: 10.22541/au.165151676.65427908/v1
4. *Bahramali A., Lopez-Vallejo M.* An RFID-based self-biased 40 nm low power LDO regulator for IoT applications // *Micromachines*. – 2021. – Т. 12. – №. 4. – С. 396. doi: 10.3390/mi12040396
5. *Liang Y., Diao S.* A Capacitor-Free Low-Dropout Regulator with Low Line Regulation Rate and High Stability // 2021 14th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI): 2021. – Pp. 1-5. doi: 10.1109/CISP-BMEI53629.2021.9624416
6. *Hisato T.* Oscillation control apparatus and oscillator. Патент US 7847645, 30.10.2007.
7. *Игнашин А. А., Прокопенко Н. Н., Серебряков А. И.* Компенсационный стабилизатор напряжения. Патент RU 2479007, 06.04.2012.

Прокопенко Николай Николаевич, д.т.н., заведующий кафедрой «Информационные системы и радиотехника», старший научный сотрудник отдела «Управление научных исследований» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79185182266, email: prokopenko@sssu.ru.

Бугакова Анна Витальевна, к.т.н., ассистент кафедры «Информационные системы и радиотехника», младший научный сотрудник отдела «Управление науч-

ных исследований» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79094169380, email: annabugakova.1992@mail.ru.

Жук Алексей Андреевич, аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донского государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, 344000, телефон: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru.

Prokopenko Nikolai Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Head of the "Information Systems and Radio Engineering", Senior Researcher of the Department "Management of Scientific Research", Don State Technical University, Russia, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: +79185182266, email: prokopenko@sssu.ru.

Anna Bugakova, PhD, Assistant of the Department "Information Systems and Radio Engineering", Junior Researcher of the Department "Management of Scientific Research" Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1, 344000, phone: + 79094169380, email: annabugakova.1992@mail.ru.

Zhuk Alexey Andreevich, PhD student of Department of "Information Systems and Radio Engineering" of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin sq., 344000, phone: +79185880301, email: alexey.zhuk96@mail.ru.

УДК 21474

Алмашаал Мохаммад Джалаль

К ОЦЕНКЕ ОБЛАСТИ ПРИТЯЖЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Два аналитических метода синтеза нелинейных систем управления рассматриваются. Полиномиально-матричный метод использует квазилинейную модель, а метод линеаризующих обратных связей использует специальные обратные связи. Оба метода дают ограниченную область притяжения систем управления, поэтому эти системы могут работать только с ограниченными начальными условиями. В этой работе найден и сравнен ряд начальных условий этих методов. Приведен численный пример построения системы управления одним объектом этими двумя методами.

Нелинейный объект, ограниченные начальные условия, область притяжения, полиномиально-матричный метод, метод линеаризующих обратных связей.

Mohammad Jalal Almashaal

ON THE EVALUATION OF THE AREA OF ATTRACTION OF THE EQUILIBRIUM POSITION OF NONLINEAR CONTROL SYSTEMS

Two analytical nonlinear control systems design methods are considered to design of control systems for various nonlinear technical plants as mobile robots and many other plants. The polynomial-matrix methods use a quasilinear model and the feedback linearization method use special feedbacks. Both considered methods give a limited domain of attraction of the obtained control systems so these systems can be operated only with bounded initial conditions. In this work a region of the initial conditions of these methods are found and compared. example of designing a control system for a plant is given.

Nonlinear plant, bounded initial condition, attraction area, polynomial-matrix method, linearizing feedbacks method.

Introduction

A lot of researchers have been tried designing an effective nonlinear control. New research has been conducted to simplify process of designing nonlinear

ar systems using transformation methods [1, 2]. Usually, the nonlinear plant equations be transformed into such forms as feedback linearization method [1–3], regularization method [4], passification method [5], backstepping method [6], Jordan controlled form method [7], quasilinearization method [8, 9], positional trajectory method [10, 11], and others. The aim of this paper is to find areas of the initial conditions of variables in which the control systems for one nonlinear plant is still asymptotically stable, which is found by two analytical methods and make a comparison between them to decide which design method gives a wider area of attraction and initial conditions.

Example. Suppose a pendulum is described as a form [12]

$$A(x) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 5w(x_1) & 0 & 2 \\ 7w(x_1) & 0 & 1 \end{bmatrix}, b(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Here $w(x_1) = x_1^{-1} \sin x_1$. where $A(x) = [a_{ij}(x)]$ is a functional $n \times n$ -matrix, $b(x) = [b_i(x)]$ is functional n -vector [5]. To find the stabilizing control for (1) by the considered methods

Design by using polynomial-matrix method. This method was described in [13].

According to this method [8] firstly we need to check satisfying of the controllability condition. In this case $\det U_1(x) = -36x_1^{-1} \sin x_1$. So we can find a control system only if $|x_1| < \pi$. The polynomials can be determined as:

$$\begin{aligned} A(p, x) &= \det(pE - A(x)) = p^3 - p^2 + \alpha_1(x)p + \alpha_0(x), \quad V_1(p, x) = e_1 \text{adj}(pE - A(x))b = 2p, \\ V_2(p, x) &= e_2 \text{adj}(pE - A(x))b = 2p^2, \quad V_3(p, x) = e_3 \text{adj}(pE - A(x))b = p^2 + 9w(x_1) \end{aligned} \quad (2)$$

where $\alpha_1(x) = -5w(x)$; $\alpha_0(x) = -9w(x)$, e_i is i -th a line of a unit matrix of E .

Let the desirable Hurwitz polynomial $D^*(p) = p^3 + \delta_2^* p^2 + \delta_1^* p + \delta_0^*$ of the matrix $D_1(x) = A(x) - b(x)k^T(x)$ and $R(p, x) = D^*(p) - A(p, x) = (\delta_2^* + 1)p^2 + (\delta_1^* + 5w(x_1))p + \delta_0^* + 9w(x_1)$. Therefore polynomials (2) will led to create the algebraic system:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 9w(x_1) \\ 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_1(x) \\ k_2(x) \\ k_3(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_0^* + 9w(x_1) \\ \delta_1^* + 5w(x_1) \\ \delta_2^* + 1 \end{bmatrix}, \quad |x_1| < \pi. \quad (3)$$

Where $k_i(x)$ are some nonlinear functions, $i = 1, 2, \dots, n$ [5]. The solution of the system (3) will give the required control system: $u_1(x) = -[0, 5\delta_1^* + 2, 5w(x_1)]x_1 - [0, 5\delta_2^* - \delta_0^* / 18w(x_1)]x_2 - [1 + \delta_0^* / 9w(x_1)]x_3, |x_1| < \pi$.

Design by using feedback linearization method. According to this method, here $\tilde{A}(x) = [x_2 \quad 5\sin x_1 + 2x_3 \quad 7\sin x_1 + x_3]^T$, $b(x) = [0 \quad 2 \quad 1]^T$. To find the transformation $z(x)$ we need first to find the controllability matrix $U_2 = (b \quad ad_{\tilde{A}}^1 b \quad ad_{\tilde{A}}^2 b) = (b \quad [\tilde{A}, b] \quad [\tilde{A}, [\tilde{A}, b]])$. In this case

$$ad_{\tilde{A}} b = (\partial b / \partial x) \tilde{A} - (\partial \tilde{A} / \partial x) \cdot b = [-2 \quad -2 \quad -1]^T. \quad (4)$$

$$ad_{\tilde{A}}^2 b = ad_{\tilde{A}} (ad_{\tilde{A}} b) = (\partial(ad_{\tilde{A}} b) / \partial x) \tilde{A}(x) - (\partial \tilde{A} / \partial x) ad_{\tilde{A}} b = [2 \quad 10\cos x_1 + 2 \quad 14\cos x_1 + 1]^T. \quad (5)$$

According to (4), (5), the controllability matrix has form

$$U_2(x) = \begin{bmatrix} 0 & -2 & 2 \\ 2 & -2 & 10\cos x_1 + 2 \\ 1 & -1 & 14\cos x_1 + 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

The $\det U_2 = 36\cos x_1$ and columns of the matrix (6) form an involute set, i.e. the controllability condition is satisfied if only $|x_1| < \pi/2$ [13].

Now we can define the transformation $z(x) = T(x) = [T_1(x) \quad T_2(x) \quad T_3(x)]^T$ starting from the function $T_1(x)$; this function is determined in [13]:

$$T_{1x}(x)b = 2T_{1,x2} + T_{1,x3} = 0, \quad (7)$$

$$T_{1x}(x)ad_{\tilde{A}} b = -2T_{1,x1} - 2T_{1,x2} - 2T_{1,x3} = 0. \quad (8)$$

$$T_{1x}(x)ad_{\tilde{A}}^2 b = -2T_{1,x1} + (10\cos x_1 + 2)T_{1,x2} + (14\cos x_1 + 1)T_{1,x3} \neq 0. \quad (9)$$

The conditions (7), (8) and (9) are used to define the function $T_1(x) = T_1(x_1, x_2, x_3)$ which can be any function that satisfies these three conditions [13]. From the conditions (7) we can say that $T_1(x)$ depends only on x_2 and x_3 . On the basis of a condition (8), (9) it is possible to accept $T_1(x) = x_2 - 2x_3 = z_1$ as the simplest function.

The function $T_{2x}(x)$ is defined from expression $T_2(x) = T_{1x} \tilde{A}(x) = -9\sin x_1 = z_2$. Similarly, $T_{3x}(x)$ can be defined by expression $T_3(x) = T_{2x} \tilde{A}(x) = -9x_2 \cos x_1 = z_3$. It will easily be convinced that the transformation

$$z(x) = T(x) = \begin{bmatrix} x_2 - 2x_3 \\ -9\sin x_1 \\ -9x_2 \cos x_1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

transforms the nonlinear plant's equation (1) into the linear equation of Brunovsky form:

$$\dot{z} = [z_2 \quad z_3 \quad v]^T. \quad (11)$$

Control $v(z)$ at which the linear system (11) is asymptotically stable evidently has an appearance $v = -\delta_0 z_1 - \delta_1 z_2 - \delta_2 z_3$, at which the equation (11) passes into the equation

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\delta_0 & -\delta_1 & -\delta_2 \end{bmatrix} z. \quad (12)$$

Here coefficients δ_i are chosen according to the requirements to character and duration of transient of the control system (12).

The desired stabilizing control is obtained in form

$$u_2(x) = \frac{\delta_0(2x_3 - x_2) + 9\delta_1 \sin x_1 + 9\delta_2 x_2 \cos x_1}{18 \cos x_1} + \frac{5}{2} \sin x_1 + x_3 - \frac{x_2^2}{2} \tan x_1, \quad |x_1| < \pi/2 \quad (13)$$

Further, we assert since the transformation $z(x)$ is reversible, i.e. a nonsingular transformation $x(z)$ exists, then the systems (1) (13) are also asymptotically stable ($\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0$).

A modeling the systems using MATLAB with the designed control by using the two methods was shown in [13], it was noticed that both control makes the system asymptotically stable with a duration of transient not more 1.6 sec. it was noticed in [13] that the domain of attraction of the control systems obtained using the compared methods is limited that is caused by controllability conditions of each method, for this reason these systems can be operated only with bounded initial conditions. To find the boundary of initial conditions using MATLAB, the region of initial conditions of each control system which was designed by the used analytical methods can be found, where the fig.1a shows the region of initial conditions in which the designed control system by APM method is still stable, and the fig.1b shows a region of initial conditions of designed system using feedback linearization method.

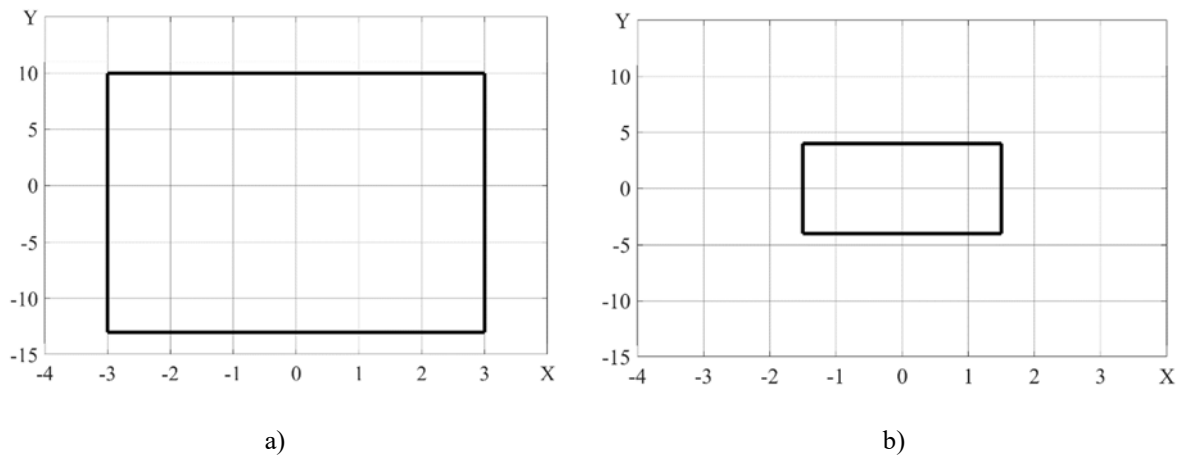


Fig. 1. Simulation of the region of initial conditions of the two studied method

It is noticed that the region of initial conditions of the system which is designed by APM method is bigger about 6 times than same region of designed system using feedback linearization method.

Results

As a result of the conducted research it is established, that the polynomial-matrix method is the easiest way to design the control systems with a wide enough region of initial conditions in which the designed control system makes the plant's system asymptotically stable. The feedback linearization method gives a narrow boundary of initial conditions. So, it is recommended to use the polynomial-matrix method if the use conditions of this method are satisfied.

REFERENCES

1. Isidori, A. Lectures in Feedback Design for Multivariable Systems. Advanced Textbook in Control and Signal Processing. London, Springer, 2016. 414 p.
2. Tuan, H.T., Trinh, H.A. Linearized Stability Theorem for Nonlinear Delay Fractional Differential Equations. IEEE Trans. Automat. Control, 2018, vol. 63, no. 9, pp. 3180–3186.
3. Voevoda, A.A., Filyushov, V.Yu. Linearizatsiya obratnoy svyaz'yu [Feedback Linearization]. Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2016, no. 2(84), pp. 68–76.
4. Luk'yanov, A.G., Utkin, V.I. Metody svedeniya uravneniy dinamicheskikh sistem k regul'yarnoy forme [Methods for Reducing Equations of Dynamical Systems to a Regular Form]. Avtomatika i telemekhanika, 1981, no. 4, pp. 5–13.
5. Madeira D. de S., Adamy, J. Feedback Control of Nonlinear Systems Using Passivity Indices. Proc. IEEE Conference on Control Applications. Sydney, Australia, 2015, pp. 263–268.
6. Ascencio, P., T. Astolfi, T., T. Parisini, T. Backstepping PDE Design: A Convex Optimization Approach. IEEE Trans. Automat. Control, 2018, vol. 63, no. 7, pp. 1943–1958.
7. Gaiduk, A.R. Sintez nelineynykh system na osnove upravlyaemoy formy Zhordana [Synthesis of Nonlinear Systems Based on Controlled Jordan Form]. Avtomatika i telemekhanika, 2006, no. 7, pp. 3–13.
8. Gaiduk, A.R. Nonlinear Control Systems Design by Transformation Method. Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2018, vol. 19, no. 12, pp. 755–761.

9. Gaiduk, A.R. K sintezu kvazilineynykh gurvitsevykh sistem upravleniya [On Synthesis of Quasilinear Hurwitz Control Systems]. Trudy of SPIIRAN, 2019, vol. 18(3), pp. 678–705.
10. Pshikhopov, V., Medvedev, M. Position Control of Vehicles with Multi-Contour Adaptation. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018, vol. 13, pp. 8921–8928.
11. Kapustyan, S.G., Orda-Zhigulina, M.V., Orda-Zhigulina, D.V. Metod robustno ustoychivogo upravleniya dvizheniem gruppy mobil'nykh robotov s «liderom» dlya sistem monitoringa i prognozirovaniya opasnykh protsessov i obespecheniya bezopasnosti naseleniya i beregovoy infrastruktury [Method of robustness stable control of the movement of a mobile robots group with “leader” for monitoring and forecasting systems of hazardous processes and ensuring the safety of the population and coastal infrastructure]. Nauka Yuga Rossii, 2021, vol. 17, no. 2, pp. 66–73.
12. Grishin, A.A., Lenskiy, A.V., Okhotsimskiy, D.E., Panin, D.A. Formal'skiy, A.M. Sintez upravleniya dlya neustoychivogo ob"ekta. Perevernutyi mayatnik [A Control Synthesis for an Unstable Object. An Inverted Pendulum]. Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya, 2002, vol. 5, pp.14–24.
13. Gaiduk A.R., Kapustyan S.G., Almashaal M.J, Methods Comparison of nonlinear control systems design, Journal "Vestnik ISPU", 2021, no. 4, pp.21-24.

Алмашаал Мохаммад Джалаль, аспирант Института Радиотехнических Систем и Управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица нижняя линия 25, 347942, телефон: +7 (928) 750-57-15, email: almashaal.jalal@gmail.com.

Mohammad Jalal Almashaal, PhD student of Institute of Radio Engineering Systems and management of the Southern Federal University, 347942, Russia, Taganrog, 25 nizhnaya liniya street, phone: +7 (928) 750-57-15, email: almashaal.jalal@gmail.com.

УДК 621.396

Лысенко Дмитрий Геннадьевич, Колоколова Ксения Валериевна

КОНЦЕПЦИЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В данной работе приводится разработка концепции робота-манипулятора для лабораторного стенда. Рассмотрены характеристики оборудования, используемого для реализации стенда, рассчитаны допустимые значения моментов, прилагаемых к плечам манипулятора, построена модель манипулятора в пакете Robotics System Toolbox Matlab.

Робот-манипулятор, сервопривод, модель, MatLab.

Lysenko Dmitry Gennadievich, Kolokolova Ksenia Valerievna

THE CONCEPT OF A ROBOT MANIPULATOR FOR A LABORATORY STAND

This paper presents the development of the concept of a robot manipulator for a laboratory stand. The characteristics of the equipment used to implement the stand are considered, the permissible values of the moments attached to the arms of the manipulator are calculated, a model of the manipulator is built in the Robotics System Toolbox Matlab package.

Robot manipulator, servo, model, MatLab.

Введение

Современные системы автоматизации производственных процессов требуют довольно высокой квалификации инженерных сотрудников, работающих с входящим в их состав оборудованием. Это обуславливает актуальность разработки учебных стендов, включающих модели устройств, применяемых на реальных производствах. Использование подобных стендов в процессе обучения позволяет будущим инженерам приобрести навыки проектирования, сборки, программирования и наладки средств технической автоматизации.

В данной работе приводится описание концепции лабораторного стенда, включающего робот-манипулятор, управляемый несколькими сервоприводами.

Основная часть

В качестве исходных данных для разработки концепции стенда были приняты характеристики сервоприводов модели Hitec HSR 8498HB, имеющих в распоряжении авторов. С учетом особенностей функционирования данных устройств были рассмотрены несколько моделей роботоманипуляторов, приводимых в движение сервоприводами. В качестве критериев отбора существующих моделей выбраны тип приводов, способ крепления приводов к плечам манипулятора, размеры и количество приводов, материал и количество плечей робота. По результатам анализа характеристик существующих моделей выбрана структура робота-манипулятора, приводимого в движение сервоприводами модели AX-12A Dynamixel. Сравнение характеристик моделей сервоприводов Hitec HSR 8498HB и AX-12A Dynamixel представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение характеристик сервоприводов

	Hitec HSR 8498HB	DYNAMIXEL AX-12A
Модуляция:	Цифровой	Цифровой
Крутящий момент:	6.0 V: 102.76 oz-in (7.40 kg-cm) 7.4 V: 124.98 oz-in (9.00 kg-cm)	1,5 Н/м (при 12 V)
Скорость:	6.0 В: 0.20 сек/60° 7.4 В: 0.18 сек/60°	59 об/мин (при 12 V)
Вес:	1,93 унции (54,7 г)	54,6 г
Размеры:	Длина: 1.57 дюйма (39.9 мм) Ширина: 0.78 дюйма (19.8 мм) Высота: 1.45 дюйма (36.8 мм)	Длина: 32 мм Ширина: 40 мм Высота: 50 мм
Тип двигателя:	3-полюсный	3-полюсный
Тип шестерни:	Пластик	Пластик
Вращение/Поддержка:	Двойные подшипники	Двойные подшипники

Импульсный цикл:	20 мс	20 мс
Ширина импульса:	900-2100 мкс	900-2100 мкс

По приведенным в табл. 1 данным видно, что сервоприводы имеют похожие характеристики.

Чтобы определить допустимые значения массы, которую сможет выдержать манипулятор, был проведен расчет нагрузок на плечи робота. В процессе расчёта было определено, что для обеспечения нормальной работы робота плечи не должны превышать 10 сантиметров в длину и масса каждого из плечей не должна быть больше 20 граммов. Для расчёта этих значений была составлена схема устройства (рис. 1), на которой кругами изображены сервоприводы (1, 2, 3, 4) и силы тяжести, действующие на них (0.085g). Данное положение робота обеспечивает максимальную нагрузку на первый сервопривод (1), которая не должна превышать 9.00 kg·см или же 0.9 Н·м.

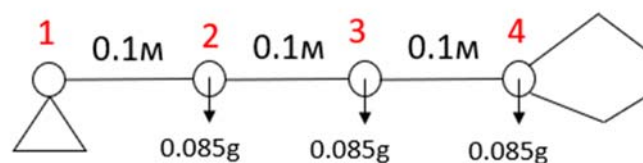


Рис. 1. Схематическое изображение робота в положении максимальной нагрузки

Расчёт нагрузки был произведён по формуле момента силы:

$$M = F \cdot L = 3 \cdot 0.085g \cdot 0.3 = 0.765(N \cdot m).$$

На основе данного результата можно сделать вывод, что при увеличении длины плечей модель не будет функционировать, поскольку у имеющегося в наличии сервопривода крутящий момент равен 9 Кг·м, что соответствует 0.9 Н·м.

После полученных данных был начат процесс печати плечей на 3D-принтере, и моделирование робота в среде моделирования Matlab (рис. 2) при помощи пакета данных Robotics System Toolbox, который позволяет получить изображение робота и при помощи методов обратной кинематики построить траекторию его движения, необходимую для выполнения определённой задачи.

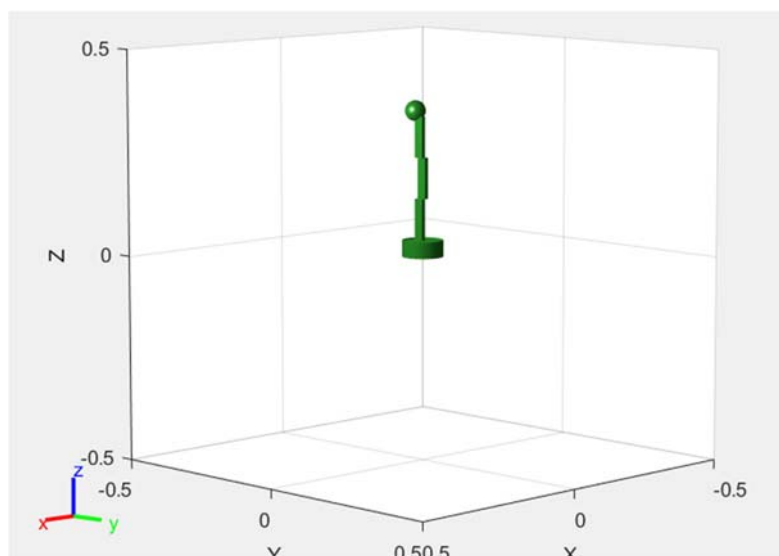


Рис. 2. Модель манипулятора в среде Matlab

Вывод

В процессе работы была составлена модель манипулятора, рассчитаны параметры плечей и момент силы, действующий на сервоприводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров О.Д. Робототехнические мехатронные системы [Текст] / Егоров О.Д., Подураев Ю.В., Бубнов М.А. – М: Станкин, 2015. – 326 с.
2. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов [Текст] / Козырев Ю.Г., Учебное пособие – М: КноРус, 2016. - 318 с.
3. Моделирование робота и симуляция: [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.exponenta.ru/robotics/modeling-and-simulation.html>.

Лысенко Дмитрий Геннадьевич, студент 3 курса кафедры систем автоматического управления Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, корпус «Г», 347900, телефон: +7 (8634) 371-63, email: dmlysenko@sfedu.ru.

Колоколова Ксения Валериевна, старший преподаватель кафедры систем автоматического управления Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, корпус «Г», 347900, телефон: +7 (8634) 371-63, email: kvbesk-lubova@sfedu.ru.

Lysenko Dmitry Gennadievich, 3rd year student of the Department of Automatic Control Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the

Southern Federal University, Russia, Taganrog, lane. Nekrasovsky, 44, building "G" , 347900, phone: +7 (8634) 371-63, email: dmlysenko@sfnedu.ru .

Kolokolova Ksenia Valerievna, Senior Lecturer of the Department of Automatic Control Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, trans. Nekrasovsky, 44, building "G" , 347900, phone: +7 (8634) 371-63, email: kvbesklubova@sfnedu.ru .

УДК 004.047

Панычев Сергей Андреевич, Панычев Андрей Иванович,
Максимов Александр Викторович

РЕАЛИЗАЦИЯ В БАЗИСЕ ПЛИС РЕЛЯТОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРИОРИТЕТОМ ОПРОСА ДАТЧИКОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Выполнен анализ функционирования известного порядково-логического устройства с векторами управления и изменения направления обхода, выполняющего выбор из массива двоичных данных номера экстремального элемента. На основе этого устройства разработана структура реляторного контроллера с управляемым приоритетом опроса состояния датчиков диагностического оборудования. Средствами ISE Design Suite создана комбинационная схема, приведены временные диаграммы и результаты тестирования работы контроллера. Дана оценка требуемых ресурсов для реализации контроллера в базисе ПЛИС.

ПЛИС, относительный приоритет, реляторный контроллер, функциональный контроль, техническая диагностика.

Sergey Andreevich Panychev, Andrey Ivanovich Panychev,
Aleksandr Viktorovich Maksimov

FPGA BASIS IMPLEMENTATION OF RELATIONAL CONTROLLER WITH A CONTROLLED PRIORITY FOR DIAGNOSTIC EQUIPMENT SENSORS POLLING

The analysis of the functioning of a known ordinal-logical device with control vectors and a change in the direction of traversal, performing a selection from an array of binary data of the number of an extreme element, is performed. Based on this device, the structure of a relational controller with a controlled priority of polling the status of diagnostic equipment sensors is developed. By

means of ISE Design Suite, a combination scheme was created, time diagrams and test results of the controller are given. The estimation of the required resources for the implementation of the controller in the FPGA basis is given.

FPGA, relative priority, relational controller, functional control, technical diagnostics.

Введение

Сложные технические системы для ответственного применения требуют интегрирования в их состав устройств функционального контроля и диагностики (УФКД). Для исключения потерь информации об изменениях контролируемых параметров необходимо, чтобы программно-аппаратный диспетчер диагностической системы обеспечивал высокую частоту повторов сеансов контроля сигналов функциональных контрольных точек (ФКТ), что, в свою очередь, требует повышения скорости выполнения операций коммутации, преобразования и передачи сигналов по каналам связи. Один из путей решения данной проблемы состоит в применении методов порядковой логики и адаптации дискретных релейных структур к задачам технической диагностики.

Сейчас проводятся исследования по разработке новых подходов к реализации отказоустойчивых систем на ПЛИС, которые благодаря своей гибкой структуре позволяют не только реализовывать сложные проекты на одном кристалле и проводить многоуровневую верификацию на всех этапах разработки, но и осуществлять оперативную реконфигурацию внутренней структуры в процессе их функционирования [1-3].

С точки зрения реализации релейных контроллеров (РК) в составе УФКД основными преимуществами ПЛИС являются возможность программирования или изменения конфигурации непосредственно в диагностической системе, наличие средств автоматизированного проектирования для моделирования устройств в базе ПЛИС, относительная простота комплексирования с диагностируемым оборудованием [4-7].

Постановка задачи

Реализовать в базе ПЛИС входящий в состав УФКД релейный контроллер с управляемым приоритетом опроса функциональных контрольных точек диагностического оборудования, основываясь на известном порядково-логическом устройстве с векторами управления и изменения направления обхода, выполняющем выбор из массива двоичных данных номера экстремального элемента [8].

Разработка структуры реляторного контроллера

Структурная схема приоритетного РК с векторами изменения направления коммутации и управления приведена на рис. 1. Реляторный контроллер представляет собой управляемое «дейзи-кольцо» с динамически изменяемым приоритетом обслуживания сигналов n ФКТ, задаваемым вектором управления $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ и вектором направления обхода массива $S = (S_1, S_2)$.

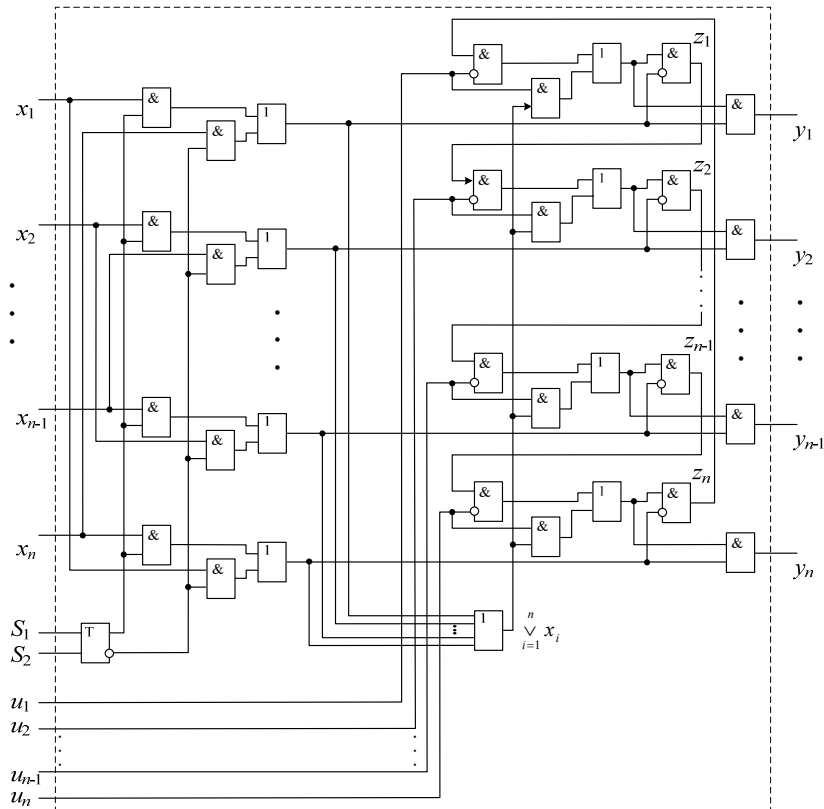


Рис. 1. Структурная схема приоритетного реляторного контроллера с векторами изменения направления коммутации и управления

На информационные входные порты РК поступает вектор сигналов состояния ФКТ $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $x_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, 2, \dots, n$. На выходах РК формируется вектор $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, $y_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, содержащий номер ФКТ с признаком отказа, которая является ближайшей к заданной точке входа в заданном направлении обхода. Задавая различные кодовые значения вектора управления $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, можно динамически изменять точку входа в входной поток диагностической информации и, следовательно, приоритет обслуживания кортежа сигналов ФКТ. Вектором указания направления обработки $S = (S_1, S_2)$ реализуется про-

цесс управления коммутацией входного информационного потока. При активизации входа S_1 задается прямой порядок следования номеров ФКТ $1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots \rightarrow (n-1) \rightarrow n$, при этом вектор управления U задается в прямом коде. При активизации входа S_2 задается обратный порядок $n \rightarrow (n-1) \rightarrow \dots \rightarrow 2 \rightarrow 1$, и на выходе РК формируется обратный код номера приоритетной ФКТ с отказом. После обслуживания запроса ФКТ производится операция сброса ячейки регистра, в которой этот запрос хранился до обслуживания.

Достоинством такого РК является возможность реализации $2n!$ приоритетов.

Основными недостатками данного РК являются:

- при увеличении числа информационных входов более 20...25 велика вероятность возникновения эффекта «гонки сигналов»;
- рост аппаратных затрат пропорционален увеличению числа информационных входов;
- ограниченное число уровней приоритетов, равное $2C_n^1$;
- низкая разрешающая способность при управлении входным информационным потоком.

Реализация реляторного контроллера в базисе ПЛИС

Синтез реляторного контроллера с управляемым приоритетом опроса ФКТ выполнен с помощью программного инструмента Xilinx ISE Design Suite 14.7. На рис. 2 представлены символ верхнего уровня и комбинационная схема синтезированного РК для обслуживания четырех ФКТ.

Устройство реализует выбор ФКТ с отказным состоянием с возможностью задавать номер стартовой ФКТ и изменять направление опроса в кортеже ФКТ. На входы контроллера x_1, x_2, x_3, x_4 подаются значения сигналов ФКТ, отказ соответствует единичному состоянию. Приоритетность поиска задается вектором на входах u_1, u_2, u_3, u_4 , содержащим код адреса ФКТ, с которой надо начинать поиск. Комбинация сигналов на входах s_1, s_2 задает направления поиска ФКТ (прямое или обратное). Выходы y_1, y_2, y_3, y_4 определяют побитный адрес выбранной приоритетной ФКТ с отказом.

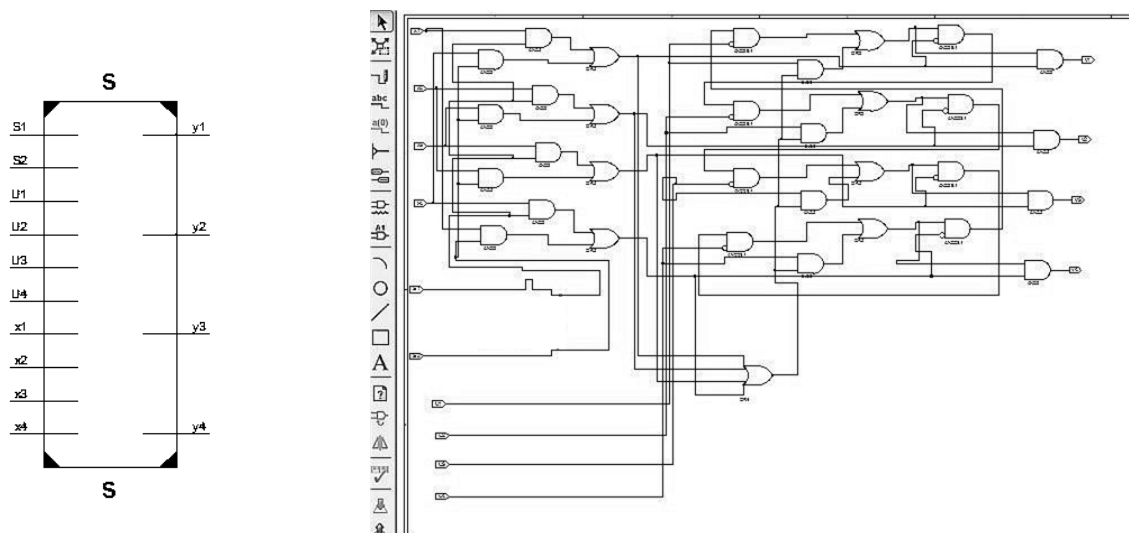


Рис. 2. Символ верхнего уровня и комбинационная схема РК с управляемым приоритетом опроса сигналов четырех ФКТ

На рис. 3 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие пример симуляции работы данного устройства.

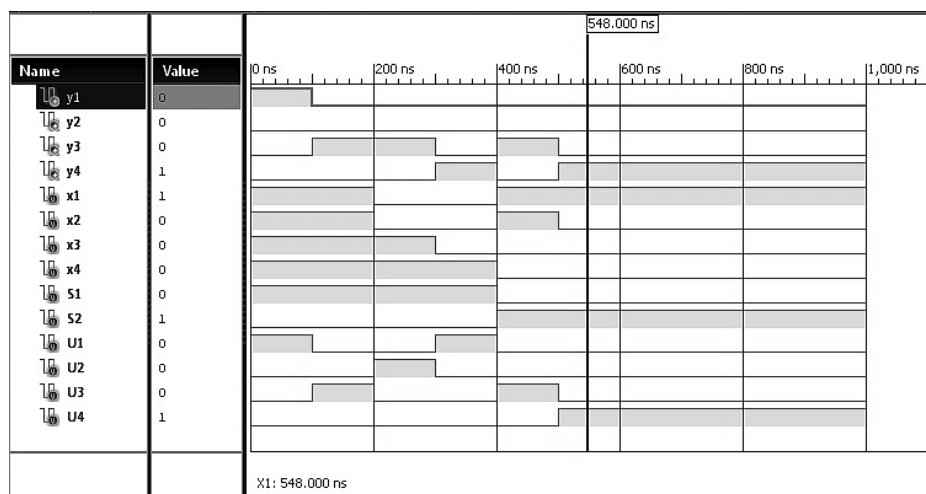


Рис. 3. Пример симуляции работы РК

В табл. 1 приведены состояния входов и выходов РК на различных интервалах времени согласно рис. 3. Анализ состояния входов и выходов устройства подтверждает правильность функционирования РК.

Таблица 1

Результаты симуляции работы РК

Интервал, нс	Входы										Выходы			
	x1	x2	x3	x4	u1	u2	u3	u4	s1	s2	y1	y2	y3	y4
0...100	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
100...200	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
200...300	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
300...400	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
400...500	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
500...600	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1

На рис. 4 дана оценка требуемых ресурсов для реализации РК в базисе ПЛИС. Из рис. 4,а видно, что количество требуемых логических элементов N_{LC} и пользовательских контактов $N_{I/O}$ ПЛИС определяются только числом обслуживаемых ФКТ n и растут линейно. Требование по количеству пользовательских контактов является более жестким, поскольку оно примерно вчетверо больше числа логических элементов.

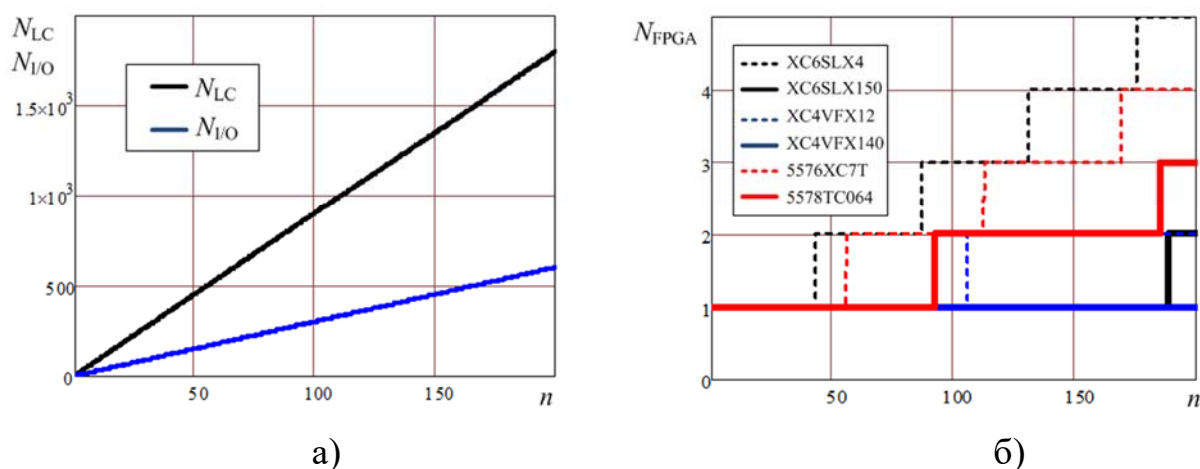


Рис. 4. Оценка требуемых ресурсов для реализации РК в базисе ПЛИС:

а – количество логических элементов и пользовательских контактов;

б – количество ПЛИС различных типов

График на рис. 4,б демонстрирует изменение требуемого количества ПЛИС для реализации РК при увеличении числа обслуживаемых ФКТ. Рассмотрены ПЛИС, представляющие семейства Xilinx Spartan-6, Xilinx Virtex-4 [9] и отечественные серии 5576/5578 АО «КТЦ «Электроника» [10]. Выбрано по два представителя каждого семейства: самые простые

(пунктирные линии) и наиболее ресурсоемкие (сплошные линии). Как видно, для реализации РК с обслуживанием до 200 ФКТ требуется от 1 до 3 ресурсоемких ПЛИС и от 2 до 5 простых ПЛИС, в зависимости от семейства.

Выводы

Таким образом, в базисе ПЛИС реализован элемент, способный выбирать из определенного числа ФКТ наиболее приоритетную, причем с заданным порядком поиска (прямым либо обратным), что позволяет гибко с минимальными временными затратами действовать в динамических ситуациях. Управление приоритетами и порядком поиска осуществляет программа, регулирующая работу контроллера прерываний. Для обслуживания до 200 ФКТ в зависимости от семейства необходимо от 1 до 3 корпусов ресурсоемких ПЛИС и от 2 до 5 корпусов ПЛИС малой интеграции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С.* Управление избыточностью сетевых распределенных систем необслуживаемой авионики // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2018. – № 3. – С. 3-12.
2. *Вагин В.Н., Оськин П.В.* Многоагентная моделирующая подсистема комплексов диагностики на основе моделей устройств // *Известия РАН. Теория и системы управления*. – 2006. – № 6. – С. 131-144.
3. *Бакулин В.Н., Малков С.Ю., Гончаров В.В. Ковалев В.И.* Управление обеспечением стойкости сложных технических систем. – М.: Физматлит, 2006.
4. *Hanck S.* Reconfigurable computing. The theory and practice of FPGA-based computation. – Morgan Kaufmann Publ, 2007. – 944 p.
5. *Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И.* Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – 393 с.
6. *Беззубов В.Ф.* Управляющая вычислительная система высокой надежности с реконfigurацией // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. – 2010. – № 3. – С. 46-50.
7. *Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А.* Синтез контроллера внешних прерываний с динамически изменяемым приоритетом // *Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем*. 2016. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2016. – Часть III. – С. 212-219.

8. *Самойленко А.П., Самойленко И.А., Яцко Ф.Г.* Устройство переменного приоритета. SU № 1383353. А1. – А.С. СССР. G06F 9/46. Бюллетень № 11. 1988.
9. URL: <https://www.xilinx.com/> (Дата обращения – 04.06.2022 г.)
10. URL: <https://www.edc-electronics.ru/> (Дата обращения – 04.06.2022 г.)

Панычев Сергей Андреевич, кандидат технических наук, институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-17-37, email: panychev@sfedu.ru.

Панычев Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfedu.ru.

Максимов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.

Panychev Sergey Andreevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-17-37, email: panychev@sfedu.ru.

Panychev Andrey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfedu.ru.

Maksimov Aleksandr Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, per. Nekrasovsky 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.

УДК 621.396

Аксенов Василий Валерьевич, Шадрина Валентина Вячеславовна

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ И СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЛАТФОРМЕННЫХ СИСТЕМ, ОСНАЩЕННЫЕ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

В докладе рассматриваются вопросы совершенствования систем управления ориентацией и стабилизацией платформенных систем технического зрения технологией Data Fusion.

Значимость встроенных автономных систем, обеспечивающих ориентацию и стабилизацию платформенной системы, объясняемая возможностью обеспечения полной независимости от внешних источников данных, повышенной защите от помех при высокой информативности прибора и возможностью передавать информацию на большой скорости, вызывает особый интерес. В работе оценивается возможность применения технологии DataFusion для коррекции ошибок при функционировании системы технического зрения на беспилотном летательном аппарате.

Платформа технического зрения, инерциальная система, комплексирование данных.

Aksenov Vasilii Valerievich, Shadrina Valentina Vyacheslavovna

CONTROL SYSTEMS ORIENTATION AND STABILIZATION OF PLATFORM SYSTEMS, EQUIPPED BY ELECTRONIC VISION SYS- TEM

The article discusses the issues of improving orientation control systems and stabilization of platform vision systems using Data Fusion technology.

The importance of built-in autonomous systems that provide orientation and stabilization of the platform system is explained by factors: the ability to ensure complete independence from external data sources, increased protection against interference with high information content of the device, the ability to transmit information at high speed. Such systems are of particular interest. The paper evaluates the possibility of using DataFusion technology to correct errors in the functioning of the vision system on an unmanned aerial vehicle.

Vision platforms, inertial systems, data fusion.

Введение

Возможности летательного аппарата (ЛА) по достижению цели полёта во многом зависит от точности и надежности работы его системы ориентации и стабилизации.

Управлением ориентацией ЛА называется осуществление заданного углового движения триэдра осей, жестко связанного с корпусом ЛА, относительно некоторой заданной системы одноименных осей, находящейся в пространстве. Начало триэдров находится в одной и той же точке корпуса ЛА, в которой движение вокруг центра масс не влияет на движение самого центра масс. В случае если повороты ЛА связаны с движением центра масс, то управление угловым положением ЛА называется угловой стабилизацией. Система, обеспечивающая это управление, называется системой ориентации и стабилизации ЛА [1].

Летательные аппараты могут иметь непосредственное управление пилотом, например, самолёты, а могут быть беспилотными. Интерес к последним в настоящее время резко возрос. Это связано с увеличивающимися возможностями аппаратов и, соответственно, с расширением областей применения, как в народном хозяйстве, так и для специальных целей.

Управление ориентацией ЛА, аппаратно реализуемое непрерывно, включая режим коррекции траектории для стабилизации относительно точки интереса, является одним из главных режимом управления его движением. Техническая реализации управления ориентацией осуществляется через инерциальную систему (ИНС) ЛА. Основа работы ИНС заключается в измерении ускорений летательного аппарата и его угловых скоростей относительно трех осей самолета для того, чтобы исходя из этих данных определить местоположение ЛА, его скорость, курс и другие параметры. По результатам анализа через исполнительные механизмы может производиться коррекция траектории.

Для сбора информации о полете в состав ИНС включаются акселерометры, считывающие линейное ускорение, и гироскопы, позволяющие определить углы наклона ЛА относительно основных осей: тангаж, рыскание и крен. Точность полученной информации зависит от характеристик этих приборов. Аналитическая обработка информации, как правило, осуществляется через процессор или контроллер. Затем по определенным навигационным алгоритмам движение объекта может корректироваться.

Системы ориентации и стабилизации делятся на платформенные и бесплатформенные. Основой для платформенных систем служит гироста-

билизируемая платформа. Функции платформы моделируются математически вычислительной системой. Стоит отметить интенсивно ведущиеся исследования в части конструктивных элементов - гироскопов и акселерометров [2].

Лазерный гироскоп (ЛГ) со стабильным масштабным коэффициентом и дрейфом нуля на уровне 10–2 град/ч, стал основой конструкции более простых в производстве и дешевых бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), по сравнению с ИНС на механических гироскопах. В авиации БИНС на ЛГ стали основной гироскопической навигационной системой. Исследования специфических путей снижения дрейфа нуля для ЛГ (уменьшение потерь при отражении оптического излучения от зеркал оптического резонатора, вывод из полосы захвата встречных волн) позволили снизить дрейф ЛГ до 10–3 град/ч, сохранив приемлемые габариты.

Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) – прибор, принцип действия которого, основан на релятивистском эффекте Саньяка. Основные элементы и технологии ВОГ заимствованы из волоконно-оптических телекоммуникационных сетей и после отработки имеют относительно невысокую стоимость. В ВОГ отсутствует эффект захвата встречных волн, поэтому отсутствует необходимость в оснащении средствами, ограничивающими точность ЛГ. В отличие от ЛГ, газоразрядный источник оптического излучения находится в резонансном контуре, в ВОГ источник оптического излучения находится вне оптического контура. Таким образом, ВОГ потенциально надежнее ЛГ. Один из путей повышения точностных характеристик БИНС на ВОГ - использование автокомпенсации систематической составляющей дрейфа. Реализована схема автокомпенсации однокоординатным вращением и исследована схема двухкоординатного вращения [3]. С учетом перспектив по повышению точностных характеристик, ВОГ становится гироскопом, не имеющим аналогов по перекрываемому диапазону точностей.

Твердотельные волновые гироскопы (ТВГ) средней и высокой точности на основе кварцевого полусферического резонатора и низкой точности с использованием металлического резонатора были созданы двадцатью годами позже появления первого ЛГ. Это несмотря на то, что эффект инертности упругих волн во вращающемся осесимметричном теле был открыт на тридцать лет раньше эффекта Саньяка [4, 5]. Эксплуатация ТВГ

предполагает возможность автокалибровки дрейфа нуля и масштабного коэффициента [6].

Расширение диапазона применения систем управления движением, от сложных транспортных систем до игрушек, потребовало создания датчиков параметров движения, с массовым производством, и технологией, обеспечивающей минимальный критерий SWaP+C (размеры, вес, энергопотребление и стоимость).

Микромеханические гироскопы (ММГ) и акселерометры (ММА) сделали эту проблему решаемой. В основе технологии ММГ лежат производственные процессы микроэлектроники, с характерными размерами порядка 10 мкм. Вибрационная система ММГ является своеобразным чипом. По габаритам, весу, энергопотреблению и стоимости ММГ сопоставим с большой интегральной схемой и является первым гироскопом, пригодным для массового производства и использования.

В последние 10 лет разработаны гироскопы с диапазоном измерения угловых скоростей в пределах 200-1000 град/с, с дрейфом нуля в пуске – 0,1-10 град/ч, случайным дрейфом – 0,01-0,1 град/ $\sqrt{ч}$, и стабильностью масштабного коэффициента – 300-2000 ppm.

Важнейший для портативных автономных устройств параметр – это энергопотребление. MEMS-гироскопы потребляют ток величиной 5 мА при номинальном напряжении питания 5 В. Кроме того, ММГ отличаются высокой надежностью.

Патентованные решения, которые воплощены в технологии MEMS, обеспечивают экстраординарную устойчивость датчиков к ударам и вибрации. Например, гироскопы ADXRS выдают стабильный выходной сигнал в присутствии механических шумовых колебаний с величиной ускорения до 2000 g в широком диапазоне частот.

На основании подобных ММГ созданы инерциальные измерительные модули (ИИМ), обеспечивающие кратковременное хранение навигационных данных с приемлемой для многих применений точностью. ИИМ, состоящий из триад ММГ и ММА, по критерию SWaP+C близок к аппаратуре потребителя спутниковой навигационной информации.

Современные исследования и разработки направлены на обеспечение минимального значения критерия SWaP+C при достижении высоких точностных характеристик. Если этого удастся достичь, то гироскопия изменится радикально.

Характеристики элементной базы влияют на параметры системы в целом, к платформенным системам предъявляются следующие эксплуатационные требования: массогабаритные показатели, энергопотребление, надежность, способность работать в условиях вибрации и перегрузки и возможность размещения на платформе дополнительного оборудования, например, для видеофиксации какого-либо объекта.

В качестве платформенной системы рассматривается мультикоптер - это мехатронный винтокрылый летательный аппарат (ЛА), имеющий несколько степеней свободы, осуществляющий изменения параметров полета путем изменения скорости вращения роторов, работающих парами [7]. Оснащение летательных аппаратов системой технического зрения позволяет использовать их для проведения осмотра различных объектов и других операций [8].

При этом качество обработки информации, полученной от системы технического зрения, во многом зависит от возможности четкой фиксации объекта наблюдения, с учетом ошибок, которые накапливаются с течением времени в получаемой от приборов информации.

Работа по коррекции ошибок является важной инженерной задачей и проводится постоянно. Это и точность работы узлов и блоков самой системы ориентации и стабилизации, и создание интегрированных систем, где получаемые данные дополняются данными, поступающими от других источников.

Наряду с традиционными решениями, которые предполагают создание интегрированных систем с дополнительным каналом спутниковых сигналов и/или использование в конструкции гиростабилизированной платформы, исследуются методы «возмещения» точности получаемой от датчиков информации, за счет увеличения её количества при обеспечении быстрой и качественной обработки.

Применение технологии DataFusion, которая представляет собой интеграцию данных различных источников, позволяет решать эти проблемы [9, 10].

В работе предлагается комплексирование ИНС, системы наведения и стабилизации платформы. ИНС позволяет определять траекторию движения ЛА, скорость и направление движения. Использование системы технического зрения для оптического наведения позволяет формировать сигналы и алгоритмы для стабилизации относительно точки интереса. Такая система дает возможность определять ориентацию, распознавать объекты,

управлять исполнительными механизмами для коррекции траектории и стабилизации линии визирования.

Имеющиеся минусы взаимно неувязанного управления ЛА в части ориентации и стабилизации:

1. Для следящей системы, оснащённой оптикой, отсутствует возможность идентификации объекта, так как контур наведения работает в двумерной картинной плоскости.

2. Для системы наведения отсутствует возможность полноценной оценки расстояния и реальных размеров объекта в поле зрения.

3. Для системы наведения отсутствует возможность сопоставлять текущие скорости ЛА и объекта интереса.

4. Для системы наведения отсутствует возможность качественной селекции объектов;

5. Для ИНС отсутствует возможность получения дополнительной информации от автономного источника, необходимой для коррекции управления ориентацией.

Выводы

Есть много специфичных аспектов, касающихся всего комплекса управления ЛА и это обуславливает значительную системную работу, направленную на исследование и поиск оптимальных решений в пока новом направлении. Проводимые исследования позволяют сделать вывод, что информационные потоки систем наведения и ориентации могут и должны быть перекрёстно использованы и взаимоувязаны.

С учётом того, что объём данных очень значителен, и получается от датчиков, имеющих зачастую различную физическую природу и, соответственно, разные системы измерения, видится целесообразным интеграцию ИНС с системой оптического наведения реализовать с помощью методов вычисления и фильтрации действительных векторов состояния. Для этого возможно использовать технологию DataFusion, которая обеспечивает слияние данных от датчиков различных систем (ИНС и ГСН), их сопоставление, оценку состояния систем и выдачу необходимых уточнённых управляющих сигналов в контуры ориентации и стабилизации ЛА. Таким образом, в алгоритмах наведения и ориентации будут использованы несколько входных векторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. Изд-во «Наука», М., 1974.;
2. *Пешихонов В.Г.* Перспективы развития гироскопии /Гироскопия и навигация, No2/ 2020г.;
3. *Степанов А.П., Емельянцев Г.И., Блажнов Б.А.* «Об эффективности модуляционных поворотов измерительного модуля БИНС на ВОГ морского применения»/ Гироскопия и навигация. No4,2015;
4. *Журавлев В.Ф., Климов Д.М.* «Волновой твердотельный гироскоп», М.: Наука, 1985.;
5. *Lynch D.D.* «Vibration-induced drift in the hemispherical resonator gyro», Proc. of the Annual Meeting of the Institute of Navigation 23–25 June 1987.;
6. *Trusov A.A., et all.* «Continuously self-calibrating CVG system using hemispherical resonator gyroscopes», 2015 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (ISISS) Proceedings, Napuna Beach, HI, USA, 23–26 March 2015. DOI: 10.1109/ISISS.2015.7102362.;
7. *Rodgers V.* Drones Are Set to Revolutionize Electric Utility Inspections;
8. *Дахер Сайфеддин.* Мехатронная система управления полётом квадрокоптера. Планирование траектории методами оптической одометрии. НПИ. Новочеркасск, 2014г.;
9. *Bleiholder J.* Data fusion/J. Bleiholder, F. Naumann // ACM Computing Surveys. – 2008.;
10. *Durrant-Whyte H.* Multisensor data fusion/H. Durrant-Whyte, T.C. Henderson//Springer Handbook of Robotics. – 2008.;

Аксенов Василий Валерьевич, аспирант 1 года обучения Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347900, телефон +7 (8634) 37-16-89, email: vaksenov@sfedu.ru.

Шадрина Валентина Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой систем автоматического управления Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347900, телефон +7 (8634) 37-16-89, email: vvshadrina@sfedu.ru.

Aksenov Vasiliy Valerievich, 1-year postgraduate student, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347900, phone +7 (8634) 37-16-89, email: vaksenov@sfedu.ru.

Shadrina Valentina Vyacheslavovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automatic Control Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347900, phone +7 (8634) 37-16-89, email: vvshadrina@sfedu.ru.

УДК 539.3/620.179.163

Седов Андрей Владимирович, Пушкарева Ольга Олеговна,
Савельев Дмитрий Андреевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ КОНСТРУКЦИЙ С ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКОМ ДЛЯ АПРИОРНОГО ОБУЧЕНИЯ

Современные системы оперативного контроля и дефектоскопии сложных, ответственных механических устройств и конструкций подразумевают использование интеллектуальных технологий обработки информации: распознавания образов, кластеризации, нейросетевых и нечетких систем. Данные технологии для обучения требуют наличие представительных выборок реакций объектов на тестовые воздействия при различных вариантах выявляемых дефектов. Зачастую получить их путем реализации физических экспериментов является экономически затратно и в ряде случаев просто невозможно. В этих случаях для обучения используют точные распределенные динамические математические и программные модели объектов – цифровые двойники. С их помощью получение обучающих выборок реакций для произвольных типов объектов и различных тестовых воздействий значительно упрощается. Расширяется возможности выявления дефектов. В статье приводится вариант построения цифрового двойника пластиковой балочной конструкции с дефектом в виде полости различного размера и локализации. Модель реализована в среде Ansys. Показала гибкость работы и близость результатов к физическому эксперименту.

Неразрушающая дефектоскопия, несущая механическая конструкция, цифровой двойник, обучающая выборка, динамическая распределенная модель, метод конечных элементов.

Sedov Andrey Vladimirovich, Pushkareva Olga Olegovna,
Saveliev Dmitry Andreevich

INTELLIGENT SYSTEM FOR NON-DESTRUCTIVE DEFECTOSCOPY OF STRUCTURES WITH A DIGITAL TWIN FOR APRIOR LEARNING

Modern systems of operational control and flaw detection of complex, critical mechanical devices and structures imply the use of intelligent information processing technologies: pattern recognition, clustering, neural network and fuzzy systems. These technologies for learning require the presence of representative samples of graphs of object responses to test actions for various types of detected defects. Often, it is economically expensive to obtain them by implementing physical experiments and in some cases it is simply impossible. In these cases, numerical distributed dynamic mathematical and software models of objects - digital twins - are used for training. With their help, obtaining training samples of reactions for arbitrary types of objects and various test actions is greatly simplified. Expands the ability to detect defects. The article presents a variant of constructing a digital twin of a plastic beam structure with a defect in the form of a cavity of various sizes and localization. The model is implemented in the Ansys environment. It showed the flexibility of the work and the closeness of the results to the physical experiment.

Non-destructive flaw detection, supporting mechanical structure, digital twin, training sample, dynamic distributed model, finite element method.

Введение

Разработка обучаемых систем неразрушающего контроля состояния, дефектоскопии и оценки прочностного ресурса узлов и деталей инженерных конструкций ответственного назначения является ключевой задачей для повышения надежности их эксплуатации и предотвращения аварийных ситуаций [1-8].

Основная часть

В настоящее время для дефектоскопии механических конструкций, механизмов достаточно часто применяют системы с волновыми низкочастотным или ультразвуковым воздействием [1,2,5,7]. По реакции конструкции на данные воздействия судят о ее состоянии, наличии дефекта в форме коррозии, трещин, пустот или инородных заполнений.

В данной статье рассматривается балочная конструкция, выполненная из пластичного материала и имеющая форму, представленную на рис.1.

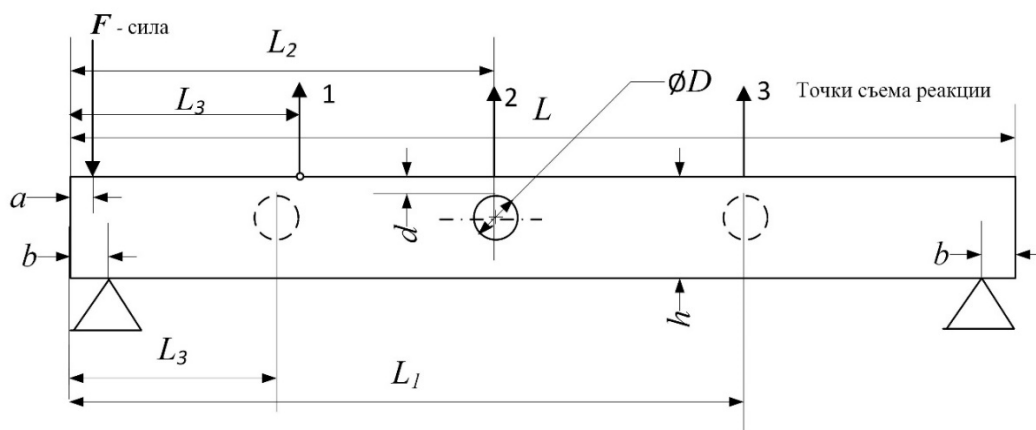


Рис.1. Диагностируемая балочная конструкция

Тестовое ударное воздействие F формируется на левом крае конструкции, а сигнал отклика в форме волновых колебаний снимается датчиками в точках 1,2 и 3. Дефектом является возможная незаполненная полость внутри конструкции, которая моделируется отверстиями различного диаметра D .

Целью построения цифрового двойника является получение большого числа графиков сигнала отклика конструкции на воздействие F при различных типах дефектов в виде полости различного диаметра и локализации.

Цифровой двойник реализуется в среде моделирования Ansys на языке описания APDL [9]. При этом с математической точки зрения реализуется динамическое моделирование с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [9,10]. Исходным объектом для применения МКЭ является материальное тело - балка, которое разбивается на части - конечные элементы (рис. 2). В результате разбивки создаётся сетка из границ элементов. Точки пересечения этих границ образуют узлы. Ансамбль из всех конечных элементов и узлов является основной конечно-элементной моделью деформируемого тела.

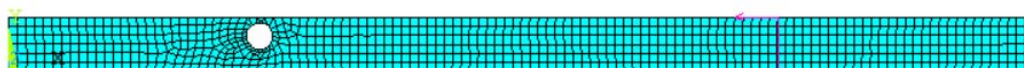


Рис.2. Конечно-элементное разбиение балочной конструкции

Реализуется динамическая задача деформирования и на основании принципа Даламбера используют дифференциальные матричные уравнения для каждого из элементов, вида [10,11]

$$[m]_e \frac{d^2}{dt^2} \{U\}_e + [C]_e \frac{d}{dt} \{U\}_e + [K]_e \{U\}_e = \{F\}_e, \quad (1)$$

где $[K]_e$ - матрица жесткости элемента, состоящая из коэффициентов жесткости; $\{U\}_e$ - вектор узловых перемещений элемента; $[C]_e$ - матрица демпфирования элемента, зависящая от коэффициента вязкого демпфирования μ ; $[m]_e$ - матрица масс элемента, зависящая от плотности материала элемента ρ ; $\{F\}_e$ - вектор узловых сил элемента.

Решение системы (1) позволяет получить графики функций отклика – перемещений в заданных точках конструкции во времени (рис.3).

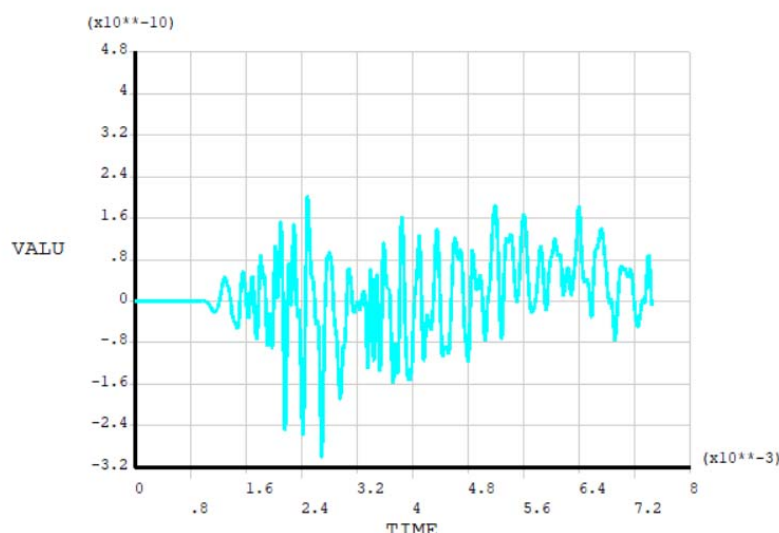


Рис.3. График колебаний VALU в точке 1 конструкции (м) во времени TIME (с)

Полученный цифровой двойник позволил автоматизировать получение обучающих выборок функций отклика при различном расположении дефекта - полости, различных ее диаметрах, величин заглубления d. Появилась возможность оптимизации параметров тестового неразрушающего воздействия F как по величине, так и по месту приложения. Аналогично, оптимизация точек съема сигналов отклика по месту расположения.

Выводы

Использование цифрового двойника для объекта диагностики позволило реализовать адаптивно априорно настраиваемую систему диагностики и дефектоскопии механических несущих конструкций изменяемых типов. Реализовать систему более тонко настраиваемую и обучаемую с элементами интеллектуального анализа данных. Сравнение откликов, полученных на физических моделях с откликами реализуемыми цифровым двойником показало их качественную близость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глазовский Б.А., Московенко И.Б. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении. М.: Машиностроение, 1977. - 208 с.
2. Бочарова О.В., Седов А.В., Анджикович И.Е., Калинин В.В. Об одном методе идентификации дефектов, основанном на контроле структуры и особенностях поверхностных волновых полей // Дефектоскопия, 2016, № 7, С. 21–28.
3. Sedov A.V. The concept and the principle of the diagnostic observability of the object in problems of monitoring and non-destructive testing // IOP: Materials Science and Engineering, 2017, vol. 177, 012034.
4. Неразрушающие методы контроля / Под ред. В.Я. Кершенбаума. М., 1992. 254 с.
5. Гузь А.Н., Махорт Ф.Г., Гуца О.И., Лебедев В.К. Основы ультразвукового неразрушающего метода определения напряжений в твердых телах. Киев: Наукова думка, 1974. 106 с.
6. Dervilis N., Choi M., Taylor S.G., Barthorpe R.J., Park G., Farrar C.R., Worden K. On damage diagnosis for a wind turbine blade using pattern recognition. // Journal of Sound and Vibration, 2014, v. 333, Issue 6, p. 1833-1850.
7. Salazar A., Vergara L., Llinares R. Learning material defect patterns by separating mixtures of independent component analyzers from NDT sonic signals. // Mechanical Systems and Signal Processing, 2010, v. 24, Issue 6, p. 1870-1886.
8. Седов А.В. Моделирование объектов с дискретно-распределенными параметрами: декомпозиционный подход. М.: Наука, 2010. 438 с.
9. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017. 210 с.
10. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
11. Буряка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: СамГТУ, 2010. 271 с.

Седов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Южно-Российского государственного технического университета (НПИ), Россия, город Новочеркасск, улица Просвещения 132, 346400, телефон: +7 (8635) 25-52-97, email: Sedov07@list.ru;

Пушкарева Ольга Олеговна, магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Южно-Российского государственного технического университета (НПИ),

Россия, город Новочеркасск, улица Просвещения 132, 346400, телефон: +7 (8635) 25-52-97, email: kulikova058@mail.ru;

Савельев Дмитрий Андреевич, аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Южно-Российского государственного технического университета (НПИ), Россия, город Новочеркасск, улица Просвещения 132, 346400, телефон: +7 (8635) 25-52-97, email: progr2015@list.ru.

Sedov Andrey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation and Telemechanics, South Russian State Technical University (NPI), Russia, Novocherkassk, Prosveshcheniya street 132, 346428, phone: +7 (8635) 25-52-97, email : Sedov07@list.ru;

Pushkareva Olga Olegovna, master student of the Department of Automation and Telemechanics, South Russian State Technical University (NPI), Russia, Novocherkassk, Prosveshcheniya street 132, 346428, phone: +7 (8635) 25-52-97, email: kulikova058@mail.ru;

Savelyev Dmitry Andreevich, post-graduate student of the Department of Automation and Telemechanics, South-Russian State Technical University (NPI), Russia, Novocherkassk, Prosveshcheniya street 132, 346428, phone: +7 (8635) 25-52-97, email: progr2015@list.ru.

Исаенко Илья Александрович

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

Обосновывается актуальность создания интеллектуального ПАК для поддержки принятия решений в ходе проведения испытаний авиационных конструкций на прочность. Проведен анализ методов натурных прочностных испытаний. Проведен анализ методов и средств измерения перемещения с учетом специфики испытаний самолетных конструкций. Предложена модель распределенной управляющей информационно-интеллектуальной системы для управления прочностным экспериментом. Предложена модель многоканальной автоматической системы измерения перемещения.

Распределенная система, искусственный интеллект, датчик перемещения, измерение перемещения, метод измерения перемещения.

Isaenko Ilya Alexandrovich

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF STRENGTH TESTS

The relevance of creating an intelligent HSS to support decision-making during testing of aircraft structures for strength is substantiated. The analysis of methods of full-scale strength tests is carried out. The analysis of methods and means for measuring displacement is carried out, taking into account the specifics of testing aircraft structures. A model of a distributed control information-intellectual system for controlling a strength experiment is proposed. A model of a multichannel automatic displacement measurement system is proposed.

Distributed system, artificial intelligence, displacement sensor, displacement measurement, displacement measurement method.

Введение

Натурные испытания авиационных конструкций на прочность, не смотря на прогресс в компьютерном моделировании, по-прежнему весьма актуальны.

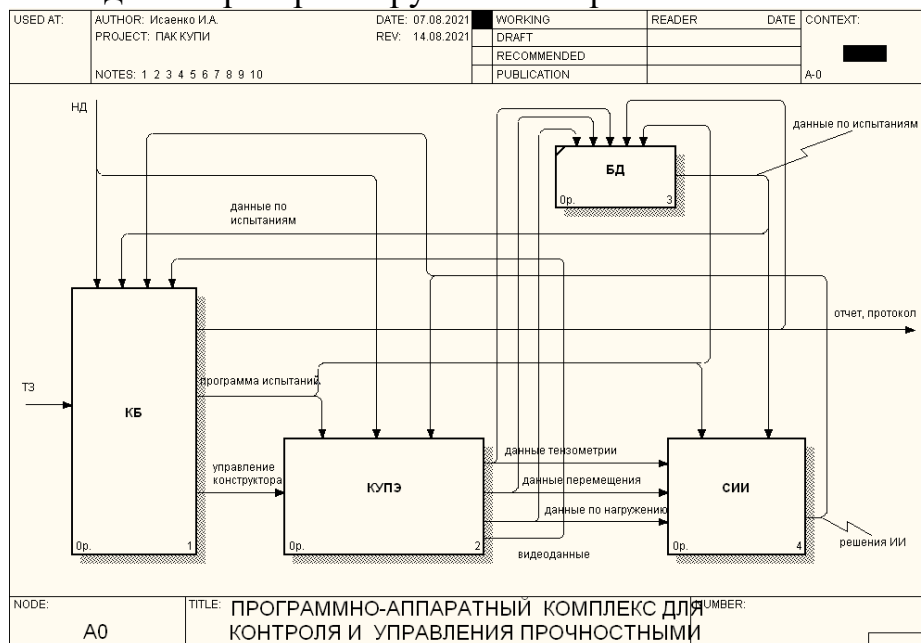
В основу современной методики испытаний конструкций на усталость положен принцип накопления усталостных повреждений, приводящих к частичному или полному исчерпанию ресурса конструкции. Выявляемые при этом отдельные элементы конструкции с относительно низкой усталостной прочностью усиливаются или заменяются [1, с. 4].

Первостепенную важность при испытании сложных, дорогостоящих объектов имеет программа испытаний, составленная с учетом постепенного увеличения испытательных нагрузок. Важно обеспечить выполнение программы испытаний, не допустив преждевременного повреждения или разрушения объекта испытаний. Ранее для выполнения такой задачи процесс испытания разбивался на несколько этапов с постепенным повышением нагрузок. После каждого этапа проводился анализ полученных данных, проводилась экстраполяция по каждому измерению, прогнозы сравнивались с расчетными данными и при их подтверждении приступали к следующему этапу испытаний. Это все требовало много времени, средств и человеческих ресурсов.

Основная часть

1. Система управления прочностным экспериментом

Предлагается создать распределенную информационно-управляющую систему с элементами искусственного интеллекта для поддержки принятия решений в ходе проведения прочностного эксперимента. В такой системе будет применяться распределенная неоднородная база данных и распределенное управление процессом испытаний. Это позволит непосредственно в ходе проведения испытания с большой скоростью и точностью анализировать данные всех измерений с применением интеллектуальных методов прогнозирования, решения которого в форме рекомендаций будут выводиться на монитор оператора. При обнаружении же быстроразвивающихся деструктивных процессов будет возможность остановить испытание с недостижимой для оператора нагрузкой скоростью.



- КБ (конструкторское бюро);
- КУПЭ (комплекс управления прочностным экспериментом);
- БД (база данных);
- СИИ (система искусственного интеллекта).

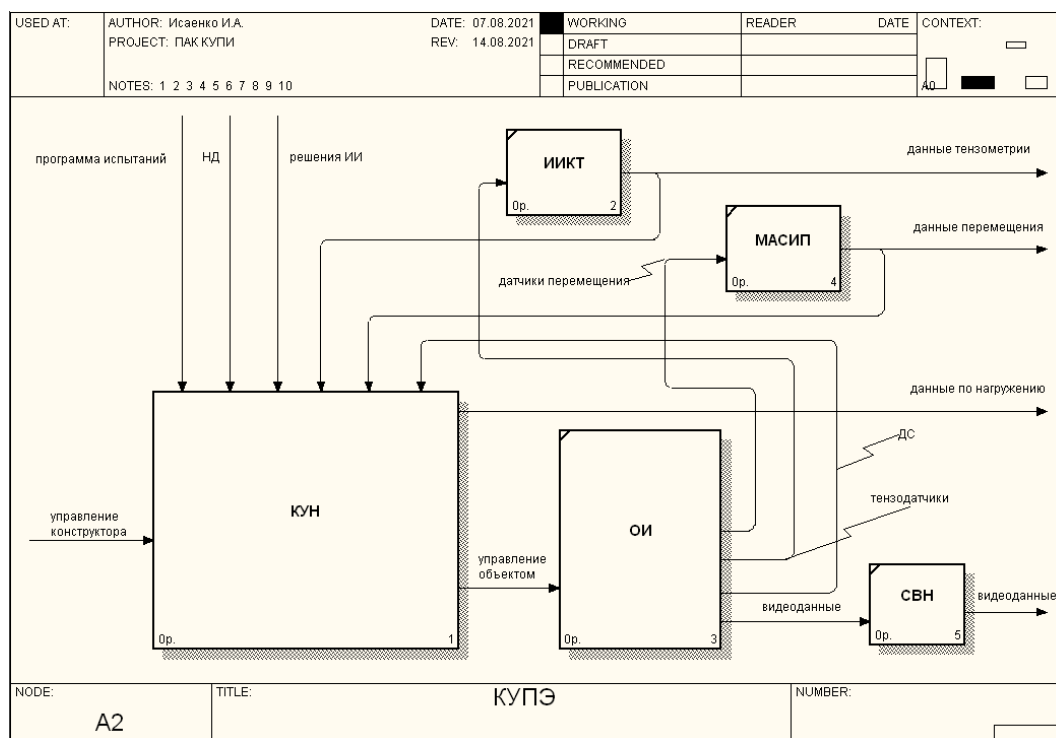
Рис. 1. Структурная схема ПАК КУПИИ

На рис. 1 представлена структурная схема Программно-аппаратного комплекса для контроля и управления прочностными испытаниями (ПАК КУПИИ), разработанная в программе AllFusion Process Modeler [2].

КБ на основании ТЗ (технического задания) от заказчика и, основываясь на НД (нормативной документации), создает программу испытаний, а по завершении испытания формирует протоколы и отчеты по испытанию.

В распределенную БД поступает вся информация о текущем испытании, программе испытания, там же находятся данные о всех предыдущих испытаниях. Из БД информацию берут КБ и СИИ. Данные о текущих измерениях также напрямую поступают в СИИ. Решения искусственного интеллекта поступают в КУПЭ и в КБ.

На рис. 2 представлена декомпозиция блока КУПЭ. Сигналы от тензодатчиков ОИ поступают на ИИКТ, который формирует данные для КУН, БД и СИИ. Сигналы от датчиков перемещения поступают на МАСИП, который также формирует данные для КУН, БД и СИИ. Сигналы от ДС (датчиков силы) имеют непосредственную ОС с КУН.



- КУН (комплекс управления нагружением);
- ИИКТ (информационно-измерительный комплекс тензометрии);
- МАСИП (многоканальная автоматическая система измерения перемещения);
- ОИ (объект испытания);
- СВН (система видео наблюдения).

Рис. 2. Декомпозиция блока КУПЭ

На рис. 3 представлена декомпозиция блока КУН. В этом блоке находится основное программно-аппаратное обеспечение для управления испытанием. Для защиты процесса испытаний от человеческого фактора (ошибок конструктора и ошибок операторов стенда), а также от технических сбоев, применяется многоуровневая защита на программном и аппаратном уровнях.

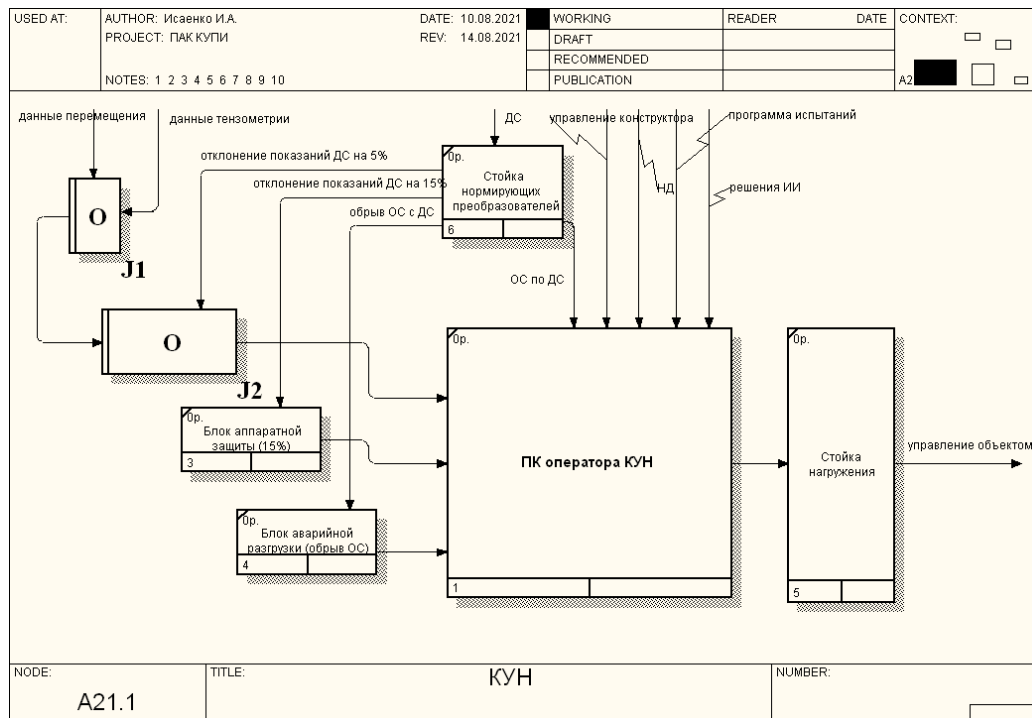


Рис. 3. Декомпозиция блока КУН

Так при отклонении показаний ДС от заданных более 5% срабатывает программная защита (блок J2) – остановка нагружения на текущем уровне. Та же защита срабатывает при отклонении показаний тензометрии и перемещений от их интерполированных значений. При отклонении показаний ДС на 15 % срабатывает аппаратная защита – управляемая разгрузка всех каналов нагружения. При обрыве обратной связи с ДС срабатывает аварийная защита – неуправляемая разгрузка всех каналов. Также на ПК оператора КУН заходит удаленное управление конструктора и решения ИИ.

В блоке СИИ (рис. 4) происходит экстраполяция данных тензометрии и перемещения, полученные данные сравниваются с расчетными, учитываются данные из БД о предыдущих испытаниях, мониторится рабочее состояние всех тензодатчиков и датчиков перемещения. Из всех данных по заданным алгоритмам в режиме реального времени формируются решения

ИИ, некоторые в виде советов или предупреждений оператору КУН, некоторые непосредственно останавливающие процесс испытания.

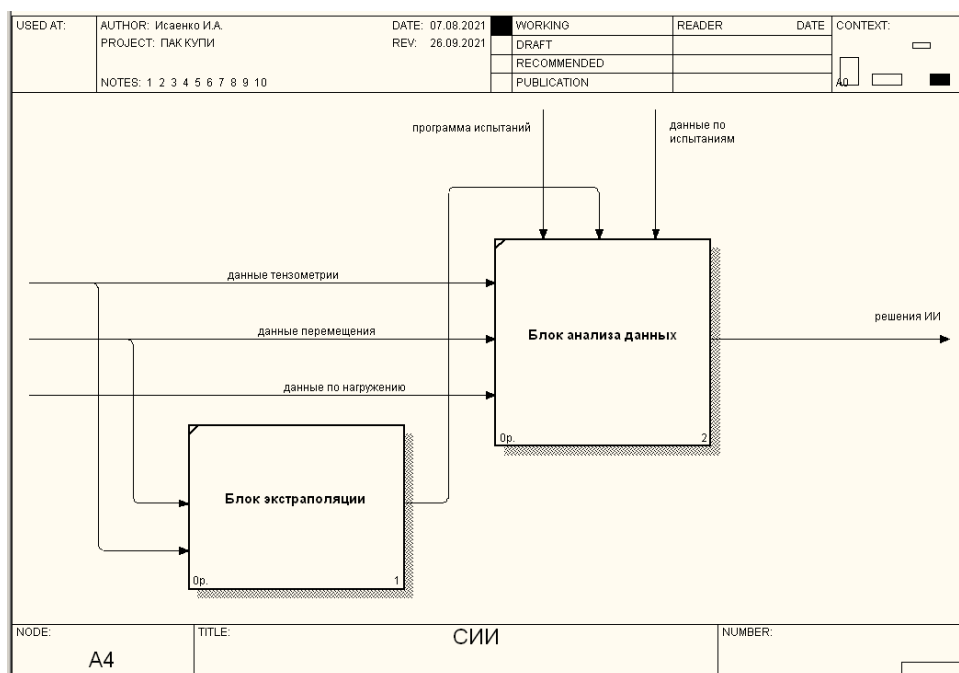


Рис. 4. Декомпозиция блока СИИ

В программе статических испытаний (рис. 5) хорошо видно, какое место может занять система искусственного интеллекта в процессе натурных испытаний. Все трудоемкие операции экстраполяции данных и анализа можно проводить в реальном времени, не прерывая испытания.

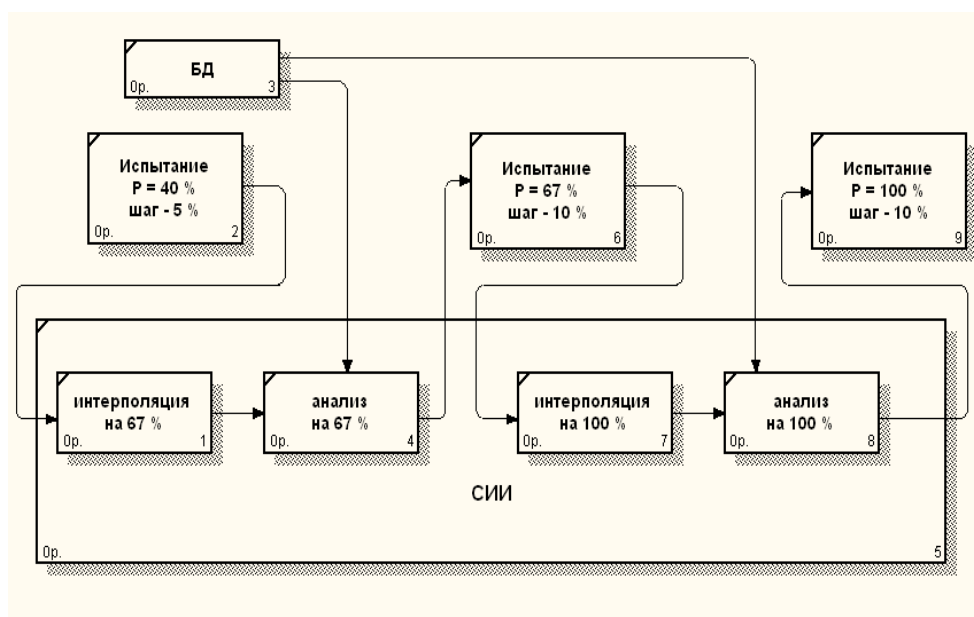


Рис. 5. Программа статических испытаний

2. Система измерения перемещений

Анализируя методы и средства измерения перемещений, в основном рассматривают первичные преобразователи – датчики перемещений (ДП) [3, с. 62, 63, 68, 73]. Они бывают различных типов: резистивные, емкостные, индукционные, ультразвуковые, лазерные интерферометры, лазерные дальнометры и т.д. Именно исходя из параметров применяемых ДП строится система измерения перемещений [8]. Учитывая специфику испытаний самолетных конструкций, выбор ДП резко сужается. В этом случае необходимо задаться следующими исходными данными:

- диапазон измерения (от 1 до 1000 мм);
- требуемая точность измерения (0,1 – 1 мм);
- многоканальность (10 – 200 каналов);
- технологическая возможность применения того или иного средства измерения (СИ);
- легкость и простота монтажа и обслуживания ДП;
- необходимость автоматизации и цифровизации измерений.

Под многоканальностью понимается использование большого количества датчиков в одной системе координат, обрабатываемых одной системой измерения для облегчения их обработки программным обеспечением и построения общей картины испытания. Под технологической возможностью понимается возможность установки ДП вблизи объекта, контакта с его поверхностью, физическая и электрическая совместимость этого датчика с другим испытательным оборудованием. При этом автоматизация подразумевает процесс измерения, записи и обработки результатов в автоматическом режиме

Проведенный анализ показал, что в рамках данной отрасли исследования целесообразно сразу исключить:

- ультразвуковые ДП ввиду сложности построения многоканальной системы;
- лазерные интерферометры, ввиду излишне высокой точности, а следовательно, и высокой стоимости.

Также отмечено, что емкостные и индукционные ДП не удобны в плане технологической возможности их применения. Таким образом, для рассматриваемой задачи целесообразно применять резистивные или потенциометрические датчики и лазерные дальнометры. Точность этих ДП примерно сопоставима, но цена последних в несколько раз выше. В табл. 1 представлены достоинства и недостатки этих типов датчиков.

Таблица 1

Достоинства и недостатки двух типов датчиков

Тип ДП	Достоинства	Недостатки
Резистивные ДП	простота конструкции; легкость монтажа; ремонтпригодность; низкая цена;	низкая износоустойчивость; высокий порог чувствительности;
Лазерные ДП	высокая точность; высокая надежность;	высокая цена; сложность монтажа в многоканальной системе;

Учитывая все вышеизложенное, предлагается создать систему на резистивных ДП, используя, например датчики, разработанные и созданные в лаборатории прочностных испытаний ТАНТК им.Г.М.Бериева, г. Таганрога. В этих датчиках используются проволочные потенциометры ПТП2. Потенциометры встроены в корпуса со штыревым креплением, благодаря которому они легко фиксируются в различных положениях на стойке крепления ДП. На ось потенциометра крепится шкив для намотки стальной омедненной проволоки (струны) диаметром 0,15 мм. Диаметр шкива зависит от требуемого диапазона измерений и варьируется от 16 до 150 мм, что соответствует диапазону измерения от 40 до 400 мм. Использование легкой и прочной струны, а также тонкого шкива из легкого металла позволяет получить хорошие инерционные характеристики измерения перемещений.

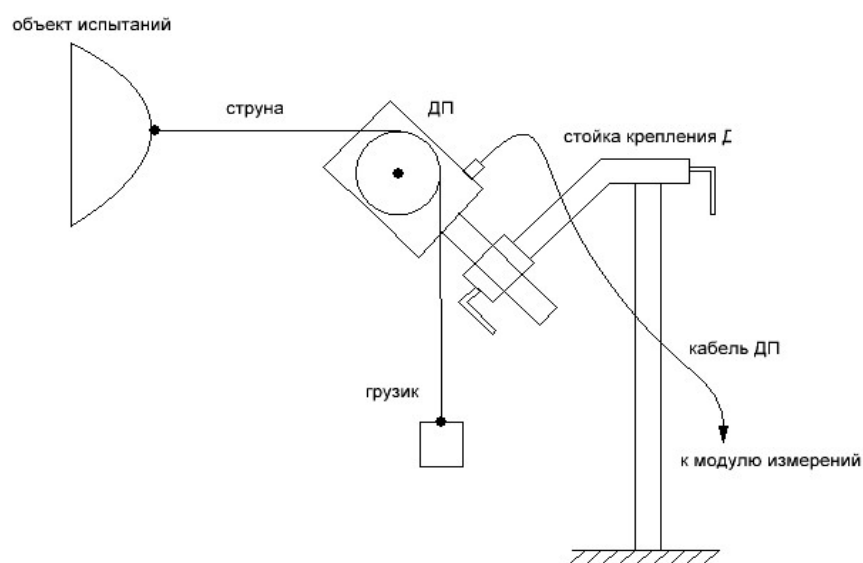


Рис. 6. Схема монтажа ДП

Схема монтажа датчика на объекте испытания показана рис. 6. Струна крепится к объекту посредством монтажной колодки, приклеенной цианакрилатным клеем, далее делается один виток струны вокруг шкива и затем к ней подвешивается небольшой грузик. Система крепления ДП позволяет жестко закреплять его под любыми углами и на любых расстояниях от объекта испытаний.

В качестве аппаратуры обработки сигналов с ДП предлагается использовать продукцию НПП «МЕРА»: MR-227UP - модули для измерения относительного сопротивления [4] и MIC-236 - универсальный многоканальный магистрально-модульный измерительный комплекс [5]. На рис. 7 показана структурная схема системы измерения перемещения.

Программное обеспечение также поставляется НПП «МЕРА»: программы Recorder и WinPos. Программа Recorder позволяет в реальном масштабе времени записывать и выводить на экран большой объем информации в удобном виде (графики, гистограммы, таблицы), а также настраивать программные события по предельным значениям текущих измерений [6]. Программа WinPos позволяет проводить постобработку и анализ результатов измерений [7].

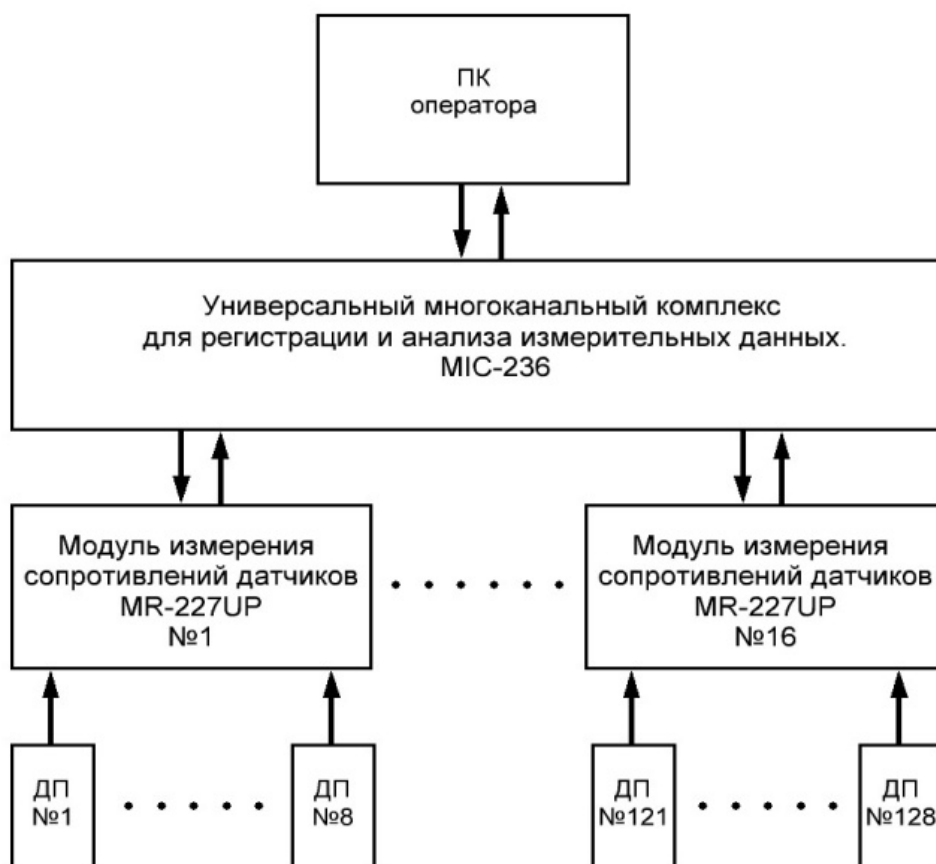


Рис. 7. Структурная схема МАСИП

Выводы

Применение интеллектуальной распределенно-управляющей системы для поддержки и принятия решений в ходе прочностных экспериментов позволит уйти от методики большого количества этапов испытания с постепенным повышением процентной нагрузки и последующим долгим анализом к методике одного испытания, что значительно сократит время и средства при проведении программы натурных испытаний. Также это уменьшит влияние человеческого фактора и позволит избежать преждевременного разрушения объекта испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Селихов А.Ф.* (глав. ред.) Руководство для конструкторов по проектированию самолетов / том 3, книга 4, выпуск 14 – «Методика и техника испытаний на усталость планера самолета и его частей. Издательский отдел ЦАГИ: 1994.
2. *Маклаков С.В.* BPwin и Erwin. CASE – средства разработки информационных систем / – Москва: Изд-во Диалог-МИФИ, 2001.
3. *Дивин А.Г.* Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие. В 5 ч. / А.Г. Дивин, С.В. Пономарев. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 27 с.
4. MR-227UP Модуль для измерения относительного сопротивления // НПП МЭРА – Информационный портал URL: <http://nppmera.ru/mr-227up> (дата обращения: 12.04.2022).
5. MIC-236 Универсальный многоканальный магистрально-модульный измерительный комплекс сопротивления // НПП МЭРА – Информационный портал URL: <http://nppmera.ru/mic-236> (дата обращения: 12.04.2022).
6. Recorder // НПП МЭРА – Информационный портал URL: <http://www.nppmera.ru/recorder> (дата обращения: 15.04.2022).
7. WinПОС// НПП МЭРА – Информационный портал URL: <http://www.nppmera.ru/winpos> (дата обращения: 15.04.2022).
8. *Косенко Е.Ю., Прибыльский А.В., Шадрин В.В., Щербак Д.Ю.* Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2021): Сборник трудов. Ростов-на-Дону – Таганрог, Издательство Южного федерального университета, 2021. 282 с.

Исаенко Илья Александрович, магистр, 1 курс, учебная группа РТмо1-61 Института радиотехнических систем и управления Южного федерального универ-

ситета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 261-1, кв.17, 347930, телефон: +7 (908) 506-56-76, email: iisaenko@sfedu.ru.

Isaenko Ilya Alexandrovich, master, 1st year student, study group RTmo1-61 of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Chekhov street, 265-1, kv.17, Taganrog, Rostov region, Russia, 347930, phone: +7 (908) 506-56-76, email: iisaenko@sfedu.ru.

УДК 621.398

Сердюков Павел Сергеевич, Румянцев Константин Евгеньевич

**МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЕ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО
ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ**

В данной работе рассмотрены основные способы определения координат цилиндрических объектов для контроля геометрических параметров установки топливных сборок на атомной электростанции. Целью данной работы является анализ существующих методов определения геометрических параметров объектов. Для достижения цели необходимо решение следующей задачи – сравнить существующие методы определения геометрического положения объектов с регулярной структурой и выявить их достоинства и недостатки. Анализ методов показал, что наибольшей эффективностью обладают бесконтактные методы, основанные на обработке изображений сцены, сформированных видеокамерами на основе мозаичных фотоприёмников.

Телевизионная камера, техническая обработка изображения, объекты с регулярной структурой, трехмерная сцена.

Serdyukov Pavel Sergeevich, Rumyantsev Konstantin Evgenyevich

**METHODS OF OBTAINING INFORMATION ABOUT THE
THREE-DIMENSIONAL SCENE TO SOLVE PROBLEMS OF
DETERMINING THE SPATIAL POSITION OF OBJECTS WITH A
REGULAR STRUCTURE**

This paper considers the main methods of determining the coordinates of cylindrical objects to control the geometric parameters of the installation of fuel assemblies at a nuclear power plant. The purpose of this work is to analyze the existing methods for determining the geometric parameters of objects. To achieve the goal it is necessary to solve the following problem - to compare the existing methods for determining the geometric position of objects with regular structure and to identify their advantages and disadvantages. Analysis of the methods has shown that the most effective are non-contact methods based on the processing of images of the scene formed by cameras based on mosaic photodetectors.

TV camera, technical image processing, objects with a regular structure, three-dimensional scene.

Введение

Ядерная энергетика принадлежит к базовым отраслям, которые определяют темпы развития промышленности и социальной сферы. Одним из приоритетных направлений в атомной энергетике является создание высоконадёжных комплексов для управления технологическими процессами.

Существуют алгоритмы бесконтактного контроля разновысотности цилиндрических объектов, расположенных группами на большой площади (сцене). Исследуемые объекты расположены в строгом геометрическом порядке, и визуально могут рассматриваться как «ячейки» из семи тепловыделяющих сборок (далее – ТВС), причём центры тяжести верхних поверхностей шести ТВС находятся в вершинах, а центр поверхности седьмого ТВС – в геометрическом центре правильного шестиугольника. Исследуемые объекты располагаются в водной среде. Осветительное устройство закреплено на видеокамере, непосредственно освещая обследуемый фрагмент сцены.

В настоящее время известны контактный и бесконтактный методы, позволяющие измерять разновысотность наблюдаемых объектов. Использование контактного метода в атомной энергетике нецелесообразно из-за отсутствия доступа и возможности облучения.

Таким образом, бесконтактный метод измерения является единственным возможным для измерения разновысотности головок ТВС в активной зоне реактора энергоблока АЭС.

Проведенные патентные исследования позволяют выделить основные пять групп бесконтактных измерителей геометрических параметров наблюдаемых объектов.

Бесконтактные измерители, использующие акустические колебания. Здесь применяется импульсный акустический генератор, акустический приемник и вычислительное устройство, определяющее размеры объекта на основе зарегистрированного интервала времени между излучением звукового импульса и его приемом.

Бесконтактные измерители, ориентированные на применение лазерных излучателей. Очевидно, что измерительный комплекс, включающий помимо лазерного излучателя систему зеркал, фокусирующие устройства и блок обработки, требует высокой точности изготовления и настройки оп-

тической системы. Кроме того, при использовании лазерного излучения из-за наличия загрязняющих частиц или неровностей отражающих поверхностей могут возникнуть дифракционные эффекты, влияющие на точность измерения.

Измерительные системы, предполагающие использование телевизионных датчиков для получения сигнала изображения. Способы измерения геометрических размеров объектов с помощью телевизионных устройств основаны, как правило, на измерении длительности временного интервала между перепадами видеосигнала, соответствующего развертке изображения краев объекта в направлении измерения, т. е. к измерению длительности видеоимпульса, эквивалентного контролируемому размеру. Измерение диаметра поперечного сечения по длительности импульса видеосигнала вытекает из самой сущности телевизионной передачи изображений. Для такого рода измерений оказывается достаточно однострочной системы развертки изображения. Однако геометрические искажения изображения в оптоэлектронных преобразователях, а также из-за нелинейности развертки приводят к значительному несоответствию временного интервала видеосигнала размеру объекта.

Бесконтактные измерительные системы на основе многооконных элементов. Измерение параметров поперечного сечения объекта осуществляется методом прямого счета импульсов от элементов, установленных вдоль линии пути объекта измерения в момент поступления сигнала от крайнего элемента, фиксирующего появление в его поле зрения передней кромки объекта. Для повышения точности необходимо большое число элементов, что усложняет прибор и уменьшает его надежность.

Измерительные системы с использованием инфракрасных (ИК) датчиков. Эти системы, в отличие от предыдущих двух групп не требуют внешней подсветки, так как информационный признак для их работы лежит в изменении инфракрасной картины (распределения температур) зоны наблюдения. При высокой собственной температуре измеряемого объекта он оказывается контрастным по отношению к окружающему фону. Поэтому границы объекта могут быть выделены из видеосигнала известными методами. Однако недостатком данных систем можно считать высокий уровень сопутствующих тепловых шумов, присущий всем ИК-системам.

Широкому распространению бесконтактных телевизионных методов измерения препятствует возможная низкая освещенность, которая не позволяет получать контрастные телевизионные изображения объектов. В

связи с этим для более точного определения границ объекта приходится «подсвечивать» объект. Такой способ требует дополнительных энергетических затрат и приводит к значительным погрешностям при уменьшении освещенности подсветки из-за загрязнения или неисправности осветителя.

На практике различают два основных типа преобразователей – мгновенного действия и с накоплением. По физике действия они делятся на оптико-механические, электровакуумные и твердотельные.

Оптико-механические (все мгновенного действия) могут быть с бегущим лучом или с «бегущей апертурой» по оптическому изображению. Электровакуумные преобразователи бывают как мгновенного действия, так и с накоплением. Сейчас это основной тип телевизионных преобразователей (анализаторов). Твердотельные преобразователи представляются наиболее перспективными, особенно для цифровых систем.

Характеристики фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) во многом определяют качество изображения.

Таким образом, измерительные системы на основе телевизионных датчиков (видеокамер) являются наиболее целесообразными для измерения разновысотности упорядоченной последовательности цилиндрических объектов.

Приоритетным направлением в области бесконтактного определения и измерения геометрических параметров объектов сложной конфигурации является создание телеметрических систем контроля, позволяющих получать изображение измеряемых объектов при помощи видеокамер и производить их анализ методами цифровой обработки сигналов. Новые высокоскоростные ЭВМ позволяют реализовать сложнейшие алгоритмы статистической и математической обработки данных. Это направление реализовано в системах компьютерного (машинного) зрения и отражено в научных трудах Сойфера В.А. [1], Прэтт Э. [2], Павлидиса Т. [3], Хуанга Т. [4], Ярославского Л.П. [5-7], Балабаева С.Л., Зиброва В.А., Румянцева К.Е. [10-15].

Основная часть

Анализ существующих решений для бесконтактных измерений геометрических размеров сложных объектов.

Известно несколько способов бесконтактного измерения геометрических размеров объектов.

Первый способ - способ бесконтактного измерения линейных размеров трехмерных объектов. Заключается в многократном формировании на поверхности контролируемого объекта зондирующей структурированной

подсветки путем освещения поверхности контролируемого объекта пучком оптического излучения и последовательной регистрации изображений искаженной рельефом поверхности контролируемого объекта структуры зондирующей подсветки. Для каждой точки контролируемого объекта определяют зависимость интенсивности зарегистрированного излучения от номера изображения.

Недостатком этого способа является высокая погрешность, обусловленная тем, что при направлении на поверхность контролируемого объекта, модулированного по одной координате транспарантом с неизменной периодической структурой оптического излучения, нельзя предусмотреть либо заранее учесть искажения картины, вызванные различными отражательными свойствами поверхности и глубокими впадинами, которые не возможно идентифицировать без априорной информации о макроструктуре поверхности контролируемого объекта.

Следующий способ - способ бесконтактных измерений геометрических параметров объекта в пространстве и устройство для его осуществления. Изобретение относится к способу бесконтактных измерений геометрических параметров объекта в пространстве. При реализации способа на поверхности объекта выделяют одну и более обособленную зону, для которой можно заранее составить несколько разных упрощенных математических параметрических моделей на основании заранее известных геометрических закономерностей исследуемого объекта, характеризующих форму, положение, движение, деформацию. Наносят маркеры на поверхность объекта, группируя по обособленным зонам в обособленные группы. Далее регистрируют изображения центральной проекции указанных маркеров. И на их основании с учетом заранее известных геометрических закономерностей исследуемого объекта и с использованием методов многомерной минимизации расхождений определяют искомые геометрические параметры объекта. Технический результат - повышение точности и достоверности измерений геометрических параметров объекта при использовании одной камеры, особенно в условиях стесненного окружающего пространства и ограниченного оптического доступа.

Общим недостатком способов и устройств стереосъемки и устройств с применением структурированного освещения, является необходимость применения двух и более устройств регистрации центральной проекции или проекторов структурированного освещения в нескольких позициях

(точках пространства), что не может быть достижимо в ядерном реакторе в связи с его конструкцией.

Третий способ контроля линейных размеров трехмерных объектов по трем декартовым координатам [15]. Способ заключается в том, что на объект проецируют систему разноцветных полос, создаваемую путем пространственной модуляции вдоль одной координаты интенсивности зондирующего оптического излучения. Система разноцветных полос носит периодический характер и создает структурированную подсветку. В результате в одном кадре регистрируют целиком всю попадающую в поле зрения фотоприемного устройства часть поверхности контролируемого объекта и наложенное на поверхность искаженное изображение структурированной подсветки. О контролируемых размерах судят по степени искажений изображения множества полос и местоположению полос в декартовой системе координат.

Недостатком этого способа является низкая точность, связанная с невозможностью однозначно интерпретировать разрывы в изображении полос, искаженных либо рельефом поверхности контролируемого объекта, либо низким значением спектрального коэффициента отражения, зависящего от материала и цвета какого-либо участка поверхности контролируемого объекта.

Четвертый способ контроля линейных размеров трехмерных объектов по трем декартовым координатам [16]. Способ заключается в многократном формировании на поверхности контролируемого объекта зондирующей структурированной подсветки, каждый раз с управлением пространственной модуляцией интенсивности пучка оптического излучения по одной координате так, что на поверхности контролируемого объекта создается изображение структурированной подсветки в виде аperiodической совокупности полос, регистрации изображений искаженной рельефом поверхности контролируемого объекта структуры зондирующей подсветки, которую производят путем накопления суммарного изображения, определении положения искажений структуры подсветки в зарегистрированных изображениях по расстоянию вдоль полосы и номеру полосы, формируемому логическим суммированием двоичных чисел, кодирующих положение полос в каждой из реализации аperiodической совокупности полос так, что единица соответствует наличию полосы, а ноль - отсутствию полосы.

Недостатком четвертого способа является низкая точность определения линейных размеров, ограниченная точностью определения координат формируемой полосы на регистраторе изображения. Низкая точность определения координат полосы обусловлена сложностью детектирования полосы на участках объекта, имеющих различные отражательные свойства. Кроме того, поперечный размер полосы на регистраторе, влияющий на точность определения координат, зависит от угла между нормалью к поверхности и осью излучения структурированной подсветки.

Пятый известный способ определения линейных размеров трехмерных объектов по трем декартовым координатам заключается в том, что для каждой точки измеряемого объекта определяют зависимость интенсивности зарегистрированного излучения от номера изображения, используют полученные калибровкой калибровочной поверхности зависимости интенсивности зарегистрированного излучения от номера изображения для точек калибровочной поверхности при ее различных расстояниях до поверхности, определенной как базовая, и для определения высоты рельефа поверхности измеряемого объекта определяют расстояние от базовой поверхности до точки калибровочной поверхности, в которой зависимость интенсивности освещения от номера изображения в наибольшей степени подобна зависимости в исследуемой точке измеряемого объекта [17].

Недостатком этого способа является сложность практической реализации процедуры калибровки системы. Точность измерения напрямую зависит от точности калибровки измерителя, а для проведения калибровки системы, работающей известным способом, необходимо обеспечить высокоточный контроль перемещений плоской калибровочной поверхности. Погрешность измерения данным способом будет напрямую зависеть от погрешности перемещения плоской поверхности и отклонения геометрии этой плоской поверхности от идеальной плоскости. При измерении этим способом крупногабаритных объектов себестоимость калибровочной плоскости и инфраструктуры для ее перемещения будет превышать стоимость всей остальной измерительной базы системы, реализующей данный способ измерения. Итог: сложность практической реализации и низкая точность измерения.

Бесконтактный метод измерения разновысотности на основе видикона.

Эксплуатируемая телевизионная система на видиконе обеспечивает стандарт разложения изображения по ГОСТ 7845-92 (CCIR 625 строк 50 Гц).

Разрешающая способность системы по горизонтали в центре превышает 500 тел. линий при температуре окружающей среды $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$. При изменении температуры окружающей среды от нормальной до крайних значение диапазона рабочей температуры разрешающая способность системы по горизонтали в центре превышает 400 тел. линий.

Телевизионная система предусматривает использование всего одной видеокамеры. Для формирования стереоизображения в системе предусмотрено последовательное расположение видеокамеры в конкретных точках пространства. Изображения объекта с видеокамеры в двух соседних положениях, полученные в разное время, принимаются за стереопару. На основании этой стереопары формируется пространство объектов для определения их разновысотности. Реализация этого метода предполагает точную установку (перемещение видеокамеры) в заданной точке пространства. Однако на практике это практически недостижимо.

Применение видикона в атомной энергетике обусловлено стойкостью его характеристик к радиации. В то же время на сегодняшний день созданы видеокамеры на ПЗС-матрицах, устойчивых к радиационному излучению. Применение же видеокамер на ПЗС-матрицах не оценивалось в описанной ранее системе. В то же время известно, что мозаичная (дискретная) структура ПЗС-матриц обеспечивает более точное измерение координат объектов.

Для устранения вышеуказанных недостатков возможно решение задачи бесконтактного (фотограмметрического) способа определения координат точек объекта и снижения стоимости выполнения работ за счет использования видеокамер упрощенной конструкции, не имеющих координатных меток, и исключения работ по их заданию, а также обеспечения возможности проведения измерений, доизмерений или переизмерений без «привязки» к какой-либо плоской системе координат измерительного прибора или снимка.

Поставленная задача решается тем, что предлагается способ определения координат точек объекта, который включает фотографирование объекта с нескольких разных позиций одной видеокамерой, в том числе и не

имеющей координатных меток, опознавание точек изображения объекта на снимках, измерение расстояний между опознанными точками снимков и вычисление пространственных координат определяемых точек объекта.

Исследуемый объект фотографируют одной видеокамерой на ПЗС-матрице, устойчивой к радиации, из двух определенных точек пространства. На полученных снимках опознают точки изображения объекта. Далее, используя данные о размерах атомного реактора ВВЭР-1000 и параметры видеокамеры, вычисляют пространственные координаты точек объекта в системе координат объекта и элементы внешнего ориентирования снимков. Необходимые для решения задачи приближенные значения неизвестных определяют заранее, с помощью известных в фотограмметрии приемов.

Выводы

В работе рассмотрены существующие методы определения геометрических параметров объектов на основе различных физических принципов, приведены их преимущества и недостатки. Анализ методов показал, что наибольшей эффективностью обладают бесконтактные методы, основанные на обработке изображений сцены, сформированных видеокамерами на основе мозаичных фотоприёмников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. Сойфера В.А. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784с.
2. *Прэтт Э.* Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. Под ред. Д.С. Лебедева. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312с.
3. *Павлидис Т.* Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 398с.
4. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: преобразования и медианные фильтры / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.; Под ред. Т.С. Хуанга; Пер. с англ. Под ред. Л.П. Ярославского. – М.: Радио и связь, 1984. – 220с.
5. *Ярославский Л.П., Мерзляков Н.С.* Методы цифровой голографии. М.: Наука, 1977
6. *Ярославский Л.П.* Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: введение в цифровую оптику. – 220 с.
7. *Балабаев С.Л., Зибров В.А., Румянцев К.Е.* Бесконтактное измерение геометрических размеров изделий прокатно-металлургического производ-

- ства. Монография/ Под ред. К.Е. Румянцева. Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2004. – 154с.
8. Энергетика России: проблемы и перспективы. Труды научной сессии РАН: Общ. собрание РАН 19-21 декабря 2005. М.: Наука, 2006.
 9. *Макеев В.В., Поваров В.П., Коробкин В.В., Лебедев О.В.* Система бесконтактного определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок в активной зоне реактора // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – № 16. – С. 37 – 41.
 10. *Каляев И.А., Румянцев К.Е., Макеев В.В., Балабаев С.Л., Коробкин В.В., Коровин Я.С., Кухаренко А.П., Радецкий В.Г.* Бесконтактный метод определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок атомного реактора на основе реконструкции трёхмерных изображений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 3 (80). – С. 126 – 131.
 11. *Балабаев С.Л., Радецкий В.Г., Румянцев К.Е.* Телеметрический метод контроля разновысотности цилиндрических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – Т. 80, № 3. – С. 94-110.
 12. *Коробкин В.В., Коровин Я.С., Хисамутдинов М.В., Румянцев К.Е., Балабаев С.Л., Макеев В.В.* Система бесконтактного определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок реактора / Патент на полезную модель РФ № 103963. 2011 Дата регистрации 22.12.2010.
 13. *Балабаев С.Л., Корнилова Т.А., Лозовская Е.Г., Румянцев К.Е.* Стереоскопическая система контроля разновысотности головок тепловыделяющих сборок атомного реактора // Проблемы управления и моделирования в сложных системах (ПУМСС-2014). Труды XVI Международной конференции (30 июня – 3 июля 2014 г, Самара, Россия) - Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. - 756 с. - С. 673 – 677.
 14. *Балабаев С.Л., Лозовская Е.Г., Румянцев К.Е.* Оценка методической погрешности измерения разновысотности расположенных в строгом геометрическом порядке объектов на основе цифровой телевизионной системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 8 (157). С. 227 – 241.
 15. Патент PCT WO 00/70303, PCT/US99/70303, G01B 11/24, 23.11.2000
 16. Патент РФ №2185598, G01B 11/24, 2003 г.
 17. Патент РФ №2334195, G01B 11/24, 2008 г.

Сердюков Павел Сергеевич, аспирант Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета.

Румянцев Константин Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347928, телефон: +7(8634) 37-19-02, email: rke2004@mail.ru.

Serdyukov Pavel Sergeevich, graduate student at the Institute of Radio Engineering Systems and Control Southern Federal University.

Rumyantsev Konstantin Evgenyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security of Telecommunication Systems, Institute of Computer Technology and Information Security Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 2 Chekhova street, phone: +7(8634) 37-19-02, email: rke2004@mail.ru.

УДК 515.2+655.1

Астанкова Юлия Сергеевна, Гривцов Владимир Владиславович

**ДИЗАЙН СБОРНИКА СТИХОВ В. МАЯКОВСКОГО
«ИЗБРАННАЯ ЛИРИКА»**

Данная работа посвящена разработке дизайна сборника стихов В. Маяковского «Избранная лирика». Целью работы является создание оригинал макета экземпляра книги, иллюстрирование и верстка книги, формирование цельного визуального облика. Во введении раскрывается идея книги. В аналитическом обзоре проводится анализ некоторых аналогов иллюстрированных изданий произведений, изданных в разное время. С помощью современных технологий созданы иллюстрации для разных стихов книге, разработан ее оригинал-макет.

Дизайн книги, иллюстрирование, обложка, шрифт, модульная сетка, верстка книги.

Yulia Sergeevna Astankova, Vladimir Vladislavovich Grivtsov

**DESIGN OF A COLLECTION OF POEMS BY V. MAYAKOVSKY
"FAVORITE LYRICS"**

This work is devoted to the development of the design of the collection of poems by V. Mayakovsky "Favorite Lyrics." The purpose of the work is to create an original layout of a copy of the book, illustration and layout of the book, formation of a solid visual appearance. The introduction reveals the idea behind the book. The analytical review analyzes some analogues of illustrated editions of works published at different times. With the help of modern technologies, illustrations for different verses of the book were created; its original layout was developed.

Book design, illustration, cover, font, modular grid, book layout.

Введение.

Как известно, лирика передает переживания человека, его мысли и чувства, вызванные различными явлениями жизни. Лирика Маяковского — это внутренний мир поэта, его собственное я, его переживания. Лирика в творчестве Маяковского включила в себя любовь и одиночество, бунт и нежность. Маяковский не боится нового, поэтому постоянно ищет какие-

то неизвестные поэтические решения, которые бы соответствовали его состоянию, и показывали дух эпохи великих перемен [1].

Цель работы – создание оригинального образа сборника, разработка дизайна и оригинал макета, создание иллюстраций.

Объект исследования – иллюстрирование сборника стихов, как способ эмоциональной подачи информации об особенностях творчества поэта.

Предмет исследования – иллюстрирование сборника стихов В. Маяковского как способ познания идейного своеобразия литературного наследия поэта.

Основная часть

Основная задача проекта – реализовать дизайн-проектирование оригинал-макета сборника стихов В. Маяковского «Избранная лирика», со следующими этапами работы: обзор и анализ исторически зарекомендовавших себя аналогов; выбор формата книги; определение объема издания; разработка авторского иллюстративного материала; подбор шрифтов. Творческий поиск и практическая реализация проекта должны базироваться на широком применении компьютерных графических технологий [2; 3].

Сравнительный анализ.

Для разработки своего оригинального стиля дизайна сборника стихов В. В. Маяковского «Избранная лирика», необходимо провести сравнительный анализ уже существующих аналогичных изданий. Выявить все достоинства и недостатки. Проанализировав оформление сборников стихов других дизайнеров, выявив, все достоинства и недостатки, проведен выбор со стилевым направлением сборника и его содержанием. Книга стихов должна привлекать внимание не только молодежи, но и людей старшего возраста и быть им интересна.

Поскольку основу книги составляет графический материал, то при разработке макетов, в качестве основного критерия для сравнения следует выделить художественное оформление, в первую очередь, – иллюстрации [4].

Нужно подобрать качественные материалы, уделить большое внимание иллюстративному материалу, содержанию и наполнению и, конечно же, верстке.

Перед разработкой макета сборника были проанализированы несколько ранее изданных книг в стиле конструктивизма, поскольку конструктивизм тесно связан с творчеством В. Маяковского.

Название книги: «Маленький принц» (рис. 1), автор дизайн - макета Наталья Авдосеева, направление: конструктивизм. Год издания: 2012.



Рис. 1. Обложка и разворот книги «Маленький принц»

Книга выполнена в направлении конструктивизма. За основу взяты простые формы круг, квадрат, прямоугольник. Цветовая гамма соответствует стилю. Автор использует необычный формат и верстку текста. Выбранная стилистика не совсем соответствует содержанию произведения.

Название сборника: «Для голоса» (рис. 2), автор дизайн - макета: Эль Лисицкий, направление: конструктивизм. Год издания: 1923.



Рис. 2. Сборник «Для голоса» В.В. Маяковского

Это одна из знаменитых книг русского конструктивизма и одна из самых популярных книг классического авангарда. Это однозначно работа большого мастера: средствами набора и верстки решена не только

практическая задача оформления данной книги, но и представлены новые типографические возможности влияния на читателя. [5].

Обоснование художественного замысла

Основной концепцией оформления предложенного сборника стихов было создание предмета отвечающего современным требованиям, как в дизайне, так и в иллюстрировании, создание нового представления о книге стихов в классическом, печатном ее проявлении.

Для книги стихов В. Маяковского «Избранная лирика» был выбран твердый переплет. Он используется для изданий высокого качества и художественного уровня. Этот вид переплета является основой долговечности книги.

Работа над обложкой начиналась с эскизов. Были разработаны различные варианты обложек. Итоговый вариант представлен на рис. 3. На обложке книги размещена часть фотографии В. Маяковского, дополненная векторной графикой. Шрифтовое начертание является значимой частью композиции обложки, которая дополнена линиями и треугольниками. В обложке использованы всего три цвета, которые являются доминирующими в цветовом решении всего сборника. Предполагается, что обложка будет твердой матовой, а часть фотографии и один из элементов композиции (синий треугольник в правом верхнем углу обложки) – глянцевыми.

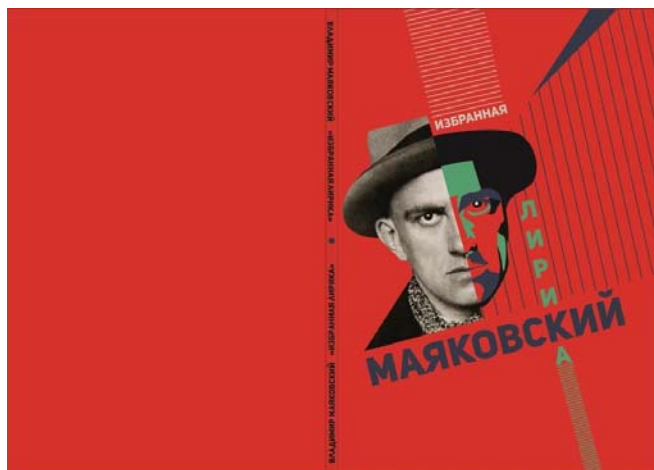


Рис. 3. Развёртка обложки сборника стихов «Избранная лирика»

В графических видах творчества конструктивизм характеризовался применением фотомонтажа, предельной геометризацией, подчинением композиции прямоугольным ритмам.

Было решено совмещать в иллюстрациях фотографию и векторную графику. Нами были использованы как старинные, так и современные фо-

тографии. Фотографирование, обработка проводились в таких графических редакторах, как Adobe Photoshop, Corel Draw, Microsoft Office 2012.

Иллюстрации выполнены в едином стиле: они представлены в трехцветной гамме, основные цвета которой – синий, красный и зеленый. Нами активно использованы и оттенки данных цветов.

В основе композиции лежит прямоугольная динамика. В центре композиции находится реалистичный предмет. Далее образ дорабатывается линиями, прямоугольниками и треугольниками. Все смотрится динамично. Образ получается, как бы оживает на наших глазах.

Иллюстрации сначала создавались на бумаге. Сначала нами осмысливалось содержание стихотворения, а потом фиксировались образы. Далее все переносилось в цифровой мир - сканировалось, дополнялось и дорисовывалось. На рис. 4 приведены этапы подготовки иллюстрации к стихотворению «Прозаседавшиеся»: эскиз, первый и окончательный варианты замысла.



Рис. 4. Подготовка иллюстрации к стихотворению «Прозаседавшиеся»

Допечатная подготовка оригинал-макета книги

При создании верстки сборника стихов пройдены следующие этапы подготовки макета: макетирование, подготовка текста, подготовка иллюстраций, выбор шрифтов, верстка, печать оригинал-макета.

В свою очередь макетирование включает: выбор формата, поля, элементы дизайна, модульную сетку.

Формат книги имеет большое значение, оказывает влияние на ее удобочитаемость, портативность и восприятие произведения.

Был выбран не стандартный для сборника стихов размер – 190х277 мм. Такой формат подчеркивает размах творческой личности В. Маяковского, его уникальность как поэта и художника. Такой формат будет способствовать комфортному чтению и детальному рассмотрению иллюстраций.

Модульная сетка разрабатывалась для шмуцтитула, вступительной части статьи, самой статьи и для стихотворений (рис. 5.) [6; 7].



Рис. 5. Модульная сетка для вступительной части статьи и для расположения стихотворений и их даты

Для книжного блока выбрана мелованная бумага 120 г/м². Офсетная печать. При подготовке макетного экземпляра книги все графические файлы были переведены в цветовую модель CMYK, которая соответствует требованиям офсетной печати.

Объем печатного текста большой, иллюстрации располагаются на правой половине разворота страницы. Иллюстрации напрямую связаны с текстом стихотворений.

Текст сборника был отредактирован в программе Microsoft Word.

В дальнейшем верстка осуществлялась при помощи программы Adobe InDesign.

Шрифт и верстка

Текст стихотворений располагается с левой стороны сборника. Отступ от края страницы составляет 34 мм. Название стихов к краю страницы расположено ближе и составляет 17 мм. Так же располагаются и даты стихотворений. Отбивка до начала стихотворения от названия составляет 8 мм. Интерлиньяж всей сетки – 17 пт. Размер шрифта основного блока сетки составляет 14 пт. Название стихотворений 16 пт (рис. 6.) [8].

Нумерация страниц располагается в верхних углах под обрез. Данное решение вызвано эргономическими соображениями: легкостью поиска нужного стихотворения в сборнике.



Рис. 6. Разворот страницы с иллюстрацией стихотворения
«Хорошие отношения к лошадям»

В оформлении книги используется только два вида шрифтов. Шрифт Palatino Linotype — для оформления основного текстового блока. Uni Sans Heavy Caps — используется для названия заголовков, нумерации страниц, эпиграфа (рис. 7).

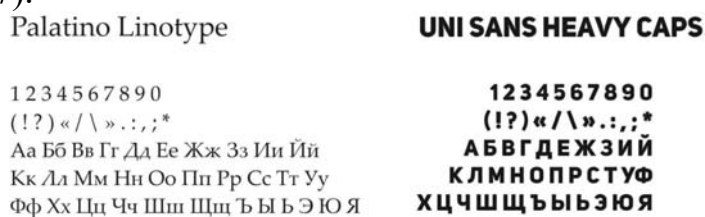


Рис. 7. Шрифтовая гарнитура

Подготовка и верстка текста осуществлялись в программе *Adobe InDesign*. Там же были созданы текстовые стили для основного текста, заголовка, автоматической нумерации страниц, была выделена буквица.

Выводы

В приведенной работе были представлены этапы разработки дизайна сборника стихов В. Маяковского «Избранная лирика», а также был создан оригинал-макет экземпляра книги сверстаный, проиллюстрированный и полностью подготовленный к печати. Проект отличается оригинальностью

исполнения – как концептуального, так и художественного. В результате проделанной работы получилась достаточно оригинальная книга, которая отражает присутствующий в ней характер и содержание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лирика Маяковского основные темы и мотивы [Электронный ресурс]. – URL: <https://latosca.ru/lirika-mayakovskogo-osnovnyye-temy-i-motivy/> (дата обращения: 15.05.2022).
2. Сологубова С.В., Гривцов В.В. Дизайн книги Стивена Кинга «11/22/63» В сборнике: Культурные институции и медиации художественной жизни: творчество художника в социальных координатах. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Отв. редактор Д.В. Сергеев. 2020. С. 78-86.
3. Аббасов И.Б., Гривцов В.В., Маренчева Т.М. Фирменный стиль студии дизайна «Home Planner» В сборнике: Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2020). Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2020. С. 240-245.
4. Пикок Дж. Издательское дело. Книга от замысла до упаковки. – М.: ЭКОМ, 2002. – 401 с.
5. Лисицкий Э. Конструктор книги. – М.: Фортуна ЭЛ, 2006. – 110 с.
6. Элам К. Графический дизайн. Принцип сетки. – Санкт-Петербург: Питер, 2014. – 120 с.
7. Лантев В. Модульная сетка. Проектирование. – М.: Аватар, 2009. – 208 с.
8. Феличи Д. Типографика: шрифт, верстка, дизайн. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. – 496 с.

Астанкова Юлия Сергеевна, студентка, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Института радиотехнических систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(8634)37-17-94, email: ikg@sfedu.ru.

Гривцов Владимир Владиславович, кандидат технических наук, доцент Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347928, телефон: +7(8634)37-17-94, email: gvv@sfedu.ru.

Astankova Yulia Sergeevna, student, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Institute of Radio Engineering Systems, Southern Federal University,

Russia, Taganrog, Chekhov Street 22, 347928, phone: +7 (8634) 37-17-94, email: ikg@sfedu.ru.

Grivtsov Vladimir Vladislavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 22 Chekhov Street, phone: +7(8634)37-17-94, email: gvv@sfedu.ru.

УДК 658.512.2

Калашникова Татьяна Григорьевна, Орехов Вячеслав Валентинович,
Медведев Артем Владиславович

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-ПРОЕКТА МОДУЛЬНОГО ОФИСА ДЛЯ БАНКА

Цель проекта заключается в создании мобильного офиса для банка в формате модульных конструкций для малых населённых пунктов (МНП). В задачи входила разработка архитектурно-планировочного решения, схемы отопления, освещения, кондиционирования модулей, а также создание 3D-модели интерьера и экстерьера офиса на 3 рабочих места. В процессе работы создана универсальная концепция модулей, которая позволяет транспортировать их по дорогам общего пользования без специального разрешения, проект соответствует действующим СНиПам для офисных зданий, имеет клиентоориентированный дизайн, учитывает маломобильные группы населения.

Проектная деятельность, промышленный дизайн, модульное строительство, клиентоориентированность, архитектурно-планировочное решение, 3D-моделирование, рендеринг.

Tatyana Kalashnikova, Vyacheslav Orehov, Artyom Medvedev

DESIGN OF A PORTABLE MODULAR BANK OFFICE

The goal of the project is to create a mobile office for the bank in the format of modular structures for small settlements. The tasks included the development of an architectural and planning solution, a scheme for heating, lighting, air conditioning modules, as well as the creation of a 3D model of the interior and exterior of an office for 3 workplaces. In the course of work, a universal architecture of modules was created, which allows them to be transported on public roads without special permission,

complies with the current SNiPs for office buildings, has a client-oriented design, and takes into account people with limited mobility.

Project activities, industrial design, 3D modeling, modular construction, customer orientation, architectural and planning solution, rendering.

Введение

Во многих малых населённых пунктах (далее – МНП) существует проблема с наличием зданий, пригодных для размещения офисов различных социально ориентированных служб и учреждений в том числе банков, поэтому компаниям приходится открывать офисы в частных жилых домах, где необходимо производить капитальный ремонт и перепланировку, или строить свои здания. Риски закрытия в связи с малым потоком клиентов и сопутствующие им убытки ещё больше отталкивают компании развивать свою инфраструктуру за пределами городов или крупных райцентров. Концепция мобильного офиса существенно снижает убытки при закрытии, что в совокупности с оперативным развертыванием, монтажом и транспортировкой по дорогам общего пользования без специального разрешения существенно увеличивает привлекательность работы в МНП для различных компаний. Появление банков в малых населённых пунктах будет означать увеличение товарооборота благодаря установке терминалов и использованию кредитных карт, что даст импульс к развитию предпринимательства, также для населения станут более доступными вклады и кредиты, а в поселении начнёт развиваться инфраструктура.

Основная часть

Поиск аналогов. На первом этапе проектной деятельности осуществлялись поиск, систематизация и анализ существующих решений в области модульного строительства [1]. Для удобства организации командной работы в онлайн-формате рассматриваемые аналоги и их описание размещались на доске «Miro».

Большинство из них базировались на базе морских контейнеров и не имели должной теплоизоляции, что являлось серьёзным недостатком. Непосредственные примеры аналогов модульных офисов банков не были найдены в сети интернет, но в рассмотренные варианты дали интересные дизайнерские идеи, референсы, а также позволили определить ключевые недостатки и устранить их в процессе разработки проекта [2–4].

Исследование, гипотезы и формирование концепции. Следующим этапом стало изучение нормативно-правовой документации [5, 6], совре-

менных технологий и материалов модульных зданий, а также оценка возможностей реализации проекта в России путём анализа предложений на рынке. В соответствие с полученной информацией были сформулирован ряд гипотез и проверены по алгоритму HADI-циклов. Таким образом, выяснили, что при определённой функциональной планировке модуль может иметь ширину 2.43 м, которая является стандартной для морских контейнеров, но при этом стены будут включать слой 100 мм утеплителя. В качестве последнего был предложен пенополиуретан, но в ходе проверки гипотезы остановились на каменной вате фирмы «Rockwool», помимо этого проверка показала высокую эффективность применения съёмных металлокассет для фасада вместо стандартной тяжелой и довольно хрупкой плитки.

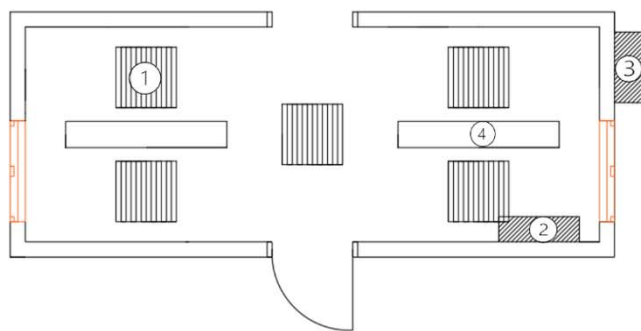
Следующим этапом было формирование собственной концепции. Изначально рассматривались 3 варианта: 6-метровые стационарные модули, 12-метровые стационарные модули и 6-метровые расширяющиеся модули. В итоге от последних двух пришлось отказаться, 12-метровые были очень громоздкие, масса содержимого в них распределялась с существенным перекосом, что вызывало проблемы с установкой. Расширяющаяся версия получалась либо довольно хрупкой, либо требовала постоянного техобслуживания, либо транспортировалась без содержимого внутри, что вызывало проблемы с таким оборудованием, как постомат и кондиционер.

«Красота в простоте» – такими словами можно описать единственный оставшийся вариант, планировка которого представлена ниже (рис.1) (по соображениям безопасности планировка служебного модуля скрыта).



Рис. 1. Архитектурно-планировочное решение для офиса на 3 рабочих места

Архитектура модулей идентична и выполнена по каркасной технологии. Предварительно подготовленная площадка, размещенная в оживленном районе населенного пункта, заранее обеспечивается всеми необходимыми коммуникативными артериями. Установка предполагает размещение служебного модуля в конце площадки, перед ним устанавливается лицевой — клиентский. Для добавления промежуточных модулей необходимо перемещение лицевого модуля вперёд с помощью крана, далее установка дополнительного объекта и соединение их в одну электросеть. Разработаны схема коммуникаций, схема эвакуации, разрезы и узлы основных конструкций модуля и их описания (рис. 2, 3). Все чертежи выполнялись в учебной версии программы AutoCAD.

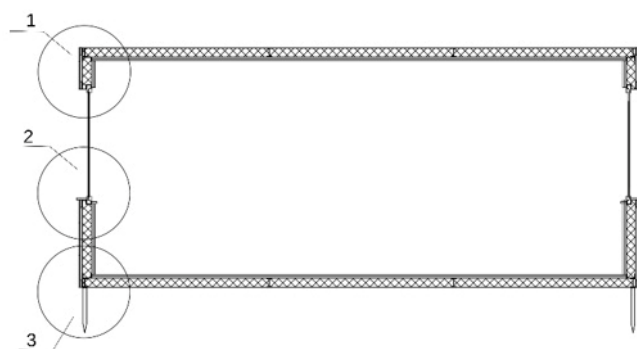


а) 1 – лампа потолочная 40×40 см, 2 – кондиционер (внутренний блок), 3 – кондиционер (наружный блок), 4 – инфракрасный обогреватель потолочный

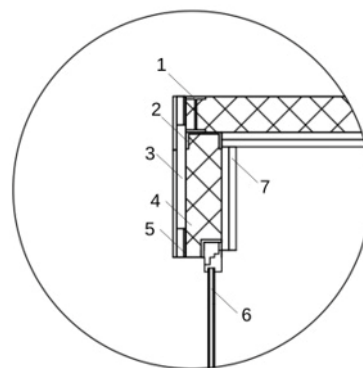


б) схема эвакуации

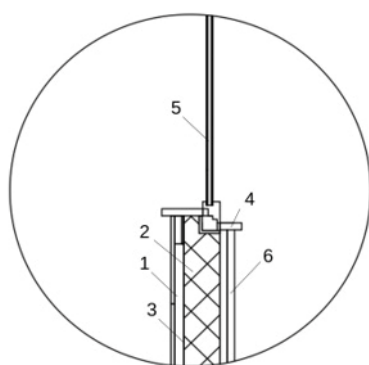
Рис. 2. Схема отопления, освещения и кондиционирования и схема эвакуации



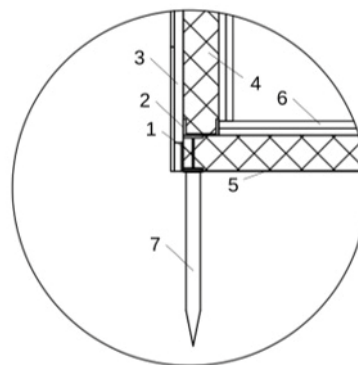
1 – узел 1, 2 – узел 2, 3 – узел 3



Узел 1: 1 – двутавр №10, 2 – швеллер №10, 3 – вент. фасад, 4 – утеплитель из каменной ваты 100 мм, 5 – оцинкованный лист 0,5 мм, 6 – окно, 7 – 2 слоя гипсокартона



Узел 2: 1 – вент. фасад, 2 – утеплитель из каменной ваты 100 мм, 3 – оцинкованный лист 0,5 мм, 4 – подоконник, 5 – окно, 7 – 2 слоя гипсокартона.



Узел 3: 1 – двутавр №10, 2 – швеллер № 10, 3 – вент. фасад, 4 – утеплитель из каменной ваты, 5 – оцинкованный лист 0,5 мм, 6 – плитка 40х40 см, 7 – винтовые сваи.

Рис. 3. Узлы основных конструкций модуля

Благодаря двойному слою утеплителя и 2 инфракрасным обогревателям в каждом модуле, данный офис может эксплуатироваться круглогодично при зимних температурах до -25 градусов Цельсия, а каркасная структура даёт возможность улучшения параметров безопасности и теплосбережения.

После разработки всех необходимых чертежей студенты приступили к созданию 3D-моделей экстерьера и интерьера [7–10] с использованием программ Rhino 7, Twinmotion и Blender (рис 4).



Рабочее место лицевого клиентского модуля



Экстерьер. Вход.



Инфокiosk и постомат



Планировка клиентских модулей



Экстерьер. Банкомат



Экстерьер. Парковка

Рис. 4. 3D-модели экстерьера и интерьера

В качестве референсов экстерьера рассматривались углеродно-нейтральные здания с живой растительностью, а также банковские офисы различного формата. Планирование интерьера максимально детализировалось с учётом тех объектов профессиональной деятельности, которые должны располагаться в банковском офисе. Цветовые фактурные и текстурные решения были определены заказчиком, также стояла задача адаптации требований бренда под конкретные габариты и геометрию помещений разрабатываемого модуля. Решения по экстерьеру имели свои ограничения, продиктованные необходимостью транспортировки, монтажа и будущей эксплуатации объекта в условиях сельской местности. Внешний вид, как основной элемент, привлекающий внимание посетителей также, во многом подчиняется требованиям бренда. Кроме того, цветовое решение фасада здания должно соответствовать тематике будущего учреждения.

Выводы

В процессе работы над проектом была разработана оптимальная концепция мобильного модульного офиса банка, отвечающая всем современным требованиям и нормам и имеющая возможность транспортировки по дорогам без специального разрешения, клиентоориентированный дизайн и возможность модификации под конкретные условия эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дизайн-проекты: от идеи до воплощения/ И.Б. Аббасов, В.И. Барвенко, В.Ю. Волощенко, В.В. Гривцов, С.А. Дорошенко, Т.Н. Земляная, Т.Г. Калашникова, С.С. Корецкая, Н.В. Красновская, В.Г. Ли, В.В. Орехов. Под ред. Аббасова И.Б. – М.: изд-во: ДМК-Пресс, 2021. – 358 с.
2. Промышленный дизайн в разработке и продвижении технологических продуктов// <https://edunano.ru/courses/idesign/> (дата обращения 28.05.2022)
3. Проектирование зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения/ Под ред. Маиляна Д.Р. – Рн/Д: Феникс, 2017. – 109 с.
4. *Крундышев Б.Л.* Архитектурное проектирование жилых зданий, адаптированных к специфическим потребностям маломобильной группы населения/ Б.Л. Крундышев. – СПб.: Лань, 2012. – 208 с.
5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
6. СП 118.13330.2012*. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06- 2009.

7. Кузина Е.А. Дизайн интерьера общественного пространства магазинов. – М.: Юрайт, 2020. – 122 с.
8. Митина Н. Дизайн интерьера/ Н. Митина. – М.: Альпина Пабли., 2013. – 302 с.
9. Рунге В.Ф. Архитектурно-дизайнерское проектирование интерьера (проблемы и тенденции)/ В.Ф. Рунге. – М.: Архитектура-С, 2011. – 256 с.
10. Шимко В.Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование интерьера: Учебник / В.Т. Шимко. – М.: Архитектура-С, 2011. – 256 с.

Калашникова Татьяна Григорьевна, к.т.н., доцент кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, корп. «Б», 347900, телефон: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: kalashnikovatg@sfedu.ru

Орехов Вячеслав Валентинович, ст. преподаватель кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, корп. «Б», 347900, телефон: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: orechovvv@sfedu.ru

Медведев Артём Владиславович, студент 1 курса Института механики, математики и компьютерных наук им. И. И. Воровича Южного федерального университета, Россия, город Ростов-на-Дону, улица Милячакова 8А, 344049, телефон: +7 (903) 402-91-63, e-mail: amedvedev@sfedu.ru.

Tatiana Kalashnikova, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of engineering graphics and computer design, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 22 Chekhov street, 22, building «B», 347900, phone: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: kalashnikovatg@sfedu.ru

Vyacheslav Orekhov, Lecturer, Department of engineering graphics and computer design, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 22 Chekhov street, 22, building «B», 347900, phone: +7 (8634) 37-17-94, e-mail: orechovvv@sfedu.ru

Artem Medvedev, 1st year student of I. I. Vorovich Institute of Mechanics, Mathematics and Computer Sciences of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, 8A Milchakova Street, 344049, phone: +7 (903) 402-91-63, e-mail: amedvedev@sfedu.ru.

УДК 004.921

Кулагина Ксения Александровна, Орехов Вячеслав Валентинович,
Аббасов Ифтихар Балакишиевич

ГРАФИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА «БИОКОР-ТРЕНЕР»

Данная работа посвящена разработке графического сопровождения медицинского прибора для физиологического тренинга. В работе проводится анализ существующих аналогов, представлены основные этапы разработки с подробным описанием. В рамках проекта был разработан фирменный знак для прибора, его размещение на корпусе устройства, графические образы для проведения тренингов.

Медицинские приборы, обратная биологическая связь, графическое сопровождение, логотип, фирменный знак, графические образы.

Kulagina Ksenia, Orekhov Vyacheslav V., Abbasov Iftikhar B.

GRAPHIC SUPPORT OF THE MEDICAL COMPLEX "BIOKOR TRAINER"

This work is devoted to the development of graphic support for a medical device for physiological training. The paper analyzes existing analogues, presents the main stages of development with a detailed description. As part of the project, a brand name for the device was developed, its placement on the device case, graphic images for training.

Medical devices, biofeedback, graphic support, logo, trademark, graphic images.

Введение

Одной из отраслей медицины, результат которой напрямую зависит от представления материала, является психология. Взрослые, в силу своего жизненного опыта, могут, так или иначе, решить многие проблемы восприятия информации. Но есть категория пользователей, которым очень важно, как визуально представлено то или иное их действие. Это, безусловно, дети: как объяснить маленькому пациенту, что именно хочет строгий врач?

Сегодня активно развивается такое направление современной медицины, как тренинги с использованием биологической обратной связи (БОС). БОС-тренинг заключается в непрерывном мониторинге в режиме

реального времени определенных физиологических показателей, сознательном управлении ими с помощью мультимедийных, игровых и других приемов. Другими словами, БОС-интерфейс представляет для человека своего рода «физиологическое зеркало», в котором отражаются его внутренние процессы [1].

В настоящее время в России расширяется сфера применения метода биологической обратной связи. Метод внедрен во многие клиники, и используется в рамках реабилитационного комплекса, успешно применяется для коррекции синдрома дефицита внимания, а также для развития произвольности высших психических функций. Происходит постепенное внедрение метода в образовательную систему. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что тема графической поддержки детских БОС-тренингов очень актуальна на сегодняшнем этапе развития БОС-терапии [2].

Цель данной работы является создание нового, современного, интересного и запоминающегося комплекса графической поддержки детских БОС-тренингов. Новизна данной разработки заключается не только в использовании современных инструментов дизайна, но и в создании интуитивно понятных образов для маленьких пользователей, а также в использовании единого стиля для всех мультимедийных составляющих.

Анализ существующего визуального ряда.

В настоящее время существует довольно много производителей данного вида продукции. Поэтому перед началом разработки собственного знака для прибора, с помощью которого осуществляется БОС-тренинг, необходимо проанализировать уже имеющиеся знаки конкурентов. Это необходимо для того, чтобы разработанный знак выделялся и запоминался на фоне аналогов. Большинство аналогов однотипные, состоят только из текстовой части, но для анализа были выбраны наиболее интересные.

Запоминающийся знак у компании SCHUNFRIED (Австрия). Это гармоничное сочетание двух противоположных видов шрифтов и стилизованной буквы I, которая так же играет роль графического элемента. Один из шрифтов выполнен в виде росписи, что может служить своего рода подтверждением качества и гарантии продукта (рис.1, слева).

Знак компании Нейрософт (Россия, г. Иванов) одна из немногих представителей российских компаний, занимающихся производством данного вида продукта. Знак представляет собой сочетание шрифта и графического элемента. Знак смотрится немного перегруженным из-за большого количества деталей (рис.1, в центре).

Знак, используемый компанией HEIDELBERG ENGINEERING (Германия) для обозначения своей продукции, состоит из двух частей, которые тесно взаимодействуют друг с другом. Знак начинается графическим элементом, который представляет собой красный квадрат, и заканчивается им же. Довольно необычный прием при создании логотипа компании, которая связана с медициной (рис.1, справа).



Рис.1. Графические знаки компаний: SCHUHFRIED, Нейрософт, HEIDELBERG ENGINEERING

Почти все рассмотренные знаки-аналоги имеют ряд свойств, которые повторяются, цветовое решение знаков в основном красно-синее, серо-синее, черно-синее. Но есть и другие решения, можно заметить, что в большинстве случаев присутствует синий или голубой цвет. Использование графического элемента усиливает запоминаемость и наглядность знака. Хорошим решением может быть так же удачная стилизация одной из букв в названии компании.

Все выявленные достоинства и недостатки знаков-аналогов будут учтены при разработке собственного решения, что позволит сделать его более подходящим для данной области производства.

Разработка графического знака.

Прежде чем приступить к разработке знака для прибора, необходимо определиться с его названием. Совместно с фирмой, для которой разрабатывается графическое сопровождение прибора, было решено использовать название «БИОКОР-тренер». Далее были составлены требования, которым должен соответствовать знак: логотип должен содержать в себе название прибора; графическая часть должна отражать деятельности фирмы; она должна быть простой и легко запоминающейся зрителю; логотип не должен быть перегружен графически и должен нести смысловую нагрузку; необходимо учитывать возможности печати; предпочтительные цвета – красный, синий, голубой, белый [3].

Поиск нужного логотипа, который бы отвечал всем поставленным задачам, был долгим. Первоначальным решением было использование шрифта как главного элемента в знаке, далее разрабатывался вариант знака

с использованием электроэнцефалографических сигналов и других характерных элементов для данного вида прибора. Следующим этапом был поиск абстрактных графических элементов для использования в знаке, в итоге было решено использовать в графической части знака стилизованный мозг человека (рис.2).



Рис. 2. Поиск образа для графического знака

После долгого поиска для стилизации мозга был использован образ грецкого ореха, который упрощался все больше и больше пока не стал удовлетворять предъявляемым требованиям, в итоге разработанный знак выглядит как на рис. 3.



Рис. 3. Утвержденный вариант знака

Разработка графических образов для тренингов.

Как было выяснено в аналитической части, современная графическая поддержка БОС-тренингов для детей дошкольного возраста (5-7 лет) представляет собой два больших раздела: мультимедийные образы и игровые приложения. Поэтому в процессе работы будет разработаны два игровых образа и два мультимедийных [4].

Разработка первого игрового образа началась с поиска концепции. Ребенку будет предложено научиться быть внимательным, управляя каким-либо летательным объектом. Детям интересно всё необычное, поэтому подходит образ космической летающей тарелки. Планеты будут выстроены

в том порядке, как они расположены с нашей Солнечной системе, что позволит ребенку выучить их названия и расположение.

Пользователю необходимо усилиями добиться, чтобы летающая тарелка пролетела через всю нашу галактику. Чем выше летит персонаж, тем быстрее его скорость. Разработанные образы планет представлены с атрибутами древнегреческих богов, что придает процессу тренинга дополнительную обучающую функцию (рис.4).

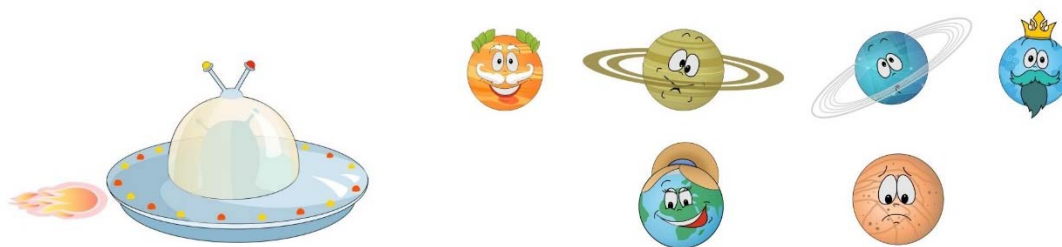


Рис.4. Разработка графических образов

Так же данный игровой образ содержит дополнительные элементы – метеориты, которые будут мешать ребенку проходить тренинг, сосредоточенные внизу экрана. В процессе тренинга пользователь будет постепенно перемещаться от начальной точки образа к конечной. Поэтому формат разработанного поля игры будет вытянут по горизонтали. Завершенный вариант данного образа представлен на рис. 5.



Рис.5. Завершенный вариант образа «Развитие внимания»

Второй игровой образ будет использоваться для тренинга «Снижение гиперактивности». Спокойный снежный пейзаж лучше всего подходит для такого тренинга, т.к. в нем не присутствуют яркие, раздражающие цвета, что позволяет пользователю сконцентрироваться на выполнении поставленной задачи. Главным персонажем был выбран мультипликационный

вертолет. Чтобы он не потерялся на фоне снежной равнины, было решено выделить его цветом. Этапы разработки персонажа представлены на рис. 6.

Чтобы ребенку было интересно и не скучно проходить тренинг, используются дополнительные персонажи, которые так же служат ключевыми точками. Разнообразить зимний пейзаж было решено такими дополнительными персонажами как пингвины, играющий морской котик и белые медведи. Завершенный вариант игрового образа «Снижение гиперактивности» представлен на рис. 6.



Рис.6. Завершенный образ для тренинга «Снижение гиперактивности»

Итак, созданные образы полностью соответствуют поставленным ранее требованиям: все образы выполнены в едином стиле и имеют гармоничное цветовое решение, главные герои хорошо выделяются на общем фоне, который не смотрится скучным и стимулирует пользователя двигаться дальше.

Размещение знака на приборе.

На основе разработанного логотипа было найдено решение размещения данного знака на самом устройстве. Исходя из анализа распространенных форм таких приборов, было предположено, что корпус может иметь три формы: форму прямоугольника с закругленными краями, форму вытянутого овала и форму призмы с закругленными краями. При разработке размещения знака на устройстве необходимо учитывать, что форма прибора может быть разнообразной. Но следуя тенденциям современной моды, большинство производителей придают своим приборам предпочтительно закругленные формы [5]. Современные устройства изготавливаются из пластика, это легко поддающийся воздействию материал. Поэтому для размещения на пластике фирменного знака был выбран метод гравировки (рис. 7).



Рис.7. 3D-модели распространенных форм прибора с размещенным знаком

Таким образом, графические образы для психофизиологического тренинга с помощью прибора «БИОКОР-трениер» получились современными, интересными, мультимедийными, а также интуитивно понятными маленьким пользователям.

Заключение.

В данной работе были разработаны составляющие графического сопровождения медицинского комплекса для физиологического тренинга. Был осуществлен обзор и анализ существующих аналогов, разработан фирменный знак для прибора, разработаны сопровождающие графические элементы. Результатом данной работы является интуитивно понятные каждому человеку графические образы для проведения детских тренингов, работать с прибором будет приятно и интересно как самим врачам, так и маленьким пациентам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гнездицкий В.В., Захаров С.М., Скоморохов А.А. «БОС-Терапия СДВГ (синдрома дефицита внимания и гиперактивности) у детей и взрослых»// Журнал Международной медицины, 2013. – № 2 (3) – Казань: С. 27-36.
2. Патернотт Ж. Разработка и создание логотипов и графических концепций. – Ростов н/Д.: «Мастер-класс», 2008. – 48 с.
3. Рунге В.Ф., Сеньковский В.В. Основы теории методологии дизайна. М.: МЗ-Пресс. 2003. – 253с.
4. Пименова Т.Е. Разработка иллюстраций для детской книги. - М.: «Эксмо», 2009. – 76 с.
5. Аббасов И.Б., Барвенко В.И., Волощенко В.Ю., Гривцов В.В., Дорошенко С.А., Земляная Т.Н., Калашиникова Т.Г., Корецкая С.С., Красновская Н.В., Ли В.Г., Орехов В.В. Дизайн-проекты: от идеи до воплощения. Под ред. Аббасова И.Б. – М.: ДМК Пресс, 2021. –358 с.

Кулагина Ксения Александровна, студентка, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Орехов Вячеслав Валентинович, старший преподаватель кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94, iftikhar_abbasov@mail.ru.

Kulagina A. Ksenia, student, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

Orekhov Vyacheslav V., senior Lecturer, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

Abbasov Iftikhar B., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

УДК 347.782, 658.512.2

Гринченко Галина Сергеевна, Волощенко Вадим Юрьевич

ГЛАЗ ХУДОЖНИКА КАК ОПТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ И ОТВЕТ НА ВОПРОС – ОТКУДА У ЗВЕЗДЫ ЛУЧИ

Наверное, сложно найти творческого человека незнакомого с фразой: «Я художник, я так вижу!». Кажется, этот аргумент существует столько же, сколько времени существуют сами художники. В докладе обоснована справедливость этого утверждения на примере сохранившихся до наших дней древнейших изображений звезд «с лучами», представленных на художественных ценностях Древнего Вавилона, рассмотрены как принцип работы человеческого глаза, так и причины его оптического несовершенства.

Оптическое несовершенство зрения, древнейшие изображения картины звездного неба, в частности, звезд «с лучами».

Grinchenko S. Galina, Voloshchenko Y. Vadim

THE ARTIST'S EYE AS AN OPTICAL INSTRUMENT AND THE ANSWER TO THE QUESTION - WHERE STAR RAYS ARE FROM

It is probably difficult to find a creative person who is unfamiliar with the phrase: "I am an artist, this is how I see it!". It seems that this argument has existed for as long as the artists themselves have existed. The report substantiates the validity of this statement on the example of the most ancient images of stars "with rays" that have survived to this day, presented on the Ancient Babylon's artistic values, both the principle of the human eye and the reasons for its optical imperfection are considered.

Optical imperfection of vision, ancient images of the starry sky, in particular, stars "with rays".

Введение

Глаз человека обладает способностью приспосабливаться к освещенностям, меняющимся в необычайно широких пределах - способен воспринимать световые потоки в интервале $10^{-17} - 10^{-5}$ Ватт. Процесс приспособления глаза к тому или иному уровню яркости света называется *адаптацией*. При повышении яркости происходит *световая*, при понижении - *темновая адаптация*. Так, при переходе от яркости $\sim 10^3$ кд/м² к темноте чувствительность глаза возрастает в течение часа примерно в 10 миллионов раз. Световая адаптация происходит много быстрее, при средних яркостях она продолжается 1- 3 минуты. Однако глазу присущи все аберрации обычных оптических систем: геометрические, хроматические, дифракционные, к чему это приводит обсуждается ниже.

Основная часть

И сейчас еще на сводах некоторых подземных усыпальниц фараонов и знати можно увидеть картину ночного неба. Множество зубчатых звезд разной конфигурации изображено неувядаемыми красками. Да, именно зубчатых звезд, каждая звезда нарисована в виде небольшого пятнышка, от которого в разные стороны отходят три, четыре и более остроконечных зубчика [1].



Рис. 1. Так в Древнем Вавилоне изображали звезду, Луну и Солнце [1]

Почему же издревле солнце изображалось таким, какое оно есть в действительности, — круглым, луна — либо круглой, либо серповидной, но в обоих случаях такой, какая она сияет на небе? Почему только у звезд древние астрономы и художники дорисовывали зубчики? Хотя мы хорошо знаем, что звезды — это круглые тела с мизерными угловыми размерами. Но в том-то и дело, это мы сегодня знаем, что звезды — круглые тела, а египтяне рисовали звезды такими, какими они их видели.

Нужно отдать должное наблюдательности и точности, с какой они передали восприятие человеческим глазом точечных ярких объектов. Обратимся к зарисовкам, сделанным спустя пять тысячелетий после египтян немецким естествоиспытателем Гельмгольцем при рассматривании точечных источников света [2].

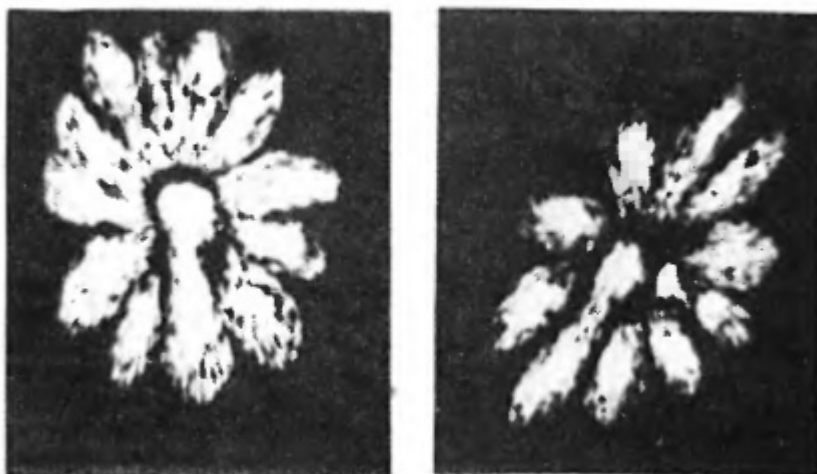


Рис. 2. Зарисовки, сделанные Гельмгольцем. Так левый и правый глаз воспринимают одну и ту же светящуюся точку [2]

Как схожи изображения звезд у древних египтян и воспринимаемые глазом образы светлых точек! Гельмгольц обращает внимание, что конфигурации изображения одной и той же светлой точки в его правом и левом глазу не идентичны.

Более того, в одном глазу при различных состояниях аккомодации, то есть при различных физических состояниях хрусталика, число зубчиков и их расположение меняются. Каждому желающему нетрудно убедиться в справедливости наблюдений Гельмгольца. Изображения светящихся точек лучше изучать, если они расположены на черном фоне. Это в равной мере касается и звезд, зубчатость которых четче воспринимается в безлунную и безоблачную ночь. Итак, совершенно очевидно, что человеческий глаз создает искаженную картину светящихся точек, и в том числе небесных звезд.

Остается ответить на вопрос: почему это так?

Несмотря на то, что орган зрения до сих пор хранит тайны, изучение которых потребует еще немало времени, уже сейчас ни у кого не вызывает сомнения, что оптическая система глаза далека от совершенства.

Во всяком случае, оптическая система современного фотоаппарата (если исключить аккомодационные качества) гораздо лучше оптической системы человеческого глаза. Еще Гельмгольц, изучив комплекс оптических недостатков глаза, заметил, что если бы он заказал мастеру изготовить глаз и мастер сумел бы сделать человеческий глаз, то он, Гельмгольц, не взял бы его как инструмент несовершенный и сделанный небрежно [2]. Можно назвать три основные причины оптических несовершенств глаза:

несферичность преломляющих поверхностей, их нецентричность и неравномерность плотности сред глаза. Первые две особенности ведут к тому, что когда мы рассматриваем светящиеся точки, на дне глаза образуется изображение не точки, а светлого эллипсоидного пятнышка, называемого фигурой светорассеяния. Что же касается третьей причины оптического несовершенства глаза — неравномерности плотности преломляющих сред, то наиболее четко она отмечается в хрусталике.



Рис. 3. Рисунок показывает дольчатость строения хрусталика глаза [3]

Анатомически хрусталик представляет собой плотное скопление клеток и характеризуется достаточностью структуры. На рисунке, взятом из руководства по глазным болезням, показаны дольки хрусталика. Места соединения долек называются швами, которые хорошо видны в каждом глазу при большом увеличении. Именно такое строение хрусталика и неравномерность плотности субстанции в области долек и на швах создают эффект достаточности фигур светорассеяния на глазном дне.

Вывод

Итак, глаз, глядя на светящуюся точку или звезду в темную безлунную ночь, видит не эллиптическое пятнышко с равномерным распределением яркости, а пятнышко, расчлененное на несколько радиально расположенных светлых полос, наподобие спиц в колесе. Такими видим звезды мы сейчас, так их видели древние египтяне, зарисовавшие с удивительной точностью картину звездного неба на сводах гробниц.

Анатомически правый и левый глаз человека имеют на первый взгляд мизерные, но в то же время явные отличия. Вот почему при рассматривании звезды правым и левым глазом мы видим неодинаковую зубчатую

картину. У разных лиц степень оптических несовершенств, в том числе перепады плотности хрусталиковой субстанции, выражены в различной мере. Поэтому один человек видит зубчатую картину звезд более четко, другой — менее четко.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Древние цивилизации: [Электронный ресурс] // Астрономия Древнего Вавилона. URL: <https://jaaj.club/>.
2. Гельмгольц Г. О зрении человека. Новейшие успехи теории зрения. 2019. — 114с.
3. Офтальмология : учебник / под ред. Е.И. Сидоренко. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2018. - 656 с. - Текст : электронный // Консультант студента : электронная библиотека медицинского вуза / Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа»; ООО «ИПУЗ». — Москва, 2010. — URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970446201.html> (дата обращения: 08.06.2020).

Гринченко Галина Сергеевна, студентка, кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Волощенко Вадим Юрьевич, доцент кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна, Инженерно-технологическая академия Южного федерального университета, Таганрог, Россия, тел.: +7 (8634) 37-17-94.

Grinchenko S. Galina, student, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

Vadim Y. Voloshchenko, docent, Department of Engineering Graphics and Computer Design, Engineering Technological Academy of the Southern Federal University, Taganrog, Russia, tel.: +7 (8634) 37-17-94.

Научное издание

**Компьютерные и информационные
технологии
в науке, инженерии и управлении
«КомТех-2022»**

В двух томах

Том 1

Отв. за выпуск Клевцов С. И.

Оригинал-макет подготовила Замай Н. А.