СБОРНИК ДОКЛАДОВ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ИНЖЕНЕРИИ И УПРАВЛЕНИИ

Материалы Всероссийской научно- технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2021»

Том 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИЭТ»
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
КОМПАНИЯ «ГЭНДАЛЬФ»

Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении

«КомТех-2021»

Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием

В двух томах

Том 1

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2021

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-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021.
ISBN 978-5-9275-3881-2
Т. 1. – 328 с.
ISBN 978-5-9275-3882-9 (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 978-5-9275-3882-9 (Т. 1)
ISBN 978-5-9275-3881-2

© Южный федеральный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Секция - **ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Ваганова Анастасия Алексеевна, Панычев Андрей Иванович, Кисель Наталья Николаевна
ИССЛЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ….. 9

Бондаренко Иван Владимирович, Пилипенко Александр Михайлович
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ 5G…….. 15

Марьев Александр Александрович, Перелыгин Кирилл Александрович
ЭФФЕКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КИХ-ФИЛЬТРОВ НА ЯЗЫКЕ PYTHON…… 24

Кезикова Екатерина Юрьевна, Севастьянов Никита Дмитриевич, Пилипенко Александр Михайлович
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ…… 30

Rashmi Kumaria Nitwane, Dr.Vaishali.D.Bhagile, Dr.Ratnadeep.R.Deshmukh
USE OF REGRESSION MODELS IN THE ANALYSIS OF CLIMATIC VARIABLES : A CASE STUDY OVER THE AURANGABAD REGION OF MARATHWADA…… 37

Непомнящий Артём Витальевич, Марьев Александр Александрович
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ…… 47

Бакшун Дмитрий Иванович
РАЗРАБОТКА SDR-ПРИЕМНИКА НА ПЛИС……. 52

Абакумов Дмитрий Михайлович
АТАКА НА КОРПОРАТИВНЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ С ЗАЩИТОЙ WPA2-Enterprise…….. 58

Гузик Вячеслав Филиппович, Пьявченко Алексей Олегович, Ильченко Артем Владимирович, Шестаков Александр Валентинович
ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИНТЕЗА СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АВТОМАТОВ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЧТОВОГО КОДА…….. 64
Акопджанян Жермена Жраировна, Заргарян Елена Валерьевна
ВАРИАНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ УСТАНОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВОЙ НИТИ……. 75
Ширманов Евгений Игоревич
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ…… 81
Назаренко Максим Витальевич
ТЕХНОЛОГИЯ HSDPA…… 88
Семенова Марина Максимовна, Семенов Виктор Алексеевич, Чупина Екатерина Николаевна
АУТЕНТИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ ФАЙЛОВ COOKIE И АУТЕНТИФИКАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ JSON WEB TOKEN (JWT)…. 93

Секция – **МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКА КВАНТОВЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ……. 99
Турулин Игорь Ильич, Аль-Карави Хуссейн Шукор
АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМЫ MATLAB ДЛЯ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЕМЫХ ЦИФРОВЫХ РЕКУРСИВНЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ…… 112
Приходченко Алексей Иванович
НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ СОГЛАСИЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ РАНГОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ…….. 118

Масаев Сергей Николаевич
АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОПИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИОБРЕТЕННЫМИ ПЕСРОНАЛОМ НАЦИОНАЛЬНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАМОК РФ КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ…….. 125
Буланов Сергей Георгиевич
КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕСТКИХ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ……. 131
Буренко Антон Александрович, Поленов Максим Юрьевич
КОНВЕРТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ…… 137
Аргишев Тимур Валерьевич, Беляков Ефим Святославович, Пиневич Елена Витальевна, Куликова Ольга Витальевна, Гаргацова Светлана Магомедовна
ЗВУКИ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ……. 141
Трофимец Анастасия Андреевна, Пьявченко Алексей Олегович
АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК НА ВИДЕОКАДРАХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕБ-СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ВИДЕОПОТОКА…… 149
Бова Виктория Викторовна, Лещанов Дмитрий Валерьевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПАТТЕРНОВ……. 157
Проскуряков Александр Викторович
СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО КУРСУ «МЕТРОЛОГИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ»…… 166
Дорофеев Александр Вадимович, Зинченко Людмила Анатольевна, Казаков Вадим Вячеславович
ГЕНЕРАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ ДЛЯ ТЕКСТОВ НАУЧНОЙ ТЕМАТИКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ FASTTEXT…… 174
Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Голоусов Святослав Владимирович
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАЛИБРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ…….. 179

Масаев Сергей Николаевич
АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОПИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КОМПЕТЕНЦИЯМИ ТРУДОУСТРОЕННЫХ ВЫПУСКНИКОВ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ…… 186
Масаев Сергей Николаевич
АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОПИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ПОЗНОВАТЕЛЬНЫМИ СПОСОБНОСТЯМИ ПЕРСОНАЛА (ТАКСОНОМИЯ Б. БЛУМА) КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ…… 192
Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Егорчев Антон Александрович, Созутов Илья Георгиевич
ИЕРАРХИЧЕСКИЙ V-ОБРАЗНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ ADAS…… 197
Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Егорчев Антон Александрович
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕРХУ–ВНИЗ И СНИЗУ–ВВЕРХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ADAS……. 204
Дмитриев Александр Георгиевич
ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ ПОЛИНОМОМ……. 210
Шепель Илья Олегович
АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ О ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ В КАРТУ ЗАНЯТОСТИ РТП……. 215
Гаврилова Надежда Александровна
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОТЕРЯМИ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЧНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ…… 221
Хлапонин Дмитрий Александрович
ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА…….. 228

Гужва Дмитрий Александрович, Север Константин Олегович, Морозов Андрей Алексеевич
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ С КОНЕЧНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ, ОБЛАДАЮЩИХ МАЛОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТЬЮ…… 235
Скворцов Сергей Владимирович, Фетисова Татьяна Анатольевна
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА……. 241
Гужва Дмитрий Александрович,Морозов Андрей Алексеевич, Север Константин Олегович
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ СПОСОБОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО И ГАУССОВСКОГО ШУМА В ИЗОБРАЖЕНИИ……. 247
Ковалев Владислав Владимирович
АЛГОРИТМ НЕЛИНЕЙНОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ…… 254
Богачев Иван Сергеевич, Даничев Алексей Александрович, Погребников Александр Константинович, Якунин Юрий Юрьевич
РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ДИСЦИПЛИН В СИСТЕМЕ ПОРЯДКОВЫХ ШКАЛ…… 260
Якушин Юрий Юрьевич
СИММЕТРИЧНЫЕ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫЕ НЕЙРОКРИПТОСИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ…… 266
Цветков Федор Алексеевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В УМНОЖИТЕЛЕ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ЯЗЫКЕ LABVIEW…….. 272
Бутырлагин Николай Владимирович, Югай Владислав Яковлевич, Чумаков Владислав Евгеньевич
ТОКОВЫЕ ПОРОГОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В НЕЙРОСЕТЯХ И ЗАДАЧАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА…….. 284

Пилипенко Ирина Александровна
ЦИФРОВЫЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ…… 291
Клевцов Сергей Иванович
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СГЛАЖИВАЮЩЕГО КУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА……. 298
Королихин Николай Николаевич, Полуянович Николай Константинович
НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУШНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА…… 302
Попов Вадим Евгеньевич
РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСМОТРА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ …… 309
Поленов Максим Юрьевич, Волошин Александр Валерьевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧНЫХ И ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ ОЦЕНКИ РАЗМЫТИЯ ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ……. 313
Pooja V. Janse, R. R. Deshmukh
DEVELOPING SPECTRAL LIBRARY OF MAJOR CROPS IN AURANGABAD REGION……. 321

Секция - **ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.396

Ваганова Анастасия Алексеевна, Панычев Андрей Иванович,
Кисель Наталья Николаевна

ИССЛЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ

В данной работе предложена конструкция реконфигурируемой микрополосковой антенны, перестраиваемой по частоте и поляризации. В конструкции антенны имеется 5 pin-диодов, в зависимости от состояния которых изменяется резонансная частота и поляризация излучения антенны. Моделирование предлагаемой антенны выполнено в программе FEKO. Анализ результатов моделирования показал, что для нижней части исследуемого частотного диапазона антенна имеет линейную поляризацию. При работе в более высоком поддиапазоне поляризация является круговой, причем ее направление вращения изменяется в зависимости от подключения диодов. Компактные размеры антенны и диапазон рабочих частот (2-7 ГГц) позволяют использовать ее в системах беспроводной связи, а возможность изменения поляризации на ортогональную обеспечивает эффективный приме сигнала в условиях отражений.

Микрополосковая антенна, диаграмма направленности, поляризация, реконфигурируемая антенна, CAD FEKO

Vaganova Anastasiay Alekseevna, Panychev Andrey Ivanovich,
Kisel Nataliay Nikolaevna

RESEARCH OF RADIATION POLARIZATION OF A RECONFIGURABLE MICROSTRIPS ANTENNA

This paper proposes a design of a reconfigurable microstrip antenna tunable in frequency and polarization. The antenna design includes 5 pin diodes, depending on the state of which the resonant frequency and polarization of the antenna change. The proposed antenna was simulated in CAD FEKO software. Analysis of the simulation results showed that for the lower part of the investigated frequency range the antenna has linear polarization. When operating in the higher sub-band the polarization is circular, and its direction of rotation changes depending on the connection of the diodes. Compact size of the antenna and the range of operating frequencies (2-7 GHz)

allow it to be used in wireless communication systems, and the ability to change the polarization to orthogonal provides effective signal reception in conditions of reflections.

Microstrip antenna, radiation pattern, polarization, reconfigurable antenna, CAD FEKO.

Введение

Реконфигурируемой антенной называется антенна, параметры которой могут изменяться для обеспечения наиболее эффективной работы в конкретной ситуации. В зависимости от условий предполагаемого функционирования антенны и требований, предъявляемых к ее характеристикам, в качестве изменяемых параметров могут выступать диапазон частот с наилучшим согласованием [1-4], форма диаграммы направленности, поляризация [5 - 8], а также различные комбинации этих параметров. Целью данной статьи является моделирование антенны для устройств беспроводной связи (2 — 7 ГГц), способной перестраиваться по частоте и поляризации.

Предлагаемая конструкция антенны

Конструкция антенны была создана на основе анализа рекомендаций, приведенных в [4], [8]. На рис. 1 показана конструкция антенны, полученная после оптимизации геометрических параметров излучающего элемента и линии питания (размеры обозначены в миллиметрах).

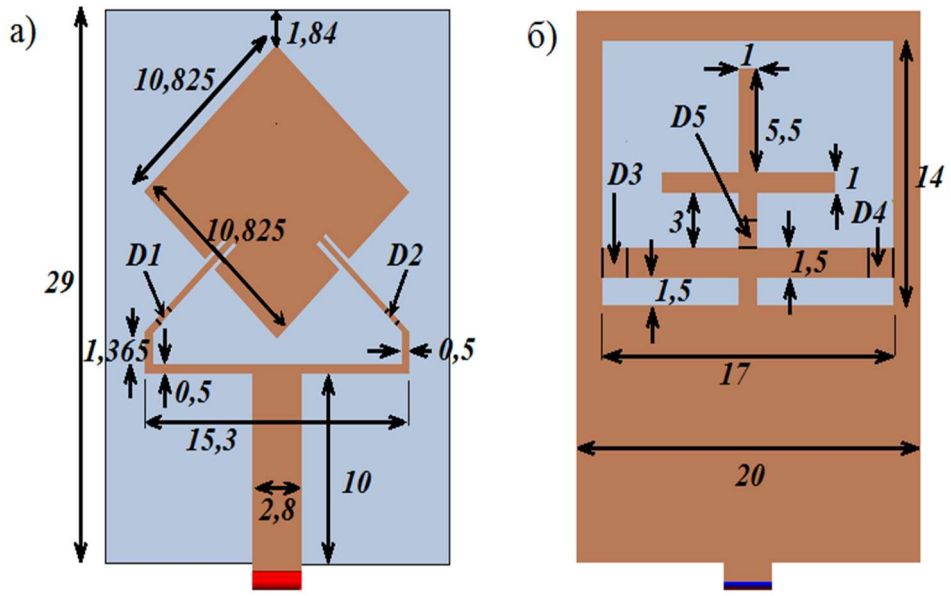


Рис. 1. Конструкция антенны:
а) излучающая сторона б) заземляющая плоскость

Антенна имеет размер 20x29x1,6 мм. Подложка выполнена из материала FR4 с параметрами $\varepsilon = 4{,}7$, $tg\delta = 0{,}018$. В качестве излучающего элемента (рис. 1,а) используется металлический ромб, сигнал к которому может поступать двумя путями, проходящими через pin-диоды D1 или D2. Изменение режима работы диодов нарушает симметрию излучающей части антенны, приводя к изменению ее поляризации. Геометрия заземляющей плоскости антенны (рис. 1,б) также может изменяться при переключении трех pin-диодов D3, D4 и D5, что приводит к скачкообразному изменению резонансной частоты.

Для упрощения моделирования pin-диоды заменяются наличием или отсутствием металлической перемычки (D1 — D5). Таким образом, наличие электрического контакта в рассматриваемом участке антенны соответствует открытому состоянию диода «+», а его отсутствие — закрытому «-». В таблице 1 перечислены различные состояния антенны, которые были проанализированы при моделировании.

Таблица 1

Режимы антенны и соответствующие варианты подключения диодов

режим	диоды	режим	диоды	режим	диоды
1	D1+D2+D3+D4+D5+	4	D1+D2-D3+D4+D5-	7	D1-D2+D3+D4+D5-
2	D1+D2+D3+D4+D5-	5	D1+D2-D3+D4+D5+	8	D1-D2+D3+D4+D5+
3	D1+D2+D3-D4-D5-	6	D1+D2-D3-D4-D5-	9	D1-D2+D3-D4-D5-

Анализ характеристик антенны

Модель антенны была создана в CAD FEKO. С использованием возможностей данной программы были рассчитаны характеристики антенны и построены диаграммы направленности в различных режимах ее работы.

На рис. 2 показана зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) по напряжению для различных режимов от частоты. Видно, что в зависимости от подключения тех или иных диодов резонансная частота антенны меняется в пределах от 2 до 7 ГГц. При этом для всех режимов удалось достичь минимальных значений КСВ, но ширина полосы частот, в которой получено КСВ < 3, существенно различается для разных режимов работы.

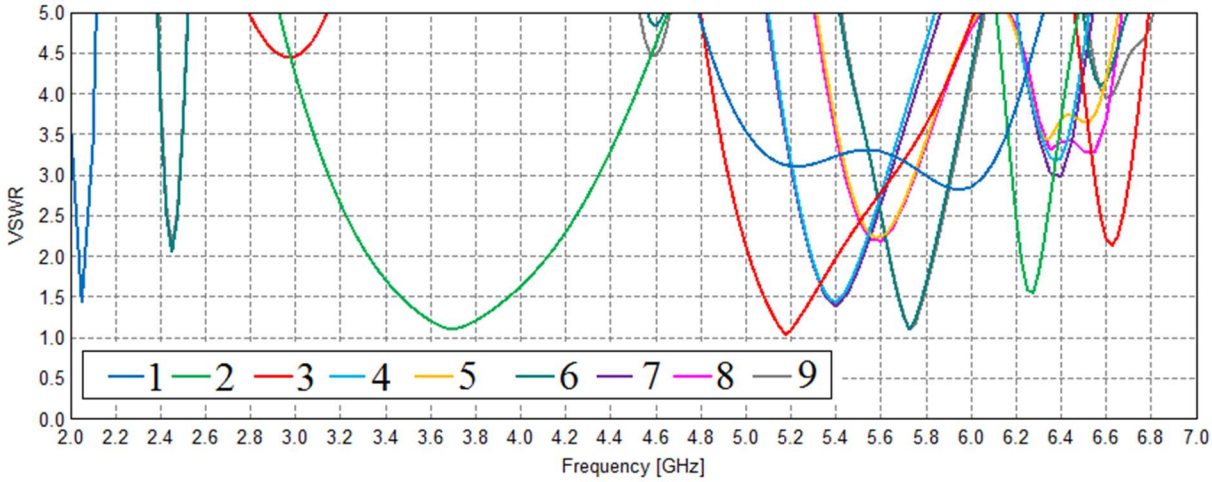


Рис. 2. Зависимость КСВН от частоты

При подключении одновременно двух pin-диодов D1 и D2 (режимы 1, 2 и 3) излучающая часть антенны является симметричной и антенна имеет линейную поляризацию. При этом резонансная частота антенны зависит от состояния остальных диодов (D3 — D5). В качестве примера на рис. 3 показаны диаграммы направленности и коэффициент эллиптичности антенны для режима 2, при котором включены все диоды, кроме D5. При этом в качестве коэффициента эллиптичности (рис. 3, б) взято отношение максимального радиуса эллипса поляризации к минимальному, то есть он равен 0 дБ в случае идеально круговой поляризации и стремится к бесконечности в случае идеально линейной поляризации. Видно, что в рассматриваемом случае антенна обладает линейной поляризацией на частоте 3,7 ГГц. Данный режим также имеет приемлемое КСВ на частоте (6,25 ГГц), но при этом наблюдается эллиптическая поляризация.

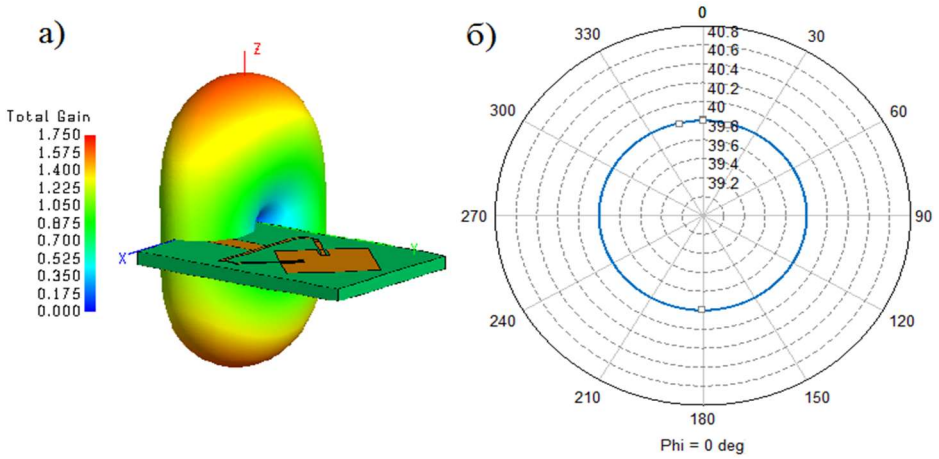


Рис. 3. Диаграмма направленности (а) и коэффициент эллиптичности (б) антенны в режиме 2 на частоте 3,7 ГГц

При подключении только одного из диодов D1 или D2 симметрия излучающей части нарушается. При этом резонансная частота по-прежнему определяется комбинацией диодов D3 — D5, а поляризация меняется на ортогональную в зависимости от того, какой из диодов (D1 или D2) подключен. Для иллюстрации этого явления на рис. 4, показаны объемные диаграммы направленности антенн в режимах 4 и 7 на одной и той же частоте, а на рис. 5, соответствующие им графики коэффициента эллиптичности.

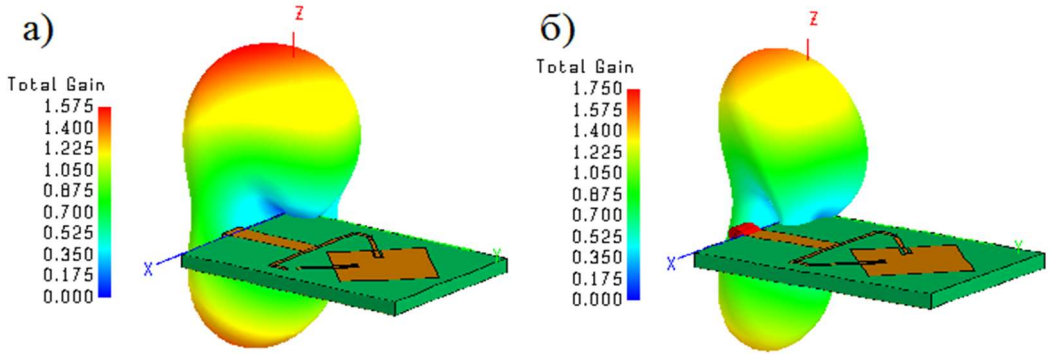


Рис. 4. Диаграммы направленности антенны в режимах 4 (а) и 7 (б)

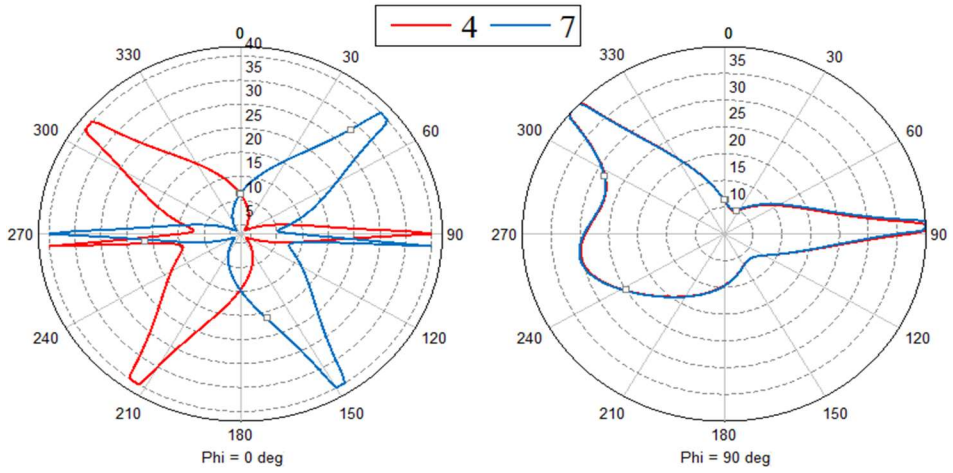


Рис. 5. Коэффициент эллиптичности антенны в режимах 4 и 7

По приведенным рисункам видно, что антенна в рассмотренных режимах 4-7 имеет круговую поляризацию везде, кроме узких секторов углов. При этом для данной пары режимов графики коэффициента эллиптичности одинаковы по форме, но противоположно ориентированы, что говорит о противоположном направлении вращения вектора поляризации. Анализ результатов моделирования показал, что аналогичное явление наблюдается также для пар режимов 5-8 и 6-9, при этом для последнего случая возможна также работа на частоте 2,45 ГГц, но при этом поляризация линейна. Таким образом видно, что выбор включения одного

из диодов D1 или D2 позволяет изменить поляризацию антенны на одной частоте с правой на левую.

Выводы

Исследование предложенной модели антенны показало, что для нижней части исследуемого частотного диапазона (2,05, 2,45 и 3,7 ГГц) антенна имеет линейную поляризацию. При работе в более высоком поддиапазоне (5,4, 5,6 и 5,75 ГГц) поляризация является круговой, причем ее направление вращения изменяется в зависимости от подключения диодов. Компактные размеры антенны и диапазон рабочих частот позволяют использовать ее в системах беспроводной связи, а возможность изменения поляризации на ортогональную обеспечивает эффективный приме сигнала в условиях отражений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Haupt R. L., Lanagan M.* Reconfigurable antennas. IEEE Antennas Propag. Mag. 2013, vol. 55(1), pp. 49–61.
2. *Hassan M. M., Zahid Z., Khan A. A., Rashid I., Rauf A., Maqsood M.* Two element MIMO antenna with frequency reconfigurable characteristics utilizing RF MEMS for 5G applications. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 34, 2020 - Issue 9: Massive MIMO Toward 5G. pp. 1210-1224.
3. *Han L., Wang C., Chen X., et al.* Compact frequency–reconfigurable slot antenna for wireless applications. IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett. 2016, vol.15, pp. 1795–1798.
4. *Borhani M., Rezaei P., Valizade A*. Design of a Reconfigurable Miniaturized Microstrip Antenna for Switchable Multiband Systems. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 15, 2016, pp.822-825.
5. *Ji L. Y., Qin P. Y., Guo Y. J., Fu G., Mittra R.* A Wideband Polarization Reconfigurable Antenna for WLAN Applications. 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 10-15 April 2016, Davos, Switzerland.
6. *Lee S. W., Sung Y., Lee S. J., Yoon H. S. and Park H. J..* A reconfigurable patch antenna with symmetrical structure for polarization diversity. 2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 13-17 April 2015, Lisbon, Portugal.
7. *Song T., Lee Y., Ga D., Choi J.* A Polarization Reconfigurable Microstrip Patch Antenna using PIN Diodes. Proceedings of APMC 2012, Kaohsiung, Taiwan, Dec. 4-7, 2012, pp. 616-618.

8. *Roseli W. I., Moktar N. H., Ali M. T.*. Polarization Reconfigurable Microstrip Patch Antenna for Wireless Communication Applications. 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Busan, Korea (South) , 23-26 Oct. 2018.

Ваганова Анастасия Алексеевна, аспирант Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия.

Панычев Андрей Иванович, к.т.н., доцент, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия.

Кисель Наталья Николаевна, к.т.н., доцент, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия.

Vaganova Anastasiay Alekseevna, postgraduate student, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Taganrog, Russia.

Panychev Andrey Ivanovich, candidate of technical sciences, associate professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Taganrog, Russia.

Kisel Nataliay Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Taganrog, Russia.

УДК 621.373+681.518

Бондаренко Иван Владимирович, Пилипенко Александр Михайлович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ ДЛЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ 5G

Разработан проект синтезатора частот на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) для диапазона 4,8 – 4,99 ГГц, планируемого для реализации сетей 5G в России. Проект создан с помощью программной среды ADIsimPLL. Получены шумовые и частотные характеристики управляемого генератора и синтезатора частот в целом. Результаты проектирования синтезатора частот в среде ADIsimPLL полностью соответствуют теоретическим сведениям и результатам моделирования в пакете Mathcad.

Синтезатор частот, фазовая автоподстройка частоты, сети 5G, проектирование.

Ivan Vladimirovich Bondarenko, Alexandr Mikhailovich Pilipenko

DESIGNING A FREQUENCY SYNTHESIZER FOR 5G COMMUNICATION NETWORKS

The frequency plan of 5G networks in Russia and abroad, the frequency range and the basic requirements for these networks are considered. A frequency synthesizer based on a PLL system in the frequency range 4.8 - 4.99 GHz, implemented on the basis of ADIsimPLL software and hardware, has been designed. The graphs of the dependence of the VCO on the control voltage, the slope of the VCO characteristic and its phase noise, the frequency response and phase response of the transfer characteristic of the closed and open system, as well as the graph of noise from various noise sources in the PLL system are presented. The results of designing the frequency synthesizer in the ADIsimPLL fully correspond to the results of simulation in the Mathcad package.

Frequency synthesizer, phase-locked loop, 5G networks, design.

Введение

В настоящее время технология сетей пятого поколения (5G) является следующим этапом развития мобильных технологий и предполагает принципиально новый уровень сервиса и возможностей для клиентов. Среди основных особенностей стандарта 5G можно выделить скорость передачи данных более 1 Гбит/с и сверхмалые задержки передачи информации – около 1 мс [1]. В качестве первичного спектра 5G в России планируется использовать полосу частот 4,8 – 4,99 ГГц, поскольку полоса 3,4 – 3,7 ГГц, которую используют для сетей 5G в США и Европе, в России занята системами Минобороны, ФСО и Роскосмоса [2]. Таким образом, при реализации развертывания сетей 5G в России актуальной задачей является разработка специализированного оборудования для диапазона частот 4,8 – 4,99 ГГц, в частности систем синтеза частот (синтезаторов частот), обладающих высоким быстродействием и стабильностью частоты.

Структурная схема синтезатора частот

Для формирования сетки частот в диапазоне выше 1 ГГц в настоящее время, как правило, используются синтезаторы частот с системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), которые наряду с высокой частотой синтезируемых сигналов обладают низким уровнем паразитных составляющих спектра по сравнению с цифровыми вычислительными синтезаторами.

Структурная схема синтезатора частот с ФАПЧ приведена на рис. 1. Синтезатор частот наряду с элементами системы ФАПЧ (опорный генератор – ОГ, фазовый детектор – ФД, фильтр нижних частот – ФНЧ, генератор управляемый напряжением – ГУН) содержит делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления *R* (ДФКД) и делитель частоты с переменным коэффициентом деления *N* (ДПКД) [3].

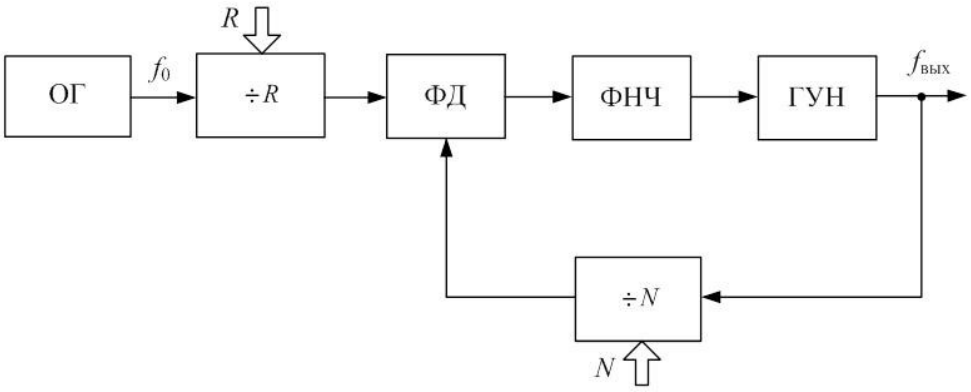


Рис. 1. Структурная схема синтезатора частот с ФАПЧ

Делители частоты позволяют обеспечить требуемую частоту на выходе синтезатора с помощью переключения коэффициента деления *N*:

$$f_{вых} = f_{ГУН} = \frac{N}{R} f_0, \quad (1)$$

где f_0 – частота ОГ.

В случае целочисленного ДПКД в цепи обратной связи шаг сетки частот (разрешение по частоте) Δf определяется частотой сравнения f_{ref}:

$$\Delta f = f_{ref} = \frac{f_0}{R}. \quad (2)$$

Ширина одного канала в сети 5G – не менее 5 МГц, следовательно, шаг сетки частот для проектируемого синтезатора не должен превышать 5 МГц [4].

Разработка принципиальной схемы синтезатора частот

Для получения принципиальной схемы синтезатора частот с ФАПЧ удобно использовать бесплатный пакет проектирования ADIsimPLL, созданный компанией Analog Devices [5].

На первом этапе проектирования задается максимальная и минимальная частота входного сигнала: $f_{ГУН\,max}$ = 4,99 ГГц и $f_{ГУН\,min}$ = 4,80 ГГц, а также частота сравнения (частота на входе ЧФД) f_{ref}: Стандартное значение частоты сравнения для заданного диапазона равно f_{ref} = 1 МГц, что удовлетворяет указанным выше требованиям сети 5G для шага перестройки по частоте. В качестве опорного генератора для

заданного диапазона частот рекомендуется выбрать термокомпенсированный или термостатированный кварцевый генератор с номинальной частотой $f_0 = 10$ МГц. Данный генератор позволяет обеспечить значение относительной нестабильности частоты на несколько порядков меньше, чем стандартный кварцевый генератор с номинальной частотой 1 МГц [6]. Из формулы (2) следует, что значение коэффициента деления опорного делителя частоты при $f_0 = 10$ МГц и $f_{ref} = 1$ МГц будет равно $R = 10$.

На втором этапе проектирования в программе ADIsimPLL выбираются микросхемы, реализующие функциональные узлы синтезатора частот. Для реализации ГУН рекомендуется использовать микросхему HMC586LC4B [7], так как она позволяет получить максимальную частоту выходного сигнала 4,99 ГГц при управляющем напряжении менее 5 В, которое может обеспечить основная микросхема синтезатора частот без применения дополнительного усилителя. Основная микросхема синтезатора частот включает в себя ФД, ДФКД и ДПКД. Для формирования сетки частот с шагом 1 МГц в диапазоне 4,8 – 4,99 ГГц подходит микросхема ADF4106 с целочисленным делителем частоты (Integer-N Divider) [8]. Для обеспечения более высокого разрешения по частоте можно использовать делитель частоты с дробно-переменным коэффициентом деления N (Fractional-N Divider).

После выбора обязательных микросхем программа ADIsimPLL автоматически определяет оптимальные по устойчивости параметры петлевого ФНЧ и формирует принципиальную схему синтезатора частот (рис. 2).

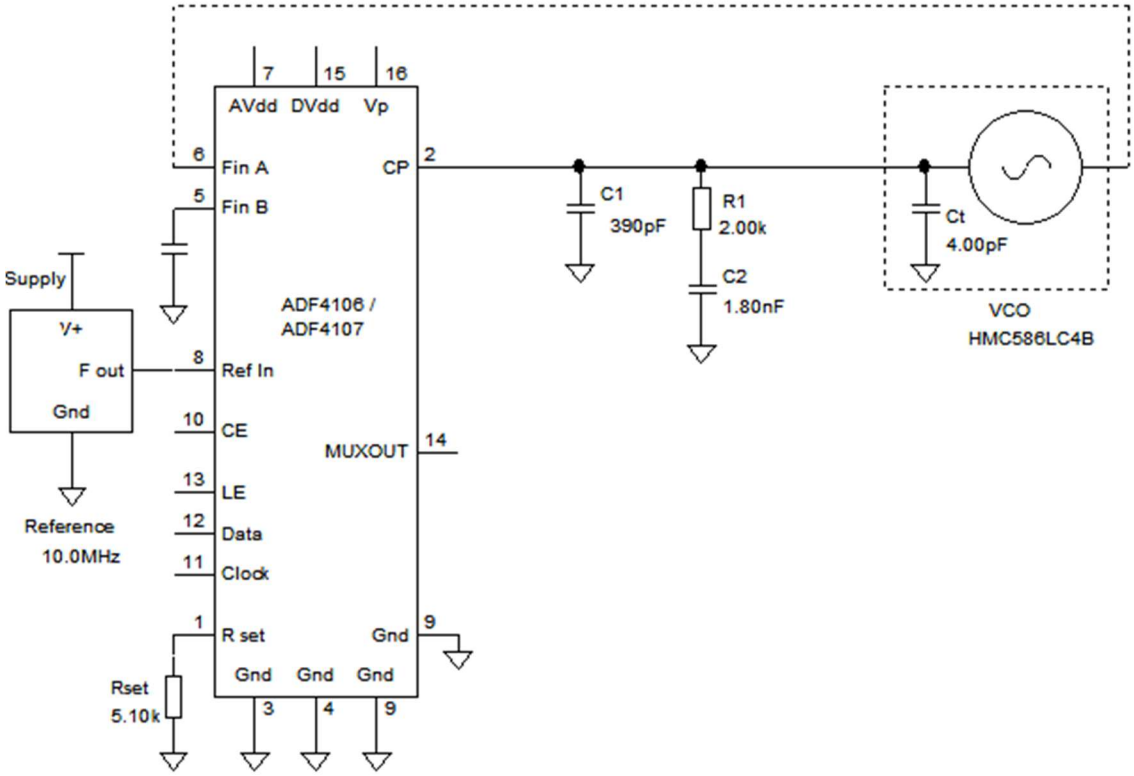
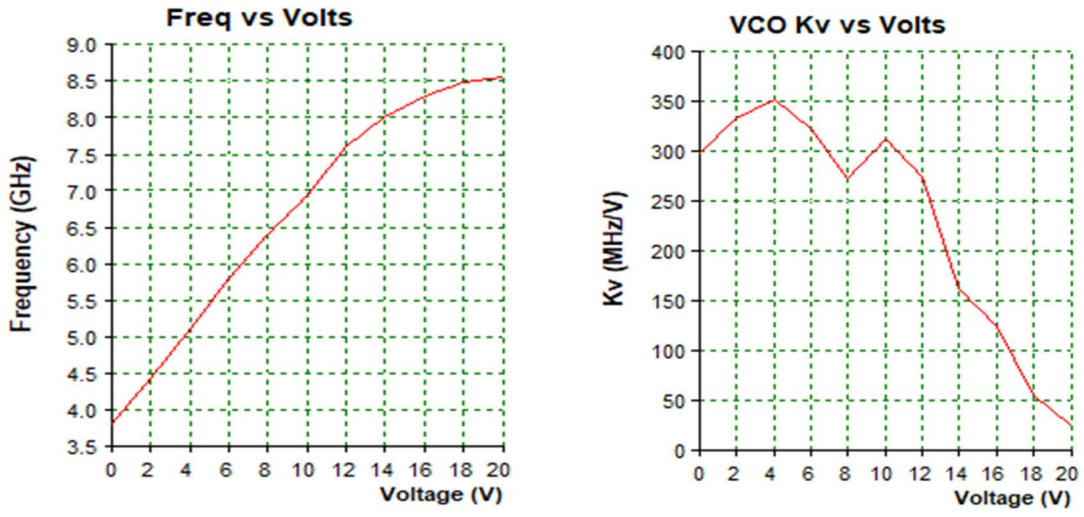


Рис. 2. Принципиальная схема синтезатора частот

Моделирование синтезатора частот

Программа ADIsimPLL позволяет не только сформировать схему синтезатора частот, но и получить его основные характеристики с учетом параметров выбранных элементов. В частности, на рис. 3 приведены зависимости выходной частоты и крутизны характеристики ГУН от управляющего напряжения. На рис. 4 представлены спектральные плотности мощности фазовый шумов, выраженные в дБ/Гц: общие фазовые шумы синтезатора – Total и фазовые шумы отдельных элементов – Loop Filter (ФНЧ), Chip (основная микросхема), VCO (ГУН). На рис. 5 представлены логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) и фазочастотные характеристики (ФЧХ) коэффициента передачи разомкнутой (*а*) и замкнутой (*б*) системы синтеза частот.



а *б*

Рис. 3. Зависимости выходной частоты (а) и крутизны характеристики (б) ГУН от управляющего напряжения

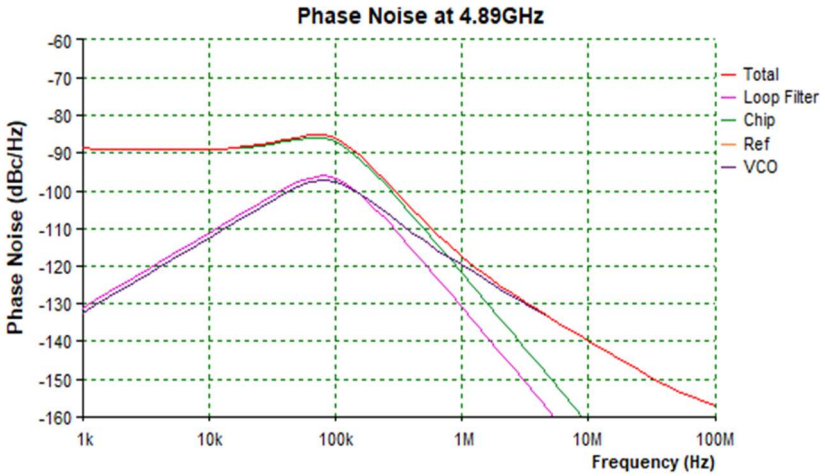
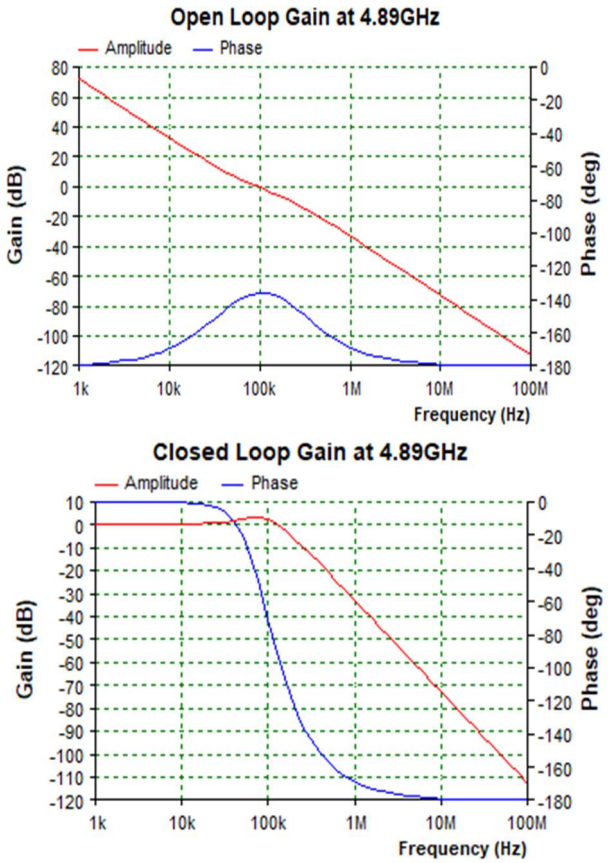


Рис. 4. Фазовые шумы синтезатора частот и его элементов



а *б*

Рис. 5. ЛАЧХ и ФЧХ коэффициента передачи разомкнутой (а) и замкнутой (б) системы синтеза частот

Следует отметить, что зная параметры основной микросхемы синтезатора частот и микросхемы ГУН можно провести расчет параметров петлевого ФНЧ и моделирование частотных характеристик синтезатора частот с помощью любого пакета компьютерной математики, используя представленные ниже соотношения [9].

Элементы разработанного синтезатора обладают следующим параметрами: крутизна характеристики ГУН $K_V = 2\pi \cdot 350 \cdot 10^6$ (рад/с)/В; максимальный ток ФД $I = 5 \cdot 10^{-3}$ А [7, 8].

Постоянные времени ФНЧ определяются с помощью следующих выражений:

$$T_1 = \frac{\sin^{-1}\varphi_1 - \tan\varphi_1}{\omega_1};\ T_2 = \frac{1}{\omega_1^2 T_1}, \qquad (3)$$

где $\omega_1 = 2\pi f_{ref}/10$ – частота единичного усиления разомкнутой системы в рад/с; $\varphi_1 = \pi/4$ – оптимальный по быстродействию запас устойчивости системы по фазе в радианах.

Параметры ФНЧ вычисляются следующим образом:

$$C_1 = \frac{I \cdot K_V}{2\pi N \omega_1^2} \frac{T_1}{T_2} \frac{\sqrt{1+(\omega_1 T_2)^2}}{\sqrt{1+(\omega_1 T_1)^2}};\ C_2 = C_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right); R_1 = \frac{T_2}{C_2}, \quad (4)$$

где $N = \sqrt{N_{\max} N_{\min}}$ – среднее геометрическое значение коэффициента деления ДПКД.

Максимальный и минимальный коэффициенты деления ДПКД $N_{\max}$ и $N_{\min}$ можно определить с помощью формулы (1) при заданных значениях $f_{\text{ГУН max}}$ и $f_{\text{ГУН min}}$ соответственно.

Для построения частотных характеристик синтезатора частот необходимо использовать следующие выражения для комплексных коэффициентов передачи разомкнутой и замкнутой системы соответственно:

$$Y(j\omega) = \frac{I \cdot K_V}{2\pi N} \frac{H(j\omega)}{j\omega};\ W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{1+Y(j\omega)}, \quad (5)$$

где $H(j\omega) = \frac{1+j\omega T_2}{j\omega\ {}_1(1+j\omega T_1)} \frac{T_1}{T_2}$ – комплексный коэффициент передачи ФНЧ.

Результаты расчета параметров и моделирования частотных характеристик синтезатора частот в пакете Mathcad с помощью соотношений (3) – (5) полностью соответствуют результатам проектирования в пакете ADIsimPLL.

Выводы

Таким образом, в данной работе создан проект синтезатора частот в пакете ADIsimPLL для диапазона, планируемого для развертывания сетей 5G в России. Получены основные характеристики синтезатора частот, позволяющие оценить его устойчивость, уровень шумов и подавление паразитных составляющих спектра. Представлены соотношения, позволяющие с помощью программ компьютерной математики выполнять расчет параметров и моделирование частотных характеристик синтезатора частот, что дает возможность выполнять проверку результатов проектирования, полученных в пакете ADIsimPLL.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие сетей 5G в России, 2020 URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие_сетей_5G_в_России (дата обращения: 19.05.2021)
2. На каких частотах в России будет работать 5G? // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 2020 URL: https://digital.gov.ru/ru/appeals/faq/370 (дата обращения: 19.05.2021)
3. *Федосов В. П.* Современные алгоритмы обработки пространственно-временных сигналов в сетях связи : учебное пособие / В. П. Федосов, А. М.

Пилипенко, С. В. Кучерявенко, А. В. Ломакина, А. А. Легин ; под редакцией В. П. Федосова ; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. 98 с.
4. *Кузменков А. С.* Обзорный анализ современных архитектур син-тезаторов частот с ФАПЧ / А. С. Кузменков, А. Е. Поляков, Л. В. Стрыгин // Труды Московского физико-технического института. – 2013. – Т. 5, № 3. – С. 121-133.
5. ADIsimPLL // Analog Devices, Inc. URL: https://www.analog.com/ru/design-center/adisimpll.html (дата обращения: 19.05.2021)
6. Кварцевые Генераторы // ЗАО «ЧИП и ДИП» - Приборы, радиодетали и электронные компоненты. URL: https://www.chipdip.ru/catalog/92412-kvarcevye-generatory (дата обращения: 19.05.2021)
7. HMC586LC4B – WIDEBAND MMIC VCO w/ BUFFERAMPLIFIER, 4 – 8 GHz // Analog Devices. URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc586.pdf (дата обращения: 19.05.2021)
8. PLL Frequency Synthesizer ADF4106 // Analog Devices. URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADF4106.pdf (дата обращения: 19.05.2021)
9. *Rohde U.L., Rubiola E., Whitaker J. C.* Microwave and Wireless Synthesizers: Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc. 2021, 819 p.

Бондаренко Иван Владимирович, студент гр. РТбо4-27, кафедра теоретических основ радиотехники, Южный федеральный университет. г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: vanya5911@mail.ru.

Пилипенко Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru.

Bondarenko Ivan Vladimirovich, student gr. RTbo4-27, Department of Fundamentals of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: vanya5911@mail.ru.

Pilipenko Alexandr Mikhaylovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the department of Fundamentals of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-32, e-mail: ampilipenko@sfedu.ru.

УДК 621.372

Марьев Александр Александрович, Перелыгин Кирилл Александрович

ЭФФЕКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КИХ-ФИЛЬТРОВ НА ЯЗЫКЕ PYTHON

Работа посвящена вопросам оптимизации быстродействия реализации цифрового фильтра с конечной импульсной характеристкой (КИХ) на языке Python. Предложено несколько вариантов реализации, основанных на различных алгоритмах цифровой обработки сигналов. Показано, что в ряде случаев возможно увеличение быстродействия на несколько порядков, по сравнению со стандартной реализацией из библиотеки SciPy.

КИХ-фильтр, Python, быстродействие, быстрая свертка, секционированная свертка.

Maryev Alexander Alexandrovich, Perelygin Kirill Alexandrovich

EFFICIENT IMPLEMENTATION OF FIR-FILTERS IN PYTHON

Paper is devoted to the problem of performance optimization of digital finite impulse response filter software implementation in Python. Several implementaions proposed, based on various digital signal processing algorithms. It is shown that in some cases there is possibility of increasing performance by several orders of magnitude, compared to the standard implementation from SciPy library.

FIR filter, Python, performance, fast convolution, overlap-save method.

Важнейшим методом цифровой обработки сигналов является линейная фильтрация. Нерекурсивные цифровые фильтры (ЦФ), по сравнению с рекурсивными, обладают рядом преимуществ: абсолютная устойчивость, возможность получения строго линейной фазочастотной характеристики [1]. В то же время, для получения достаточной прямоугольности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), число коэффициентов фильтра L должно составлять порядка 10^2 и более, что существенно повышает вычислительные затраты на обработку сигнала.

В настоящей работе речь идет о реализации фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ) в виде нерекурсивных фильтров, и термины «КИХ-фильтр» и «нерекурсивный фильтр» используются как синонимы. Специальный случай рекурсивной реализации КИХ-фильтров [2] не рассматривается, поскольку имеет ряд существенных ограничений.

Для инженерных и научных вычислений на языке Python стандартными являются библиотеки NumPy [3] и SciPy [4] (последняя содержит пакет `signal` для выполнения типовых операций цифровой обработки сигналов).

На рис. 1 показаны зависимости времени выполнения фильтрации T_{work} от размера входной последовательности N (отсчетов) и размера импульсной характеристики L для стандартной реализации `lfilter` из библиотеки SciPy. Здесь и далее сигнал и коэффициенты фильтра представлены в виде чисел с плавающей запятой двойной точности по стандарту IEEE 754.

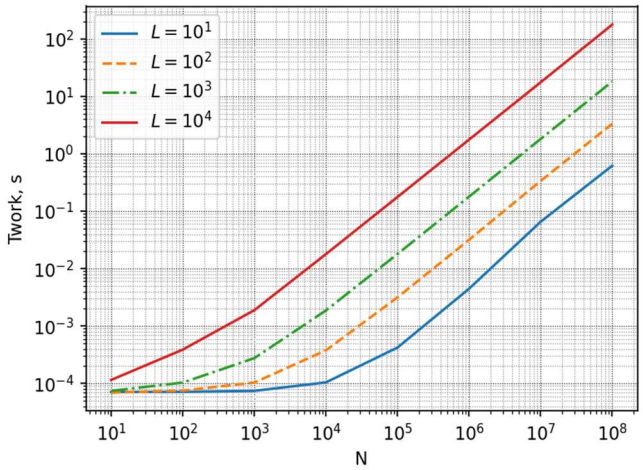


Рис. 1. Время обработки сигнала функцией `lfilter` из библиотеки SciPy при различных размерах воздействия N и импульсной характеристики L

Полученные зависимости позволяют определить предельную частоту дискретизации (а значит, и полосу) сигнала для обработки в режиме реального времени. Так при $L = 10^4$ уровень $T_{work} = 1$ с пересекается при $N = 6 \cdot 10^5$, то есть за 1 с возможна обработка около $6 \cdot 10^5$ отсчетов. Таким образом, при использовании стандартной реализации `lfilter` из библиотеки SciPy предельная частота дискретизации $F_Д$ сигнала, обрабатываемого в режиме реального времени, составляет около 600 кГц (полоса сигнала Δf около 300 кГц).

Такой результат следует признать неудовлетворительным для обработки сигналов современных систем связи, для которых Δf достигает $10^6 \ldots 10^7$ Гц.

Функция `lfilter` – универсальная (для рекурсивных и нерекурсивных фильтров), выполняет обработку во временной области,

реализуя транспонированную форму фильтра, что для КИХ-фильтров неэффективно. Известен ряд алгоритмов цифровой обработки сигналов, позволяющих уменьшить вычислительную сложность обработки КИХ-фильтром [1, 2, 5, 6]:

- быстрая свертка;
- секционированная свертка (методы перекрытия с запоминанием и перекрытия со сложением).

На языке Python с применением библиотеки NumPy были реализованы алгоритм быстрой свертки и алгоритм секционированной свертки. Был использован метод перекрытия с запоминанием, поскольку он более эффективен по критерию минимума действительных вычислительных операций [2].

Для дальнейшей оптимизации было решено вместо стандартной реализации быстрого преобразования Фурье (БПФ) из библиотеки NumPy применить библиотеку FFTW [7], содержащую набор алгоритмов БПФ, оптимизированных для максимального быстродействия на современных процессорах. Библиотека FFTW реализована на языке C++, однако существует модуль pyFFTW [8], позволяющий вызывать FFTW из Python.

Библиотека FFTW выбирает из имеющегося набора алгоритмов БПФ тот, который обеспечит наибольшее быстродействие на заданном процессоре. По умолчанию выбор производится эвристически, однако возможна организация теста, в ходе которого производится обработка входного сигнала разными алгоритмами, и определяется оптимальный. Результаты такого теста сохраняются в файл и могут быть далее загружены в FFTW для выбора оптимального алгоритма БПФ без повторения теста.

На следующем этапе оптимизации была использована возможность для параллельной реализации алгоритма перекрытия с запоминанием. Результаты обработки каждой секции записываются в свою область памяти (в отличие от метода перекрытия с суммированием, требующего сложения перекрывающихся участков секций), что означает отсутствие коллизий доступа, и позволяет отказаться от сложной синхронизации потоков-исполнителей, параллельно обрабатывающих секции.

Для параллельных вычислений была выбрана реализация на основе потоков (модуль `threading` стандартной библиотеки Python [9]), поскольку потоки имеют быстрый доступ ко всем объектам в памяти, в отличие от процессов (модуль `multiprocessing` стандартной

библиотеки Python [10]), которые требуют организации разделяемой памяти, доступ к которой существенно медленнее.

Дополнительно в исследовательских целях КИХ-фильтр был реализован на «чистом» Python, с использованием только встроенных типов данных (`array.array` вместо `numpy.array`) и средств стандартной библиотеки. Ещё одна реализация КИХ-фильтра во временной области была написана с использованием возможностей векторизации (выполнение скалярных и матричных операций над массивами в одну строку), которые предоставляет библиотека NumPy.

Все реализации КИХ-фильтра были использованы в эксперименте по замеру времени T_{work} вычисления отклика на воздействие из N отсчетов при различных размерах импульсной характеристики L. Для каждой пары L, N формировались случайное воздействие и случайная импульсная характеристика фильтра, затем производился замер времени обработки T_{work}. Обработка повторялась K раз, после чего значения T_{work} усреднялись. Значение K выбиралось из условия среднеквадратической погрешности оценки T_{work} не более 0,3%.

Результаты эксперимента показаны на рис. 2. Версия на «чистом» Python существенно медленнее остальных, так как Python – интерпретируемый язык программирования, и выполнение кода сопряжено с большими накладными расходами. С увеличением L векторизированая версия с NumPy приближается по быстродействию к `lfilter`, что показывает высокую эффективность использования NumPy для работы с массивами данных.

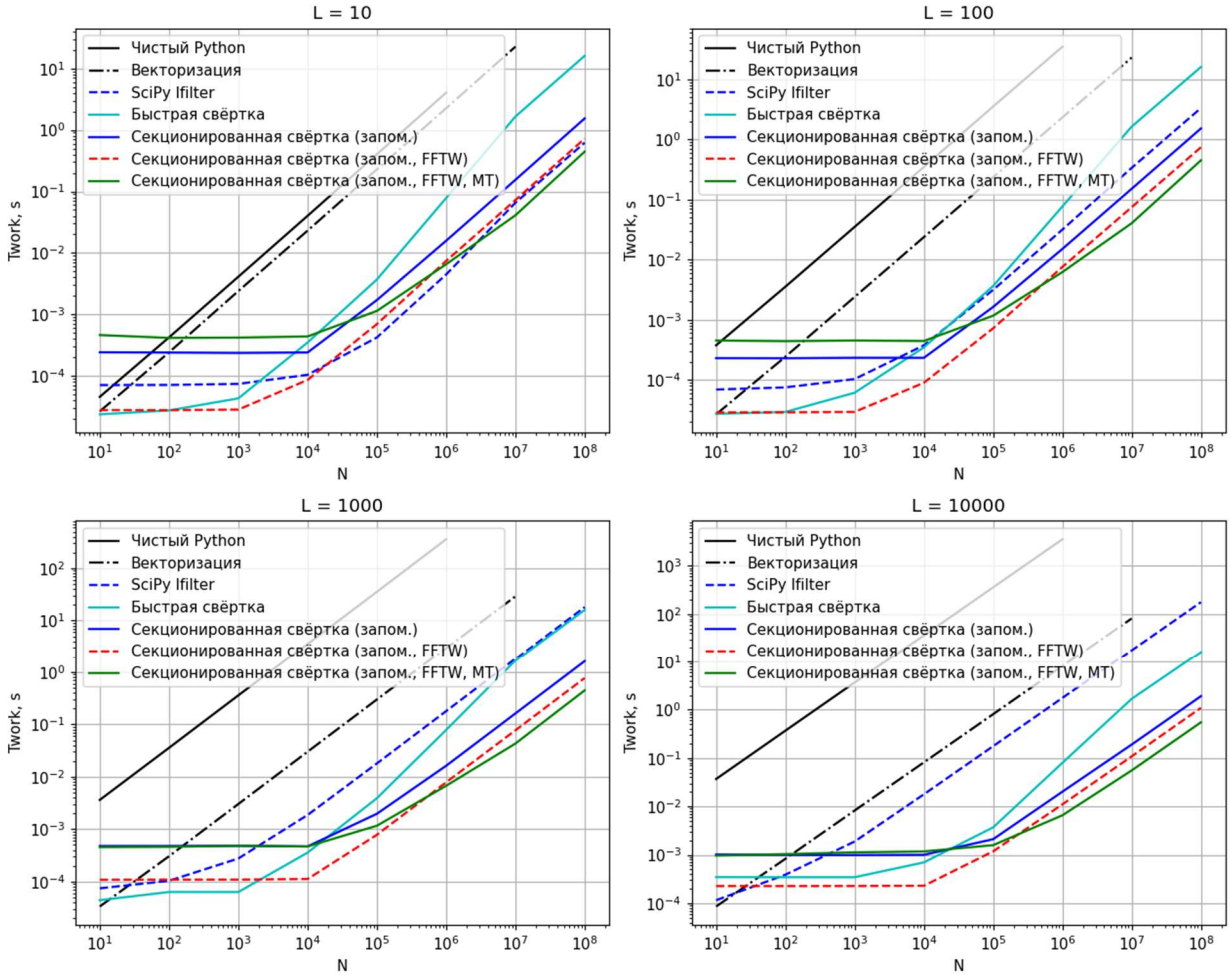


Рис. 2. Время обработки сигнала исследованными реализациями КИХ-фильтра при различных размерах воздействия N и импульсной характеристики L

Быстрая свертка эффективнее `lfilter` при $L > 10^3$, однако с ростом N ее эффективность падает, так как вычислительная сложность БПФ растет быстрее, чем линейно.

Наиболее эффективен алгоритм секционированной свертки. Применение FFTW дополнительно дает прирост производительности в 2-4 раза. Переход к параллельной обработке эффективен при $N > 10^5$, причем при $N = 10^8$ прирост производительности достигает примерно 2 раз, в сравнении с однопоточной версией.

При обработке сигналов в реальном масштабе времени значение N заранее неизвестно, но при высокой частоте дискретизации и продолжительной работе устройства обработки сигналов N может достигать 10^{10} и более. Таким образом, решающее значение имеют крайние правые точки на графиках ($N = 10^8$) – при этом наиболее эффективна многопоточная реализация секционированной свертки на основе FFTW.

Экстраполяция графиков до пересечения уровня $T_{work} = 1$ с дает для всех L оценку N около $3 \cdot 10^8$, что соответствует $F_Д$ в 300 МГц (Δf до 150 МГц). Достигнутая эффективность представляется достаточной для обработки сигналов большинства цифровых систем связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / Л. Рабинер, Б. Гоулд : пер. с англ. А. Л. Зайцева [и. др.] ; под ред. Ю. Н. Александрова. – Москва : Мир, 1978. – 848 с.
2. *Маркович И. И.* Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах [Текст] / И. И. Маркович. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального ун-та, 2012. – 234 с.
3. NumPy.org URL: https://numpy.org/ (Дата обращения: 01.06.2021)
4. SciPy.org URL: https://scipy.org/ (Дата обращения: 01.06.2021)
5. *Сергиенко А. Б.* Цифровая обработка сигналов [Текст] : учебное пособие для студентов высших заведений, обучающихся по направлению 210300 "Радиотехника" / А. Б. Сергиенко. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 756 с.
6. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Оппенгейм, Р. Шафер : пер. с англ. С.А. Кулешова ; под ред. А.С. Ненашева. – Москва : Техносфера, 2006. – 856 с.
7. FFTW Home Page URL: http://www.fftw.org/ (Дата обращения: 01.06.2021)
8. PyFFTW's documentation URL: https://pyfftw.readthedocs.io/en/latest/ (Дата обращения: 01.06.2021)
9. Threading – Thread-based parallelism URL: https://docs.python.org/3/library/threading.html (Дата обращения: 01.06.2021)
10. Multiprocessing – Process-based parallelism URL: https://docs.python.org/3/library/multiprocessing.html (Дата обращения: 01.06.2021)

Марьев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, 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: aamarev@sfedu.ru.

Перелыгин Кирилл Александрович, студент, 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: perelygin@sfedu.ru.

Maryev Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of Fundamentals of Radio Engineering Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: aamarev@sfedu.ru.

Perelygin Kirill Alexandrovich, student, Department of Fundamentals of Radio Engineering Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: perelygin@sfedu.ru.

УДК 621.372 + 004.056.53

Кезикова Екатерина Юрьевна, Севастьянов Никита Дмитриевич, Пилипенко Александр Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Рассмотрен принцип работы систем сверхширокополосного позиционирования, осуществлен обзор существующих систем позиционирования, произведен временной и спектральный анализ сигналов для систем локального позиционирования, а также анализ энергетических характеристик систем сверхширокополосного позиционирования в частотной области.

Сверхширокополосные сигналы, спектральный анализ, энергетическая характеристика, система позиционирования, спектральная маска.

Kezikova Ekaterina Yuryevna, Sevastyanov Nikita Dmitrievich, Pilipenko Alexander Mikhailovich

INVESTIGATION OF SIGNAL MODELS FOR LOCAL POSITIONING SYSTEMS

The principles of operation of ultra-wideband positioning systems are studied, the existing positioning systems are reviewed, time and spectral analysis of signals is performed, as well as the analysis of the energy characteristics of ultra-wideband positioning systems in the frequency domain.

Ultra-wideband signals, spectral analysis, energy characteristic, positioning system, spectral mask.

Введение

Интерес к сверхширокополосным системам радиосвязи и радиолокации обусловлен свойствами, которыми обладают сверхширокополосные

(СШП) сигналы. Особенности СШП сигналов приводят к наличию уникальных качеств у создаваемых на их основе СШП систем – скрытность работы, возможность использования в железобетонных конструкциях и в сложной помеховой обстановке, обеспечение высокой скорости передачи [1].

Целью работы является исследование во временной и частотной областях моделей СШП сигналов для систем локального позиционирования. Для достижения указанной цели в работе решаются следующие задачи: обзор существующих систем позиционирования, проведение временного и спектрального анализа СШП сигналов для систем локального позиционирования, а также анализ энергетических характеристик систем СШП позиционирования в частотной области.

Общие сведения о позиционировании объектов

В настоящее время существуют технологии глобального, локального и гибридного позиционирования. Основная задача, которую должна решать система позиционирования – идентификация контролируемых объектов с оптимальной точностью позиционирования [2].

Для локального позиционирования наиболее часто используются системы сверхширокополосного позиционирования [3]. Особенностями таких систем являются большая скорость передачи информации, высокая помехозащищенность, высокая электромагнитная совместимость, устойчивость связи в условиях многолучевого распространения радиоволн, высокая степень защиты связи от перехвата, способность легко проникать через препятствия.

СШП сигналы, как правило, представляют собой короткие импульсы, вся энергия которых распределена по заданному, достаточно широкому участку спектра, при этом такой сигнал практически не вызывает помех для других устройств, несмотря на то, что он занимает, в том числе, и уже отведенные для других стандартов участки спектра [4].

Моделирование СШП-сигналов

В данной работе рассматривается возможность применения гауссовских СШП сигналов. К достоинствам данных сигналов можно отнести сравнительно простое аналитическое выражение, непрерывность и дифференцируемость, которая, в свою очередь, избавляют от возникновения заметного эффекта Гиббса при практическом восстановлении сигнала [1]. К гауссовским сигналам относятся импульс Гаусса, а также его производные.

Форма импульса Гаусса совпадает с плотностью вероятности нормального закона распределения, хорошо известного как распределение Гаусса [5]. Аналитическое выражение импульса Гаусса имеет следующий вид [3]:

$$s_0(t) = A \cdot e^{-\frac{2\pi t^2}{\xi^2}},$$

где A – высота импульса; ξ – константа, определяющая длительность импульса.

На рис. 1 представлен импульс Гаусса $s_0(t)$ с параметрами $A = 1$ В, $\xi = 0{,}2$ нс, а также его производные с 1-й по 5-ю ($s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$, $s_4(t)$, $s_5(t)$, соответственно), нормированные по своему максимальному значению.

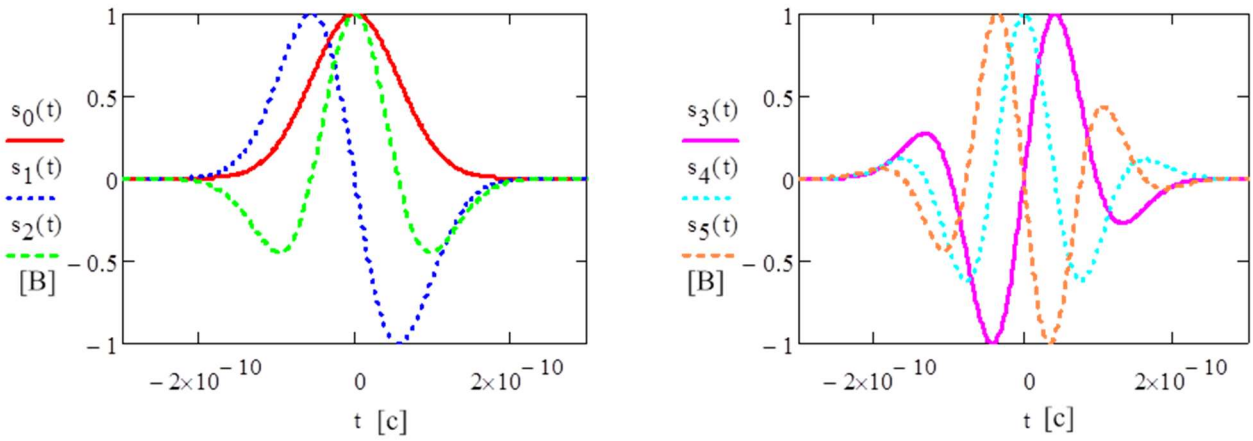


Рис. 1. Импульс Гаусса и его нормированные производные

Модули спектральных плотностей импульса Гаусса $S_0(f)$ и его нормированных по своему максимальному значению производных с 1-й по 5-ю ($S_1(f)$, $S_2(f)$, $S_3(f)$, $S_4(f)$, $S_5(f)$, соответственно) приведены на рис. 2.

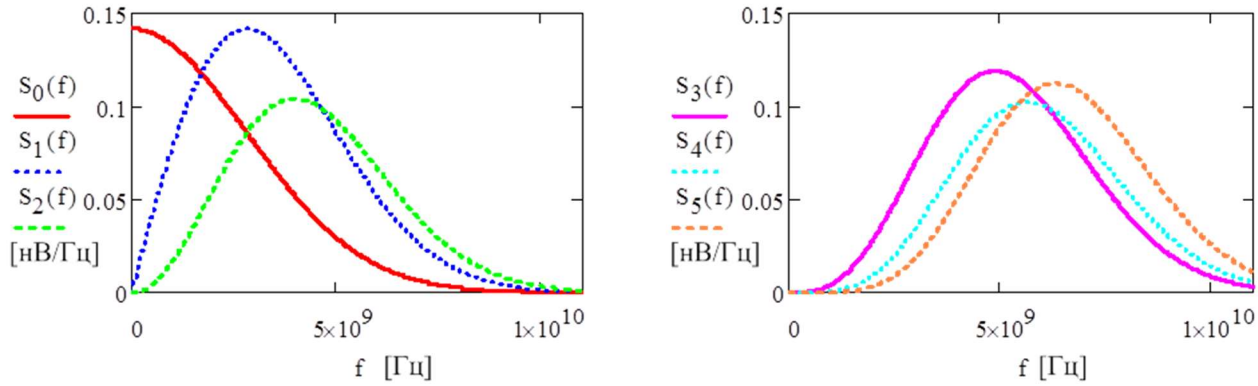


Рис. 2. Модули спектральных плотностей импульса Гаусса и его производных

На рис. 3 представлен модуль спектральной плотности последовательности сигналов в виде 5-й производной импульсов Гаусса со случайными высотами. Период следования сигналов $T = 100$ мкс. Следует отметить, что форма и ширина спектра последовательности импульсов с различными высотами полностью определяется формой и шириной спектра соответствующего одиночного импульса (см. $S_5(f)$ на рис. 2).

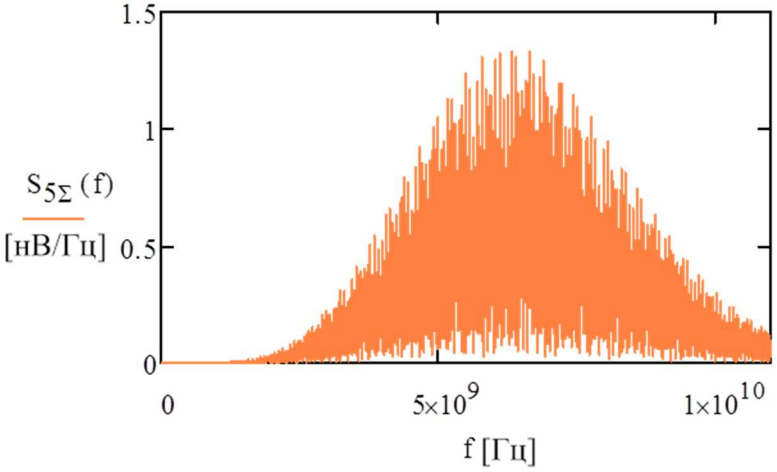


Рис. 3. Спектр последовательности сигналов $s_5(t)$ со случайными высотами

Для оценки энергетической эффективности Гауссовских сигналов был проведен сравнительный анализ спектральной плотности мощности (СПМ) производных импульса Гаусса – с 1-й по 5-ю производную ($W_1(f)$, $W_2(f)$, $W_3(f)$, $W_4(f)$, $W_5(f)$, соответственно) и спектральной маски, рекомендуемой для СШП систем связи внутри помещений [6] (рис. 4). Сигналы, СПМ которых приведены на рис. 4, имели одинаковую высоту импульса $U \approx 5$ В, но при этом только СПМ 5-й производной импульса Гаусса укладывается в пределы спектральной маски и достигает максимального разрешенного уровня СПМ для систем связи внутри помещений.

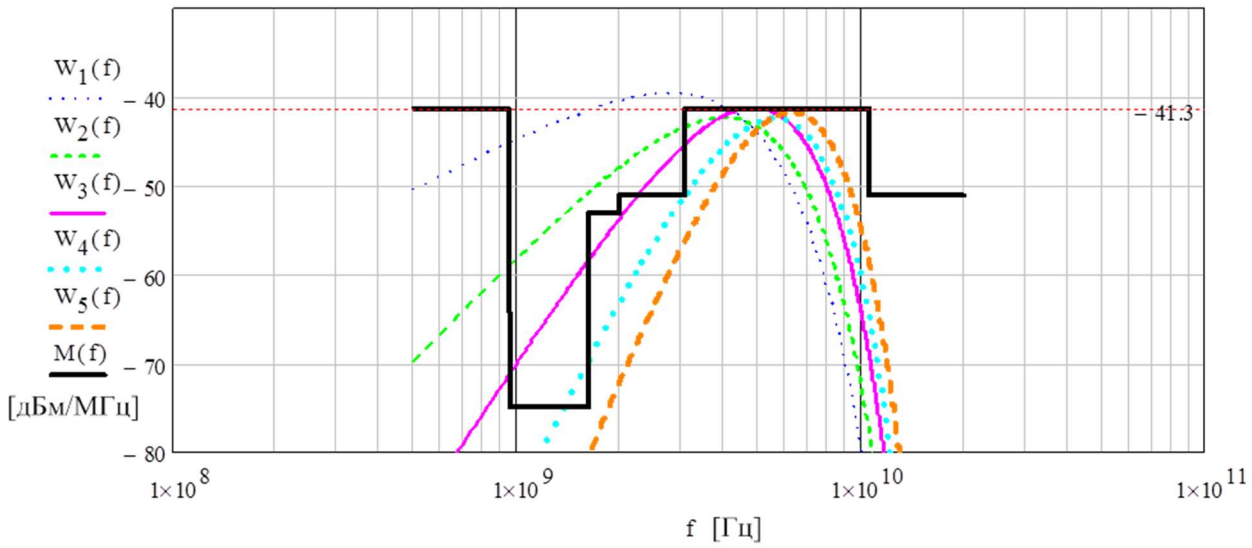


Рис. 4. СПМ производных импульса Гаусса и спектральная маска M(f), рекомендуемая для СШП-систем связи внутри помещений

Таким образом, среди рассмотренных в работе сигналов наибольшей энергетической эффективностью обладает сигнал в виде 5-й производной импульса Гаусса, так как он укладывается в пределы спектральной маски обладая наибольшей высотой импульса $U_{\max} \approx 5$ В, наибольшим уровнем СПМ $W_{\max} \approx 41{,}3$ дБм/МГц и соответственно наибольшей энергией по сравнению с другими сигналами.

В результате расчетов, проведенных в данной работе, были получены наибольшие значения высоты и СПМ гауссовских сигналов, при которых данные сигналы будут укладываться в пределы спектральной маски для СШП систем связи внутри помещений и, соответственно, могут применяться в системах локального позиционирования (рис. 5).

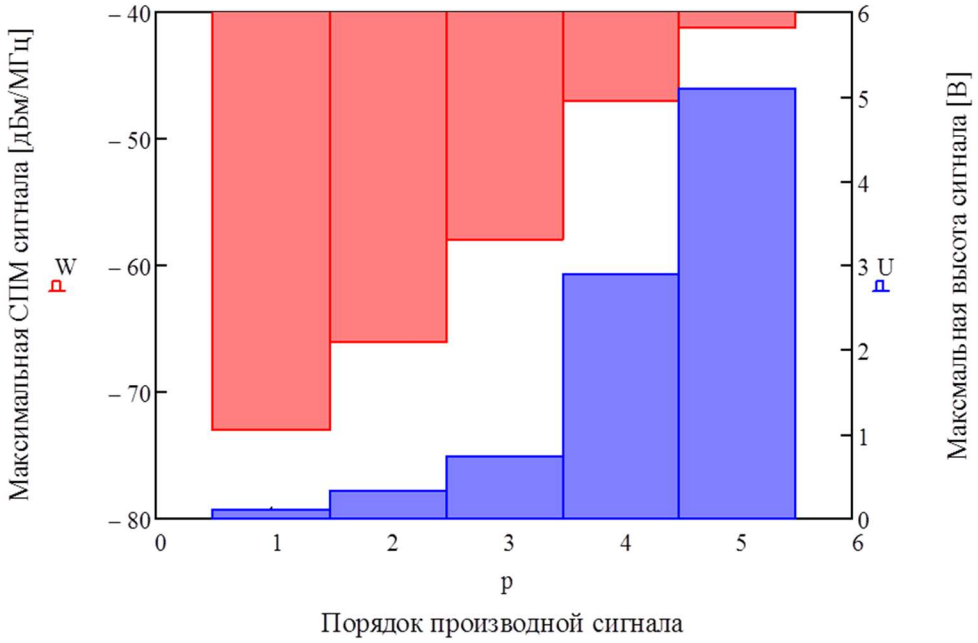


Рис. 5. Предельно-допустимые значения высоты и СПМ гауссовских сигналов

Выводы

В данной работе был проведен временной и спектральный анализ сигналов для СШП систем локального позиционирования. Показано, что форма и ширина спектра пачки повторяющихся СШП импульсов со случайными высотами совпадает с формой и шириной спектра соответствующего одиночного импульса.

Наиболее эффективным для систем локального позиционирования является сигнал в виде 5-й производной Гауссова импульса, так как он позволяет обеспечить наибольшее пиковое значение и энергию в пределах разрешенной спектральной маски.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф.* Сверхширокополосные сигналы и физические процессы. 1. Основные понятия, модели и методы описания // Радиофизика и радиоастрономия, 2008. Т. 13, № 2. С. 166-194.
2. Методы спутникового и наземного позиционирования. Перспективы развития технологий обработки сигналов. Под ред. Д. Дардари, Э. Фаллетти, М. Луизе. – Москва: Техносфера, 2012. – 528 с.
3. *Sahinoglu Z., Gezici S., Guvenc I.* Ultra-wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithmsand Protocols. – New York: Cambridge University Press, 2008.

4. *Дмитриев В.* Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов UWB // Компоненты и Технологии, 2003. № 9. С. 72-76.
5. *Гоноровский И. С.* Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие для студентов вузов – изд. 5-е, испр. – Москва: Дрофа, 2006. – 719 с.
6. Federal Communications Commission, Part 15 - Radio Frequency Devices, Feb. 2006. [Online]. Available: http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/part15-2-16-06.pdf.

Кезикова Екатерина Юрьевна, студент магистратуры кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, тел.: +7 (989) 707-35-98, email: kezikova@sfedu.ru.

Севастьянов Никита Дмитриевич, студент магистратуры кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922, тел.: +7 (928) 125-39-98, email: nsevastyanov@sfedu.ru.

Пилипенко Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер.Некрасовский 44, 347922, тел.: +7 (8634) 37-16-32, email: ampilipenko@sfedu.ru.

Kezikova Ekaterina Yuryevna, Master's Student of the Department of Fundamentals of Radio Engineering, Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347922, phone: +7 (989) 707-35-98, email: kezikova@sfedu.ru.

Sevastyanov Nikita Dmitrievich, Master's Student of the Department of Fundamentals of Radio Engineering, Institute of Radio Engineering Systems and Management, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347922, phone: +7 (928) 125-39-98, email: nsevastyanov@sfedu.ru.

Pilipenko Alexander Mikhailovich, Candidate of Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fundamentals of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: ampilipenko@sfedu.ru.

Rashmi Kumaria Nitwane, Dr.Vaishali.D.Bhagile, Dr.Ratnadeep.R.Deshmukh

USE OF REGRESSION MODELS IN THE ANALYSIS OF CLIMATIC VARIABLES : A CASE STUDY OVER THE AURANGABAD REGION OF MARATHWADA

Climate variables like Precipitation and Temperature are unpredictable and dynamic but their time series analysis can be fruitful in understanding the pattern of change over the years. The study is also useful for development of prediction tool for better monitoring services at regional scale. This paper investigates the historic monthly precipitation and mean temperature data of the Aurangabad region of Marathwada, Maharashtra, India with the help of regression models like ARIMA and WARMA . The dataset consist of 101 years monthly precipitation and mean temperature data starting from year 1901 – 2002. The Best ARIMA model for precipitation data of Aurangabad region of Marathwada India was ARIMA (0,0,0)(2,1,0)[12] with AICC values of 12969.19 And 12984.49 and for the mean temperature the best ARIMA model was ARIMA (1,0,1) (2,1,0) [12] with the corresponding AICC values of 3225.32 And 3255.92. Similarly, the Wavelet analysis on the same data set of precipitation and median temperature produced much more promising result. Therefore, instead of ARIMA model the Wavelet ARMA is much more efficient and useful.

ARIMA, Wavelet Auto Regressive Moving Average (WARMA), Forecasting model, Precipitation, temperature.

1. Introduction

Precipitation and Temperature are the two climate variables which are extremely dynamic in nature and the time series analysis of these two variables can help us in understanding the variations in the vegetation health over an area. The amount of precipitation and the mean temperature of an area during the crop cycle helps us understand the changes in vegetation health moreover these variables play an important role in the prediction of meteorological drought. Many meteorological drought indices like SPI, SPEI etc. consider precipitation amount as one of the main factors. [1] While rainfall information is an important concept in water resources planning forecasting of temperature variability is applied to varied applications like drought detection, climate monitoring, agriculture planning etc.

The organization of the further sections of the paper are section 2 Literature review, section 3 is the description of the study area, section 4 contains the information about the sources of dataset and methodology undertaken and section 5 contains the results and discussions of the study as well as the concluding remarks.

2. Literature Review

The time series analysis using the regression methods is usually done for forecasting. The historic data set of longer time scales proves to be useful for proper analysis. The most popular methods for timeseries forecasting are autoregressive integrated moving average (ARIMA) models [2]. The main aim of ARIMA modelling is to understand the past patterns and predict the future trends ARIMA Model has been used by various researchers for diagnosis and modelling of hydrologic timeseries [3] as well as ARIMA models are applied in the field of medicine, economics, engineering too[4] . There are advantages of using ARIMA model but there are few disadvantages too therefore a variation of ARIMA approach wavelet autoregressive moving average (WARMA) is being applied by researchers for better analysis and modelling of the timeseries data. It has been found by researchers that wavelet based ARIMA models give good prediction accuracy then conventional ARIMA models [5].

3. Study area

Aurangabad region is one of the most prominent and historic regions of the state of Maharashtra, India. There are 52 ancient gates in Aurangabad therefore it is also called 'The City of gates'. The region lies to the west of Vidarbha and east of Khandesh regions of Maharashtra covering the area of 10,100Km^2 .Aurangabad district is located in the Godavari River basin and partly in Tapti reiver basin. The district's North longitude is 19 and 20 (in degrees) and East Longitude is 74 to 76 (in degrees) [6]. The study is crucial as the region experienced drought for continuous five years making water management strategies vulnerable[7]. The reason to apply ARIMA and WARMA approach to study the historic times series of this area is that no such study has been undertaken in this region at this scale before.

4. Data and Methodology

The precipitation and mean temperature dataset used in this study is obtained from India Water Portal Site[8]. The data set ranges from 1901 to 2002. The monthly dataset is obtained for the Aurangabad region of Maharashtra. The ARIMA modelling and WARMA modelling on the dataset is

conducted using R Studio using the libraries forecast, WaveletArima and WaveletComp.

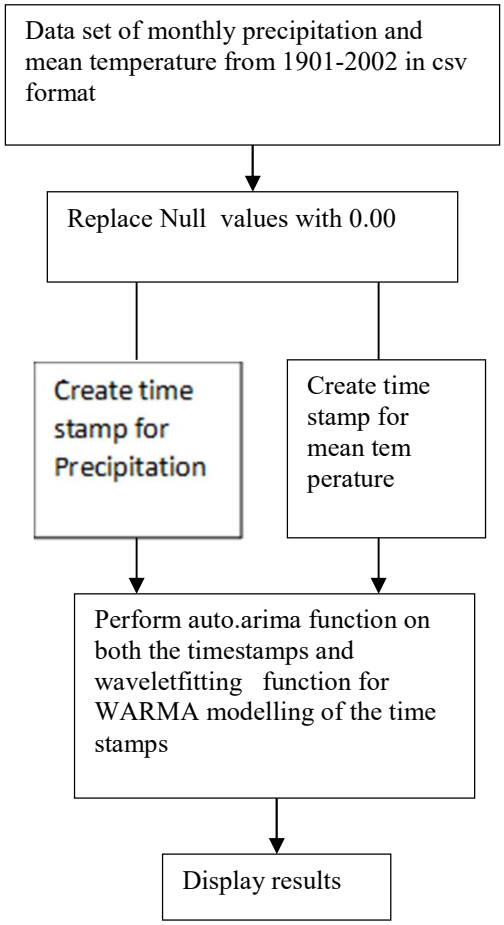


Fig. 1.Methodology for ARIMA Modelling

In ARIMA models a non-stationary time series is made stationary by applying finite differencing of the data points [10][11]. A series that you can model as a stationary ARMA (p, q) process after being differenced D times is denoted by ARIMA (p, d, q). The behavior of precipitation data and temperature data was investigated using the autocorrelation function (ACF) and partial autocorrelation function (PACF). The ACF and PACF determines the order of model. Moreover, the model giving minimum Akaike Information Criteria (AIC) and Bayesian Information Criteria (BIC) proves to be best model. Wavelet transformations are computed using the Morlet wavelet. WaveletArima package of R developed by Ranjit Kumar Paul and Sandipan Samanta consist of waveletfitting function and waveletfittingarma function for auto regressive moving average calculations for both the precipitation and temperature datasets while the waveletfitting functions transforms the time series data by using MODWT algorithm using 'haar' filter the wavelet computational analysis package

developed by Anji Roesch does the reconstruction of time series and phase difference as well as determine the coherency of the two datasets.

5. Results and Discussions

a) ARIMA Modelling of Precipitation and Median Temperature.

i) Autocorrelation and partial auto correlation plot .

The autocorrelation and partial autocorrelation plot for the Median temperature and Precipitation data is shown in Fig.2., Fig.3., Fig.4, and Fig.5. respectively. These plots help us in identifying the model. i.e. Alternating positive and negative, decaying to zero mean AR model. Decay, starting after a few lags means mixed AR and MA model[4].

ii) Decomposition of Additive Times series for both Precipitation and Temperature dataset

Figure 6 and 7 gives the visual interpretation of Decomposition of Additive time series for Precipitation and Temperature data set respectively.

iii) Order of the models

The model giving the minimum AIC and BIC values is the best model. The comparison of Precipitation and Temperature data shows that ARIMA model for temperature is more suitable than that of Precipitation which suggests that precipitation is much more dynamic and random variable than temperature. The summary of the results are shown in Table.4.

iv) Residuals of ACF

To determine whether the residuals are white noise the Residuals ACF function are used. The figure. 8 and 9 shows the residuals ACF for precipitation and temperature dataset.

v) Forecast Result

Finally the forecast results for both Rainfall and temperature data is shown. The short term forecast of 12 months was done to test the dataset.

b) WARMA modelling of Precipitation and median temperature.

i) There are seven wavelet levels in the precipitation series as well as temperature series of the dataset.

ii) The results for the analysis of wavelets of rainfall data and temperature data is shown in the figure. respectively .

iii) Coherency between the two data series is conducted by analyze.cohorency function the results of same has been given in the figure. below.

ARIMA Results for Rainfall and Temperature Data set (1901-2002).

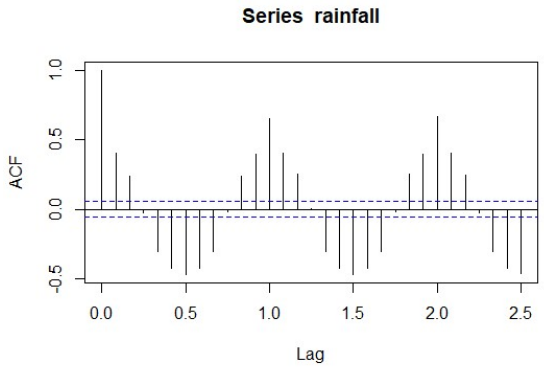


Fig. 2 Autocorrelation of Original Rainfall Data

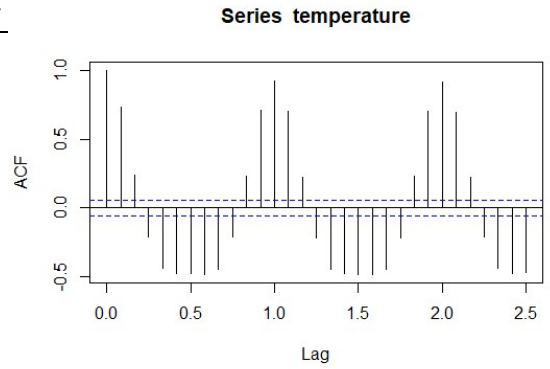


Fig. 3 Autocorrelation of Original timeseries Data

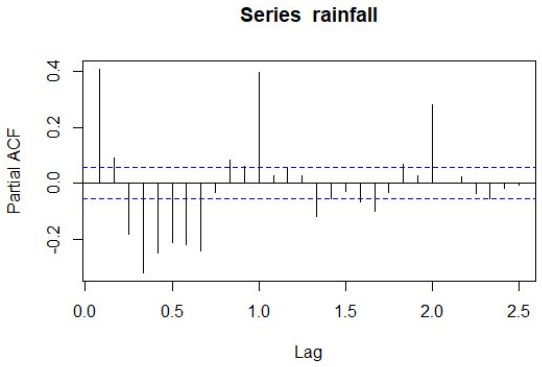


Fig. 5. Partial ACF of Original Rainfall Data

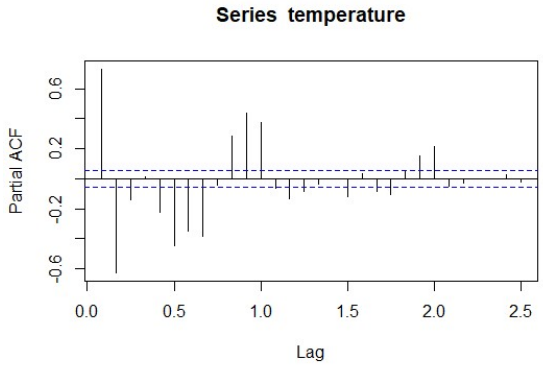
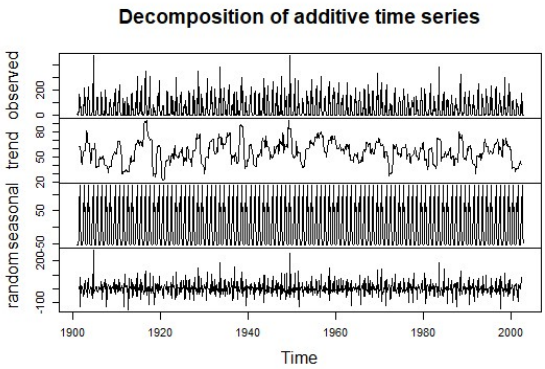


Fig. 4 Partial ACF of Original Temperature Data



Figu.7.Time series decomposition of Rainfall data from 1901-2002

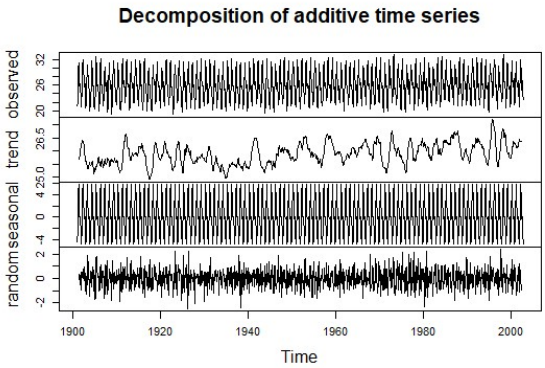


Fig. 6.Time series decomposition of Temperature data from 1901-2002

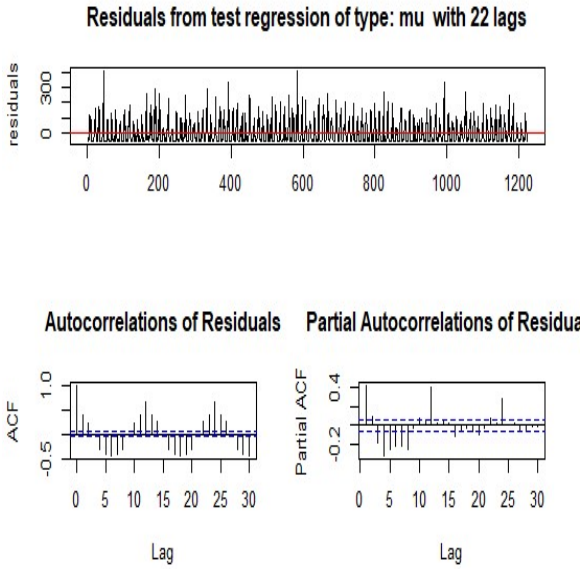


Fig.8. Residuals from test regression for Rainfall Data

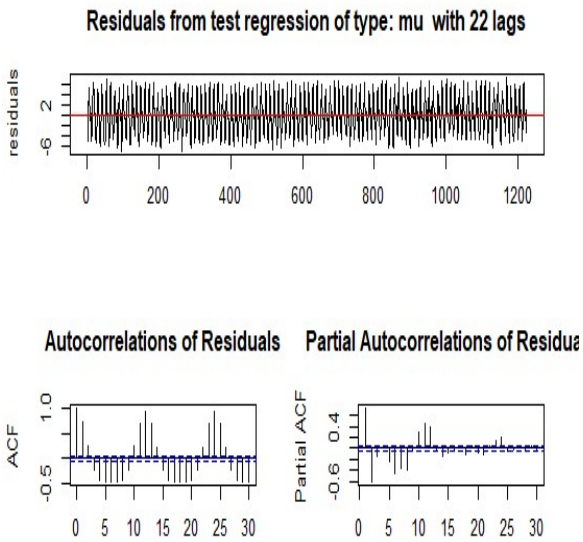


Fig. 9.Residuals from test regression for Temperature data

Table 1. Z test coefficients for Temperature data(1901-2002)

	2.5%	97.5%
AR1	**0.06101923**	**0.1819495**
MA1	**-1.00434895**	**-0.9956501**
SAR1	**0.57752857**	**0.6722887**
%Confidence levels for Temperature series		
	2.5%	97.5%
AR1	**0.2600803**	**0.3717695**
MA1	**-1.0040287**	**-0.9959707**
SAR1	**0.8810860**	**0.9298455**

Table 2. Z test Coefficient for Rainfall Data(1901-2002)

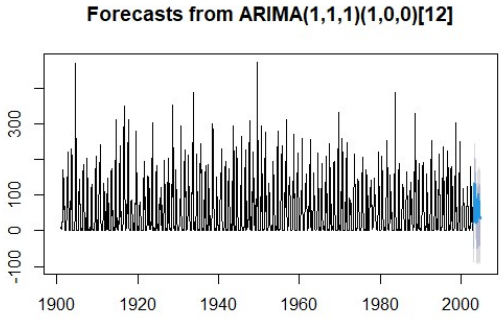
Z test coefficients for Rainfall Series				
	Estimate	Std .Error	Z value	Pr>|Z|
AR1	**0.1214844**	**0.0308501**	**3.93**	**8.22e-05**
MA1	**-0.9999995**	**0.0022191**	**-450.6274**	**<2.2e-16**
SAR1	**0.6249086**	**0.0241739**	**25.8505**	**<2.2 e-16**

Table 3.Confidence levels for Rainfall and Temperature data(1901-2002)

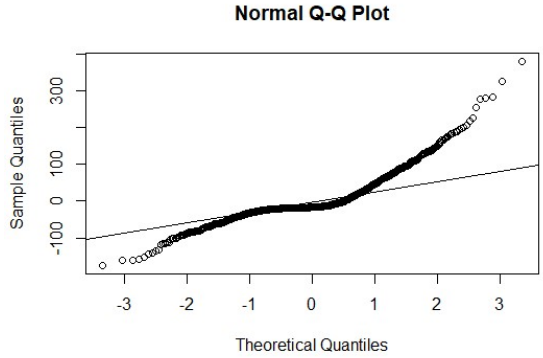
Z test coefficients for Temperature Series				
	Estimate	Std .Error	Z value	Pr>|Z|
AR1	**0.3159249**	**0.0284927**	**11.088**	**<2.2e-16**
MA1	**-0.9999997**	**0.0020557**	**- 486.458**	**<2.2e-16**
SAR1	**0.9054657**	**0.0124389**	**72.793**	**<2.2e-16**

Table 4. Best ARIMA Models for Rainfall and Temperature Data series

Best ARIMA Model for Rainfall Series	
ARIMA (0,0,0) (2,1,0)[12]	
AIC	BIC
12969.19	12984.49
Best ARIMA Model For Temperature Series	
ARIMA (1,0,1) (2,1,0) [12] with drift	
AIC	BIC
3225.32	3255.92



Figu.11. Forecast Results for the Rainfall Data



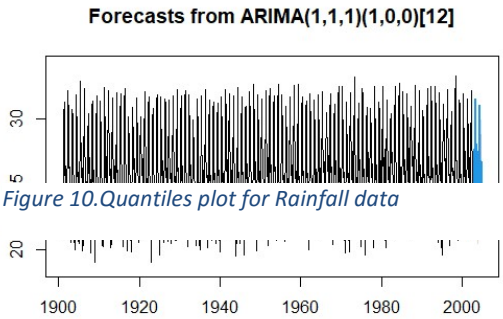


Figure 10.Quantiles plot for Rainfall data

Fig. 12.Forecast results for Temperature data

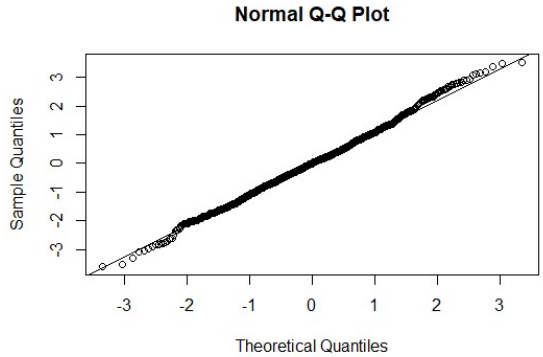


Fig. 13.Quantiles plot for Temperature data

There were total seven Wavelet levels for both the Rainfall data and Temperature data set also the wavelet transformation decomposition of Rainfall and temperature data is shown in Figures below.

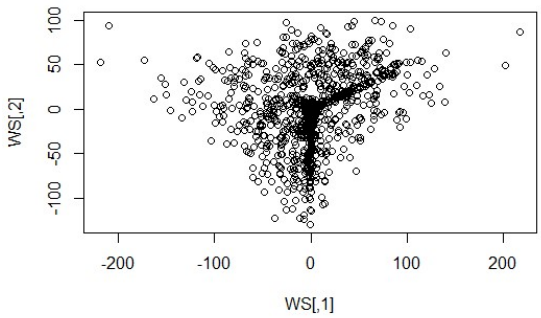


Fig.14. Wavelet for Rainfall Data

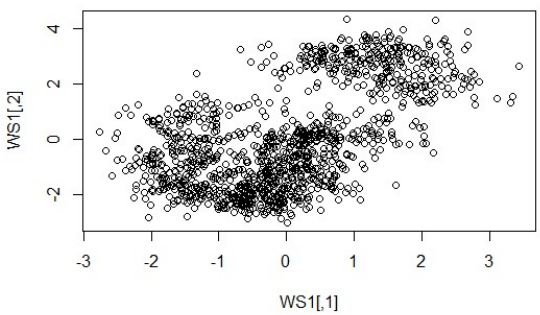


Fig. 15. Wavelet for Temperature data

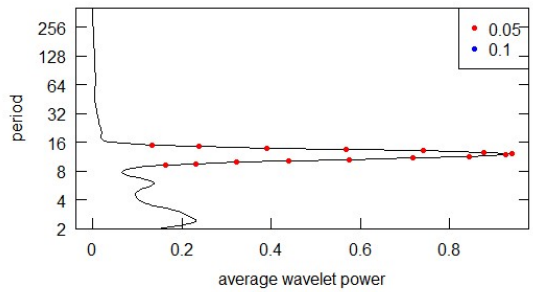


Fig.16. Average Wavelet power for Rainfall Data

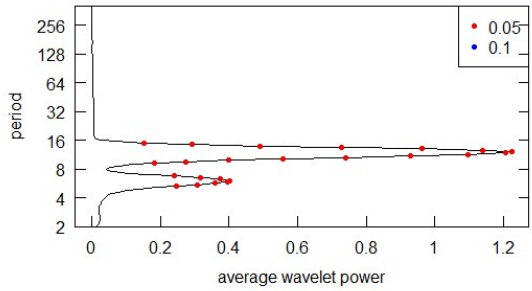


Fig. 17. Average Wavelet Power for Temperature Data

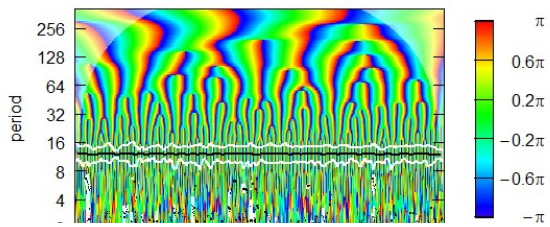
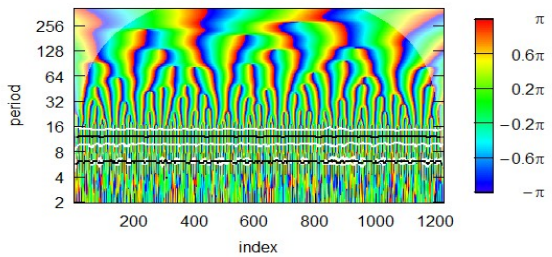


Fig. 18. Wavelet transformation Phases for Rainfall data



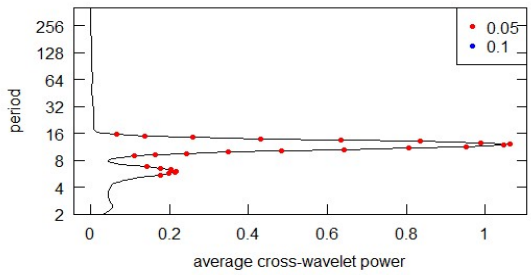


Fig.20. Average Cross wavelet power of Rainfall and Median Temperature data

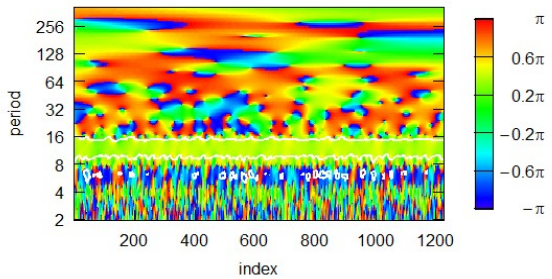


Fig. 21.Wavelet Coherency Phases for Rainfall and Temperature data

6. Conclusion

Based on the study and the results from ARIMA modelling and Wavelet ARMA we conclude that

1. ARIMA model for Median temperature data series can be useful climate predictor but that of rainfall data series does not prove to be efficient.

2. The z test value for Seasonal auto regression both in case of rainfall data and median temperature data series proves that seasonal auto regression modelling of climate variables can be used for short term drought prediction.
3. Wavelet Autoregressive moving average(WARMA) modelling on rainfall and median temperature data series is much more reliable than the ARIMA modelling .

REFERENCES

1. *Nyatuame M., Agodzo S.K.* 2018. Stochastic ARIMA model for annual rainfall and maximum temperature forecasting over Tordzie watershed in Ghana. Journal of Water and Land Development. No. 37 p. 127–140. DOI: 10.2478/jwld-2018-0032.
2. *Dimri T. & Ahmad, Shamshad & Sharif, Mohammad*. (2020). Time series analysis of climate variables using seasonal ARIMA approach. Journal of Earth System Science. 129. 10.1007/s12040-020-01408-x.
3. *Ping Han, Pengxin Wang, Miao Tian, Shuyu Zhang, Junming Liu, et al.*. Application of the ARIMA Models in Drought Forecasting Using the Standardized Precipitation Index. 6th Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA), Oct 2012, Zhangjiajie, China. pp.352-358, ff10.1007/978- 3-642-36124-1_42ff. ffhal-01348118f
4. *Murat, Małgorzata & Malinowska, Iwona & Gos, Magdalena & Krzyszczak, Jaromir*. (2018). Forecasting daily meteorological time series using ARIMA and regression models. International Agrophysics. 32. 10.1515/intag-2017-0007.
5. *Nury, Ahmad & Hasan, Khairul & Alam, Md*. (2017). Comparative study of wavelet-ARIMA and wavelet-ANN models for temperature time series data in northeastern Bangladesh. Journal of King Saud University -Science.2947-61. 10.1016/j.jksus.2015.12.002.
6. www.aurangabad.gov.in
7. https://tatacenter.mit.edu/
8. www.indiawaterportal.org
9. *Paul Ranjit & Prajneshu, & Ghosh, Himadri*. (2011). Wavelet methodology for estimation of trend in Indian monsoon rainfall time-series data. Indian Journal of Agricultural Sciences. 81.
10. *Alwadi, Sadam & Ismail, Mohd Tahir & Khazaleh, Ahmad & Abdul Karim, Samsul Ariffin & Karim, Addul & Petronas, Teknologi & Iskandar, Bandar & Perak, Tronoh & Malaysia,*. (2011). Selecting Wavelet Transforms Model in Forecasting Financial Time Series Data Based on ARIMA Model. Applied Mathematical Sciences (Ruse).

11. *Antonios K. Alexandridis, Achilleas D.* Zapranis, Wavelet neural networks: A practical guide,Neural Networks,Volume 42,2013,Pages 1-27,ISSN 0893-6080, https://doi.org/10.1016/j.neunet.2013.01.008.
12. *Karthika, M. & Muthiah, Krishnaveni & Thirunavukkarasu, V.*. (2017). Forecasting of meteorological drought using ARIMA model. Indian Journal of Agricultural Research. 51. 103-111. 10.18805/ijare.v0iOF.7631.

Rashmi Kumaria Nitwane, Research Student CS&IT Dept, Dr. B.A.M. University, Maharashtra, India.

Dr.Vaishali.D.Bhagile, Research Supervisor CS&IT Dept, Dr. B.A.M. University, Maharashtra, India.

Dr.Ratnadeep.R.Deshmukh, Research Supervisor CS&IT Dept, Dr. B.A. M. University, Maharashtra, India.

УДК 621.396

Непомнящий Артём Витальевич, Марьев Александр Александрович

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Задачей исследования является анализ и доработка существующих методов кадровой синхронизации в системах цифровой беспроводной связи. В статье рассмотрены варианты кадровой синхронизации и продемонстрирован разрабатываемый алгоритм синхронизации.

Маркер, согласованный фильтр, накопитель, кадр.

Nepomniashchii Artem Vitalievich, Maryev Alexander Alexandrovich

THE METHOD AND ALGORITHM OF FRAME SYNCHRONIZATION IN A DIGITAL WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

The target of the research is to analyze and refine the existing methods of frame synchronization in digital wireless communication systems. The article discusses the options for frame synchronization and demonstrates the developed synchronization algorithm.

Marker, measure filter, storage, frame.

С развитием беспроводной цифровой связи увеличивается объем передаваемых данных, для обеспечения правильной передачи этих данных применяется кадровая синхронизация. Большинство потоков цифровых данных имеют определенную кадровую структуру. Поток данных разбит на равные группы бит. Данные, используемые в компьютерах, как правило, разбиваются на слова, состоящие из определённого количества байт, которые группируются в пакеты, кадры или файлы. Каждая система, использующая кодирование с защитой от блочных ошибок, в качестве основы кадра должна брать длину кодового слова. Оцифрованная речь обычно передается пакетами или кадрами, неотличимыми от других цифровых данных.

Чтобы принимаемый поток данных был обнаружен приёмником, его необходимо синхронизировать с тактовой и кадровой структурой потока данных. Представленные результаты относятся к задаче кадровой синхронизации.

Одним из самых простых методов для осуществления кадровой синхронизации, является внедрение маркера – отдельного бита или их последовательности, которая вводится через установленные интервалы в поток данных. Приёмник должен быть настроен на детектирование данной последовательности. Приемник, вошедший в синхронизм, сравнивает известную последовательность с поток принимаемых данных в течение установленного промежутка времени. Когда приемник вошёл в синхронизм, его корреляция будет почти идеальная, в противном случае, при отсутствии синхронизма у приемника, корреляция будет незначительной. Нарушить синхронизм в таком случае может только случайная ошибка обнаружения.

Различают следующие методы кадровой синхронизации:

- маркерная синхронизация;
- безмаркерная синхронизация;
- инерционная синхронизация.

В процессе исследования была разработана модель блока кадровой синхронизации приёмника (рис.1).

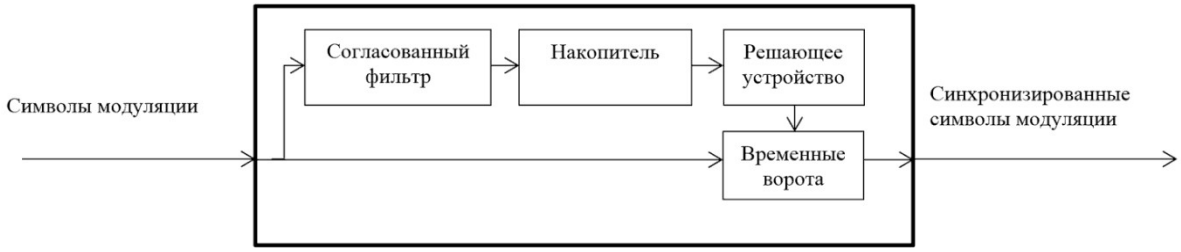


Рис. 1. Структурная схема блока кадровой синхронизации приемника цифровой системы связи

В передатчике в поток данных внедряются маркеры синхронизации (на данный момент в качестве маркера используются 7-позиционные последовательности Баркера), после чего осуществляется передача данных.

На вход приемника поступает аддитивная смесь сигнала с шумом. Приемник выполняет восстановление несущей и тактовую синхронизацию, после чего поток отсчетов сигнала (символов модуляции) с шумом (рис. 2) поступает на вход блока кадровой синхронизации.

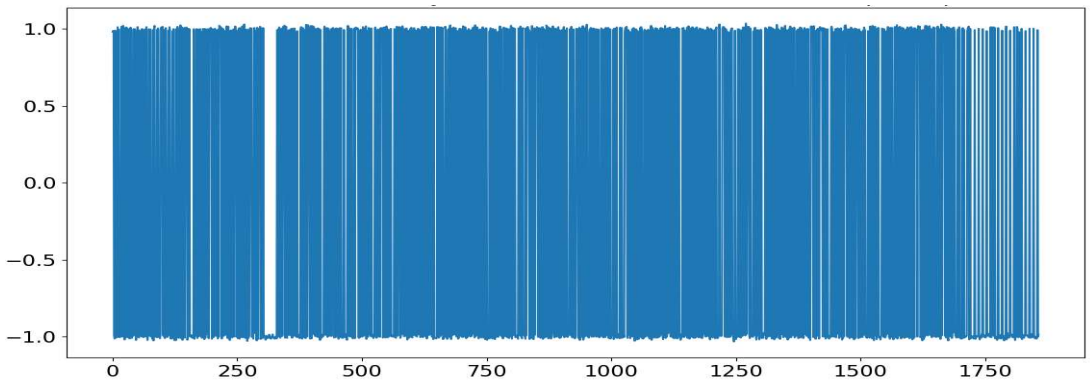


Рис. 2. Смесь сигнала с шумом на входе согласованного фильтра

Смесь проходит через согласованный фильтр (СФ), импульсная характеристика которого представляет собой обращенную последовательность Баркера. Как результат, в момент окончания каждого маркера на выходе СФ наблюдается пик сигнала (рис. 3).

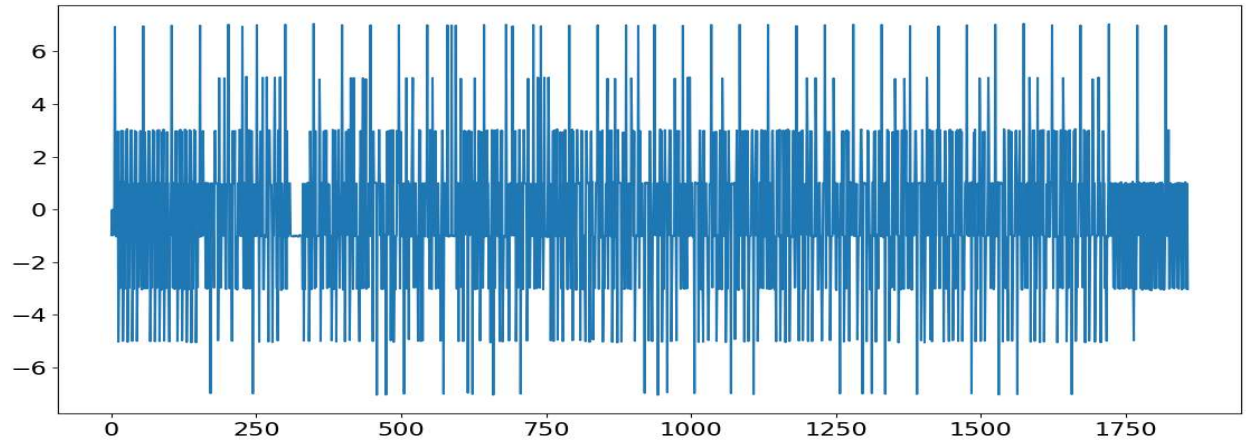


Рис. 3. Смесь сигнала с шумом на выходе согласованного фильтра

Появление маркера синхронизации возможно также в потоке данных внутри кадра, поэтому для понижения вероятности ложной тревоги далее производится переход к задаче обнаружения пачки маркеров. Для этого после СФ сигнал пропускается через накопитель. Пример сигнала на выходе накопителя приведен на рис. 4.

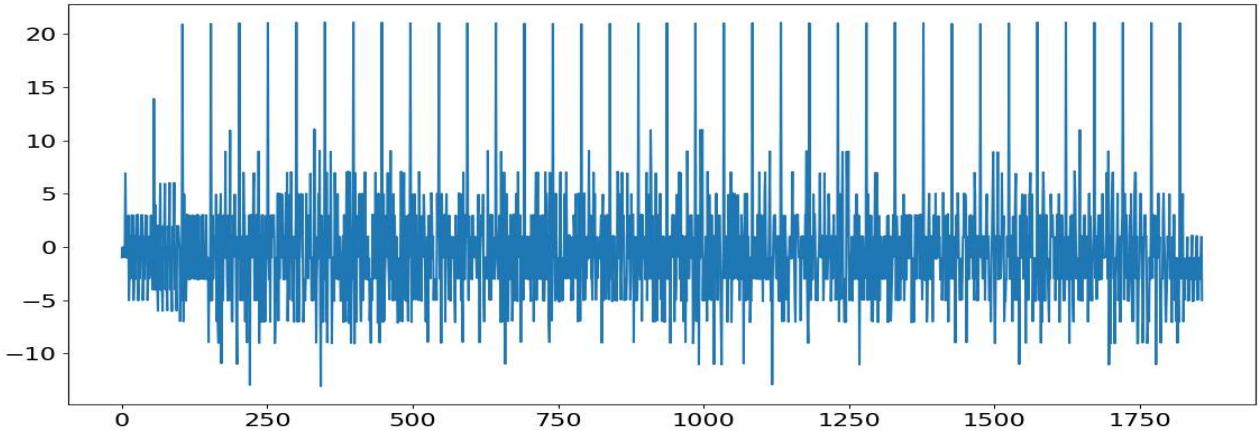


Рис. 4. Смесь сигнала с шумом на выходе накопителя кадров

После накопителя отсчеты смеси подаются на решающее (пороговое) устройство. Порог обнаружения h выбран равным $3M - 1 = 20$ ($M = 7$ – длина маркера). По мере накопления нужного количества кадров (трех) происходит превышение порога и вхождение приемника в кадровый синхронизм. Далее в конце каждого маркера синхронизации временные ворота открываются и пропускают на выход информационную часть кадра.

После выполнения кадровой синхронизации возможно решение таких задач, как демодуляция символов и декодирование сигнала (если применя-

ется помехоустойчивое кодирование). Эти вопросы выходят за рамки проводимого исследования.

Помимо модели блока кадровой синхронизации на языке Python были разработаны упрощенные модели передатчика и канала связи. Был поставлен эксперимент по передаче двоичных данных (текстового файла объемом 100 кБ) через канал связи. Было показано, что при отношении сигнал/шум (с/ш) на выходе блока тактовой синхронизации около 20 дБ данные передаются через канал связи без ошибок.

Приведенные результаты показывают корректность использованных алгоритмов и их программной реализации. В будущем планируется проведение экспериментов по оценке зависимости битовой ошибки от отношения с/ш и оптимизация параметров кадровой синхронизации (длина кадра, длина маркера синхронизации, число кадров, накапливаемых до вхождения в синхронизм) по критерию максимума пропускной способности канала при заданных вероятностях ложной тревоги (сбой синхронизации) и правильного обнаружения (вхождение в синхронизм). Также планируется исследование других видов модуляции (QPSK, QAM), и разработка блока кадровой синхронизации в виде подключаемого модуля (вызываемый подключаемый код).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. *Прокис Д.* Цифровая связь / Д. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
3. *Дахнович А.А.* Дискретные системы и цифровая обработка сигналов: Учебное пособие. /А.А. Дахнович. – Тамбов.: Изд. ТГТУ, 2007-100 с.
4. *Тропченко А.Ю.* Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки: Учебное пособие по дисциплине "Теоретическая информатика" / А.Ю. Тропченко, А.А. Тропченко. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 100 с.
5. *Берлин А.Н.* Сотовые системы связи: Учебное пособие / А.Н. Берлин. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 360 с.
6. *Mengali U.* Synchronization Techniques for Digital Receivers / U. Mengali, N. D'Andrea. – New York: Plenum Press, 1997. – 524 c.
7. *Barker R. H.* "Group Synchronizing of Binary Digital Sequences." In Communication Theory. London: Butterworth, pp. 273-287, 1953.

8. *Lüke H. D.* Korrelationssignale. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
9. *Sloane N. J. A.* Sequences A05418/M0771 and A091704 in "The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences."
10. *Stimson G. W.* Introduction to Airborne Radar, 2nd ed. Raleigh, NC: SciTech, p. 172, 1998.
11. *Zwillinger D.* (Ed.). CRC Standard Mathematical Tables and Formulae. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 223, 1995.

Непомнящий Артём Витальевич, студент первого курса магистратуры Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер. 44, 347900, телефон: +7 (918) 878-91-32, email: nepo@sfedu.ru, arnold_00_00@mail.ru.

Марьев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, 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: aamarev@sfedu.ru.

Nepomniashchii Artem Vitalievich, first-year Master's student of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347900, phone: +7 (919) 878-91-32, email: nepo@sfedu.ru, arnold_00_00@mail.ru.

Maryev Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Department of Fundamentals of Radio Engineering Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky street, phone: +7 (8634) 37-16-32, email: aamarev@sfedu.ru.

УДК 621.396

Бакшун Дмитрий Иванович

РАЗРАБОТКА SDR-ПРИЕМНИКА НА ПЛИС

Задачей исследования является разработка радиоприемника SDR, реализованного программным путем, используя программируемые интегральные микросхемы. В статье разобраны особенности построения канала приема данных с АЦП и применения готовых компонентов пакета DSP среды разработки Quartus Prime.

SDR, АЦП, комплексный гетеродин, перемножитель, Qsys, Small ROM.

Bakshun Dmitry Ivanovich

SDR RECEIVER DEVELOPMENT USING FPGA

The research of objective is to develop a receiver SDR implemented programmatically using programmable integrated circuits. The article analyzes the data reception channels with ADC and features of the use of ready-made components of the DSP package of the Quartus Prime development environment.

SDR, ADC, Complex Heterodyne, Multiplier, Qsys, Small ROM.

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

1. Разработка канала приема данных с АЦП

Существует большой выбор АЦП, предназначенных для выполнения разных задач. Для задач, не требующих высокого быстродействия, например, прием данных от датчиков температуры или измерение напряжения питания, достаточно простых дешевых микросхем, использующих последовательный интерфейс передачи. Но для приема радиосигналов, частота которых достигает сотен мегагерц, необходимы быстродействующие АЦП, способные конвертировать сигналы, частота которых превышает частоту дискретизации самого АЦП.

При выборе микросхемы АЦП учитывались основные важные параметры, которыми является: разрешение в битах, частота дискретизации и интерфейс передачи данных. Так как SDR должен принимать радиосигналы в широком диапазоне частот, необходимо рассматривать микросхемы с высокой частотой дискретизации, работающие по параллельному интерфейсу. Для разработки канала дискретизации сигнала выбран АЦП фирмы Analog Devices AD9280 [1].

Существует готовый модуль AN108, который содержит сам АЦП AD9280, входной защитный каскад на диодах и драйвер в виде ОУ. Взаимодействие с микросхемой осуществляется через соединитель J4.

Для программирования канала дискретизации наибольший интерес представляют «тайминги» отправки битов в принимающее устройство, которые изображены на рис. 1.

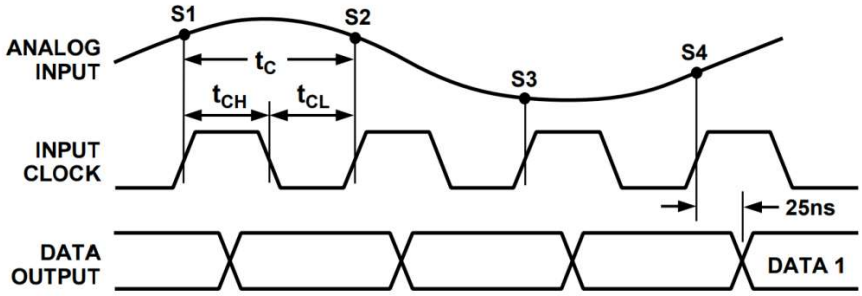


Рис. 1. Формирование битов данных при дискретизации в АЦП

ANALOG INPUT – входной аналоговый сигнал.
INPUT CLOCK – входной тактовый сигнал.
DATA OUTPUT – выходные байты данных.

Можно видеть, что дискретизация входного сигнала происходит по нарастающему фронту тактового сигнала АЦП. Далее идет задержка данных в течение трех циклов и на четвертом цикле через 25 нс от положительного фронта тактового сигнала осуществляется формирование битов на выходе.

2. Разработка канала NCO

Комплексный гетеродин реализован в виде IP-ядра NCO [2] в пакете компонентов DSP.
Вид его схематического обозначения представлен на рис. 2.

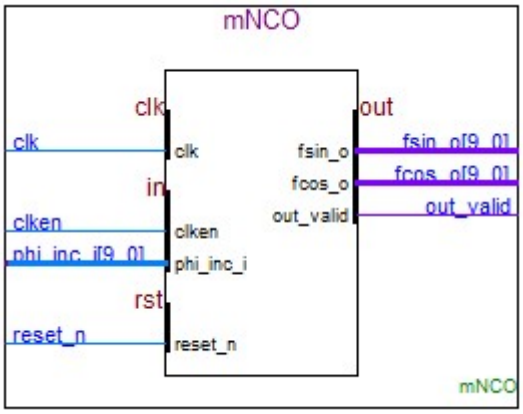


Рис. 2. Графическое обозначение NCO

clk – порт тактирования. Используется для синхронизации генератора с другими компонентами в ПЛИС.

clken – порт, разрешающий тактирование.

phi_inc_i[A-1..0] – шина, задающая инкремент для аккумулятора фазы,

reset_n – сброс аккумулятора фазы, активный низкий уровень.

fsin_out[B-1..0] – шина, на выходе которой получаем коды синусоидального сигнала.

fcos_out[B-1..0] – шина, на выходе которой получаем коды косинусоидального сигнала.

out_valid – порт, сигнализирующий о том, что значения на выходах fsin_out и fcos_out являются действительными (получены правильно и готовы к дальнейшим операциям).

При генерировании ядра необходимо задать нужные параметры в окне Qsys. Хочется уделить особое внимание пункту Generated Output Frequency Parameters. При указании значения параметра выходной частоты (Desired Output Frequency), в строке инкремента фазы (Phase Increment Frequency) появляется необходимое значение инкремента. Особенность процедуры установки частоты заключается в том, что окно Qsys работает как «калькулятор инкремента фазы». Это значит, что, задав выходную частоту генератора, мы обязаны самостоятельно установить значение инкремента фазы на шину phi_inc_i[A-1..0].

В пункте Base Parameters строке generation Algorithm указывается алгоритм, реализующий комплексный генератор. Существует четыре архитектуры NCO:

1) Large ROM – решение, использующее большой объем внутренней оперативной памяти для хранения отсчетов всего периода синуса и

косинуса. За счет этого для получения отсчетов на выходе генератора выход фазового аккумулятора обращается напрямую к оперативной памяти, что позволяет добиться очень высокой частоты генератора, используя наименьшее число логических элементов, но ценой затраты ресурсов памяти;

2) Small ROM – решение, работающее как Large ROM, но использующее вместо полного периода его четверть. В этом случае полный период выводится из положения вращения фазы. Так как при выводе полного периода таким способом получаем периодическое повторяющиеся значения, то спектр будет немного искажен;

3) CORDIC – решение, при котором синус и косинус вычисляются при обращении фазового аккумулятора к вычислительному блоку. В основе алгоритма лежит умножение фазы на константы для получения необходимого значения фазы. Так как в пакете DSP CORDIC перемножение производится только на степень двойки, то перемножение можно организовать простыми логическими элементами. CORDIC позволяет получить очень высокую точность генератора, используя минимальное количество памяти;

4) Multiplier-Based – решение, которое использует перемножители для получения необходимой фазы.

Выбор одной из архитектур реализации исходит из задач, которые будет выполнять генератор, и приоритета ресурсов самой ПЛИС.

3. Разработка канала сдвига частот

Смещение спектра сигнала происходит путем его перемножения на комплексный гетеродин. В ПЛИС существуют готовое решение задачи перемножения в виде IP-ядра библиотеки LPM [3]. Вид его схематического обозначения представлен на рис. 3.

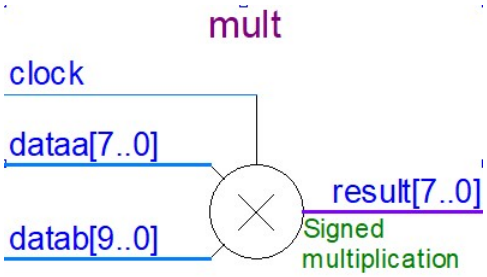


Рис. 3. Графическое обозначение ядра перемножителя

clock – порт тактирования,

dataa[] – шина входных битов числа a. Ширина шины устанавливается в зависимости от максимального входного значения числа a,

datab[] – шина входных битов числа b. Имеет те же свойства что dataa для числа b,

result[] – шина выходных битов.

Для данного компонента устанавливается тип входных и выходных значений, который может быть signed и unsigned.

Выводы

Так как микросхема АЦП имеет опорное напряжение 1 В, то отрицательная часть сигнала не будет оцифрована. Для устранения этой проблемы, на плате установлен делитель на резисторах, через который подается напряжение смещения, устанавливающее центральную точку 0,5 В или в выходном коде – 125_{10}. При обработке отсчетов на выходе АЦП необходимо вычесть эту постоянную составляющую для преобразования однополярного цифрового сигнала в двухполярный. В этом случае тип данных на входе перемножителя преобразуется в signed.

В разработке SDR применяется ПЛИС с достаточно большим объемом ресурсов. В этом случае можно применять самые быстродействующие архитектуры, занимающие много памяти и логических элементов, но для готового устройстве выбор пал на архитектуру Small ROM, так как она позволяет получить частоту до 15 МГц при использовании четверти периода синусоиды, что положительно сказывается на расходах памяти и не использует готовые ядра перемножителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Микросхема AD9280
2. URL:https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9280.pdf (дата обращения: 15.05.2021).
3. Intel NCO IP
4. URL:https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug_nco.pdf (дата обращения: 15.05.2021).
5. Intel библиотека LPM
6. URL:https://www.intel.ru/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug_lpm_alt_mfug.pdf (дата обращения: 15.05.2021).

7. *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.
8. *Ричард Лайонс* Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. - - М.: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. - 656 с.: ил.
9. *Потехин В.А.* Схемотехника цифровых устройств: учеб. пособие для вузов – Томск: В-Спектр, 2012 – 250с.

Бакшун Дмитрий Иванович, студент первого курса магистратуры Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер. 44, 347900, телефон: +7 (918) 598-85-88, email: bakshun@sfedu.ru, dimentr_98@mail.ru.

Bakshun Dmitry Ivanovich, first-year Master's student of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, 347900, phone:
+7 (918) 598-85-88, email: bakshun@sfedu.ru, dimentr_98@mail.ru.

УДК 621.396

Абакумов Дмитрий Михайлович

АТАКА НА КОРПОРАТИВНЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ С ЗАЩИТОЙ WPA2-Enterprise

Целью данного исследования является рассмотрение одного из возможных векторов атаки на корпоративную сеть, построенную на базе протокола WPA2-Enterprise. Основная задача – проанализировать возможные действия злоумышленника, для построения более безопасной сети. Проведя исследование можно сказать, что сети на базе WPA2-Enterprise являются хорошо защищенными, но безопасными могут считаться только после дополнительной настройки.

WPA2-Enterprise, EAP, GTC, безопасность.

Abakumov Dmitry Mikhailovich

ATTACK ON CORPORATE WIRELESS NETWORKS WITH WPA2-Enterprise

The purpose of this study is to consider one of the possible attack vectors on a corporate network built based on the WPA2-Enterprise protocol. The main task is to analyze the possible actions of an intruder in order to build a more secure network. After some research, we can say that WPA2-Enterprise-based networks are well secured, but they can only be considered secure after additional configuration.

WPA2-Enterprise, EAP, GTC, Security.

Введение

Сейчас трудно представить себе повседневную жизнь без Wi-Fi. Беспроводные сети окружают нас повсюду - на работе, на учебе, дома. Но что на счет безопасности? Вероятность любого взлома тем выше, чем стоимость и важность данных, которые будут получены. Поэтому, скажем, вероятность взлома домашней сети много ниже, чем вероятность взлома корпоративной сети. О безопасности домашних сетей написано немало статей, но что на счет корпоративных? Под корпоративными сетями здесь и далее подразумевается беспроводная Wi-Fi сеть внутри какой-либо организации, защищенная с помощью WPA2-Enterprise.

Почему WPA2? WEP уже много лет признан небезопасным, WPA - устарел, и был заменен WPA2, а WPA3 находится только в стадии черновика.

Для начала посмотрим, как устроен WPA2-Enterprise и в чем его отличие от WPA2-PSK

1. WPA2-Enterprise

Между WPA2-Personal и WPA2-Enterprise разница заключается только в механизме получения ключей шифрования для алгоритма AES. WPA2-Personal, или WPA2-PSK (Pre-Shared Key) — ключ статичный. Минимальная длина — 8 символов, алфавит — латиница (нижний и верхний регистр), цифры, спец. символы (точки, слеши и т. д.). Всего около 76 символов. Однако, некоторые производители допускают также применение кириллицы, что однако, не прописано в стандарте. Ключ задается в панели администрирования точки доступа.

В случае компрометации такого ключа — его необходимо менять на каждом устройстве, что не является сложной задачей для небольшой сети (5 — 10 устройств), но уже не подходит для больших сетей (50+ устройств).

WPA2-Enterprise используется динамический ключ, индивидуальный для каждого устройства (хотя нет запрета использовать один пароль для

всех). Хранится и проверяется такой ключ на специальном сервере авторизации, который чаще всего выступает RADIUS-сервер [1]. Схематично процесс подключение к точке доступа WPA2-Enterpise изображен на рис. 1.

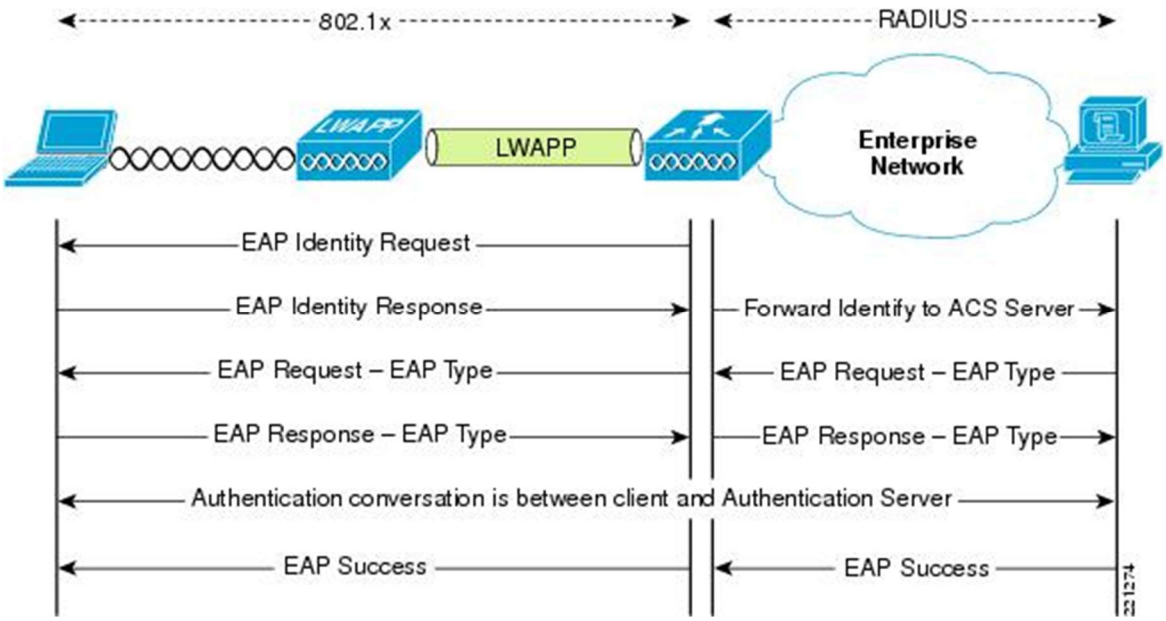


Рис. 1. Подключение к точку доступа с WPA2-EAP

На рисунке мы рассматриваем радиосеть, построенную с помощью легковесных (в плане ПО) точек доступа.

1. Клиент (а точнее компонент под названием supplicant) шлет EAP-Identity Request, в котором указывает, с помощью какого метода будет идти дальнейшее общение с точкой доступа.

2. Если запрос сформирован правильно, точка доступа подтверждает использование выбранного метода.

3. Точка доступа посылает запрос RADIUS-серверу (а правильнее — серверу аутентификации) указывая, какой метод аутентификации запрос клиент.

4. Сервер аутентификации через точку доступа (или аутентификатор) запрашивает у клиента необходимые данные.

5. Шаги 4 -5 повторяются до тех пор, пока сервер аутентификации не разрешит, не запретит соединение или не вернет сообщение об ошибке.

6. Сервер аутентификации так же через аутентификатора возвращает клиенту один из статусов.

7. Сервер аутентификации так же может передавать дополнительные параметры для точки доступа. Например, в какой VLAN поместить клиента, какой QoS-профиль ему назначить, какой IP-адрес ему выделить.

На сегодняшний момент наиболее работоспособными являются следующие RADIUS-сервера:

1. NPS (Microsoft Network Policy Server, в прошлом IAS) — бесплатно для обладателей лицензии Microsoft Windows.

2. ACS (Cisco Secure Access Control Server) — дорогой вариант от Cisco, но с самым большим функционалом.

3. FreeRADIUS (или GnuRADIUS) — бесплатная community версия, неплохой функционал. Enterprise версия платная, но уже с поддержкой 24 / 7, и дополнительными функциями [1].

2. EAP

Сам протокол EAP является по сути фреймворком аутентификации — он не описывает конкретный алгоритм, а лишь обеспечивает общие функции и согласование методов проверок. На текущий момент популярные следующие методы [1, 3]:

1. EAP-FAST (Flexible Authentication via Secure Tunneling) — разработка Cisco; авторизация — логин-пароль. Данные авторизации передаются внутри TLS туннеля между клиентом и RADIUS-сервером.

2. EAP-TLS (Transport Layer Security). Использует открытые ключи (PKI) для авторизации клиента и сервера (суппликанта и RADIUS-сервера) через сертификаты, выписанные доверенным удостоверяющим центром (CA). Требует клиентский сертификат на каждое беспроводное устройство.

3. EAP-TTLS (Tunneled Transport Layer Security) аналогичен EAP-TLS, но при создании туннеля не требуется клиентский сертификат. В таком туннеле, производится дополнительная авторизация (пример, логин-пароль).

4. PEAP-MSCHAPv2 (Protected EAP) — похож на EAP-TTLS, т. к. создания шифрованного TLS туннеля между клиентом и сервером, требует серверного сертификата. В дальнейшем в таком туннеле происходит авторизация по протоколу MSCHAPv2

5. PEAP-GTC (Generic Token Card) — аналогично предыдущему, но требует карт одноразовых паролей.

Все эти методы (кроме EAP-FAST) требуют наличия сертификата сервера (на RADIUS-сервере), подтвержденного удостоверяющим центром

(CA). При этом сертификат удостоверяющего центра должен находиться у клиента в группе доверенных.

Поддержка любого из EAP методов должна обеспечиваться на стороне клиента. Стандартный суппликант, встроенный в Windows, Linux (wpa_supplicant), iOS, Android поддерживает все вышеперечисленные методы.

3. Как атаковать?

Как видно, WPA2-Enterpise позволяет построить хорошо защищенную сеть, но все же имеет несколько слабостей:

1. DeAuth-атака (общая уязвимость для всего WPA протокола).
2. Evil-Twin (так же общая для всего протокола WPA).
3. GTC Downgrade.

4. DeAuth-атака

Протокол IEEE802.11 (Wi-Fi) предусматривает наличие так называемых фреймов деаутентификации. Их отправляет точка доступа для того, чтобы оповестить клиента, что соединение с ним разорвано, и необходимо переподключение.

Однако, атакующий может подделать пакет и отправить его на любое клиентское устройство, что вызовет отключение клиента и повторный процесс аутентификации.

5. Атака Evil-Twin

В протоколе Wi-Fi для построения больших сетей предусмотрели следующий функционал: клиентское устройство считает, что две точки доступа относятся к одной сети, если имеют одинаковое название сети (ESSID). В таком случае, устройство само выберет точку доступа с наилучшим сигналом. Это полезно при построении большой сети. Однако, это же является отправной точкой для многих атак, названных Evil-Twin (злой близнец) [2].

Злоумышленник создает точку доступа с таким же названием, как и у легитимной точки, а затем либо используя специальные направленные антенны, либо физически находясь ближе к клиенту вынуждает его подключиться к своей сети. Часто комбинируется с DeAuth-атакой для ускорения процесса переподключения.

6. GTC-Downgrade

Как было рассмотрено в разделе 1, сервер аутентификации подтверждает выбранный клиентом метод аутентификации.

Протоколы, такие как MsCHAPv2 обеспечивают высокую степень безопасности и не поддаются взлому известными методами. Передача пароля в таких протоколах осуществляется в виду хэша. Логин передается в открытом виде.

Но в протоколе GTC пароль передается в открытом виде. Злоумышленник может настроить RADIUS-сервер своей сети таким образом, что поддерживаться будет только метод GTC. В таком случае, у клиента не будет возможности выбрать другой метод, и он так же выберет его, и отправит данные аутентификации.

Уязвимость GTC в том, что изначально метод задумывался для передачи паролей с одноразовых карт. Но большинство клиентов не обращает внимания на тип пароля, который запрашивается, поэтому просто показывает окно ввода логина\пароля как для других методов. Более того, со стороны RADIUS-сервера, пароль будет получен в чистом виде [3].

7. Атака на WPA2-Enterprise

Собрав все 3 метода атаки вместе получим алгоритм атаки на WPA2-Enterprise:

1. Выбрать сеть, на которую осуществляется атака и записать ее ESSID.
2. Создать свою точку доступа с таким же ESSID (атака Evil-Twin).
3. Настроить точку доступа на использование своего Radius сервера.
4. Задать RADIUS-серверу используемый метод EAP — GTC.
5. Настроить логгирование всех пакетов, передаваемых к Radius-серверу.
6. Отключить клиентов от легитимной сети.

В результате этих действий, клиент передаст логин и пароль в открытом виде серверу аутентификации. Более того, мы можем подтвердить правильность введенных данных на стороне RADIUS-сервера, и отправить клиенту EAP-Success, что приведет к тому, что клиент подключиться к нашей сети.

Для автоматизации всех шагов используем утилиту eaphammer:

```
./eaphammer -i wlan0 --channel 4 --auth wpa-eap --essid CorpWifi --creds
```

После запуска утилита в автоматическом режиме проделает шаги 2-5. Нам остается лишь заставить клиентов подключиться к нашей сети и ожидать, когда клиентской устройство само отправит нам логин и пароль в открытом виде.

8. Как защититься?

Использовать сертификаты. При подключении к точке доступа по протоколу WPA2-EAP клиент запрашивает и проверяет сертификат безопасности. Если сертификат, который отправляет сервер аутентификации не подписан сертификатом доверенного CA, то будет выдано предупреждение или разорвано подключение. Это самый простой и надежный способ защиты.

Вывод

В статье был коротко рассмотрен один из вариантов атаки на корпоративную сеть, и приведен способ защиты от нее. Для максимальной безопасности необходимо использовать комплекс мер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. WPA2-Enterprise, или правильный подход к безопасности Wi-Fi сети // Хабрахабр URL: https://habr.com/ru/post/150179/ (дата обращения: 03.03.2021).
1. Wi-Fi: скрытая угроза // Новое Время URL: https://newtimes.ru/articles/detail/4572/ (дата обращения: 03.03.2021).
2. EAP Downgrade Attacks // solstice.sh URL: https://solstice.sh/iii-eap-downgrade-attacks/ (дата обращения: 03.03.2021).

Абакумов Дмитрий Михайлович, студент 3 курса ИТА ЮФУ, Россия, город Таганрог.

Abakumov Dmitry Mikhailovich, 3rd year student of Engineering Technology Academy of Southern Federal University, Russia, Taganrog.

УДК 004.89/.85+004.93’1

Гузик Вячеслав Филиппович, Пьявченко Алексей Олегович,
Ильченко Артем Владимирович, Шестаков Александр Валентинович

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИНТЕЗА СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АВТОМАТОВ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЧТОВОГО КОДА

В данной статье рассматривается один из вариантов решения задачи автоматизации синтеза модели нейросетевого классификатора,

предназначенного для распознавания рукописного текста почтового отправления на примере международного почтового кода в условиях раздельного написания символов, составляющих этот код. Рассмотрены вопросы использования Deep Learning Toolbox из состава MATLAB для разработки, обучения и экспериментального применения модели классификатора на наборе данных EMNIST.

Международный почтовый индекс, анализ, обработка, распознавание, сверточные нейронный сети, автоматизация, разработка, автоматический нейросетевой классификатор.

Guzik Vyacheslav Philipovich, Pyavchenko Aleksey Olegovich,
Ilchenko Artem Vladimirovich, Shestakov Alexander Valentinovich

ISSUES OF AUTOMATION OF SYNTHESIS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK MACHINES ON THE EXAMPLE OF POSTAL CODE RECOGNITION

This article discusses one of the options for solving the problem of automating the synthesis of neural network classifier model designed to recognize the handwritten text of the mail on the example of an international postal code in terms of separate spelling of the characters that make up this code. The use of Deep Learning Toolbox from MATLAB for the development, training and experimental application of the classifier model on the EMNIST dataset is considered.

International zip code, analysis, processing, recognition, convolutional neural network, automation, development, automatic neural network classifier.

Введение

Благодаря появлению в распоряжении исследователей таких высокопроизводительных инструментов, как современные персональные компьютеры большой вычислительной мощности, вычислительные супер-кластеры с удаленным доступом, стало возможным вдохнуть «вторую жизнь» в теорию и практику искусственных нейронных сетей (ИНС). Причем, как показали теоретические и экспериментальные исследования, проводимые в России и за рубежом в последние десять – пятнадцать лет, наиболее эффективно ИНС могут быть применяться для решения таких задач, как кластеризация больших наборов обрабатываемых данных, распознавание образов на цифровых изображениях, прогнозирование трендов развития ситуаций, управление поведением подвижных

роботизированных объектов и ряд др. Так, обозначившиеся в настоящее время успехи в области распознавания рукописного текста, полученные с применением ИНС, сверточных нейросетей (СНС) [1], в частности, позволяют по-новому взглянуть на проблему и пути решения задачи автоматизации сортировки почтовых отправлений с применением элементов искусственного интеллекта.

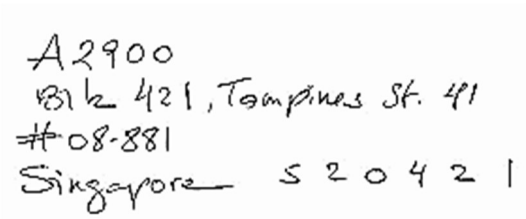
Как известно, для идентификации почтовых отправлений применяют международные почтовые идентификаторы (МПИ), состоящие из цифр и/или букв (рис. 1,а). Страны, являющиеся членами Всемирного Почтового союза (ВПС) (англ. – Universal Postal Union (UPU)), пользуются единой системой присвоения международным почтовым отправлениям уникальных идентификационных номеров [2]. Согласно рис. 1,б, такой МПИ имеет вид XX123456789YY и состоит из четырех частей:

– XX – две начальные буквы – тип почтового международного отправления.

– 12345678 – восемь цифр – уникальный номер отправления. Согласно стандарту UPU-S10, один и тот же номер не должен повторяться в течение 12 календарных месяцев, а рекомендованным периодом является – не менее 24 календарных месяца.

– 9 – девятая цифра представляет собой проверочный код и рассчитывается по специальной формуле. Методика расчета регламентируется стандартом [2].

– YY – две буквы в конце, являющиеся буквенным кодом страны-отправителя по стандарту ISO 3166-1, например, RU (Россия), UA (Украина), US (США), BY (Белоруссия), UK (Южная Коррея), KZ (Казахстан) и т. п.[3]



а)

б)

Рис. 1. Примеры: а) рукописного заполнения почтового адреса в зарубежном отправлении; б) структуры международного почтового индекса, действующего на территориях стран почтового союза

Следует отметить, что внутри какой-либо страны структуры почтового индекса могут сильно отличаться.

Отсюда, с учетом бурно развивающейся международной интеграции во всех отраслях научной и производственной и социальной сферах, резкого увеличения объемов внутреннего и международного грузооборота разработка методов и создание средств автоматической приема, сортировки отправлений, инвариантных к почтовым кодам различных стран и обладающих низким уровнем ошибок распознавания, являются на настоящий момент времени актуальными высокотехнологичными научно-техническими задачами.

Основная часть

В рамках настоящей статьи рассматривается один из вариантов решения задачи синтеза автоматических анализаторов рукописного текста почтового отправления на примере МПИ и вопросы применения средств автоматизации синтеза при этом.

Как известно [4], типовая последовательность методов, используемых в процессе распознавания рукописно записанных кодов, заключается в следующем:

1) предварительный поиск кода – обнаружение области, в которой содержится номер;

2) предварительная обработка исходного изображения, включая его фильтрацию и повышение контрастности;

3) сегментация изображения почтового кода, подразумевающая поиск и выделение рукописного текста (цифр) на изображении, разделение текста на составные части (элементы);

4) поиск и извлечение устойчивых признаков каждого из элементов изображения, выделенных на этапе сегментации;

5) классификация каждого из элементов изображения, выделенных на этапе сегментации, с использованием сформированной на предыдущем этапе совокупности устойчивых признаков;

6) окончательная обработка результатов для построения итоговой символьной (кодовой) последовательности по результатам классификации.

Причем, к наиболее известным методам распознавания кодов символов, применяемым на последнем этапе, следует отнести: K-nearest (метод ближайших соседей) [5], классификатор дерева решений [6], наивный байесовский классификатор [7], машина опорных векторов [8], и ряд др.

Следует отметить, что большинство из указанных выше методов и алгоритмов обнаруживают код неточно, именно поэтому при их использовании требуется предварительное уточнение положения кода на сканируемой поверхности почтового отправления с последующим улучшением качества снимка. Причем повышение контрастности может быть произведено гистограммным или любым другим доступным методом. Сегментация почтового кода (разбиение на символы) выполняется путем построения горизонтальной диаграммы интенсивности яркости, на которой достаточно найти максимумы, что и будет соответствовать найденным промежуткам между символами (буквами/цифрами) (рис. 2). Отсюда задача распознавания МПИ может быть сведена к задаче посимвольной классификации, которую, как показали предварительные исследования [9, 10], можно эффективно решить за счет применения предобученных сверточных нейросетей (СНС). В результате представленная выше типовая последовательность методов примет следующий вид:

Этап 1. Получение RGB изображения видимой поверхности объекта. Выделение требуемого объекта на фоне. Повышение контрастности поверхности, поворот и масштабирование, включая пространственную коррекцию.

Рис. 2. Пример работы алгоритма разбиения найденной области на символы

Этап 2. Применение иерархии распределенных настраиваемых фильтров, включая перевод в серые полутона, и переход к контурному представлению информации и поиск почтового кода посредством комплексного интеллектуального сканирования поверхности с целью поэтапного распознавания: сначала крупно-блочный вариант с

определением наиболее вероятного местоположения и страны назначения, выбор СНС, обученной на соответствующем национальном наборе символов/кодов.

Этап 3. 2D-поворот и масштабирование изображения наиболее вероятного участка поверхности, затем перестройка обученной на соответствующем наборе СНС под обработку зоны, содержащей национальный почтовый код с целью распознавания конкретного адресата: получение кода и выдача конкретных рекомендаций по дальнейшей передаче (пересылке). Собственно, сегментация и распознавание кодов символов/цифр с привязкой к обнаруженным знакоместам.

Этап 4. Проверка на наличие распознанного кода и оценка неопределенности вероятности правильного обнаружения. При высокой неопределенности вероятности правильного обнаружения кода перезапуск операции обнаружения и распознавания МПИ. В случае повторения высокой оценки неопределенности – ручное уточнение адреса оператором почтовой службы.

Вопросы автоматизации синтеза СНС и постановка эксперимента.

Сверточные сети на сегодняшний день занимают лидирующие позиции в области анализа изображений, распознавания и классификации образов. Вмести с тем указанный аппарат с точки зрения вычислительных затрат является не только достаточно ресурсоёмким, но и трудоемким по времени из-за наличия этапа обучения. Отсюда роль системы автоматизации в процессе их создания чрезмерно высока. Одним из средств, обеспечивающих создание, обучение и верификацию СНС является пакет математического моделирования MATLB/SIMULINK

Используя средства программного пакета MATLAB, разработаем по аналогии с [9] программную модель автоматического нейросетевого кластеризатора (АНСК), предназначенную для тестирования предложенного принципа распознавания символов МПИ. MATLAB уже довольно давно предоставляет функционал по разработке и исследованию искусственных нейронных сетей различных архитектур. Ранее этот функционал был доступен в расширении Neural Network Toolbox. Однако, после ряда инноваций в области глубокого обучения, дизайн расширения Neural Network Toolbox был пересмотрен, а само расширение было переименовано в Deep Learning Toolbox [11]. На данный момент ведется активная разработка и внедрение нового функционала. Текущая версия

Deep Learning Toolbox содержит ряд инструментов для проектирования модели сети, в том числе, обладает возможностью импорта нейросетевых моделей из таких популярных фреймворков как Caffe и TensorFlow, имеет удобную и мощную систему анализа и визуализации как архитектуры сети, так и процесса обучения.

В качестве экспериментального набора данных в рамках настоящей работы будем использовать базу данных образцов рукописного написания арабских цифр и букв латинского алфавита EMNIST [12]. Этот набор данных спроектирован с целью калибровки и сопоставления методов распознавания изображений. Все образцы приведены к серому полутоновому изображению символа на белом фоне размером 28x28 пикселей, над ними выполнены операции сглаживания и нормализации (рис. 3).

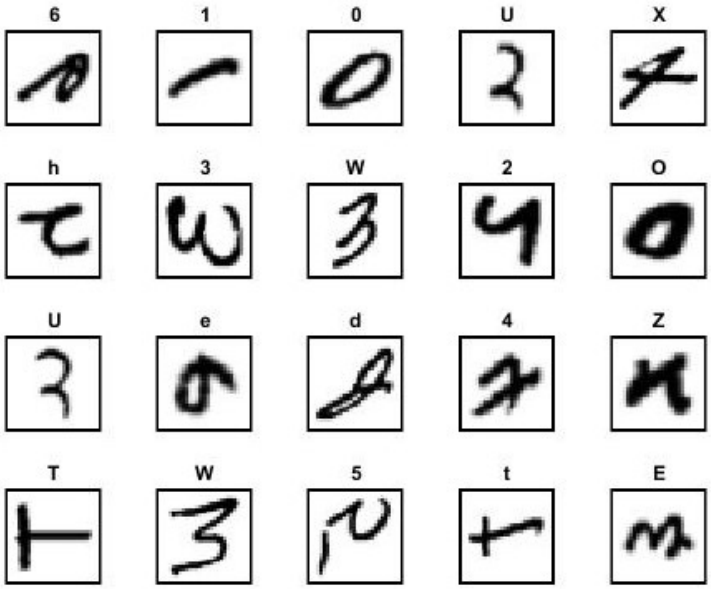


Рис. 3. Двадцать случайных символов из набора данных EMNIST

Перед уточнением структуры нейросети необходимо поделить набор данных на обучающую и проверочную выборки. При этом следует найти такое процентное соотношение разбиения, когда получаемые в процессе обучения значения параметров СНС будут иметь малый разброс (малое значение дисперсии).

Применяемый набор данных EMNIST использует отношение обучающей и проверочной выборок как 85/15 из порядка 131600 доступных образцов изображений рукописного написания арабских цифр и

букв латинского алфавита, что близко к наиболее часто применяемому, определяемому как 80/20 [10].

Отсутствие необходимости в распознавании данных с сильными аффинными искажениями позволяет, как показали эксперименты, обойтись меньшим объемом обучающей выборки, а значит, значение отношения обучающей и проверочной выборок (85/15), предлагаемое по умолчанию, оставим без изменения.

В основу модели АНСК положим СНС одной из известных архитектур для набора данных MNIST [13]. Эксперименты показали, что на наборе данных EMNIST для предотвращения эффекта переобучения необходимо применение метода регуляризации искусственных нейронных сетей, известного под названием «исключение» (англ. dropout) [10,14]. Так точность сети на контрольной выборке по итогу обучения оказывалась значительно меньше точности на обучающей выборке. Применение метода регуляризации сети dropout позволило уменьшить это различие, однако для полного устранения эффекта необходима дополнительная «тонкая настройка». Итоговая архитектура сети и значения ее гиперпараметров представлены ниже.

```
1:  layers = [
2:      imageInputLayer([h w c],"Normalization","zerocenter")
3:      convolution2dLayer(5,64,"Padding",0,"Stride",1)
4:      batchNormalizationLayer
5:      reluLayer
6:      dropoutLayer(0.25)
7:      maxPooling2dLayer(2,"Stride",2)
8:      convolution2dLayer(3,128,"Padding",0,"Stride",1)
9:      batchNormalizationLayer
10:     reluLayer
11:     dropoutLayer(0.25)
12:     maxPooling2dLayer(2,"Stride",2)
13:     convolution2dLayer(2,512,"Padding",0,"Stride",1)
14:     batchNormalizationLayer
15:     reluLayer
16:     dropoutLayer(0.25)
17:     maxPooling2dLayer(2,"Stride",2)
18:     convolution2dLayer(2,1024,"Padding",0,"Stride",1)
```

```
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    dropoutLayer(0.25)
    fullyConnectedLayer(classes)
    softmaxLayer
    classificationLayer
];
```

Применение стохастического градиентного спуска с импульсом позволило достичь более высокого уровня обобщения данных. В таблице ниже показаны итоговые параметры обучения сети, при которых удалось достичь точности в 89,97%. Данная точность не является эталонной в задаче распознавания образов для СНС, однако может служить хорошей отправной точкой для выполнения дальнейших исследований, направленных на оптимизацию архитектуры АНСК, предназначенного для распознавания кода почтового индекса, имеющего рукописное представление.

Таблица 1

Параметры обучения сети

Метод обучения	sgdm
Импульс	0,9
Начальная скорость обучения	0.0095
Коэффициент снижения скорости обучения	0.925
Период снижения скорости обучения	3
Кол-во эпох	25
Размер пакета	96
Частота проверок	1175

Выводы

Представленные результаты показывают точность 89,97% при распознавании контрольной выборки. Однако полученный при этом график обучения сети показывает, что точность на обучающей выборке выше контрольной, что свидетельствует о наличии эффекта переобучения, несмотря на применение метода dropout. Следовательно, имеется теоретическая возможность, продолжив тонкую настройку параметров сети, улучшить результаты обучения модели АНСК и повысить точность посимвольного распознавания МПИ при этом.

Преимуществами предлагаемого в данной работе подхода являются:

– упрощенная структура сверточной нейронной сети с меньшим количеством настраиваемых параметров;

– настраиваемая точность распознавания;

– адаптивность архитектуры сети к различным вариантам написания почтового идентификатора, включая рукописные, с возможностью в недалекой перспективе построения почтовых автоматов приема корреспонденции, почтовых оправлений от граждан;

– возможность итерационной автоматизированной разработки проблемно-ориентированного АНСК с целью его дальнейшего применения в составе указанных выше почтовых автоматов. Причем с учетом современных возможностей программно-аппаратных средств автоматизации сам синтез АНСК в конечном итоге будет ориентирован на его аппаратную реализацию в базисе современных ПЛИС с использованием современных технологий автоматизации HDL-синтеза таких, как, например, средства HIL-проектирования и HDL-верификации из программного пакета MATLAB/SIMULINK [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. – Optimization: Stochastic Gradient Descent // Курс лекций CS231n стэндфордского университета. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 2019. – URL: http://cs231n.github.io/optimization-1/ (дата обращения: 17.05.2021).
2. About UPU [электронный ресурс]. – https://www.upu.int/en/Universal-Postal-Union.
3. Опубликованный стандарт ISO 3166-1 Википедия site:wikichi.ru [электронный ресурс]. – URL:https://wikichi.ru/wiki/ISO_3166-1.
4. Гайдуков Н.П., Савкова Е.О. Обзор методов распознавания рукописного текста [электронный ресурс]. – URL: https://masters.donntu.org/2012/fknt /gaydukov/library/5_gaydukov.pdf (дата обращения: 1.06.2021).
5. Метод K-ближайших соседей для решения задачи классификации. [электронный ресурс]. – URL:https://edu.kpfu.ru/pluginfile.php/78207 /mod_resource/content/1/kNN.pdf (дата обращения: 1.06.2021).
6. Метод деревьев решений для задачи классификации [электронный ресурс].– URL: https://edu.kpfu.ru/pluginfile.php/91556/mod_resource/content /3/Decision%20trees_1.pdf (дата обращения: 1.06.2021).

7. Наивный байесовский классификатор // Золотых Н.Ю. Машинное обучение и анализ данных(Machine Learning and Data Mining) [электронный ресурс].– URL: http://www.uic.unn.ru:8103/~zny/ml/Course/07.Naive%20 Bayes.pdf (дата обращения: 1.06.2021).
8. Машина опорных векторов // Золотых Н.Ю. Машинное обучение и анализ данных (Machine Learning and Data Mining) [электронный ресурс].– URL: http://www.uic.unn.ru:8103/~zny/ml/Course/12.Support%20Vector%20 Machine.pdf
9. *Пьявченко А.О., Ильченко А.В.* Вопросы построения нейросетевого кластеризатора для автоматического распознавания почтового индекса // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 3 (205). С. 6-19.
10. *Schmidhuber J.* Deep Learning in Neural Networks: An Overview // Neural Networks. – January 2015. – Vol. 61. – pp. 85-117.
11. Deep Learning Toolbox. Design, train, and analyze deep learning networks [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mathworks.com/products/deep-learning.html.
12. The EMNIST Dataset [электронный ресурс].– URL: https://www.nist.gov /itl/products-and-services/emnist-dataset.
13. MNIST handwritten digit database // Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: http://yann.lecun.com/exdb/mnist/ (дата обращения: 1.06.2021).
14. *Пьявченко А.О., Ильченко А.В.* Комплексный нейросетевой метод распознавания автомобильного госномера и вопросы увеличения его инвариантности // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2020)». – Ростов-на-Дону, Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. – С. 308–314./Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://elibrary.ru /item.asp?id=44044324.

Ильченко Артем Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: gamerx.ar@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +7(908)1866792; кафедра вычислительной техники; аспирант.

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.

Гузик Вячеслав Филиппович – Южный федеральный университет; e-mail: vfguzik@sfedu.ru ; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371656; кафедра вычислительной техники; доктор. техн. наук; профессор, главный научный сотрудник.

Шестаков Александр Валентинович – Южный федеральный университет; e-mail: trtualval@rambler.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371656; кафедра вычислительной техники; канд. техн. наук; доцент.

Ilchenko Artem Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail: gamerx.ar@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +7(908)1866792; the department of computer engineering; postgraduate 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.

Guzik Vyacheslav Philipovich – Southern Federal University; e-mail: vfguzik@sfedu.ru, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

Shestakov Alexander Valentinovich – Southern Federal University; e-mail: trtualval@rambler.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of tech. sc.; associate professor.

УДК 621.396

Акопджанян Жермена Жраировна, Заргарян Елена Валерьевна

ВАРИАНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ УСТАНОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВОЙ НИТИ

В проекте разработаны алгоритмы пропорциональноинтегрально-дифференциального регулятора и его элементы. Дифференциальная составляющая связана с неуравновешенными моментами и резкими перепадами температуры. Управление в АС экструзионной установки реализовано с использованием SCADA-системы. Описаны характеристики данной системы, в которой дифференциальная схема контроля позволяет предотвратить как чрезмерный перегрев, так и охлаждение экструзионной установки.

Регулятор, экструдер, полимер, экструзия, алгоритм, система управления, диспетчер.

Akopdzhanian Jermena Jrairovna, Zargaryan Elena Valerievna

OPTIONS FOR PLASTIC THREAD EXTRUSION PLANT CONTROL

The project has developed algorithms for a proportional-integral-differential controller and its elements. The differential component is associated with unbalanced moments and sudden temperature changes. The AC control of the extrusion plant is implemented using a SCADA system. The characteristics of this system are described, in which the differential control circuit allows to prevent both excessive overheating and cooling of the extrusion unit.

Regulator, extruder, polymer, extrusion, algorithm, control system, dispatcher.

Введение

Температура плавления полимера на выходе из экструдера (зона дозирования), которая является одной из основных и играет роль регулируемого технологического параметра в процессе экструзии. Содержание пузырьков воздуха в проволоке зависит от температуры. Температура плавления формируется на протяжении всего пребывания материала в экструдере, однако конечная температура полимера устанавливается в зоне дозирования.

Основная часть

В качестве алгоритма управления будет использоваться алгоритм ПИД-регулирования для исправления недостатков П- и ПИ-регулирования. Дифференциальная составляющая связана с неуравновешенными моментами и резкими перепадами температуры. Отклик при использовании ПИД-регуляторов практически мгновенный, поскольку не требуется накопления ошибок, а величина отклика пропорциональна скорости изменения температуры. Таким образом, в случае резкого перегрева появится сигнал, который может быстро выключить обогреватели [1].

Дифференциальные схемы управления предотвращают как перегрев, так и чрезмерное охлаждение, в то время как схема принимает корректирующие меры, чтобы предотвратить развитие событий. В результате уменьшается задержка вывода управляющего сигнала при изменении па-

раметров процесса. В целом математическое описание процесса регулирования можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 1).

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор – это устройство контура обратной связи, используемое в системах автоматического управления для поддержания заданного значения измеряемого параметра. ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизированного значения от заданного значения и выдает управляющий сигнал, который представляет собой сумму трех членов, первое из которых пропорционально этому отклонению, второе пропорционально интегралу разницы, а третье пропорциональна производной разности[2].

Дифференциальные схемы управления предотвращают как перегрев, так и чрезмерное охлаждение, в то время как схема принимает корректирующие меры, чтобы предотвратить развитие событий. В результате уменьшается задержка вывода управляющего сигнала при изменении параметров процесса. В целом математическое описание процесса регулирования можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 1).

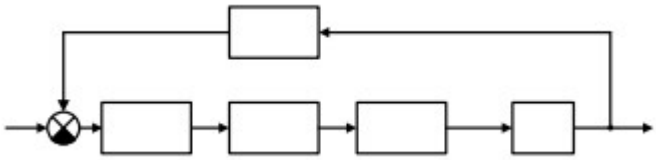


Рис. 1. Алгоритм ПИД регулирования

На рис. 1 изображены элементы, где ПИД - Пропорциональноинтегрально-дифференциальный регулятор; ПМ – преобразователь мощности; ИЭ – исполнительный элемент; Д – датчик; ОУ – объект управления[3].

Принимая изменение температуры нагревателя сопротивления равномерным по всей своей площади при изменении электрической мощности, подаваемой к нагревателю, можно в первом приближении рассматривать нагреватель и цилиндр в качестве звена с сосредоточенными параметрами. Тогда объект управления представим, как последовательное соединение 2 звеньев, двух апериодических звеньев 1 порядка и звена чистого запаздывания [4].

Управление в АС экструзионной установки реализовано с использованием SCADA-системы российского производства Simple-Scada. Это современная и дешевая SCADA-система, обеспечивающая сбор, обработку, архивирование и визуализацию технологических процессов. Главная цель

проекта – простота и удобство использования для конечного пользователя. Связь с объектами автоматизации обеспечивается при помощи технологии OPC. Выбранная SCADA-система не ограничивает выбор аппаратуры нижнего уровня, т. к. предоставляет большой набор драйверов и серверов ввода/вывода[5].

Это позволяет подключить к ней внешние, независимо работающие компоненты, в том числе разработанные отдельно программные и аппаратные модули сторонних производителей.

Характеристики и краткая информация Simple-Scada –

а) поддержка сенсорного экрана (протестировано на промышленных панелях и планшетах);

б) возможность организации клиент-серверной архитектуры с любым количеством клиентов;

в) защищенный канал связи для безопасной работы в локальной сети и через интернет (защищается протоколом TLS);

г) система скриптов с широким набором готовых процедур и функций для решения задач любой сложности;

д) система событий для объектов. Каждое событие можно запрограммировать как угодно при помощи скриптов;

е) работа с любым количеством (локальных или удаленных) OPC DAсерверов версии 3.0 или ниже и т.д[6].

Вся система (включая демонстрационный проект и руководство) занимает всего 18 мб.

Прежде чем получить доступ к экранным формам. Пользователь должен пройти авторизацию. После чего он попадет в окно «Главное меню», откуда он может осуществлять навигацию между различными экранными формами щелкая на соответствующие кнопки[7].

Из окна главного меню пользователь может получить доступ к следующим экранным формам –

а) информация;

б) настройки;

в) аварии;

г) общая схема;

д) основные показатели;

е) графики;

ж) журнал и т.д.

В зависимости от прав пользователи подразделяются –

а) диспетчер;

б) старший диспетчер;

в) инженер АСУ ТП[8].

Диспетчер имеет возможность управлять технологическим процессом, просматривать все экранные формы. Старший диспетчер имеет доступ к архивным данным. Инженер АСУ ТП может лишь просматривать экранные формы без воздействия на технологический процесс. Так же инженер АСУ ТП может производить наладку экранных форм с разрешения старшего диспетчера.

На экранной форме располагается информация с датчиков расхода, температуры и давления, а также напряжения и тока. На экране отображается степень открытия клапанов. Помимо этого, на схеме отображается график одного из параметров (на выбор пользователя)[9].

Также на данной форме осуществляется запуск и останов. Диспетчер может наблюдать за состоянием всего технологического процесса и в случае необходимости прибегать к регулирующим процедурам.

Выводы

В данном проекте управление в АС экструзионной установки реализовано с использованием SCADA-системы. Выбранная SCADA-система не ограничивает выбор аппаратуры нижнего уровня, т. к. предоставляет большой набор драйверов и серверов ввода/вывода.

Это позволяет подключить к ней внешние, независимо работающие компоненты, в том числе разработанные отдельно программные и аппаратные модули сторонних производителей[10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Акопджанян Ж.Ж., Заргарян Е.Е.* Сравнение видов термопластавтоматов для переработки изделий из ABS-пластика и изготовления пластиковой нити для 3D-принтера /электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки россии», выпуск №1, 2021, ISSN 2658 – 7505.
2. *Акопджанян Ж.Ж., Заргарян Е.Е.* Автоматизированный комплекс переработки absпластика и изготовления пластиковой нити для 3dпринтеров/ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ (ИТСАУ-2020) Сборник трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 3-х томах. Ростов-на-Дону - Таганрог, 2020.

3. *Акопджанян Ж.Ж, Заргарян Е.В.* Автоматизированная система управления экструзионной установкой производства пластиковой нити/ Инженерно-техническое образование и наука» I Международная научнопрактическая конференция «Инженерно-техническое образование и наука» ИТОН-I Новороссийск 21, 22 апреля 2021 г.
4. *Бутенко В.И., Акопджанян Ж.Ж., Стрежнев Д.О.* Повышение стойкости инструмента за счёт предварительного индукционного нагрева обрабатываемого материала В книге: Достижения современной науки и образования. сборник статей и тезисов докладов IV международной междисциплинарной конференции. 2018. С. 39-41.
5. *Ким. В.С.* Теория и практика экструзии полимеров/ «Химия», «КолосС». Москва, 2005 год.
6. *Раувендаль К.* Экструзия полимеров/ ЦОП Профессия 768 стр. 2010.
7. *Богатырева А.Н., Юрьева В.П.* «Термопластическая экструзия» 1996 г. Москва.
8. *Остриков А.Н. , Магомедов Г.О., Дерканосова Н.М., Василенко В.Н., Абрамов О.В., Платов К.В.* «Технология экструзионных продуктов», 2007 г., Санкт-Петербург.
9. *Кретов И.Т., Кравченко В.М., Остриков А.Н.* «Технологическое оборудование предприятий», Воронеж, Воронежский Университет, 1996
10. *Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н., Панфилов В.А., Ураков О.А.* «Машины и аппараты производств», 2001 год, Москва, книга 1.

Акопджанян Жермена Жраировна, 1 курс магистратура, кафедра САУ ИРТСУ ЮФУ, город Таганрог, телефон: +7(988)255-45-57, email: akopdzhanian@sfedu.ru.

Заргарян Елена Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры САУ ИРТСУ ЮФУ, город Таганрог, ул. Энгельса 1 , 347900, телефон: +7 (8634) 393-545, email: evzargaryan@sfedu.ru.

Akopdzhanyan Jermena Jrairovna, 1st year master's program, SAU IRTSU SFEDU, Taganrog, phone: +7 (988) 255-45-57, email: akopdzhanian@sfedu.ru.

Zargaryan Elena Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of SAU IRTSU SFEDU, Taganrog, st. Engels 1, 347900, phone: +7 (8634) 393-545, email: evzargaryan@sfedu.ru.

УДК 621.396

Ширманов Евгений Игоревич

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В данной статье речь идет о технологии цифровых двойников, её принципах работы и преимуществах над другими подобными технологиями. Цифровой двойник – это виртуальная интерактивная копия реального физического объекта или процесса, помогающая эффективного управлять им, оптимизируя бизнес-процессы. Данная технология является частью четвертой промышленной революции, и призванная помочь строительным компаниям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты при строительстве. Например, с помощью цифрового двойника завода возможно моделировать как расположение оборудования, так и различные процессы, происходящие на заводе, в том числе и внештатные ситуации. Целью является изучение технологии цифровых двойников. Задачами являются: изучение преимущества данной технологии над подобными технологиями. Были сделаны следующий вывод о том, что технология является перспективной.

Информационное моделирование зданий, цифровой двойник, прототип, экземпляр, агрегированный двойник, интернет вещей

Shirmanov Evgeny Igorevich

DIGITAL TWIN TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

In this article, we are talking about the digital twin technology, its principles of operation and advantages over other similar technologies. A digital twin is a virtual, interactive copy of a real physical object or process that helps you manage it efficiently by optimizing your business processes. This technology is part of the fourth industrial Revolution and is designed to help construction companies quickly identify physical problems, more accurately predict their results, and produce better products during construction. For example, using a digital plant twin, you can simulate both the location of equipment and various processes that occur in the plant, including emergencies. The aim is to study digital twin technology. Objectives: to study the

advantages of this technology and its application. The following conclusion was made that the technology is promising.

BIM-technology, digital twin technology, DTP, DTI, DTA, IoT.

Введение

Новые цифровые технологии играют немаловажную роль в секторе строительства, который переживает значительные изменения. Ход данным изменения дали поправки в Градостроительный кодекс России путем введения понятия информационной модели (BIM) и принятием BIM стандартов РФ на базе открытых стандартов IFC buikldungSmart. На всем жизненном цикле зданий и сооружений применение информационных моделей (BIM) становится обязательным. В этом процессе BIM представляет, несомненно, главную роль, усовершенствуя традиционный способ работы на основных этапах работы: проектирование, строительство и техническое обслуживание. Информационное моделирование зданий (BIM) знаменует собой поворотный момент для отраслей, вовлеченных в жизненный цикл, улучшая сотрудничество, эффективность и производительность. Этот метод представляет собой одну из наиболее важных революций в цифровой экономике, сосредоточив внимание на информационном аспекте каждого проекта и способствуя улучшению хорошо спроектированных систем управления объектами (FM). Фактически, управление данными становится главным персонажем в жизненном цикле здания и сооружения, начиная с первого его наброска и заканчивая планом обслуживания и в этом контексте обслуживания, и в этом контексте системы FM играют важную роль. BIM и FM стремятся решить все проблемы взаимодействия, которые всегда были характерны как для строительного сектора, так и для эксплуатации. После информации, еще одним важным моментом BIM является метод, основанный на 3D-модели, который приносит новые возможности визуализации архитектуры, которые никто не мог изобразить и практически связывает цифровой и физические миры вплоть до образования цифровых двойников. Все сказанное выше имеет непосредственное отношение к инфраструктурам: городам, железнодорожному, автомобильному, водному и авиационному транспорту и сегодня уже выделяется как понятие IFRABIM.[5]

Цифровые двойники: определение и виды.

Цифровой двойник (англ. Digital Twin) — цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса. Концепция «цифрового двойника» является

частью четвёртой промышленной революции и призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты Появление концепции цифровых двойников было связано с ростом цифровизации производственных процессов, в ходе которой физические или аналоговые ресурсы заменялись информационными или цифровыми. Организации следовали за последними тенденциями и пытались определить, как цифровые решения могут помочь им извлечь как операционную, так и стратегическую выгоду. Вплоть до второй половины 2010-х создание компьютеризированных систем, повторяющих характеристики физических объектов почти в режиме реального времени, было невозможным ввиду технических ограничений. И лишь существенный прорыв в развитии цифровых технологий, позволивший увеличить вычислительные мощности и снизить цену их использования, позволил ведущим компаниям объединять информационные технологии с операционными процессами для создания цифровых двойников предприятий.

В индустриальных и научных источниках, определения «цифрового двойника» отличаются. Согласно некоторым из них, цифровой двойник является интегрированной моделью уже построенного продукта, которая призвана содержать информацию обо всех дефектах изделия и регулярно обновляться в процессе физического использования [2]. Другим распространённым определением является цифровая модель, полученная на основании информации с датчиков, установленных на физическом объекте, которая позволяет симулировать поведение объекта в реальном мире [3]. Ни одно из этих определений, впрочем, не придаёт достаточного внимания процессам, как важному аспекту цифрового двойника.

На самом деле некоторые процессы настолько сложны, что вы не можете рисковать неудачей, экспериментируя с другим потенциально выгодным подходом. Другие процессы настолько важны для операций, что вы не осмеливаетесь отключить их, чтобы протестировать инновационный метод. И многие физические процессы движутся с такой силой, что вы не можете прервать их, чтобы попробовать что-то новое. Чтобы использовать старую аналогию - трудно менять колеса в движущемся поезде. И это может расстраивать, когда новый дизайн может принести десятки ценных преимуществ. Для этого нужен цифровой двойник, в котором такие возможности есть. Более того в очень многих случаях требуются натурные

испытания инноваций по самым строгим правилам, зачастую они могут получиться невероятно дорогими или просто невозможными. Тут так же на помощь приходит цифровой двойник. Все это приводит к невероятному ускорению внедрения новшеств в практику и резкому рывку в экономических результатах.

Фундаментально, цифровой двойник может быть определён как постоянно меняющийся цифровой профиль, содержащий исторические и наиболее актуальные данные о физическом объекте или процессе, что позволяет оптимизировать эффективность бизнеса без физического вмешательства в сложные процессы. Он основан на огромном объёме накопленных данных, полученных в ходе измерений целого ряда показателей объекта в реальном мире. Анализ накопленных данных позволяет получать точную информацию о производительности системы, а также приводить к выводам о необходимости во внесении изменений, как в производимый продукт, так и в сам процесс производства [1].

Множество цифровых двойников можно разделить на 3 типа (рис.1) [2]:

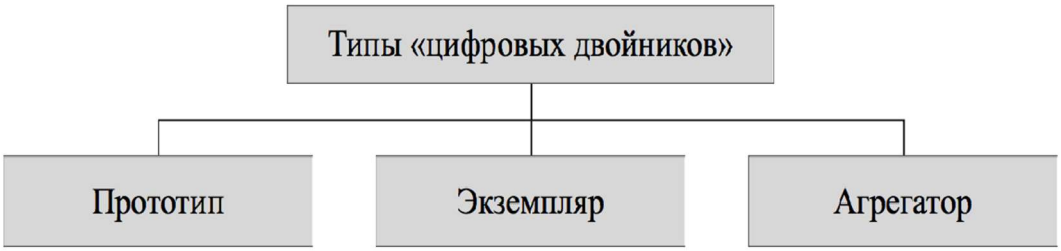


Рис. 1. Типы «цифровых двойников» по Гривзу

1) прототип (Digital Twin Prototype, DTP**)** – этот тип цифрового двойника, который описывает прототип физического объекта. Он содержит информационные наборы, необходимые для описания и создания физической версии. Эти информационные наборы включают, но не ограничиваются, требованиями, спецификацией документов, спецификацией процессов и спецификацией услуг [6];

2) экземпляр (Digital Twin Instance, DTI) –. этот тип цифрового двойника, описывающий конкретный физический продукт, с которым цифровой двойник непосредственно связан на протяжении всего срока службы продукта. Этот тип «цифрового двойника» может содержать, в зависимости от сценариев использования, следующие наборы данных: 3D модель,

которая описывает геометрию физического объекта и его компоненты, список операций, которые были выполнены при создании этого физический объекта, вместе с результатами каких-либо измерений и испытаниями на экземпляре, а также рабочие состояния, полученные с датчиков. Например, несколько отдельных физических объектов могут быть изготовлены на основе одного «цифрового двойника» прототипа, но при этом, каждый из них будет иметь свои собственные «цифровые двойники» экземпляры [6];

3) агрегированный двойник (Digital Twin Aggregate, DTA) –этот тип цифрового двойника представляет собой объединение всех остальных двойников. Он имеет доступ ко всем виртуальным прототипам и может запрашивать информацию о группе объектов. Также, агрегатор постоянно мониторит показания датчиков и сопоставляет эти показания с показаниями, которые были зафиксированы во время сбоя [6].

Виртуальные модели широко используются при производстве различных продуктов. На сегодняшний день различают несколько типов «цифровых двойников» в зависимости от области построения, все эти типы изображены на рис. 2.

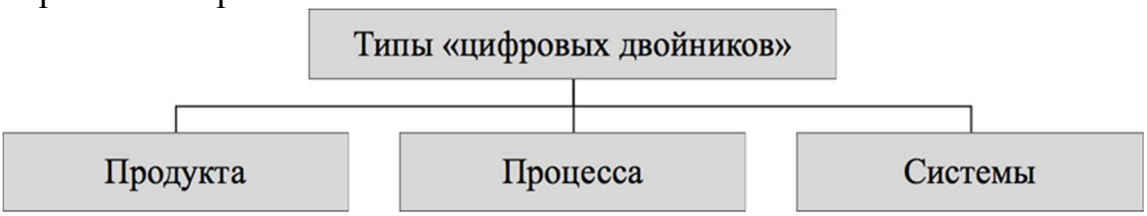


Рис. 2. Типы «цифровых двойников»

1. «Цифровой двойник» продукта. Представляет собой виртуальную модель конкретного продукта. Производители используют данный тип «цифрового двойника» перед настройкой производственной линии, чтобы проанализировать, как продукт будет работать в различных условиях, и какие проблемы могут возникнуть в реальном мире. Он позволяет вносить необходимые корректировки и создавать более эффективный продукт. В результате цифровой двойник реального продукта помогает уменьшить производственные затраты при его выходе на рынок.

2. «Цифровой двойник» процесса. Эти модели имитируют производственные процессы. Виртуальный производственный процесс может создать различные сценарии и показать то, что произойдет при различных ситуациях. Это позволяет компании разрабатывать наиболее

эффективную методику производства. Процесс можно оптимизировать с помощью виртуальных двойников продукта для каждой части оборудования. Таким образом, предприятие сможет выполнять профилактическое обслуживание, избегая дорогостоящих простоев. Производство станет безопаснее, быстрее и эффективнее.

3. «Цифровой двойник» системы. Это виртуальные модели всей системы цели ком (например, завода или фабрики). Они собирают огромные объемы операционных данных, производимых устройствами и продуктами в системе, получают представление и создают новые бизнес-возможности для оптимизации всех процессов.

Различия между BIM и цифровыми двойниками

1.Роль BIM в проектировании и строительстве зданий

BIM не используется в обслуживании и эксплуатации самого сооружения, в отличии от цифровых двойников. BIM используется для совместной работы и визуализации, то есть создания чертежей и строительства, тем самым не для обслуживания и эксплуатации самого сооружения и путем проектировки и постройки здания, а не создания живой модели действующего здания. В отличии от BIM цифровые двойники используются для длительного сбора данных и постепенного внесения изменений в прототип, а не для работы здесь и сейчас.

2.BIM не подходит для работы в режиме реального времени

BIM подходящая программа для внесения данных любой виртуальной копии, но не позволяет помочь руководителям строительных организаций ответить на операционные вопросы, возникающие при оптимизации процессов. Цифровые двойники - полезный инструмент среди множества различных технологий, предназначающихся для сферы строительства, поскольку позволяет получать всестороннюю информацию об «искусственной среде» в режиме реального времени. Виртуальная копия физического объекта информирует о текущем состоянии построенных экосистем, о влиянии на них пользователей, когда система ОВиК или освещение или другие составляющие выходят из строя, и многих других параметрах. Это модель, которая совершенствуется с течением времени, и становится более значимой на каждом новом этапе жизненного цикла актива.

3.Акцент BIM на зданиях, а не на людях.

Создание виртуальной копии органиции (DTO) является следующим этапом в развитии цифровых двойников. Благодаря этому важным

источником данных станет вся организация со всеми сотрудниками, происходящими внутри процессами и их поведением, тем самым прекратив быть отдельным активом, передавая еще больше информации о реальной физической среде своим виртуальным копиям.

BIM в ближайшем будущем будет вытеснен цифровыми двойниками даже на этапе проектирования и строительства здания, при условии что сфера недвижимости будет ориентирована на интересы пользователей зданий и на конкуренцию в сфере нежилых помещений. Как только начинается строительство, для этого нужно включать в информационные модели о поведении людей и пространственном проектировании в качестве важного фактора хорошего самочувствия пользователей. пять же, в одиночку BIM не достичь таких результатов.

Выводы

В результате были выявлены преимущества цифровых двойников над другими подобными технологиями. Данная технология предпочтительна перед другими технологиями по причинам того, что с помощью неё можно моделировать в реальном времени различные процессы в здании и помочь управлению различными процессами. Данная технология является востребованной в данный момент.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Раевский М.А.* Средства объективного контроля изменений (строительства) объектов на базе ГИС-моделей ArcReview | № 1 (68) за 2014 год
2. *Быстрова Ю.А., Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Синягов С.А., Раевский М.А., Липатов С. И., Савельев С.И.* Компонентный BIM/GIS-подход к информационному моделированию сооружений. ArcReview | № 2 (73) за 2015 год.
3. *Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Синягов С.А.* Применение комбинированных технологий BIM-ГИС в строительной отрасли для различных категорий заинтересованных лиц: Обзор состояния в мире№ 2 (73) за 2015 год.
4. *Добрынин, А.П., et al*. "The Digital Economy-the various ways to the effective use of technology (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA, and others)." International Journal of Open Information Technologies 4.1 (2016): 4-11.
5. *Куприяновский В.П., Синягов С. А., Добрынин А.П.* Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 1.

Подходы и основные преимущества //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3.
6. *Куприяновский В.П., Синягов С.А., Добрынин А.П.* BIM- Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 2. Цифровая экономика //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3.
7. *Kupriyanovsky, Vasily, et al*. "The economic benefits of the combined use of BIM-GIS models in the construction industry. Review of the state of the world." International Journal of Open Information Technologies 4.5 (2016): 14-25.
8. *Kupriyanovsky, Vasily, et al*. "The new five-year plan for BIM- infrastructure and Smart Cities." International Journal of Open Information Technologies 4.8 (2016): 20-35.
9. *Zamolodchikov D. et al*. Comfortable environment and resources for passenger stations in the lifecycle of digital railways assets //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 100-116.
10. *Sinyagov, Sergey, et al*. "Building and Engineering Based on BIM Standards as the Basis for Transforming Infrastructures in the Digital Economy." International Journal of Open Information Technologies 5.5 (2017): 46-79.

Ширманов Евгений Игоревич, магистрант, Институт радиотехнических систем и управления ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Таганрог, Россия (347900 Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44), телефон: +7(988)952-03-82, e-mail:e.shirmanov91@yandex.ru.

Shirmanov Evgeny Igorevich, undergraduate student, Institute of Radio Engineering Systems and Management, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovskiy lane, phone: +7 (988)952-03-82, email: e.shirmanov91@yandex.ru.

УДК 004.056

Назаренко Максим Витальевич

ТЕХНОЛОГИЯ HSDPA

Целью данной статьи является конкретное выявление деталей работы технологии HSDPA.К основным задачам можно отнести подробный анализ технологии, а также описание фазовой модуляции цифрового канала.В данной статье будет рассмотрена технология передачи данных от базовой станции к абоненту, а именно HSDPA.

3GPP, WCDMA, UMTC, IPv6, ARQ-механизм, QPSK, QAM-канал, HSUPA, QAM-ячейка, синфазная модуляция.

Nazarenko Maxim Vitalievich

HSDPA TECHNOLOGY

The purpose of this article is to specifically identify the details of how the HSDPA technology works.

The main tasks include a detailed analysis of the technology, as well as a description of the phase modulation of the digital channel.

This article will discuss the technology of data transmission from the base station to the subscriber, namely HSDPA.

3GPP, WCDMA, UMTS, IPv6, ARQ mechanism, QPSK, QAM channel, HSUPA, QAM cell, common-mode modulation.

Сети мобильной связи HSPA относятся к высокоскоростным и принадлежат поколению мобильных связей 3G. В данной сети применяются основные преимущества технологии HSDPA.

Данная технология относится к рабочей группе 3GPP, а также к семейству WCDMA/UMTS. Данное семейство использует пакетную передачу данных, что позволяет предоставлять сервисы голосовой связи. На данный момент завершающая модификация данной технологии позволяет в режиме downlink transfer получить максимальную скорость передачи данных (до 21 Мбит/с). Также HSDPA также принадлежит к сетям UMTS, что называется поколением 3,5G. Протоколы данной технологии передают данные только от базовой станции к мобильной абонентской станции. Обратная передача данных описывается протоколами HSUPA.

Архитектура технологии HSDPA впервые была упомянута в спецификации 3GPP Release 5. Стоит отметить, что в данной спецификации описаны протоколы IP версии 6 (IPv6). В данной версии был дополнен домашний регистр сервером собственных абонентов, а также добавлена подсистема IP-мультимедиа [1].

Также для HSDPA используется новый транспортный канальный уровень HS-DSCH. В одном диапазоне данного канала можно организовать до 15 подобных каналов фактор распределения у которых достигает 16. У пользователя за 2 мс изменяется перераспределения каналов [2]. В HSDPA

был реализован ARQ-механизм, который защищает от помех, и передача данных была организована по блокам. На стороне приема сигнала происходит контроль ошибок, а после генерируется запрос о необходимости повтора информации, в части которой были обнаружены. Если произойдет некорректный прием данных, то подтверждение приема пакетов будет отслеживаться как базовой, так и абонентской станцией [3]. После получения повторных пакетов, они будут чередоваться со вновь передаваемыми. Информация, которая была оцифрована будет мультиплексироваться и кодироваться для передачи по каналу, который является физическим [4].

В технологии HSDPA были применены схемы модуляции QPSK. Это квадратурная фазовой модуляция, которая при использовании изменяет только фазу сигнала. При этом амплитуда и частота остаются неизменными. Каждый информационный бит при такой работе будет ставится не абсолютное значение фазы [5]. Каждый информационный бит всегда ставится относительно не абсолютного значения фазы (рис. 1).

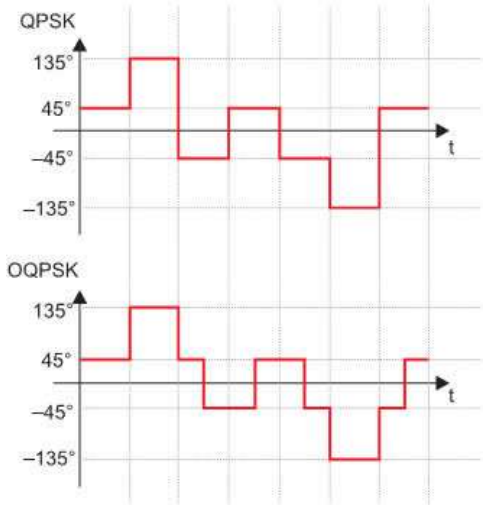


Рис. 1. Принцип фазовой модуляции цифрового канала

В данной фазовой модуляции используются четыре значения фазы, которое передает колебания. В данный случаях принимаются значения 45, 135, 225 и 315 градусов. При использовании всех фаз выделяется два бита. Принято считать, что QPSK является квадратурной модуляцией QAM-4. Лучше рассмотреть ее в виде двух модулированных несущих, которые независимы друг от друга и сдвинуты на 90 градусов [6]. При данном подходе четные биты используются для составляющей, которая является синфазной модуляции, а нечетные – для квадратурной. В схеме QPSK

фаза, которая содержит в себе колебания, меняется скачкообразно. Зависимость происходит от информационного сообщения. Данная схема обеспечивает высокую помехоустойчивость канала, но в некоторых случаях можно увеличить пропускную способность [7]. Это происходит за счет уменьшения помехоустойчивости. При использовании кодирования можно определить зону, охватываемую системой мобильной связи. При иных случаях после кодирования и перемещении битов происходит преобразование информации с помощью QAM-ячеек. При увеличении позиций QAM канал способен пропускать в 8 раз больше [8]. Именно поэтому, тогда будет снижаться помехоустойчивость, так как значение разницы амплитуд и фаз уменьшается. Инженеры предполагают, что UMTS/HSDPA позволяют назначить три канала, которые не влияют на работу абонента. Одной сетью могут пользоваться одновременно несколько абонентов, но скорость передачи данных будет меняться [9]. Система следит за этим и регулирует мощность каждые 2 мс, в зависимости от условий среды. Приоритет предоставления каналом для получения данных отдается пользователям, которые поддерживают хорошее качество сигнала [10]. Пользователи, у которых невысокий уровень сигнала, будут находиться в ожидании от улучшений пропускной способности.

Подводя итоги, можно сказать, что программное обеспечение и оборудование технологии HSDPA с каждым годом улучшается. Помимо этого, происходит улучшение комплекса сетей с поддержкой программно-аппаратного обеспечения. В России поддерживаются сети UMTS/WCDMA. Они являются основными и поддерживают максимальные скорости. Операторы сотовой связи, к сожалению, не предоставляют информацию о конкретных значениях, но по запросу клиента данная функция возможна. Также существуют экспериментальные сети HSDPA/HSUPA с более высокой скорость. Они тестируются в крупных городах России.

БИБЛИОГРАФИЧЕКИЙ СПИСОК

1. WCDMA FOR UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Third Edition. Nokia, Finland. Copyright. – 2014;
2. Ahonen and Barrett (editors). Services for UMTS (Wiley, 2002) first book on the services for 3G. – 2017;
3. *Невдяев Л.* Мобильная связь 3-го поколения. М.: МЦНТИ. – 2020;

4. 5ITU-D Study Group 2. Guidelines on the smooth transition of existing mobile networks to IMT-2000 for developing countries (GST). Report on Question 18/2. – 2016;
5. *Kreher and Ruedebusch*. UMTS Signaling: UMTS Interfaces, Protocols, Message Flows and Procedures Analyzed and Explained, Wiley. – 2007;
6. Государственная комиссия по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации. Заседание ГКРЧ от 23.10.2006 (протокол № 06-17) «О выделении полос радиочастот 1935-1980 МГц, 2010-2025 МГц и 2125-2170 МГц для радиоэлектронных средств стандарта IMT-2000/UMTS на территории Российской Федерации (решение ГКРЧ 06-17-01-001)». – 2019;
7. Государственная комиссия по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации, решение от 29 октября 2010 г. № 10. – 2019;
8. HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Nokia Networks. Finland. – 2020;
9. *Лурье С.* SDPA vs. WiMAX: сравнение характеристик и перспектив технологий передачи данных. Режим доступа: http://www.ixbt.com/mobile/itogi2006/wimax.shtml
10. Spatial and Temporal Fairness in Heterogeneous HSDPA-Enabled, UMTS Networks. Hindawi Publishing Corporation // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. - 2009.

Назаренко Максим Витальевич, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344000, телефон +7(918)505-49-88, email: osn.ten@yandex.ru.

Nazarenko Maxim Vitalievich, student of Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1, 344000, phone +7 (918) 505-49-88, email: osn.ten@yandex.ru.

УДК 621.396

Семенова Марина Максимовна, Семенов Виктор Алексеевич,
Чупина Екатерина Николаевна

АУТЕНТИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ ФАЙЛОВ COOKIE И АУТЕНТИФИКАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ JSON WEB TOKEN (JWT)

В статье рассмотрены способы аутентификации на основе файлов cookie и аутентификации с помощью JSON Web Token (JWT). Также рассмотрены преимущества и недостатки каждого способа аутентификации.

Аутентификация, токен, авторизация, JSON Web Token.

Semenova Marina Maksimovna, Semenov Viktor Alekseevich,
Chupina Ekaterina Nikolaevna

COOKIE-BASED AUTHENTICATION AND JSON WEB TOKEN (JWT) AUTHENTICATION

This article explored ways to use cookie-based authentication and JSON Web Token (JWT) authentication. The advantages and disadvantages of the authentication method are also discussed.

Authentication, token, authorization, JSON Web Token.

Введение

В настоящее время идет стремительное развитие информационных технологий и систем, количество пользователей увеличивается, что приводит к тому, что персональные данные пользователей также быстро распространяются, а значит и подвергаются краже злоумышленниками. Персональные данные – это данные, которые относятся к конкретному объекту и являются информацией личного характера. Данные о пользователях хранятся на серверах, но, к сожалению, нередко их покупают или даже воруют. Количество атак на сервера с каждым годом растет, но разработаны методики, которые могут помешать и уменьшить шанс атаки.

Cookie авторизация

Аутентификация — это процесс идентификации личности пользователя.

Самый распространенный подход идентификации сеанса или сессии пользователя – cookie. Как правило, механизм приложения хранит идентификатор сеанса на сервере, содержащий идентификатор пользователя из файла cookie сеанса.

Cookies – фрагмент данных, полученный от веб-приложения, которые хранятся на компьютере пользователя и отправляются с каждым запросом.

Cookie используют не только для идентификации пользователя, но и для многих других задач, например, ведение статистики.

Рассмотрим подробнее этапы аутентификации при использовании cookie:

1. В тот момент, когда пользователь хочет получить доступ к закрытой части сайта, которая доступна только лишь авторизированным пользователям, он видит форму, где необходимо ввести логин и пароль, которые у каждого пользователя индивидуальные.
2. Далее форма отправляется на сервер и эти данные сравниваются с базой.
3. В том случае, если данные совпадают, то пользователь получает доступ к приватной части сайта, то есть становится авторизованным.
4. В следующий раз, когда пользователь откроет сайт, ему не нужно будет вновь вводить логин и пароль, если пользователь уже вводил свои данные в рамках данного сеанса.

Это удобный способ аутентификации, но только в том случае, если сервер один. В том случае, когда серверов становится несколько происходит такая ситуация, что аутентификация пользователя могла быть на одном сервере, но во время сессии пользователь мог быть перенаправлен на другой сервер, и другой сервер не может идентифицировать пользователя, так как этот объект не записан. В таком случае используют отдельный сервер для хранения сессий, но такой способ увеличивает нагрузку на серверную часть.

Недостатком Cookies является также то, что они подвержены CSRF-атакам.

JWT — как безопасный способ аутентификации и передачи данных

Наиболее безопасный подход передачи информации между двумя участниками – аутентификация с помощью токенов, например, JSON Web Token (JWT).

Аутентификация на основе токенов позволяет использовать учетные данные имени пользователя и пароля для получения токенов, которые позволяют им получать определенные ресурсы. После того, как токен станет доступен, пользователи могут повторно использовать тот же токен для доступа к ресурсам без повторного использования имени пользователя и пароля.

JWT - это токен в виде строки, состоящей из трех частей, используемых для процессов аутентификации и обмена информацией: заголовок (header), полезная нагрузка или полезные данные (payload) и цифровая подпись(signature).

JWT кодирует утверждения, которые должны быть отправлены в виде объектов JSON, которые используются в качестве структур загрузки из веб-подписи JSON (JWS) или в виде структуры открытого текста веб-шифрования JSON (JWE), что позволяет подписывать утверждения цифровой подписью или защищать их с помощью кода проверки подлинности сообщений (MAC) . В зависимости от того, как представлены токены, существует два типа токенов: токены оператора связи и токены держателей ключей, а в соответствии с назначением токенов существуют две схемы токенов: токены идентификации и токены доступа.

JWT работает так же, как пароль, когда пользователь успешно входит в систему, и сервер предоставляет токен, хранящийся в локальном хранилище или файлах cookie браузера. Токен используется для доступа к определенным страницам, пользователь отправит токен обратно в качестве доказательства того, что пользователь успешно вошел в систему. Структуру JWT можно увидеть на рис.1.

Header: Algorithms and Token Types
{
“alg”: “HS256”,
“typ”: “JWT”
}
Payload: Data
{
“iss”: “#appbackend”,
“user”: “alam”,
“pass”: “rahasia”
}
Signature: results from Hash
{
“Base64-encoded(Header.Payload)” + “key” + “Algorithm”
}

Рис.1. Структура JWT

Раздел заголовка состоит из двух частей: используемого алгоритма и типа токена, то JSON кодируется Base64. Вторая часть — это полезная нагрузка, содержащая утверждение, а утверждение — это утверждение о сущности, которая обычно представляет собой дополнительные пользовательские данные и данные. Полезная нагрузка такая же, как и в закодированном заголовке в Base64. Третья часть — это подпись, содержащая закодированный заголовок, закодированные полезные данные, секрет, алгоритм, который был определен в заголовке, и знак.

JWT не имеет состояния, поэтому серверу не нужно хранить данные, потому что такие данные, как область действия или авторизация, и пользователь могут все храниться в JWT. Эта концепция очень подходит, если она применяется к централизованной системе аутентификации, использующей единый вход.

При использовании JWT для аутентификации необходима минимальная информация, которая представляется в зашифрованном виде. Довольно часто для более понятного объяснения понятия JSON Web Token проводят аналогию с пропуском, например, в университет. Чтобы студент или сотрудник могли войти в университет, они предоставляют свои персональные данные – фамилия, имя, номер группы (если это студент) и т.п. Каждый раз, чтобы войти в здание университета они используют специальный для этого пропуск. Если студент закончил обучение или сотрудник был уволен, то университет отключает работу пропуска.

Этапы работы JWT:

1. Для авторизации пользователь вводит логин и пароль в специальную форму, тем самым он запрашивает доступ к серверу.

2. Затем сервер проверяет данные пользователя и отправляет ему access token у которого есть определенное время использования.

3. Для доступа на сервере пользователь использует этот access token

4. Когда заканчивается время использования access token, пользователю необходимо снова пройти процедуру аутентификации.

Возникают неудобства для пользователя из-за того, что ему приходится постоянно вновь проходить процедуру аутентификации. И это, пожалуй, и является основным недостатком подхода JSON Web Token. Можно увеличить время использования access token, но в таком случае могут возникнуть проблемы с безопасностью.

В некоторых схемах авторизации используется два ключа. Один многоразовый, а другой краткосрочный. Время выбирается после анализа использования сервиса. Многоразовый ключ служит для обновления кратковременного. В таком случае пользователь для авторизации пользуется основным ключом, но по истечении времени основного ключа, пользователю достаточно отправить ключ обновления и получить новый ключ [1].

Преимуществом JSON Web Token по сравнению с Cookies является тот факт, что не надо серверу хранить у себя объект сессии, все данные хранятся в JWT, следовательно, сразу отпадает проблема Cookies, которая связана с тем, что при нескольких серверах данные не передаются на другой сервер, а значит использование JWT отвечает потребностям современного мира разработки.

Также в JWT маркеры не передаются клиентской стороне, так как они подписываются на стороне сервера с использованием пароля, что нельзя сказать про Cookies, где есть возможность проанализировать передачу Cookies и подделать маркер цифровой подписи. Даже с помощью перебора практически невозможно подобрать правильный вариант, так как используется именно цифровая подпись.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Временная атака на JWT и способы ее устранения / Д. А. Макаров, Ю. Ю. Ваняшкин, Д. А. Калугина [и др.] // Естественные и технические науки. – 2019. – № 5(131). – С. 200-203.
2. *Wilson P.R.* Uniprocessor garbage collection techniques. In: Proceedings of the international workshop on memory management, Malo, 17–19 September 1992, pp. 1–42. Basel: Springer.
3. *Blum M. and Micali S.* How to generate cryptographically strong sequences of pseudorandom bits. SIAM J Comput 1984; 13(4): 850–864.
4. *Mirkovic J., Dietrich S., Dittrich D., et al*. Internet denial of service: attack and defense mechanisms (Radia Perlman Computer Networking and Security). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.
5. *Wood A.D. and Stankovic J.A.* Denial of service in sensor networks. Comput 2002; 35(10): 54–62.
6. BME-AUT. BME-VIK, 2017, https://itunes.apple.com/ hu/app/bme-vik/id1148661980

Семенова Марина Максимовна – Южный Федеральный Университет, кафедра систем автоматизированного проектирования, e-mail: bogomolova@sfedu.ru; студент.

Семенов Виктор Алексеевич – Южный Федеральный Университет, кафедра систем автоматизированного проектирования, e-mail: viksemenov@sfedu.ru; студент.

Чупина Екатерина Николаевна – Южный Федеральный Университет, кафедра систем автоматизированного проектирования, e-mail: echupina@sfedu.ru; студент.

Semenova Marina Maksimovna–Southern Federal University, the department of computer aided design, e-mail: bogomolova@sfedu.ru; student.

Semenov Victor Alekseevich –Southern Federal University, the department of computer aided design, e-mail: viksemenov@sfedu.ru; student.

Chupina Ekaterina Nikolaevna –Southern Federal University, the department of computer aided design, e-mail: echupina@sfedu.ru;student.

Секция – **МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

УДК [004.032]

Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКА КВАНТОВЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ

Данный доклад посвящен решению задачи исследования и разработки методов оптимизации квантовых вычислений в рамках применения квантовых ускорителей. Предложена структурная схема аппаратного ускорителя для увеличения производительности моделируемых квантовых вычислений. Была проведена разработка структурной схемы модуля связи аппаратного ускорителя и программной модели. Разработана программная модульная модель квантового вычислителя, в следствии чего, была построена универсальная модель квантового вычислителя. Определена общая методика моделирования квантовых алгоритмов с использованием аппаратного вычислительного ядра и требования по взаимодействию программной и аппаратной частей с целью эффективной работы симулятора квантовых вычислений, включая инициализацию квантовой системы, совершение операций над квантовым регистром (эволюция квантовой системы) и измерение квантовой системы. Работа затрагивает задачи исследования и разработки методов функционирования квантовых схем и моделей квантовых вычислительных устройств.

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 компьютинга.

Квантовая ошибка; квантовый алгоритм; кубит; модель квантового вычислителя; квантовое запутывание; суперпозиция; квантовый параллелизм.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich, Potapov Victor Sergeevich

STUDY OF A STACK OF QUANTUM ACCELERATORS AND DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZATION ALGORITHM

This article is devoted to solving the problem of research and development of methods for optimizing quantum computing within the framework of the application of quantum accelerators. A block diagram of a hardware accelerator is proposed to increase the performance of simulated quantum computing. The development of the structural diagram of the communication module of the hardware accelerator and the software model was carried out. A software modular model of a quantum computer has been developed, as a result of which a universal model of a quantum computer has been built. A general technique for modeling quantum algorithms using a hardware computing core and requirements for the interaction of software and hardware parts for the effective operation of a quantum computing simulator, including initializing a quantum system, performing operations on a quantum register (evolution of a quantum system) and measuring a quantum system, are determined. The work touches upon the problems of research and development of methods for the functioning of quantum circuits and models of quantum computing devices.

The relevance of these studies lies in mathematical and software modeling and implementation of correction codes for correcting 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 disadvantages of the quantum computational process. Currently, in many advanced countries of the world, intensive research is being carried out on the development and creation of quantum computers and their software; 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

История компьютерной архитектуры насчитывает несколько десятилетий и постоянно развивается. Важным расширением является появление ускорителей [1] как специализированных процессоров, где главный процессор разгружает подходящие вычислительные задачи. В последнее время исследования компьютерной архитектуры все больше сосредотачива-

ются на квантовых вычислениях [2]. Квантовый ускоритель основан на идее, что любое конечное приложение содержит несколько вычислительных ядер, и свойства этих частей лучше выполняются с помощью конкретного ускорителя, который может быть, как показано на рис. 1, либо программируемыми вентильными матрицами [3] (FPGA), либо графическими процессорами [4] (GPU), нейронными процессорами [5] (NPU), такими как тензорный процессор [6] Google (TPU) и т. д.

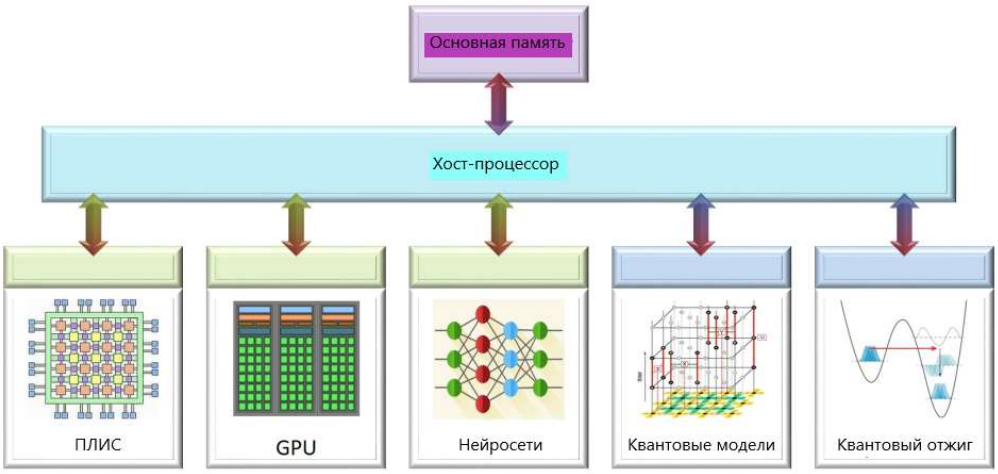


Рис. 1. Архитектура системы с гетерогенными ускорителями

Формальное определение ускорителя – это сопроцессор, связанный с центральным процессором, который может ускорить выполнение конкретных вычислительно-интенсивных ядер, чтобы ускорить общее выполнение согласно закону Амдала. Добавим два класса квантовых ускорителей в качестве дополнительных сопроцессоров. Первый основан на квантовых вентилях, а второй – на квантовом отжиге [7]. Классический хост-процессор сохраняет контроль над всей системой и делегирует выполнение определенных частей доступным ускорителям. Компьютерные архитектуры претерпели значительные изменения за последние пару десятилетий. Первые компьютеры, которые были созданы, не имели четкого разделения между вычислительной логикой и памятью. Это было связано с идеей фон Неймана [8] разделить и четко их развить, родилась знаменитая архитектура фон Неймана. Эта архитектура долгое время имела один процессор и развивалась благодаря постоянно растущему числу транзисторов на микросхеме, которые удваиваются каждые 18 месяцев.

В начале 21 века одиночные ядра стали слишком сложными и не дали существенного улучшения обработки. Это привело к взаимодействию нескольких ядер. Однородный многоядерный процессор доминировал в разработке процессоров в течение нескольких лет, но такие компании, как

IBM и Intel, начали понимать, что гетерогенность – это правильный путь для повышения вычислительной мощности. Графические процессоры и ПЛИС рассматриваются как естественные расширения компьютерной архитектуры, подразумевая, что квантовый ускоритель будет следующим логическим шагом. В мире квантовых вычислений существуют две важные проблемы. Во-первых, необходимость в достаточном числе кубитов хорошего качества в экспериментальном квантовом процессоре. Текущие конкурирующие технологии кубитов [9] включают: ионные ловушки, майораны, полупроводящие и сверхпроводящие кубиты, NV-центры [10] и даже графен [11].

1. Стека квантовых ускорителей

Общая цель квантовых вычислений – предоставить отраслям и организациям во всем мире необходимую инфраструктуру, чтобы перейти в эру квантовых вычислений и поднять их на конкурентной основе по сравнению с другими странами или организациями. Развитая инфраструктура покроет полный спектр ключевого приложения от ядра ведущих компаний до алгоритмических определений, компиляторов. Ключевое определение квантовых вычислений заключается в том, что большому количеству людей придется работать над различными областями применения и разработать соответствующую квантовую логику для каждой из них.

Важным понятием, которое вводится в наше направление исследований, является использование трех видов кубитов, а именно: настоящие, реалистичные и идеальные. Первый тип кубита – экспериментальный кубит, называемый реальным кубитом, который относится к экспериментально реализованной системе с такими проблемами, как декогеренция и частота ошибок. Эти функции необходимо существенно улучшить для любых коммерчески доступных квантовых устройств. Реалистичные кубиты представляют собой улучшенный прототип реальных кубитов. Любая архитектура компьютера требует функциональности для постоянного мониторинга квантовой системы для обнаружения и устранения возможных ошибок. Кубиты обычно производятся в виде обычной двухмерной решетки [12] с подключением к сети и взаимодействия ближайших соседей. Массив состоит из двух видов кубитов, а именно кубитов данных и вспомогательных кубитов. Кубиты данных используются для хранения квантовой информации для вычислений, тогда как вспомогательные кубиты являются вспомогательными кубитами, которые используются для обнаружения ошибок переворота битов [13] и переворота фазы путем выполнения измерений

синдрома ошибок [14]. Это означает, что после каждой последовательности квантовых вентилей системе необходимо измерить свое состояние и интерпретировать эти измерения, чтобы увидеть, была ли произведена ошибка. Совершенные кубиты смоделированы в симуляторе, они не декогерируют и остаются в идеальном состоянии, требуемом для алгоритма. Использование этих совершенных кубитов гарантирует, что конечные пользователи могут проверить алгоритм, над которым они работают, и насколько вычисленные результаты имеют значение, которое можно легко интерпретировать. Как показано на рис. 2, опишем различные слои квантовой системы [15] ускорителя. В долгосрочной перспективе у нас будут квантовые вычислительные устройства, которые будут иметь правильное поведение и результат, но пока что мы должны использовать классические и очень мощные компьютеры, чтобы реализовать результат любого квантового приложения. У нас еще нет полной реализации микроархитектуры для логики, выраженной в терминах идеального кубиты. Наше текущее понимание общей микроархитектуры представлено на рис. 2.

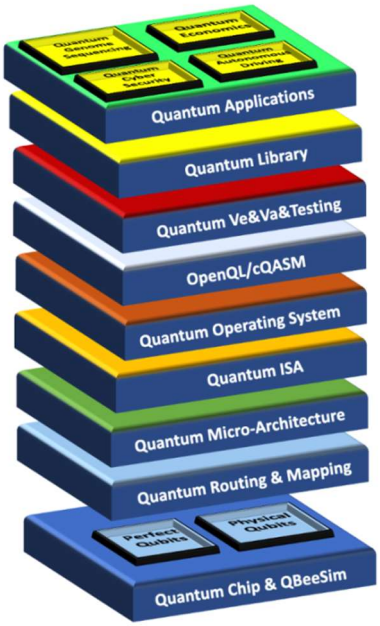


Рис. 2. Полный стек с идеальными и физическими кубитами

Самый высокий уровень – это прикладной уровень, где потенциальный конечный пользователь квантовой вычислительной мощности указывает, что именно необходимо вычислить. Обещания квантовых вычислений изменить компьютерную игру, позволяя вычислять различные алгоритмы намного быстрее (в некоторых случаев экспоненциально быстрее), чем их классические аналоги. Особенно, приложения, требующие манипу-

лирования большого набора элементов данных для получения статистического ответа очень подходит для обработки квантовыми компьютерами, которые называем ускорителями.

Следующим шагом к размышлениям является то, как мы можем выполнить квантовое приложение на классическом аппаратном компьютере. Есть два основных способа использования оборудования компьютера параллельно для увеличения общей мощности компьютера. Самый простой способ – это то, что мы делаем на любом современном компьютере. Сегодня мы можем покупать и использовать сопроцессоры, которые выполняют часть приложения более быстрым способом.

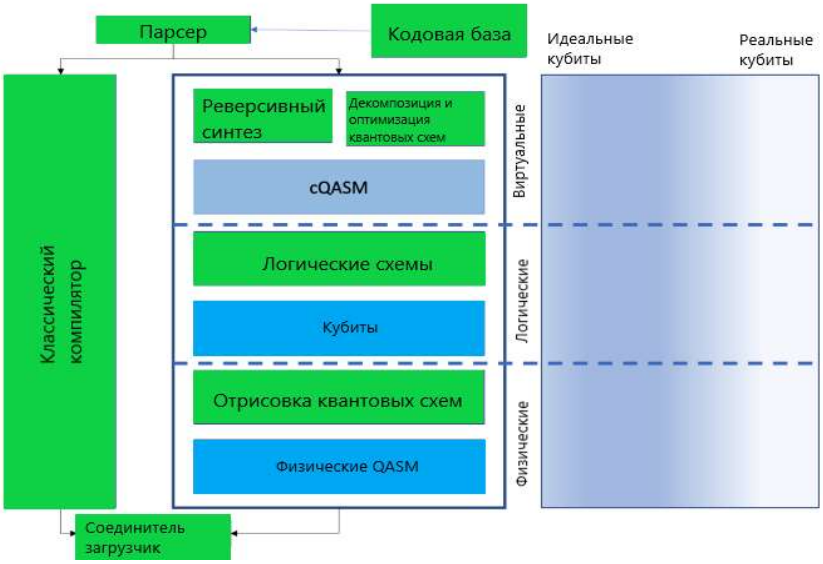


Рис. 3. Инфраструктура компилятора

Как показано на рис. 4, в распараллеливании есть два важных закона, а именно Амдала [16] и Густафсона-Барсиса [17]. Первый закон, который используется при распараллеливании, это закон Амдала. Он показывает, что за ускорение можно ожидать, когда можно распараллелить меньшую или большую часть приложения. Видно, что, если распараллелить 50% приложения, максимальное ускорение составит 2. Если сможем распараллелить до 95% кода, ускорение может достигать до 20 раз быстрее, чем чистое последовательное выполнение. Второе наблюдение этой цифры говорит о том, что количество процессоров, применяемых для параллельного выполнения, имеет очень ограниченное влияние. Чем меньше параллельная часть приложения, тем меньшее количество процессоров имеет положительное влияние. Это ускорение идет с 16 параллельных процессоров

только для 50% распараллеленного приложения до 4096 процессоров для 95% распараллеливания.

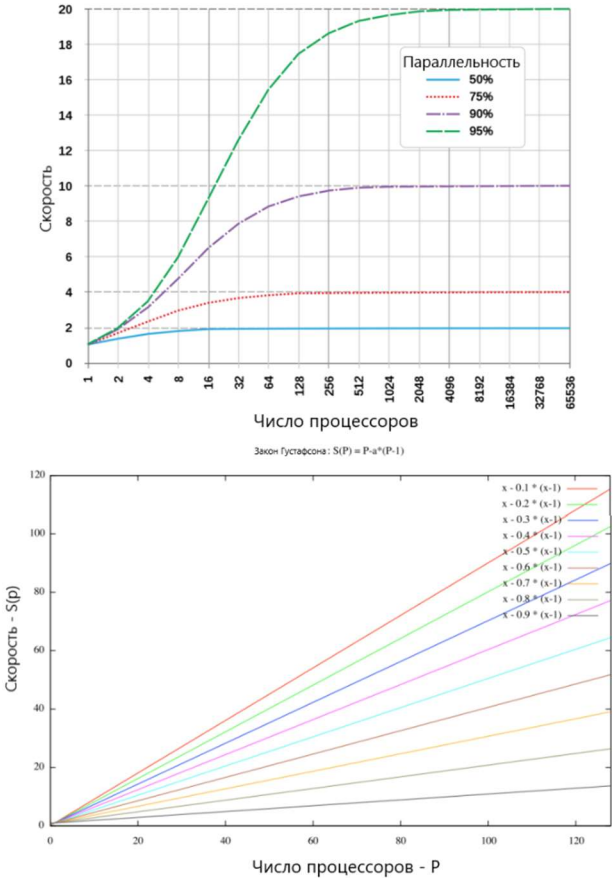


Рис. 4. а) Закон Амдала; б) Закон Густафсона-Барсиса

Второй показанный график – это закон Густафсона-Барсиса. Здесь логика аналогична закону Амдала, но есть одно отличие. Нет горизонтальной части графика по мере увеличения количества доступных процессоров, а скорее линейный график, который возрастает с увеличением количества используемых процессоров. Есть процент приложений, которые не распараллеливаются, что отрицательно сказывается на общей производительности. После объяснения законов Амдала и Густафсона-Барсиса можем перейти к каждому из них. Можно использовать уравнение Амдала:

$$S_{latency}(s) = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{s}}, \qquad (1)$$

где $S_{latency}$ – это теоретическое ускорение всего приложения, s – это ускорение части задачи, которая будет выполняться параллельно на оборудовании, p – это часть времени выполнения, в которой нет распараллеливания. Если возьмем в качестве примера, что около 30% общего времени выпол-

нения будет предметом ускорения, p будет 0,3. Распараллеливание кода подразумевает, что эта часть приложения будет работать в два раза быстрее, что дает значение 2 до s. Заполняя эти числа в уравнении, получаем

$$S_{latency}(s) = \frac{1}{(1-0.3)+\frac{0.3}{2}} = 1.18.$$

Если предположить, что распараллеливание может быть увеличено за счет ускорения нескольких частей приложения следующим образом: p1 = 0,11; p2 = 0,18; p3 = 0,23; и p4 = 0,48. Ускорение различных компонентов можно предположить следующим образом: s1 без ускорения, поэтому значение равно 1, s2 = 5, s3 = в 20 раз быстрее и последний компонент ускоряется в 1,6 раза, поэтому s4 = 1,6. Это приводит к следующему вычислению.

$$S_{latency}(s) = \frac{1}{\frac{p_1}{s_1}+\frac{p_2}{s_2}+\frac{p_3}{s_3}+\frac{p_4}{s_4}} = \frac{1}{\frac{0.11}{1}+\frac{0.18}{5}+\frac{0.23}{20}+\frac{0.48}{1.6}} = 2.19.$$

Этот пример показывает, что даже когда некоторые части значительно ускоряются, например, вторая и третья часть, общее ускорение намного ниже, потому что первая не ускоряется, а четвертая часть разгоняется в 1,6 раза. Дополнительное расширение усилий по распараллеливанию дано компьютерным ученым Густафсоном и Барсисом, называется законом Густафсона-Барсиса. Основная идея состоит в том, что ускорение S реализуется процессорами P для приложения, в котором не все компоненты могут работать параллельно.

$$S_{G-latency}(s) = P + s(P-1). \quad (2)$$

Переменная s представляет процент приложения, которое не распараллеливается. Основная логика закона Густафсона-Барсиса заключается в том, что программисты всегда будут использовать доступные аппаратные ресурсы по мере развития технологий. Это означает, что чем больше ресурсов доступно, тем быстрее приложение будет. Симулятор хранит амплитуды кубитов. Амплитуды [18] – комплексные числа. Следовательно, симулятор сохраняет амплитуды как 2 кортежа, где первая запись – это действительная часть амплитуды, а вторая запись – мнимая часть. Для состояния n кубитов существует возможное $N = 2^n$ состояний, которые могут быть представлены. Общий размер вектора состояния кубита тогда определяется выражением

$$s_v = 2 \cdot s_T \cdot N = 2 \cdot s_T \cdot 2^n, \quad (3)$$

где s – это размер типа данных, который используется для хранения каждой части кортежа. Симулятор создает 2 массива, один для амплитуд кубитов, являющиеся входами в вентиль и один для амплитуд кубитов, которые являются выходами вентиля. Следовательно, общая потребность в памяти для симулятора – это удвоение sv,

$$m_T = 2 \cdot 2 \cdot s_T \cdot 2^n = s_T \cdot 2^{n+2}. \quad (4)$$

Например, при сохранении каждой амплитуды в виде комплексного двойного числа, sT = 8 байтов, требования к памяти для симулятора показаны в табл. 1.

Таблица 1

Требования к памяти для разного количества кубитов

Количество кубитов (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Память (Кб)	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256

Количество кубитов (n)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Память (Кб)	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

Для хранения матрицы квантового вентиля потребуется больший объем памяти. Это можно рассчитать так же, как и s_v. Матрица квантового вентиля имеет два 2^{2n} кортежей. Требуемая память для этой матрицы sm равна

$$s_m = 2 \cdot s_T \cdot N^2 = 2 \cdot s_T \cdot 2^{2n}. \quad (5)$$

Требования к пространству как для вектора состояния кубита, так и для матрицы квантовых вентилей являются экспоненциальными, предполагая, что постоянная sT. Для вектора состояния кубита он равен O(2^n), а для унитарной матрицы [19] – O(2^{2n}). Потребность памяти в матрице квантовых вентилей растет намного быстрее, чем потребность в векторе состояния кубита. Каждый из квантовых вентилей реализован как классическая функция, которая перемещает амплитуды и выполняет арифметические операции над ними при необходимости. Эти классические функции являются отображениями между состояниями [20] в вычислительной базе. Они также могут отображать состояния, находящиеся в суперпозиции.

2. Разработка алгоритма оптимизации

Двухкубитовые и трехкубитовые квантовые вентили, как правило, меняют состояния в модели квантового регистра. Для применения данных гейтов [21] также будем использовать алгоритм, который не создает матрицу преобразования, а делает выборку состояний из квантового регистра и меняет их местами. Рассмотрим в качестве примера вентиль CNOT. Исходя из вышеперечисленных утверждений, можно представить следующий алгоритм для увеличения производительности модели квантового компьютера для однокубитовых операций [22] в виде блок-схемы, показанной на рис. 5.

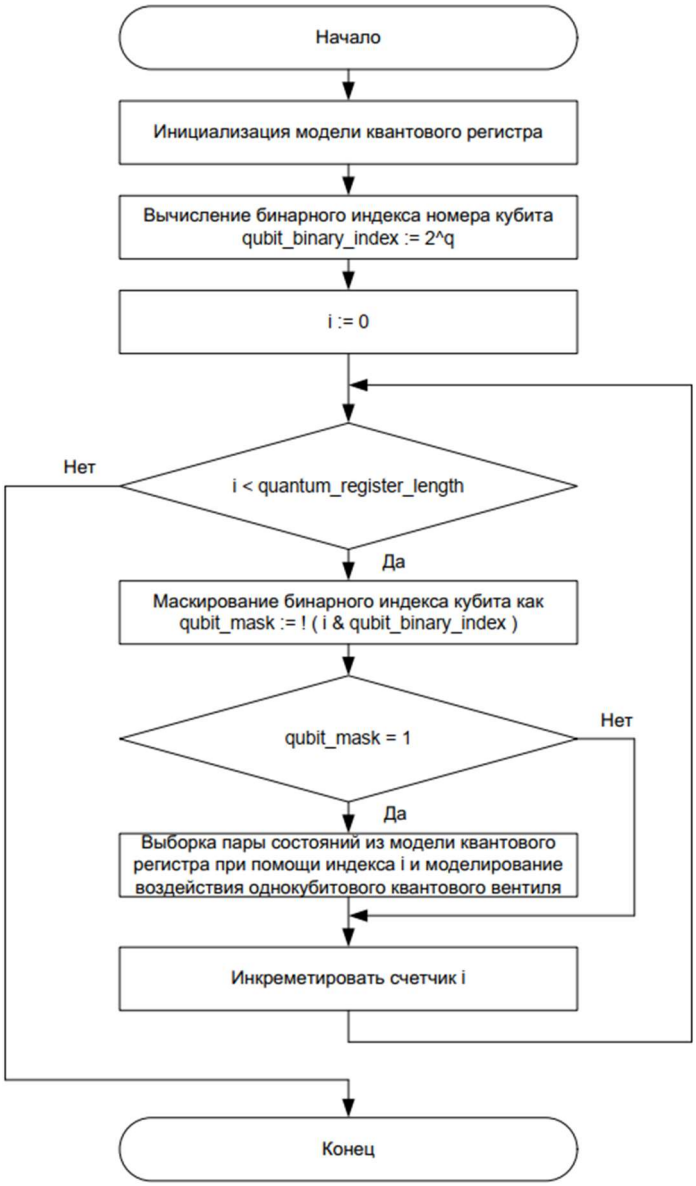


Рис. 5. Блок-схема алгоритма воздействия однокубитового вентиля, используя оптимизацию

В начале алгоритма воздействия однокубитового вентиля с оптимизацией, представленного на рис. 5, производится инициализация модели квантового регистра, что представляет собой установку амплитуды со значением 1 для одного из состояний регистра. Далее происходит вычисление бинарного индекса кубита (qubit_binary_index), который представляет число с установленной единицей в разряде, соответствующем номеру кубита, на который производится воздействие. Затем в цикле происходит обход состояний модели квантового регистра и выборка пары состояний [23] для осуществления воздействия вентиля. Для правильной выборки используется переменная маска [24] (qubit_mask), которая при помощи операции конъюнкции фильтрует значения (индексы состояний) таким образом, чтобы соблюдалась последовательность выборки пар состояний. После обхода всех состояний алгоритм завершается. Без оптимизации (рис. 6) мы вынуждены производить одно воздействие на квантовый регистр за время и использовать ячеек памяти, n – количество кубит. Данный алгоритм хотя и входит в класс NP-сложных алгоритмов, однако его использование предпочтительно.

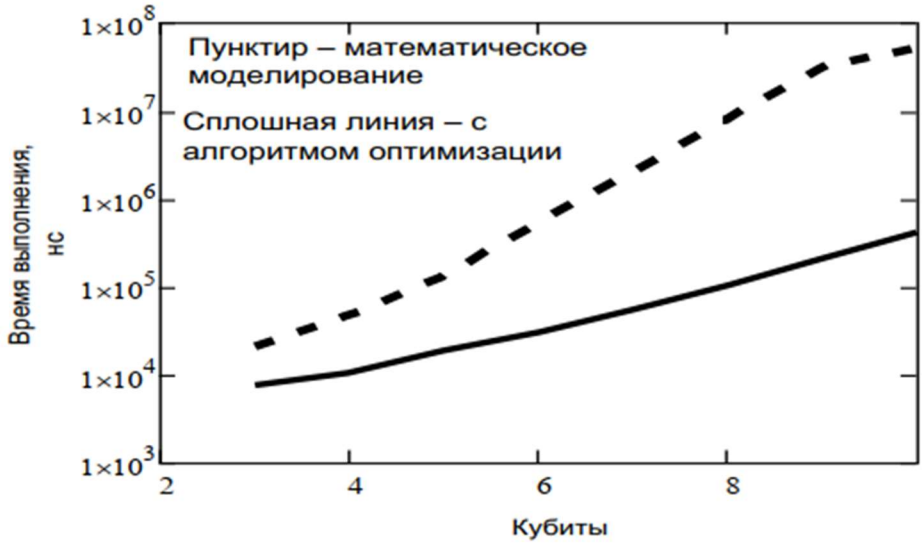


Рис. 6. Результаты моделирования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 продемонстрирована возможность ускорения моделирования квантовых вычислений при помощи распределенных вычислений. Данный подход находит своё применение на практике в написании математических ядер [25], которые направлены не только на реализацию моделирования квантовых вычислений, но и на увеличение производительности вычислений и количества моделируемых кубитов.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bernstein E., Vazirani U.* Quantum complexity theory. In Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing, pages 11 – 20, 1993.
2. *Кайе Ф.* Введение в квантовые вычисления [Текст] / Ф. Кайе, Р. Лафламм. – Москва; Ижевск: РХД, 2009. – 360 с..
3. *Гузик В. Ф.* Понятие и структура квантового алгоритма [Текст] / В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, М. Ю. Поленов // Информатизация и связь. – 2016. – № 1. – С. 35 – 39.
4. Nanometre-scale thermometry in a living cell. G. Kucsko, P.C. Maurer, N.Y. Yao, M.D. Lukin. Nature, Vol. 500, August 2013.
5. Storage of light in Atomic Vapor. D.E. Phillips, A. Eleischnauer, A. Mair, P.L. Walsworth, M.D. Lukin. Physical Review Letters, vol. 86, № 05, Januar 2001.
6. *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.
7. *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.
8. Attractive photons in a quantum nonlinear medium. Ofer Firstenberg, Mikhail D. Lukin. Nature, vol. 502, October 2013.
9. *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.
10. *Eckert A., Jozsa R.* Quantum Computation and Shor’s Factoring Algorhitm, Rev. Mod. Phys. 68(3), 733 – 753 (1996).
11. *Гузик В. Ф.* Разработка системы требований к архитектуре квантового вычислителя [Текст] / В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, В. С. Потапов // Нацио-

нальная ассоциация ученых (НАУ) # I (6), 2015 / Технические науки. – Екатеринбург, 2015. – С.127 – 130.
12. *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: 20.03.2016).
13. *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.
14. Room-Temperature Quantum Bit Memory Exceeding One Second. P.C. Maurer, G. Kucsko, C. Latta, L. Jiang, N.Y. Yao, S.D. Bennett, M.D. Lukin. Science 336,1283. – 2012.
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. Технические 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 nonphysicists // ACM Computing Serveys. – 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: 20.03.2021);
20. *Preskill J.* Lecture Notes for Physics 229: Quantum Information and Computation, – California Institute of Technology, 1998;
21. *Kim Y. H., Kulik S. P., Shih Y.* Quantum Teleportation with a Complete Bell State Measurement. J. Mod. Opt, 49, issue 1, 221 – 236, 2001;
22. Long-distance quantum communication with atomic ensembles and linear optics. L.-M. Du-an, M.D. Lukin, J.I. Cirac, P. Zoller. Nature, vol. 414, November 2001;
23. Hales, S. Hallgren, An improved quantum Fourier transform algorithm and applications, Proceedings of the 41st Annual Symposium on Foundations of Computer Science, p. 515, November 12 – 14, 2000;
24. Gilles Brassard; Peter Høyer; Michele Mosca; Alain Tapp (2000-05-15). "Quantum Amplitude Amplification and Estimation". arXiv:quant-ph/0005055;

25. *Werner R. F.* Quantum states with Einstein – Podolsky – Rosen correlations admitting a hidden-variable model // Phys. Rev. A. – 1989. – Vol. 40. – P. 4277;

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: vitya-potapov@rambler.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; аспирант.

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 Victor Sergeevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: vitya-potapov@rambler.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; postgraduate.

УДК 621.396

Турулин Игорь Ильич, Аль-Карави Хуссейн Шукор

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМЫ MATLAB ДЛЯ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЕМЫХ ЦИФРОВЫХ РЕКУРСИВНЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ

В контексте цифровой обработки сигналов (ЦОС) характеристики цифрового фильтра чрезвычайно важны. Анализ БИХ-фильтра может быть выполнен с использованием различных методов. В этой статье инструмент FDA, программное обеспечение MATLAB и прототип Simulink были использованы для завершения простой модели цифрового БИХ-фильтра Чебышева II. Составной сигнал обрабатывался анализируемым фильтром, чтобы увидеть, соответствует ли он критериям прохождения фильтрации. Метод исследования дал приемлемые результаты.

Цифровой БИХ-фильтр; Чебышев II; Инструмент FDA; Simulink; Программное обеспечение MAT LAB.

Turulin Igor Ilich, Alkarawi Hussein Shakor

ANALYSIS OF MATLAB SYSTEM APPLICABILITY FOR SYNTHESIS OF CONTROLLED CHEBYSHEV II DIGITAL RECURSIVE IIR FILTERS

In the context of Digital Signal Processing (DSP), digital filter performance is extremely significant. Analysis the IIR filter can be done using variety techniques. In this paper, the FDA tool, MATLAB software and the Simulink prototype were used to complete the straightforward model of Chebyshev II digital IIR filter. The composited signal was processed by the analyzed filter to see whether it met the filtering progress criteria. The research method yielded acceptable results.

Digital IIR filter; Chebyshev II; FDA tool; Simulink; MATLAB software.

INTRODUCTION. Filters are most important and influential elements in the framework of signals and systems, because they are practically presented to filter out the desired signal per the prerequisite to be used in various areas of interest, varying from speech via image to video and audio processing. i.e., to eliminate or improve particular frequency components in the signal [1]. FIR (Finite Impulse Response) and IIR (Infinite Impulse Response) filters are the two most common types of digital filters seen in a variety of applications. IIR filter handles specified properties like widths of both passband and stopband, as well as maximum allowable ripples at both passband and stopband. These properties can be used to create a preferred IIR filter design. The IIR filter is the best option for signal filtering [2]. The powerful computational resources of MATLAB allow the realization and simulation testing of digital filters to be completed quickly and efficiently.

Simulink, as one of the MATLAB signal processing boxes, has useful features and a user-friendly interface, and the modular design of Simulink allows users to create simulation models and monitor simulation results rather easily and efficiently [3].

THE BASIC CONCEPT OF IIR DIGITAL FILTER. The main advantage of IIR filters is their capability to achieve tasks using a smaller amount of computational power and less memory [4]. The output and input sequences of

an IIR filter are defined as the ratio of two polynomials in most cases [5], is given by the equation (1):

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M} b_i\, x(n-i) - \sum_{k=1}^{N} a_k\, y(n-k) \qquad (1)$$

where: x(n) and y(n) are the input & output signals of the recursive filter, {a1,a2, …., aN} are coefficients values of feedback, {b0 ,b1, …., bM} are coefficients values of feed-forward and N as well as M are the numbers of both poles and zeros respectively, (usually N larger than M), they are determined the order of the IIR filter. A digital filter is characterized by its transfer function, or equivalently, its difference equation [6]. Mathematical analysis of the transfer function can describe how it will respond to any input. A transfer function in the z-domain can be expressed as a transfer function for a linear, time invariant, digital filter; if it is causal, it has the form in equation (2):

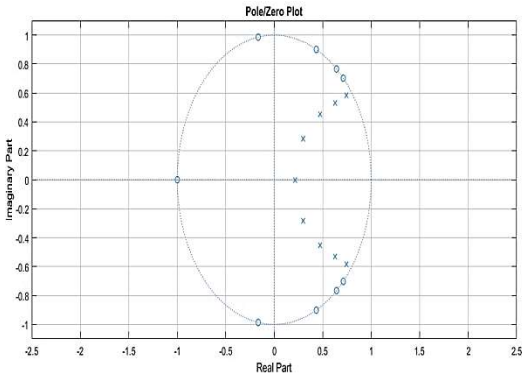
$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \cdots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} - \cdots - a_N z^{-N}} \quad . \qquad (2)$$

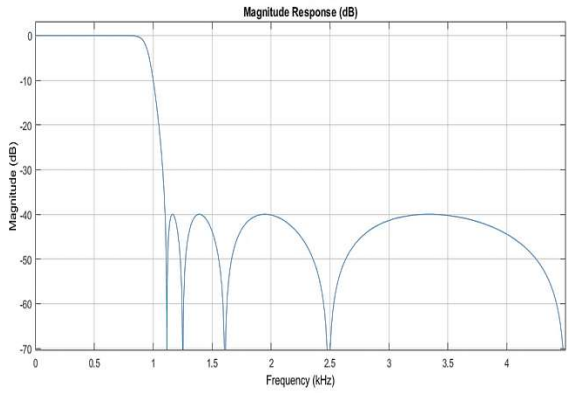
DESIGN METHOD and PARAMETER CONFIRMATION. IIR filters are designed to determine coefficients of the transfer sequence or attenuation characteristic that satisfy specifications. The approximation Chebyshev II digital filter model is used to implement the design process. A filter is used to eliminate high-frequency signal components from a signal. Based on the current Nyquist-Shannon sampling formula, the sampling frequency f_s ought to be higher than or equal to the twice of the highest frequency in the entire signal frequencies [7]. The filter design abilities programmed directly in MATLAB 2021a environment by the use of the Filter Design and Analysis Tool (FDAT).

After typing fdatool or filterDesigner in the command window and run, the graphical user interface (GUI) would open in the default design mode [8]. Lowpass filter structure requirement was proposed IIR design method (Chebyshev type II), minimum, order select, frequency in units of hertz, where: sampling frequency of 9000; stopband frequency of 1100, passband frequency of 900, stopband attenuation of 40dB and Passband Ripple of 1dB. The menu options "Analysis" views the magnitude response, pole-zero plotting and etc, as proved in fig.1 (a , b). The stability of the realized structure is demonstrated by the pole-zero plotting, which forces the poles of a stable IIR filter within the unit circle. After the design is finished, the result will be saved with a .fda extension. MALAB 2021a was utilized to simulate the designed Chebyshev II lowpass filter below code to ensure that it met the requirements.

The program executed with "evaluation selection" instruction or F9 in the MATLAB 2021a command window. All values of the designed filter variables were listed in Workspace window.

```
% Chebyshev Type II Lowpass filter design.
fs = 9000;
Wp=2*900/fs;
Ws=2*1100/fs;
Apass = 1;
Astop = 40;
match = 'stopband';  % Band to match exactly
[N,Wn]=cheb2ord(Wp,Ws,1,40);
[B,A]=cheby2(N,40,Wn,'low');
fvtool(B,A)
```





a) filter Impulse response *b) filter pole-zero plot*

Fig. 1(a,b). Digital filter responses

SIMULATION BASED ON SIMULINK MODEL. Simulink is another significant MATLAB toolbox, with the primary goal of pattern identification, emulation, and evaluation. The Simulink library bowser dialog box was opened after Simulink syntax was typed in the command screen. In the Simulink environment, the paper low pass digital filter "Chebyshev II" is the output of exporting it as of GUI to Simulink. Also, three block parameters: sine wave, two vector scopes in addition to add part of sum process library scope, which can be saved as new simulation file (.slx). Without having to compile code, a prototype of a system block illustration can be quickly created [9]. Each element was linked on the way to form a Simulink block diagram of the filtering process.

Simulink block was constructed as following: a group of signals units were set with frequency value (in hertz also) the same as: 800, 1200 and 1300 sinusoidal in signals, specifications for the digital filter interface element as: f_s=9000; f_{pass}=900; f_{stop}=1100, besides sample time set = 1/9000. Add module with speci-

fy character vector containing +++ for each input port [10]. The time domain waveforms of the filtering effect were produced when the completed simulation block in fig. 2, was performed with the run choice.

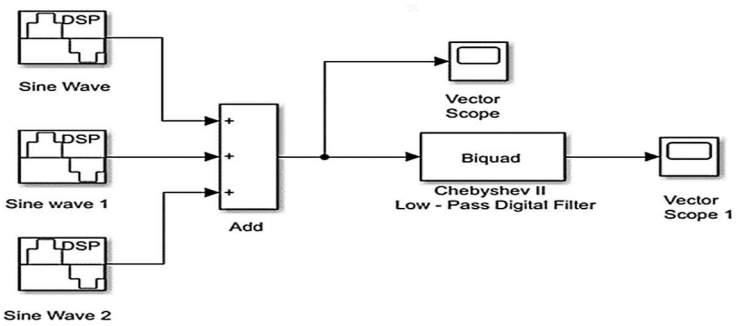
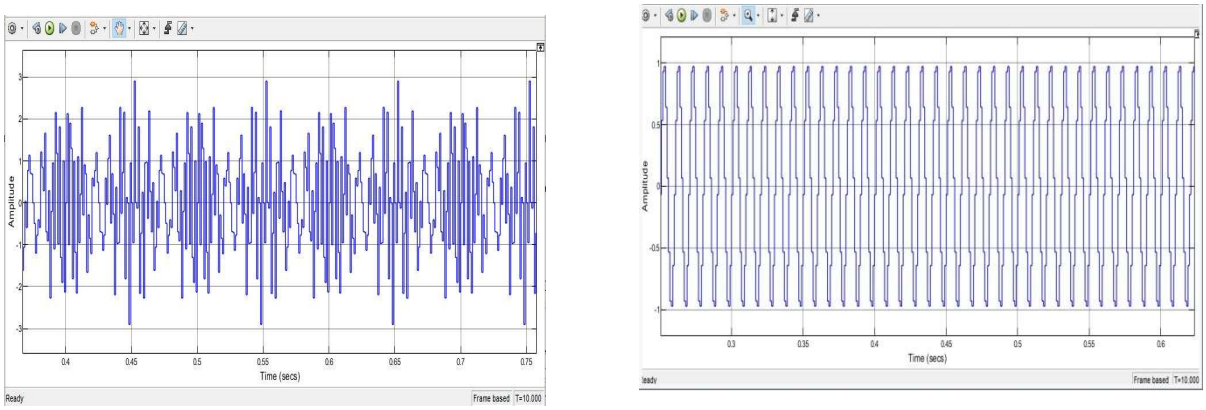


Fig. 2. Simulink block diagram

The input signal was comprised with 3 types of frequency components in the time domain waveform, as shown in (figure. 3: a and b). After filtering, the two higher frequencies were damped. Whereas f1 frequency sine wave signals pass through the low pass IIR filter, f_2 and f_3 frequency sine wave signals are greatly suppressed. Before filtering, the waveform of input signal was disoriented, but it was ordered after filtering realization [11]. The simulation results demonstrate that, the different evaluation indexes of the IIR filter design fulfilled the required specifications, and the design process was intuitive and straightforward.



a) Original discrete wave. (scope) *b) The discrete wave after filterig. (scope 1)*

Fig. 3. Time domain waveforms of the signal before (a) and after (b) filtering

Conclusion. The IIR Chebyshev II filter was successfully analyzed and implemented with the MATLAB (2021a) environment and the Simulink model of a filter. To design controlled filters, the system (transfer) function of an ordinary (uncontrolled) filter is required, which is presented as a cascading connection of second-order links. If the filter order as a whole was odd, then plus one more link of

the first order. The digital filter was easily and simply simulated, reducing both the programming complexity and the amount of work required. In practice, it was very reliable. Concurrently, using MATLAB tools, filter analysis can be done easily to meet requirements and model whole systems more accurately.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. *Chakraborty S., Maitra S.* Design and Determination of Optimum Coefficients of IIR Digital Highpass Filter using Analog to Digital Mapping Technique //International Journal of Computer Applications. – 2012. – Т. 58. – №. 7. – С. 19-26.
2. *Singh T., Jain A., Chourasia B.* Study and performance analysis of IIR Filter for noise diminution in digital signal using MATLAB //Int. J. Comput. Sci. Mob. Comput. – 2017. – Т. 6. – №. 4. – С. 2020
3. *Gao Y., Zhang L. L.* Simulation study of fir filter based on matlab //2010 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM). – IEEE, 2010. – С. 1-4.
4. *Oshana R.* DSP software development techniques for embedded and real-time systems. – Elsevier, 2006.
5. *Hussain Z. M., Sadik A. Z., O'Shea P.* Digital signal processing: an introduction with MATLAB and applications. – Springer Science & Business Media, 2011.
6. *Siauw T., Bayen A.* An introduction to MATLAB® programming and numerical methods for engineers. – Academic Press, 2014
7. Mokji M. M. Discrete-Time Signal.
8. *Welch T. B., Wright C. H. G., Morrow M. G.* Real-time digital signal processing from MATLAB to C with the TMS320C6x DSPs. – CRC Press, 2016.
9. *Semmlow J.* Circuits, signals, and systems for bioengineers //Parasitic Element (Electrical networks). – 2005. – С. 134-135
10. *Singh A., Srinivasan S.* Digital signal processing implementations: using DSP microprocessors with examples from TMS320C54xx. – Cl-Engineering, 2004
11. *Gao Y., Zhang L. L.* Simulation study of fir filter based on MATLAB //2010 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM). – IEEE, 2010. – С. 1-4.

Турулин Игорь Ильич, Доктор технических наук, профессор, Кафедра теоретических основ радиотехники, Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, Некрасовский переулок, 20, 347922, телефон: +7 (9618) 17-06-09, email: iiturulin@sfedu.ru.

Аль-Карави Хуссейн Шукор, аспирант группы RTao2-29, кафедра теоретических основ радиотехники, Южный федеральный университет, Россия, г. Таганрог, ул. Петровская, 17, 347922, тел .: +7 (9612) 93-63-40, электронная email: alkaravi@sfedu.ru.

Turulin Igor Ilich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 20, 347922, phone: +7 (9618) 17-06-09, email: iiturulin@sfedu.ru.

Alkarawi Hussein Shakor, postgraduate student of RTao2-29 group, department of theoretical foundations of radio engineering, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 17 Petrovskaya street, , 347922, phone: +7 (9612) 93-63-40, email: alkaravi@sfedu.ru.

УДК 681.3:519.2

Приходченко Алексей Иванович

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ СОГЛАСИЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ РАНГОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Работа посвящена выбору статистически оптимального (по максимальной мощности) критерия равномерного распределения при использовании ранговой обработки сигналов для решения задачи обнаружения в условиях априорной неопределенности. Проведен анализ источников по сравнительному исследованию критериев согласия. Предложена модель обработки сигналов в условиях априорной неопределенности.

Априорная неопределенность, ранги, критерии согласия, равномерное распределение.

Prikhodchenko Alexey Ivanovich

A NONPARAMETRIC CRITERION FOR THE GOODNESS - OF – FIT OF A UNIFORM DISTRIBUTION DURING RANK PROCESSING OF SIGNALS UNDER CONDITIONS OF A PRIORI UNCERTAINTY

The work is devoted to the choice of a statistically optimal (in terms of maximum power) uniform distribution criterion when using rank signal processing to solve the

detection problem under conditions of a priori uncertainty. An analysis of the sources for a comparative study of goodness-of-fit criteria has been carried out. A model of signal processing under conditions of a priori uncertainty is proposed.

A priori uncertainty, ranks, goodness-of-fit criteria, uniform distribution.

Введение

Априорная неопределенность является серьезной проблемой при решении задач обнаружения сигналов в условиях действия помех. Решение этой проблемы идет по двум направлениям: 1) адаптивное, при котором система обнаружения автоматически подстраивается к изменяющимся параметрам сигнала или помехи; 2) непараметрическое, при котором система становится нечувствительной к изменениям параметров сигнала и помехи. Адаптация тем эффективнее, чем меньше число неизвестных параметров сигнала или помехи. Поэтому, непараметрические методы представляют наибольший интерес.

Обработка статистических данных в непараметрических обнаружителях проводится в два этапа: 1) выполняется некоторое инвариантное преобразование S входных выборочных данных X, после которого образуется новый массив $Z = S(X)$, распределение элементов которого при отсутствии сигнала является известным; 2) формируется решающее правило, по которому будет определяться наличие или отсутствие сигнала во входной выборке.

Широкими инвариантными свойствами обладает процедура ранжирования, при котором входные отсчеты преобразуются в последовательность целых чисел – рангов [1]. Ранговые процедуры обладают многими полезными свойства, и по сравнению с другими непараметрическими методами лучше подходят для практического внедрения.

По определению, рангом i-го элемента x_i массива выборочных значений X является порядковый номер R_i этого элемента в вариационном ряду $x_1 \leq x_2 \leq \cdots \leq x_{(R_i)} \leq \cdots \leq x_n$, где n – число элементов выборки. Вычисление рангов проводится по следующей формуле:

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

Совокупность рангов $\{R_1, \dots, R_n\}$ есть ни что иное, как перестановка целых чисел от 1 до n. В зависимости от n, число таких перестановок может быть большое множество, но из статистики известно, что все они равновероятны. Поэтому, вне зависимости от того какое распределение имеет

исходная выборка $\{x_1, \dots, x_n\}$, совместное распределение рангов, вычисленных по (1), будет равномерным:

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

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

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

При таком вычислении рангов равномерный закон распределения нарушается при любом изменении выборки *X* по сравнению с выборкой *Y*. В данном случае это свидетельствует о присутствии сигнала во входной выборке *X*. Алгоритм (3) часто называют алгоритмом ранжирования по опорной выборке, в то время как (1) – алгоритмом ранжирования без опорной выборки.

Применение ранговых процедур обеспечивает возможность решения широкого круга задач обнаружения сигнала в условиях непараметрической априорной неопределенности в различных областях науки.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу обнаружения сигнала (далее $s(t)$) на фоне аддитивной, стационарной и однородной помехи (далее $y(t)$) в условиях существенной априорной неопределенности. Входной процесс $x(t) = s(t) + y(t)$ представлен в виде массива выборочных значений $X: \{x_1, \dots, x_n\}$. Входные данные, соответствующие чистой помехе, представлены массивом $Y: \{y_1, \dots, y_m\}$. Зададимся $n = m = 200$ отсчетов.

Задача состоит в нахождении такого алгоритма обработки, который обеспечил бы наибольшую вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги. Зададим следующие уровни вероятности ложной тревоги: $P_{лт} = 10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-7}$. Зададимся также отношением сигнал/помеха на входе обнаружителя: $SNR = -20\ dB, -6\ dB, -3\ dB, 0\ dB$.

В качестве полезного сигнала рассматривается гармоническая функция, так как в данном случае перед нами стоит задача обнаружения, а не измерения параметров сигнала.

Выбор статистически оптимального критерия проверки распределения рангов

В [1] предложен алгоритм, определяющий наличие или отсутствие полезного сигнала на основе подсчета количества рангов, превысивших порог. Его главным недостатком является ограниченный диапазон возможных уровней ложных тревог, так как в данном случае количество возможных значений порога равно объему испытуемой выборки n. Поэтому данный алгоритм не является оптимальным в статистическом смысле.

Так как при обнаружении сигнала равномерное распределение рангов, вычисленных по алгоритму ранжирования с опорной выборкой (3), нарушается, то задача обнаружения сводится к поиску оптимального (по максимальной мощности) критерия равномерного распределения.

Если использовать классический критерий согласия хи-квадрат Пирсона [2], то алгоритм будет иметь настолько большую вычислительную сложность, что использовать его в практических задачах будет затруднительно. Известно достаточно много информации на тему сравнения критериев проверки статистических гипотез. Например, в [3] проведено сравнение характеристик критериев согласия для равномерного закона распределения. Существуют специальные критерии проверки, основанные на различных разностях значений вариационного ряда, а также опирающиеся на различные оценки энтропии. Представители этой группы являются наименее мощными в отличие от группы других критериев – непараметрических.

При анализе мощности непараметрических критериев [3], видно, что лидирующее положение занимает критерий Жанга. Но данный критерий обладает важным недостатком – распределение статистики, определяющей меру различия между эмпирическим законом распределения и равномерным, сильно зависит от числа элементов входной выборки n. Поэтому предлагается использовать критерий Ватсона [3]-[10], в котором зависимость распределения статистики от числа элементов выборки выражена слабо, при этом по мощности данный критерий практически не уступает критерию Жанга. Критерий Ватсона является развитием известного критерия Крамера-Мизеса-Смирнова, при этом применяется в общем случае для проверки простых гипотез. По мощности Критерий Ватсона несколько превосходит критерий Крамера-Мизеса-Смирнова.

Вычисление статистики критерия Ватсона проводится следующим образом:

$$U_n^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(U_i - \frac{i-\frac{1}{2}}{n}\right)^2 - n\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}U_i - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{12n}\ , \qquad (4)$$

где U_i – элементы вариационного ряда $x_{(1)} \le x_{(2)} \le \cdots \le x_{(n)}$, построенного по исходной выборке X.

Для применения критерия Ватсона, необходимо задачу обнаружения свести к проверке простой гипотезы H_0 о соответствии эмпирического распределения с равномерным законом распределения. Для этого необходимо нормировать ранги, чтобы проверка равномерности осуществлялась на интервале [0, 1]. При справедливости гипотезы H_0 статистика (4) в пределе имеет распределение вида

$$Watson(s) = 1 - 2\sum_{m=1}^{\infty}(-1)^{m-1}e^{-2m^2\pi^2 s}. \qquad (5)$$

В [3, 5, 7, 8] предлагают использовать модифицированную версию статистики (4)

$$U_n^{2^*} = (U_n^2 - 0.1/n + 0.1/n^2)(1 + 0.8/n), \qquad (6)$$

распределение которой при $n \ge 20$ практически не отличается от предельного.

Критерий Ватсона является правосторонним критерием. Отсюда следует, что проверяемая гипотеза H_0 отклоняется при больших значениях статистики U_n^2 в сторону альтернативы H_1, которая свидетельствует о наличие сигнала.

Результаты численного моделирования

Для проверки гипотезы H_0 достаточно сравнить значение статистики U_n^2, вычисленное в соответствии с (7) или (9), с ее критическим значением при заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт}$. В таблице 1 приведены вычисленные значения процентных точек распределения статистики критерия Ватсона для заданных уровней ложных тревог.

Таблица 1

Процентные точки распределения статистики критерия Ватсона

Функция распределения	Верхние процентные точки		
	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}
Watson (S)	0,385066	0,618367	0,851668

Если проводить вычисление рангов входных данных по алгоритму ранжирования без опорной выборки (1), то даже при наличии сигнала совместное распределение рангов будет равномерным (рис. 1, сверху). Если

же проводить вычисление рангов по алгоритму ранжирования с опорной выборкой (3), то при наличии сигнала совместное распределение рангов отличается от равномерного (рис. 1, снизу).

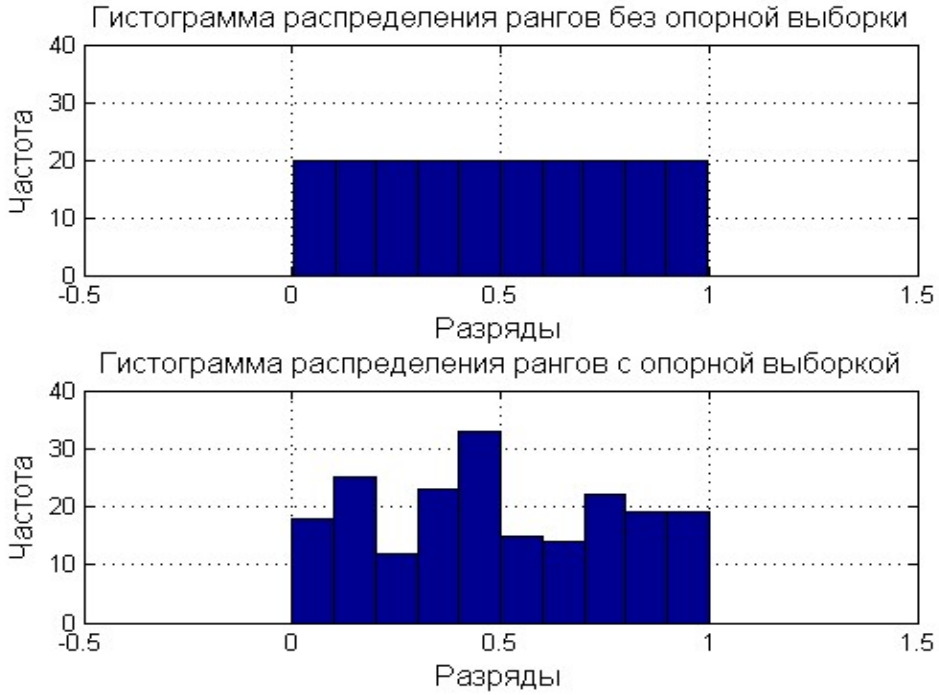


Рис. 1. Гистограммы распределения рангов, сверху – без опорной выборки при n = 200, снизу – с опорной выборкой при n = 200 и $SNR = -20\ dB$

Для определения качества рангового обнаружителя с критериев Ватсона необходимо вычислить вероятность правильного обнаружения. Для этого количество экспериментов при моделировании было положено равным 10^6. Полученные данные занесены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанная вероятность правильного обнаружения рангового обнаружителя с критерием Ватсона

Сигнал/помеха (*SNR*), *dB*	$P_{лт} = 10^{-3}$	$P_{лт} = 10^{-5}$	$P_{лт} = 10^{-7}$
-20	0	0	0
-6	0.447617	0.154952	0.046739
-3	0.966941	0.813828	0.564963
0	0.999999	0.999973	0.999545

Из результатов моделирования, видно, что ранговый обнаружитель с выбранным критерием Ватсона обеспечивает достаточный уровень вероятности правильного обнаружения при значительном входном отношении

сигнал/помеха. Поэтому ранговую обработку сигнала обычно проводят после детектирования, где отношение сигнал/помеха достигает значительной величины. Качество детектирования улучшается по мере возрастания информации о характеристиках полезного сигнала. Следовательно, будут улучшаться и характеристики рангового обнаружителя.

Заключение

Применение ранговых процедур вместе с выбранным критерием Ватсона в условиях априорной неопределенности обеспечивают следующие параметры системы:

1) нечувствительность системы к изменяющимся характеристикам сигналов и помех;

2) высокое качество обнаружения при приемлемом отношении сигнал/помеха, которое возможно получить после детектирования.

Предлагаемый подход к решению задачи обнаружения может найти место во многих областях науки, где требуется решение задач обнаружения с существенной априорной неопределенностью: радиолокации, эхолокации, гидролокации, акустике, сейсмологии, медицине и других.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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.
2. 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.
3. *Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю.* Критерии проверки отклонения распределения от равномерного закона. Новосибирск, 2015. – 182 с.
4. *Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю., Лемешко С.Б.* О критериях проверки равномерности закона распределения вероятностей. Автометрия, 2016, Т.52, №2.
5. *Лемешко Б.Ю., Горбунова А.А.* О применении и мощности непараметрических критериев согласия Купера, Ватсона и Жанга. Измерительная техника, 2013. №5. – С.3-9.
6. *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.

7. *Lemeshko B.Yu.* Application and Power of the Nonparametric Kuiper, Watson, and Zhang Tests of Goodness-of-Fit / B. Yu. Lemeshko, A.A. Gorbunova // Measurement Techniques. – 2013. – Vol. 56, No. 5,. – P.465-475.
8. *Lemeshko B. Yu.* Solving problems of using some nonparametric goodness-of-fit tests / A. A. Gorbunova, S. B. Lemeshko, A. P. Rogozhnikov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2014. – Vol. 50, № 1. – P.21-35.
9. *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.
10. *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.

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.

Prikhodchenko 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 519.8, 004.942

Масаев Сергей Николаевич

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОПИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИОБРЕТЕННЫМИ ПЕСРОНАЛОМ НАЦИОНАЛЬНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАМОК РФ КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

В работе деятельность предприятия рассматривается как динамическая система. При оценке работ по управлению динамической системой не обнаружено универсального метода для интегральной оценки результата ее работы, взаимосвязанности элементов и влияния факторов внешней среды в зависимости от использования Национальных квалификационных рамок РФ. В настоящей работе, для анализа, применен метод интегральных показателей. Алгоритм выполнен в авторском комплексе программ по 1,2 млн. значений. Исследование показало существенные изменения значений интегрального показателя, характеризующего состояния динамического объекта в зависимости от режимов управления. Выполнена оценка внедрения в контур управления динамическим объектом синтаксиса Национальных квалификационных рамок РФ.

Теория управления, динамическая система, параметры внешней среды, режим интегральные показатели, Национальные квалификационные рамки РФ.

Masaev Sergei Nikolaevich

ALGORITHM OF CONTROL DIGITAL THE ENTERPRISE BY THE NATIONAL QUALIFICATION STANDARDS OF THE RUSSIAN FEDERATION AS A PROBLEM OF CONTROL OF DYNAMIC SYSTEM

In the work of the enterprise is considered as a dynamic system. When evaluating the work on managing the dynamic system, no universal method was found for an integrated assessment of the result of its work, the interconnectedness of the elements and the influence of environmental factors depending on the use of the National Qualification Framework of the Russian Federation. In this paper, for analysis, the method of integral indicators is used. The algorithm was implemented in the author's program complex for 1.2 million values. The study showed significant changes in the values of the integral indicator characterizing the state of a dynamic object depending on control modes. The assessment of the implementation of the syntax of the National Qualification Framework of the Russian Federation into the control loop of a dynamic object is performed.

Control theory, dynamic system, environmental parameters, integral indicators mode, National qualification framework of the Russian Federation.

Введение

В сентябре 2003 г. министрами образования стран Европы принято решение о разработке комплексной системе квалификаций в рамках развития Болонского процесса [1]. Национальные квалификационные рамки РФ (далее НКР РФ) стали доработкой уже сформированной в России системы квалификаций, т.е. осуществляется сопоставление (гармонизация) Европейской системы квалификации [2] с Российской системой квалификаций [3] в рамках Федеральной целевой программы развития образования на 2006-2010 гг.

В теории управления деятельность экономического объекта, как системы, изучается различными способами: межотраслевыми балансами, векторным, параметрическим и нейросетевым моделированием, агентным подходом и т.д. при этом контур управления познавательными способностями персонала не идентифицирован как отдельный объект для изучения.

Проблема в том, что параметры, характеризующие влияние НКР РФ на персонал предприятия, остаются без учета из-за определенных сложностей. В рамках изучения предприятия, как динамической системы, нет формализованного подхода этого метода, поэтому выявить и интерпретировать в них какие-либо закономерности сложно.

Классическими подходами в вопросах анализа подобных систем являются работы следующих авторов: В. В. Леонтьев и Л. В. Канторович [4], А. Г. Гранберг, А. Г. Аганбегян, В. Ф. Кротов [5] и др. В 2009 г. автором статьи были предложены интегральные показатели для определения финансового кризиса 2008 года на основе метода корреляционной адоптометрии. В 2013 г. интегральные показатели использованы как отдельный метод, позволяющие охарактеризовать деятельность предприятия в различных условиях работы и учесть взаимосвязи его элементов. Интегральный показатель будет использован в статье.

Цель статьи: оценить состояние экономического объекта как многомерной динамической системы в базовом режиме работы и режиме управления им, через Национальные квалификационные рамки РФ с неизвестными параметрами внешней среды.

Основная часть

Алгоритм расчета.

1 этап. ЭВМ № 2013614410. Выполнение процессов фиксируется как $x^i(t)$. Зафиксированные процессы $x(t)=\left[x^1(t),x^2(t),...,x^n(t)\right]^T \in X$ образуют пространство X, где n - количество процессов, $T=\{t:t=1,...,T_{\max}\}$ - период анализа. Идентификация процессов выполняется запатентованным способом [6]. Смоделированное предприятие представляем цифровой копией как многомерную динамическую систему $S=\{T,X\}$, Высчитываем интегральные показатели системы характеризующие ее состояние $G=\sum_{t=1}^{T=\max}\sum_{i=1}^{n}G_i(t)$, $R_i(t)=G_i(t)=\sum_{j=1}^{n}\left|r_{ij}(t)\right|$, $R_k(t)=\frac{1}{k-1}\overset{o}{X}{}_k^T(t)\overset{o}{X}_k(t)=\left\|r_{ij}(t)\right\|$, где k - глубина расчета (в статье k=6 месяцев), $r_{ij}(t)$ - коэффициенты корреляции переменных $x^i(t)$ и $x^j(t)$ в момент времени t. Если идентифицированная система характеризует объект исследования, то выполняем этап 2, иначе выполняем 1 этап.

2 этап. ЭВМ № 2017616973. В идентифицированной системе выбираем метод управления V. Метод управления задан через Национальные квалификационные рамки РФ v_i^j. Управлением определяется вектором значений $v(t)=\left[v^1(t),v^2(t),...,v^n(t)\right]^T \in V$ - n - размерностью. Показатель V равен G и рассчитывается как $V = \sum_{t=1}^{T=\max}\sum_{i=1}^{n} V_i^k(t)$. Задаем целевую функцию $V_i^k = \sum_{i=1}^{n} v_i^j(x_j^i) \to \min$. Деятельность системы ограничена ресурсами C, тогда $V(X) \le C$. Все подпроцессы системы имеют такое же ограничение. Если выбранный метод управления охватывает все процессы, то выполняем этап 3, иначе повторяем выполнение этапа 2. Управление системой возможно и без описания $x^i(t)$ через контур управления. Если система идентифицирована верно с нашей точки зрения, то выполняем этапа 3, иначе 1 этап.

3 этап. ЭВМ № 2008610295. Проверяем управление на оптимальность [7]. Если решение не оптимально, по заданным целевым функциям $V_i^k = \sum_{i=1}^{n} v_i^j(x_j^i) \to \min$ и не устраивает нас, то возвращаемся на этап 1, иначе переходим к этапу 4.

4 этап. ЭВМ № 2017616970. Оцениваем эффективность управляющих воздействий. Если эффективность нас не устраивает, то задаем новые управляющие воздействия со руководства предприятия и переходим к этапу 1, иначе конец алгоритма.

Объект исследования

Предприятие, используемое в качестве примера (как динамический объект) характеризуется производственными, обслуживающими и административными процессами. Производственные процессы включат в себя все технологические процессы на которые задействуются основные средства, рабочие, товарно-материальные ценности. Вспомогательные процессы включат в себя основные средства, работников, товарно-материальные ценности задействованные на поддержания основных процессов производства. Полностью цифровая копия данного предприятия описана в отдельной работе [8].

На данном предприятии внедряется контур управления через Национальные квалификационные рамки РФ: девять уровней на основе диплома о образовании с дескрипторами широта полномочий и ответственность (самостоятельность в принятии решений, масштаб влияния, характер влия-

ния), сложность деятельности (интеллектуальная ёмкость, горизонт планирования, уровень сложности), наукоёмкость деятельности (профессиональные знания и умения, знание компании и бизнеса, социальная компетентность) [3].

Моделирование

Размерность динамической системы S – 1,2 млн. значений. Синтаксис контура управления V – Национальные квалификационные рамки РФ. Расход ресурса в обычном режиме – 5 641 442 тыс. руб. С 7 периода нанимается один менеджер по персоналу в соответствие с направлениями деятельности предприятия для ведения выбранного синтаксиса управления на нем (динамической системе). Время выполнения алгоритма моделирования – 430 минут.

Результат оценки режима управления S через НКР РФ на рис. 1.

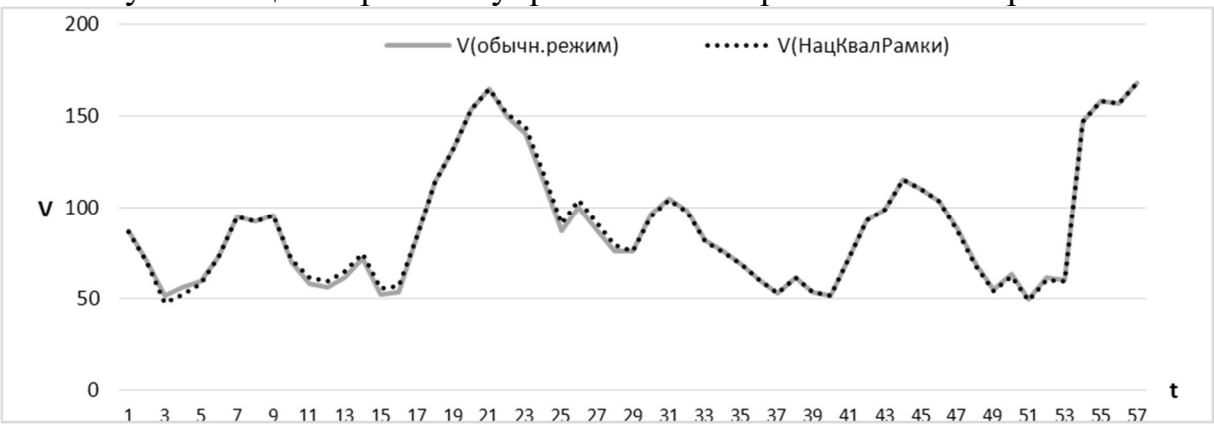


Рис. 1. Динамика параметра $V_i\ (t)$

Выводы

Дополнительный расход ресурсов (заработная плата, командировки, обучение выбранному синтаксису управления, налоги, канцелярия, связь) на внедрение синтаксиса управления динамической системой по Национальным квалификационным рамкам РФ составит 14 539 тыс. руб. Общие затраты предприятия за пять лет составят 5 661 226 тыс. руб.

Методом интегральных показателей выполнена оценка режимов работы экономического объекта как динамической системы: первый режим $V^k_{обычн_режим}$ – 5 069,93 единиц и второй режим после внедрения Национальных квалификационных рамок $V^k_{НацКвалРамки}$ – 5 089,91. Следовательно, оценка перехода на управление объектом через Национальные квалификационные рамки РФ оценивается как $\Delta V = V^k_{НацКвалРамки} - V^k_{обычн_режим}$=19,97. Цель статьи достигнута.

Данный подход был применен для расчета 28 режимов управления по различным методам: цели, стратегии, стандарт информационной безопасности BS 7799-3-2006, V-modell, Hermes, VZPM, PRINCE2, DIN69901, Bsi, Межгосударственная система стандартов, CAN-CSA, ANCSPM, Solow, PROMAT, P2M, жизненные циклы предприятия Ицхака Адизеса, Сто правил НАСА, должностные инструкции, таксономия Блума, компетенции выпускников СФУ, Универсальные компетенции, Дублинские Дескрипторы, Квалификационные Европейские Рамки, компетенции IPMA, компетенции PMBoK, компетенции P2M, компетенции Hermes и др. [8-10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kommunique von Maastricht zu den zukünftigen Priorit ten der verst rkten europ ischen Zusammenarbeit in der Berufsbildung, Maastricht 14. Dezember 2004.
2. Der europäische Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (EQR), Luxemburg 2008. Режим доступа: http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/publ/pdf/eqf/broch_de.pdf
3. Макет: Рамки профессиональных квалификаций в области управления персоналом. Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям. Режим доступа: http://sovethr.ru/wp-content/uploads/2016/12/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%9E%D0%A0%D0%9A-HR-v1.pdf
4. *Канторович Л.В.* Математико-экономические работы. Новосибирск: Наука, 2011. 760 с.
5. *Кротов В.Ф.* Основы оптимального управления // М.: Высшая школа. 1990. 430 с.
6. Патент № 2741138 C1 Российская Федерация, МПК G05B 19/00, G06F 17/10. Способ идентификации объекта как системы : № 2019143313 : заявл. 23.12.2019 : опубл. 22.01.2021 / С. Н. Масаев.
7. *R. Bellman*, Dynamic programming, Princeton University Press, New Jersey, 1957.
8. *Масаев С.Н.* Алгоритм оценки состояния системы (санкции, HR, TQM, PMBOK, COVID-19, пожарная безопасность) методом интегральных показателей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – № 1. – С. 36-48. – DOI 10.24143/2072-9502-2021-1-36-48.
9. *Масаев С.Н.* Идентификация объекта как системы на основе интегральных показателей // Информатизация и связь. – 2020. – № 6. – С. 65-67.

10. *Масаев С.Н.* Концепция построения структуры управления динамической системой // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 40-46. – DOI 10.17586/0021-3454-2021-64-1-40-46.

Масаев Сергей Николаевич, доцент, кандидат технических наук, Сибирский федеральный университет Российская федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82, email: faberi@list.ru.

Masaev Sergei Nikolaevich, assistant professor, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Siberian Federal University, 79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, email: faberi@list.ru.

УДК 51.74

Буланов Сергей Георгиевич

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕСТКИХ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Предложен метод анализа устойчивости в смысле Ляпунова систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод базируется на критериях устойчивости в виде необходимых и достаточных условий, полученных на основе векторно-матричных преобразований разностных схем численного интегрирования. Для повышения точности приближения решения, входящего в конструкцию критериев, находятся на основе кусочно-интерполяционной аппроксимации полиномами Лагранжа, преобразованными к форме с числовыми коэффициентами. Проведен программный и численный эксперимент по анализу устойчивости модели периодической реакции Белоусова-Жаботинского при заданных начальных условиях. На основе результатов эксперимента можно утверждать, что замена разностных приближений решения на кусочно-интерполяционные приближения повышает достоверность анализа устойчивости, сокращает время исследования, позволяет определять асимптотические свойства решения.

Устойчивость по Ляпунову, компьютерный анализ устойчивости, разностные решения дифференциальных уравнений.

Bulanov Sergei Georgievich

COMPUTER ANALYSIS OF THE STABILITY OF RIGID SYSTEMS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS

A method for analyzing stability in the sense of Lyapunov for systems of ordinary differential equations is proposed. The method is based on stability criteria in the form of necessary and sufficient conditions obtained on the basis of vector-matrix transformations of difference numerical integration schemes. To improve the accuracy of the approximation, the solutions included in the design of the criteria are found on the basis of piecewise interpolation approximation by Lagrange polynomials converted to a form with numerical coefficients. A programm and numerical experiment was carried out to analyze the stability of the Belousov-Zhabotinsky periodic reaction model under given initial conditions. Based on the results of the experiment, it can be argued that replacing the difference approximations of the solution with piecewise interpolation approximations increases the reliability of the stability analysis, reduces the research time, and makes it possible to determine the asymptotic properties of the solution.

Lyapunov stability, computer stability analysis, difference solutions of differential equations.

Введение

Анализ устойчивости по Ляпунову систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) необходимо производить при решении задач многих разделов механики, физики, теории автоматического регулирования, теории сложных систем [1, 2]. С целью анализа, как правило, используются методы качественной теории устойчивости [3, 4]. В статье предлагается метод анализа устойчивости в смысле Ляпунова систем ОДУ на основе критериев, в форме необходимых и достаточных условий. Конструкция критериев предоставляет возможность их программной реализации. С целью повышения достоверности анализа устойчивости выполняется замена разностных приближений решения на кусочно-интерполяционные приближения, входящие в конструкцию критериев. Полученная, в ходе компьютерной реализации критериев, информация должна позволить сделать однозначный вывод о характере устойчивости исследуемой системы.

Основная часть

Рассматривается задача Коши для нелинейной системы ОДУ

$$\frac{dY}{dt} = F(t, Y), \; Y(t_0) = Y_0. \tag{1}$$

Предполагается, что существует $\delta>0$, при котором выполнены все условия существования и единственности для невозмущенного решения на полупрямой $[t_0,\infty)$ и для каждого его возмущения с начальным вектором из окрестности $\left\|\widetilde{Y}_0-Y_0\right\|\le\delta$. Предполагается, что в области $R:\{t_0\le t<\infty;\ Y(t),\ \forall\widetilde{Y}(t):\left\|\widetilde{Y}_0-Y_0\right\|\le\delta\}$ функция $F(t,Y)$ определена, непрерывна и непрерывно дифференцируема по t.

В данных условиях величина возмущения решения задачи (1) методом Эйлера в форме с остаточным членом на произвольном промежутке $[t_0,t]$ определяется из соотношения

$$\widetilde{y}_{k(i+1)}-y_{k(i+1)}=\widetilde{y}_{ki}-y_{ki}+\frac{f_k(t_i,\widetilde{Y}_i)-f_k(t_i,Y_i)}{\widetilde{y}_{ki}-y_{ki}}(\widetilde{y}_{ki}-y_{ki})h+w_{ki},\ w_{ki}=\widetilde{q}_{ki}-q_{ki}, \tag{2}$$

где q_{ki}, $\widetilde{q}_{ki}$ остаточные члены формулы Тейлора для k-го компонента приближения [5].

Значение $t\in[t_0,\infty)$ является произвольно фиксированным, при этом индекс i неограниченно растет одновременно с убыванием равномерного шага:

$$t=\text{const},\ t=t_{i+1},\ h=(t_{i+1}-t_0)/(i+1),\ i=0,1,\dots\ .$$

Рекуррентное преобразование (2) влечет

$$\widetilde{y}_{k(i+1)}-y_{k(i+1)}=\prod_{\ell=0}^{i}(1+D_{i-\ell}^{(k)}h)(\widetilde{y}_{k0}-y_{k0})+R_{0i}^{(k)},\ R_{0i}^{(k)}=\sum_{r=0}^{i-1}\prod_{\ell=0}^{r}(1+D_{i-\ell}^{(k)}h)w_{k(i-r-1)}+w_{ki},$$

где $D_i^{(k)}=(f_k(t_i,\widetilde{Y}_i)-f_k(t_i,Y_i))\ /\ (\widetilde{y}_{ki}-y_{ki})$.

В рассматриваемых условиях выполняется соотношение [5]

$$\lim_{i\to\infty}R_{0i}^{(k)}=0\ \ \forall t\in[t_0,\infty),\forall k\in\overline{1,n}.$$

Для устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно существование Δ, $0<\Delta\le\delta$, такого, что для всех решений $Y=Y(t)$, $Y(t_0)=\widetilde{Y}_0$ при ограничении $0<\left\|\widetilde{Y}_0-Y_0\right\|\le\Delta$ выполняется неравенство [5, 6]

$$\left|\frac{\widetilde{y}_k(t)-y_k(t)}{\widetilde{y}_{k0}-y_{k0}}\right|\le c,\ c=\text{const},\ \forall t\in\left[t_0,\infty\right),\ k\in\overline{1,n}. \tag{3}$$

Для асимптотической устойчивости в тех же условиях необходимо и достаточно, чтобы выполнялось (3) и существовало $\Delta_1\le\Delta$, такое, что неравенство $0<\left\|\widetilde{Y}_0-Y_0\right\|\le\Delta_1$ влечет

$$\lim_{t\to\infty}\left|\frac{\widetilde{y}_k(t)-y_k(t)}{\widetilde{y}_{k0}-y_{k0}}\right|\to 0,\ k\in\overline{1,n}. \tag{4}$$

Критерии (3), (4) позволяют определить характер устойчивости, асимптотической устойчивости либо неустойчивости жестких систем ОДУ без использования методов качественной теории дифференциальных уравнений. Конструкция критериев позволяет реализовать их программно и по численному изменению величины из левой части (3) делать вывод о характере устойчивости исследуемой системы. Это влечет возможность компьютерного анализа устойчивости в режиме реального времени [5-7]. С целью уточнения разностных приближений возмущенного и невозмущенного решений, необходимых для применения критериев (3), (4) используется метод варьируемого кусочно-интерполяционного приближения решения [8, 9].

В качестве жесткой задачи исследуется модель периодической реакции Белоусова-Жаботинского

$$y_1' = 77.27(y_2 + y_1(1 - 8.375\cdot 10^{-6} y_1 - y_2)),\ y_2' = 77.27^{-1}(y_3 - y_2(1 + y_1)),\ y_3' = 0.161(y_1 - y_3). \quad (5)$$

Система (5) относится к таким, которые затруднительно решить с высокой точностью классическими методами. Причина заключается в периодических резких скачках на несколько порядков значений решения на коротких промежутках. Решение таких систем традиционно выполняется с помощью специализированных программ, например в [10] представлено решение системы (5) с помощью программы RODAS, основанной на методе Розенброка. В работе численный и программный эксперимент проводился с помощью ПК на базе процессора Intel(R) Core(TM) i5-4460 в среде программирования Delphi. Написаны программы, реализующие конструкцию критериев (3), (4). Система (5) решается с помощью метода кусочно-интерполяционных приближений с параметрами $n_0 = 2$ – степень полинома, $k_0 = 10$, 2^{k_0} – количество подынтервалов, $\nabla = 0.01$ – длина подынтервала.

Первоначально анализ устойчивости выполняется на основе критериев (3), (4) при начальных условиях $y_1(0) = 1$, $y_2(0) = 2$, $y_3(0) = 3$ на промежутке $[0, 1000]$. В этом случае у системы наблюдаются периодические устойчивые циклы. В табл. 1 представлены численные значения нормы (максимальное значение выражения критерия (3) при $k \in \overline{1, n}$), соответствующие первому скачку на отрезке $[0, 1000]$. Время работы программы 5 мин., 41 с.

Таблица 1

Результаты анализа устойчивости системы (5) при начальных условиях $y_1(0)=1$, $y_2(0)=2$, $y_3(0)=3$

t	11	13	15	17	19
norma	3.262	4.693	7.639	16.153	84.062
t	21	23	25	27	29
norma	3.986×10^5	1.843×10^6	7.682×10^4	5.567×10^4	4.034×10^4
t	31	33	35	37	39
norma	2.924×10^4	2.119×10^4	1.535×10^4	1.112×10^4	8.065×10^3
t	41	43	45	47	49
norma	5.845×10^3	4.235×10^3	3.069×10^3	2.224×10^3	1.612×10^3

Ограниченное изменение значений нормы в соответствии с критерием (3) следует трактовать как устойчивость решения системы (5). Далее выполняется анализ устойчивости системы (5) при начальных условиях $y_1(0)=4$, $y_2(0)=1.1$, $y_3(0)=4$. В табл. 2 представлены результаты численного эксперимента.

Таблица 2

Результаты анализа устойчивости системы (5) при начальных условиях $y_1(0)=4$, $y_2(0)=1.1$, $y_3(0)=4$

t	1	2	3	4	5
norma	1.602×10^4	1.781×10^5	2.131×10^5	4.495×10^4	3.826×10^4
t	6	7	8	9	10
norma	3.257×10^4	2.773×10^4	2.361×10^4	2.009×10^4	1.711×10^4
t	11	12	13	14	15
norma	1.456×10^4	1.239×10^4	1.055×10^4	8.985×10^3	7.649×10^3
t	16	17	18	19	20
norma	6.512×10^3	5.543×10^3	4.719×10^3	4.017×10^3	3.420×10^3

Как и в предыдущем случае, ограниченные колебания значений нормы свидетельствуют об устойчивости решения системы (5)

Выводы

Представлен метод анализа устойчивости жестких систем ОДУ на основе критериев, полученных в результате преобразований разностных схем численного интегрирования. Для нахождения значений возмущенного и невозмущенного решения с высокой степенью точности используется метод кусочно-интерполяционного приближения. На основе программного и

численного эксперимента достоверно определяется характер устойчивости модели периодической реакции Белоусова-Жаботинского при заданных начальных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Александров А.Ю., Жабко А.П., Косов А.А.* Анализ устойчивости и стабилизация нелинейных систем на основе декомпозиции // Сибирский математический журнал. – 2015. – Т. 56., № 6. – С. 1215-1233.
2. *Миронов В.В., Митрохин Ю.С.* Технологический подход к исследованию устойчивости динамических систем: прикладные вопросы // Вестник РГРТУ –2017. – № 59. – С. 127-135.
3. *Giesl P., Hafstein S.* Computation of Lyapunov functions for nonlinear discrete time systems by linear programming // J. Difference Equ. Appl. – 2014. – Vol. 20, Issue 4. – P. 610-640.
4. *Zhaolu T., Chuanqing G.* A numerical algorithm for Lyapunov equations // J. Appl. Math. Comput. – 2008. – Vol. 202, Issue 1. – P. 44-53.
5. *Ромм Я.Е.* Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости на основе рекуррентных преобразований разностных решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 107-124.
6. *Ромм Я.Е., Буланов С.Г.* Численный эксперимент по компьютерному анализу устойчивости решений обыкновенных дифференциальных уравнений на основе критериев матричного вида // Деп. в ВИНИТИ. – 14.08.17. – № 89. – 20 с.
7. *Буланов С.Г.* Анализ устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений на основе преобразования разностных схем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2019. – Т. 20, № 9. – С. 542-549.
8. *Джанунц Г.А., Ромм Я.Е.* Варьируемое кусочно-интерполяционное решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений с итерационным уточнением // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2017. – Т. 57, № 10. – С. 1641-1660.
9. *Ромм Я.Е.* Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости решений дифференциальных систем // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 4. – С. 42-63.
10. *Хайрер Э., Ваннер Г.* Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. – Москва: Мир, 1999. – 685 с.

Буланов Сергей Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, Ростовский государственный экономический университет, Россия, г. Таганрог, ул. Инициативная 48, 347924, телефон: 89094369543, email: bulanovtgpi@mail.ru.

Bulanov Sergei Georgievich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Rostov State University of Economics, 347924, Russia, Taganrog, 48 Initsiativnaya street, phone: 89094369543, email: bulanovtgpi@mail.ru.

УДК 004.4'42

Буренко Антон Александрович, Поленов Максим Юрьевич

КОНВЕРТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы – анализ подходов к задаче конвертации моделей для современных средств моделирования сложных технических систем и рассмотрение разработок в области многоязыковой трансляции. Решается задача проведения анализа проблем при повторном использовании моделей, обзора существующих подходов и особенностей используемых разработок. Рассматриваемые принципы организации конвертирования кодов моделей позволяют эффективно модернизировать разработанные инструментальные средства, дополнять или изменять модули трансляции. Показано, что данные средства являются востребованными и актуальными для применения в современных системах моделирования сложных технических систем.

Моделирование сложных систем, конвертация моделей, Мультитранслятор, трансляционный модуль, экспертная система.

Burenko Anton A., Polenov Maxim Yu.

MODELS CONVERSION FOR SIMULATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Purpose of the study is to analyze existing solutions in the field of model translation for modern complex technical systems modelling tools. Research objectives are to analyze the problems of models reusage, to review existing solutions and features of used tools. Reviewed principles of models code conversion allow to efficiently upgrade existing tools and change the conversion modules. Relevance and novelty of reviewed solutions are demonstrated for modern complex technical systems modelling tools.

Complex technical systems modelling, models translation, conversion module, expert system.

Введение

Прогресс программных компьютерных технологий и информационной науки способствовал активному развитию моделирования как одного из основных этапов поддержки проектирования сложных технических систем. Данное развитие привело к появлению большого числа инструментальных программных средств моделирования. В современных условиях разработчики систем зачастую сталкиваются с проблемой повторного использования [1] в новых средствах моделирования ранее разработанных и отлаженных моделей компонент сложных технических систем, которая может быть решена за счет применения дополнительных средств конвертации существующих моделей. Такая конвертация, реализуемая при помощи специальных трансляторов программных кодов моделей, приводит к дополнительным затратам времени на разработку трансляторов и саму конвертацию. Далее рассмотрим организацию средств конвертации моделей для решения поставленной задачи.

Средства конвертации моделей

На основе анализа большого числа моделей, реализованных в различных средствах на разных языках моделирования, было предложено создать подсистему трансляции, выполняющую конвертацию моделей в требуемый формат [2]. Итогом работы стала подсистема, транслирующая модели с ряда широко распространенных языков моделирования.

В результате развития в данного подхода, была разработана программная среда многоязыковой трансляции (Мультитранслятор) [3, 4]. Конвертация моделей в данной среде выполнялась при помощи созданного в ней же трансляционного модуля. Каждый модуль содержал определение грамматики языка описания исходной модели и правила генерации выходного кода моделей на целевом языке. Таким образом, Мультитранслятор (МТ) позволял создать трансляционный модуль для пары языков, и далее использовать его при переводе повторно используемых моделей [5].

При работе по конвертации моделей была обнаружена новая проблема – необходимость дополнительного определения некоторых параметров модели, поскольку возникала сложность при сопоставлении определенных конструкций исходного кода и генерируемого на выходном языке. Для решения данной проблемы предлагалось взаимодействие с пользователем в процессе трансляции исходной модели с целью решения возникающих неопределенностей. В дальнейшем для решения задач обработки исключительных случаев, возникающих при наличии слишком большого числа ис-

ходов при трансляции моделей, было предложено использование экспертной системы.

Применение экспертной системы оказалось востребованным для трансляции моделей при моделировании мобильных роботизированных платформ [6]. Из всего многообразия существующих инструментальных средств, позволяющих проводить моделирование сложных технических систем, в том числе мобильных роботизированных платформ, можно выделить среду Matlab [7], которая является одной из самых популярных и программирование в которой происходит на собственном языке моделирования [8].

Для обеспечения возможности повторного использования моделей была произведена разработка трансляционного модуля МТ, представляющего собой транслятор с языка C++ на язык Matlab, и модуля, реализующего перевод программного кода из языка Matlab на язык C++ [9]. Таким образом, эти трансляционные модули представляют собой конвертер, позволяющий пользователю динамично конвертировать программный код и использовать полученные результаты в различных средах моделирования. Для разработанных трансляционных модулей были проведены эксперименты по трансляции исходных C++ программ в программы моделей на языке М, а также эксперименты по трансляции исходных моделей среды Matlab в подпрограммы на языке C++.

Необходимо отметить, что задача трансляции собственных моделей в формат различных средств моделирования достаточно часто встает перед исследователями. Примером такой задачи является перевод моделей на языке Си для отечественной среды динамического моделирования SimInTech [10], что приводит к необходимости создания транслятора с языка Си на язык данной среды. Данная задача была решена путем разработки трансляционного модуля перевода программ и моделей [11] при помощи среды Мультитранслятора.

В результате выполненных разработок стало возможным успешное использование трансляции моделей для интеграции в систему моделирования мобильных роботизированных платформ. Это позволяет ускорить и упростить разработку системы, а также использовать Мультитранслятор, расширяя их функциональность и улучшая универсальность предложенного подхода.

Выводы

Разработанные инструментальные средства конвертации моделей являются востребованными для применения в современных средах моделирования сложных технических систем. Данные средства ориентированы на: особенности форматов представления моделей в средах моделирования; конвертацию исходных моделей в форматы целевой среды моделирования; сокращение время разработки и последующей модернизации необходимых трансляционных модулей.

Полученные результаты позволили расширить функциональные возможности инструментальных средств конвертации при трансляции внешних моделей за счет использования экспертной системы и эффективной обработки неопределенностей, возникающих в процессе трансляции. Это позволило сократить временные затраты на конвертацию внешних моделей при моделировании сложных технических систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00936.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Robinson S., Nance R.E., Paul R.J., et al*. Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacle // Simulation Modelling Practice and Theory. 2004. Vol. 12.
2. *Гузик В.Ф., Чернухин Ю.В., Самарин М.А., Мунтян О.А*. Об одном подходе к построению универсального транслятора // Компьютерные технологии в инженерной и управленческой деятельности / Сб. науч. трудов. – Таганрог: 1999.
3. *Чернухин Ю.В., Поленов М.Ю.* Инструментальная подсистема многоязыковой трансляции виртуальных моделирующих систем // Известия ТРТУ. – Таганрог: 2004. № 3.
4. *Чернухин Ю.В., Гузик В.Ф., Поленов М.Ю.* Многоязыковая трансляция средств виртуального моделирования // Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009.
5. *Чернухин Ю.В., Гузик В.Ф., Поленов М.Ю.* Подход к формированию внешних библиотек сред виртуального моделирования на базе мультиязыковой трансляции // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2008. № 10.
6. *Polenov M., Kurmalee, A., Gushanskiy S.* Synthesis of Intellectual Tools to Support Models Translation for Mobile Robotic Platforms // Advances in Intelligent Systems and Computing / Springer: 2019. Vol.763.
7. MATLAB. MathWorks, Inc. URL: www.mathworks.com. (дата обращения: 12.05.2021).
8. *Богословский Н.А., Климов Ю.А., Савельев А.В., Шалыга Д.К.* Разработка экспериментального комплекса суперкомпьютерного моделирования на ос-

нове кода на языке Matlab // Программные системы: теория и приложения / Электронный научный журнал – М.:2013. № 4.
9. *Поленов М.Ю., Лапшин В.С., Гушанский С.М.* Реализация модуля конвертации моделей для среды MATLAB // Известия ЮФУ. Технические науки, 2017. № 6.
10. SimInTech, среда динамического моделирования. URL: http://simintech.ru (дата обращения: 12.05.2021).
11. *Поленов М.Ю., Пуховский В.Н., Маслаков А.А.* Программная трансляция моделей для систем моделирования // Информатизация и связь, 2018. № 4.

Буренко Антон Александрович, аспирант Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347900, тел.: +7 (989) 528-91-42, email: burenko@sfedu.ru.

Поленов Максим Юрьевич, кандидат технических наук, доцент Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347900, тел.: 8(8634)37-15-50, e-mail: mypolenov@sfedu.ru.

Burenko Anton Alexandrovich, Ph.D. student, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovsky lane, phone: +7 (989) 528-91-42, email: burenko@sfedu.ru.

Polenov Maxim Yurievich, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovsky lane, phone: +7 (8634)37-15-50, e-mail: mypolenov@sfedu.ru.

УДК 517.781

Аргишев Тимур Валерьевич, Беляков Ефим Святославович,
Пиневич Елена Витальевна, Куликова Ольга Витальевна,
Гаргацова Светлана Магомедовна

ЗВУКИ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ

В работе реализована попытка установить связь между математикой и музыкой, найти их точки соприкосновения, обосновать, что некоторые математические операции имеют гармонический звук, а в частности, определить, имеют ли в совокупности красивое звучание производимые операции над про-

стыми числами. Установлено новое свойство простых чисел. Введена новая операция над множествами и свойства, порождаемые этой операцией. Представлена программная реализация генерации мелодий на основе значений линейных операций над простыми числами.

Простые числа, линейная алгебра, теория чисел, звуки, математика, музыка, гармония.

Argishev Timur Valerievich, Belyakov Efim Svaytoslavovich,
Pinevich Elena Vitalievna, Kulikova Olga Vitalievna,
Gargatsova Svetlana Magomedovna

SOUNDS OF LINEAR ALGEBRA

The paper attempts to establish a connection between mathematics and music, to find their points of contact, to justify that some mathematical operations have a harmonic sound, and in particular, to determine whether the operations performed on prime numbers together have a beautiful sound. A new property of primes is set. A new operation on sets and the properties generated by this operation are introduced. A software implementation of melody generation based on the values of linear operations on prime numbers is presented.

Prime numbers, linear algebra, number theory, sounds, mathematics, music, harmony.

Введение

Как могут быть связаны арифметика и музыка? Над этим актуальным вопросом задумываются не один год. Результат слияния этих, казалось бы, совершенно разных понятий может заинтересовать многих людей, которые неравнодушны к точной науке – математике. Эта тема до настоящего времени полностью не раскрыта и не исследована, чем и привлекает к себе внимание студентов технических вузов, аспирантов, ученых и композиторов. Не секрет, что арифметика – древняя наука, восходящая к памятникам Вавилона и Древнего Египта, относящихся к 3–2 тысячелетиям до н.э. Именно философы–пифагорейцы пытались с помощью чисел постичь и определить жизненные закономерности. Отдельно рассматривалась и музыка как вид искусства. Так, если попытаться найти точки соприкосновения того и другого, то очевидным станет тот факт, что мелодия, состоящая из звуков, подобных числам в

любом множестве, представляет собой не что иное, как алгебраические операции, облаченные в ноты.

Готфрид Вильгельм Лейбниц в послании приятелю Гольбаху писал: “Музыка – это проявление скрытой математики”. А довольно известный Леонард Эйлер выпустил книгу о связи музыки и математики под заглавием “О новой теории музыки”. Но первым, кто сопоставил музыку и арифметику, был Пифагор Самосский. Школа, основанная им, славилась изучением не только математики, но и музыки. Изучение мелодий, звучания отдельных нот привело к тому, что был создан такой музыкальный предмет, как монохорд. Математические соотношения между интервалами, возникающими при передвижении перекладины на струне, равнялись определенному отрезку – числу. Так возникала тесная связь между математической обработкой и чувственным восприятием.

Следовательно, закономерен вопрос: «Можно ли получить мелодию из ряда, казалось бы, не связанных между собой, чисел?».

Основная часть

Рассмотрим ряд простых чисел: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97, 101,…

Составим детерминанты:

$$\Delta \mathrm{i} = \begin{vmatrix} a_i & a_{i+1} \\ a_{i+2} & a_{i+3} \end{vmatrix},$$

где a_i – простое число, i – порядковый номер простого числа в ряде простых чисел.

Модули значений детерминантов образуют следующую последовательность: 1, 2, 12, 24, 12, 24, 56, 78, 48, 42, 184, 24, 152, 46, 260,...

Проанализировав вычисленные значения, получаем следующее свойство простых чисел первой сотни:

$$\Delta_i = \left| p_j \right| \pm 1, \quad a_{11} \neq 17, \; a_{11} \neq 31, \; a_{11} \neq 47,$$

где p_j – простое число, a_{11} – элемент определителя.

Известно, что музыкальных нот всего семь, а цифр в позиционной десятичной системы счисления – десять. Поставим во взаимно однозначное соответствие каждой цифре ноту. Тем цифрам, которым не досталась пара, присвоим ту же ноту, но на октаву выше: 0-Ми, 1-Фа#, 2-Соль, 3-Ля, 4-Си, 5-До, 6-Ре, 7-Ми, 8-Фа#, 9-Соль.

В результате получаем красивую мелодию.

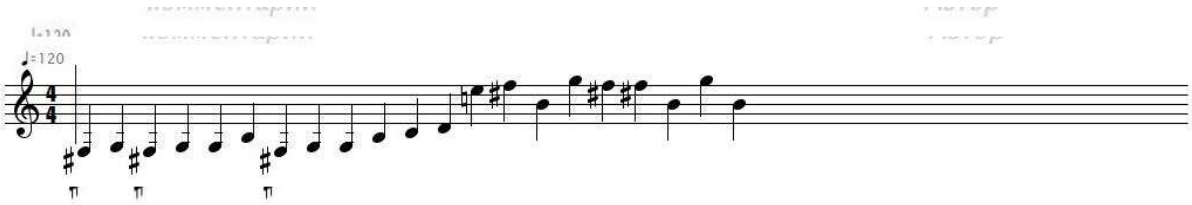


Рис. 1. Мелодия первой сотни

Рассмотрим простые числа второй сотни: 101, 103, 107, 109, 113, 127, 131, 137, 139, 149,… Модули значений определителей второго порядка получим следующие: 12, 24, 1272, 72, 1156, 294, 476, 24,… В результате генерируется красивая мелодия:

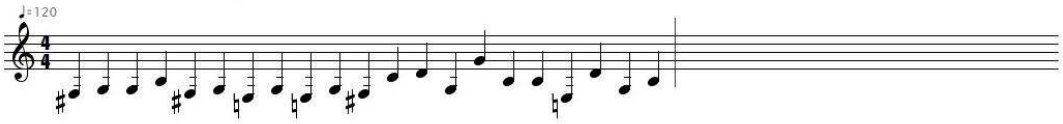


Рис. 2. Мелодия второй сотни

Рассмотрим простые числа седьмой сотни: 601, 607, 613, 617, 619, 631, 641, 643,… Модули значения определителей второго порядка имеют следующие значения: 1274, 2488, 4880, 4908, 6454, 3906,… Получаем мелодию:

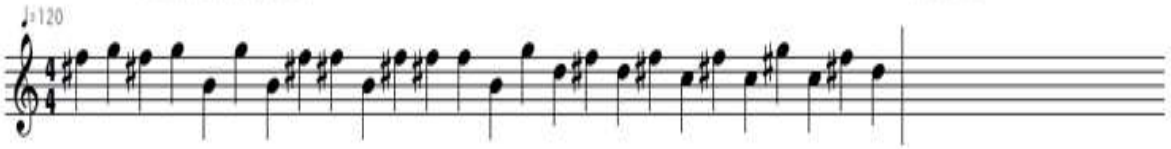


Рис. 3. Мелодия седьмой сотни

Далее были использованы программные методы генерации нот из простых чисел. При создании программы-генератора использовался кроссплатформенный, компилируемый язык Java 8-й версии.

Программа-генератор состоит из следующих частей:

– Функция, генерирующая простые числа, в заданном интервале:

```java
public static List<Integer> genNums(int from, int to) {
    List<Integer> nums = new ArrayList<>();

    for (int i = from; i < to; i++) {
        boolean isPrime = true;
        int x = (int) Math.sqrt(i);

        for (int j = 2; j <= x; j++)
            if ((i % j) == 0) {
                isPrime = false;
                break;
            }

        if (isPrime) nums.add(i);
    }

    return nums;
}
```

Рис. 4. Функция genNums

– Функция для подсчета определителя любого порядка:

```java
int[][] m;

public int[][] subArray(int[][] A, int N, int j1) {
    m = new int[N - 1][];

    for (int k = 0; k < (N - 1); k++)
        m[k] = new int[N - 1];

    for (int i = 1; i < N; i++) {
        int j2 = 0;

        for (int j = 0; j < N; j++) {
            if (j == j1) continue;

            m[i - 1][j2] = A[i][j];
            j2++;
        }
    }

    return m;
}

public double determinant(int[][] A, int N) {
    double res;

    if (N == 1) res = A[0][0];
    else if (N == 2) res = A[0][0] * A[1][1] - A[1][0] * A[0][1];
    else {
        res = 0;

        for (int j1 = 0; j1 < N; j1++) {
            m = subArray(A, N, j1);
            res += Math.pow(-1, 1 + j1 + 1) * A[0][j1] * determinant(m, N: N - 1);
        }
    }

    return res;
}
```

Рис. 5. Подсчет определителя любого порядка

– Функция генерации тестового набора MIDI файлов из массива простых чисел.

```java
public static void gen(int start, int end, int n, Gamma gamma) throws InvalidMidiDataException, IOException {
    Sequence sequence = new Sequence(Sequence.PPQ, resolution: 4);

    Track track = sequence.createTrack();
    String notes = MathUtil.matrixToString(MathUtil.matrix(MathUtil.primeNumbers(start, end), n));
    int noteIndex = 0;

    for (int i = 0; i < notes.length(); i += 4) {
        int value = Integer.parseInt(String.valueOf(notes.charAt(noteIndex)));
        int note = (12 * 4);
        switch (gamma) {
            case MAJOR:
                note += major(value);
                break;
            case MINOR:
                note += minor(value);
                break;
        }

        track.add(makeEvent( command: 144,  channel: 1, note,  velocity: 100, i));
        track.add(makeEvent( command: 128,  channel: 1, note,  velocity: 100,  tick: i + 4));
        noteIndex++;
    }


    FileOutputStream fileOutputStream = new FileOutputStream( name: "/Users/belyakov.efim/Desktop/Music/C_" + gamma.toString() + "_" + start + "-" + end + "_dem_" + n + ".midi");
    MidiSystem.write(sequence, MidiSystem.getMidiFileTypes()[0], fileOutputStream);

    fileOutputStream.close();
}
```

Рис. 6. Функция генерации MIDI файла

Был сгенерирован набор из 32 MIDI файлов для: простых чисел от 2 до $2*10^9$ с шагом в 500, вычислены определители от второго до пятого порядка. Их значения поставлены в соответствие мажорной и минорной гаммы ноты «До».

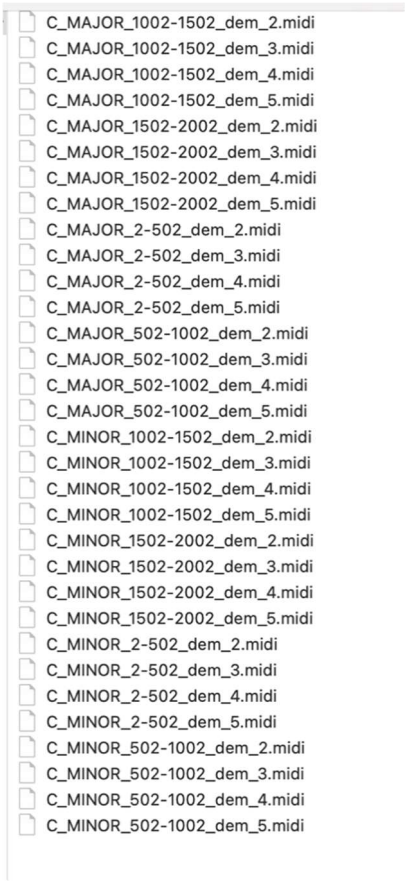


Рис. 7. MIDI файлы с данными о нотах из чисел

Для преобразования полученных файлов с нотами в мелодии использовалась программа DAW: Logic Pro (Apple Inc.).

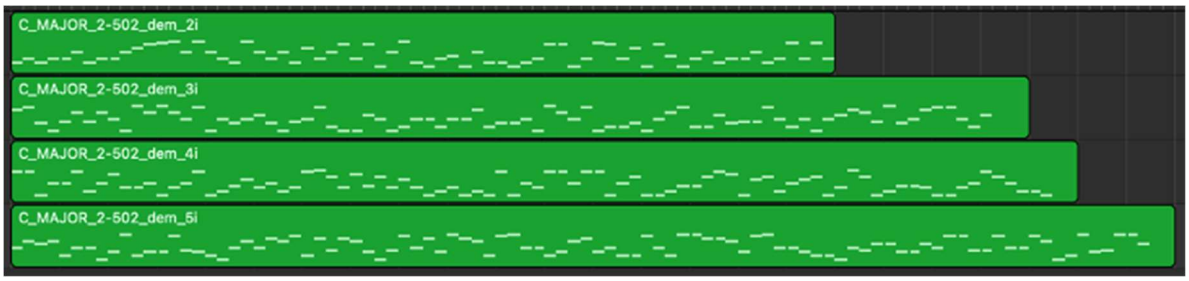


Рис. 8. Четыре файла из тестового набора

Наиболее интересные сочетания нот получаются из определителей соседних порядков. На рисунках 9-10 представлен результат соединения множеств значений определителей второго порядка (1-я и 2-я октава) и определителей третьего порядка (контроктава и большая октава), взятых по модулю.

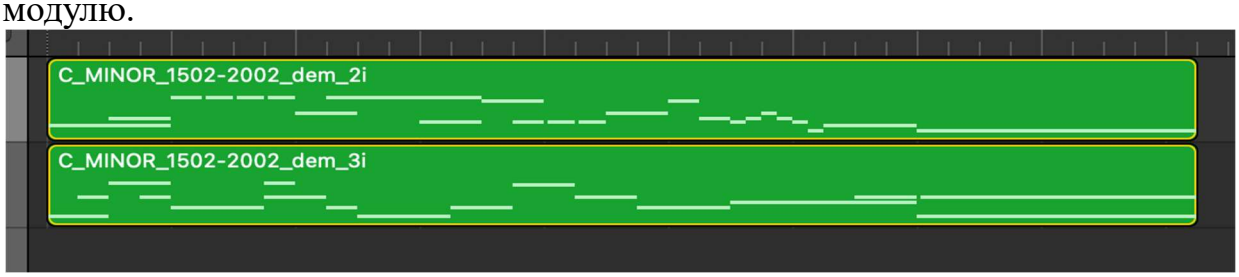


Рис. 9. Два измененных MIDI файла соответствуют двум партиям (скрипичный, басовый ключ)

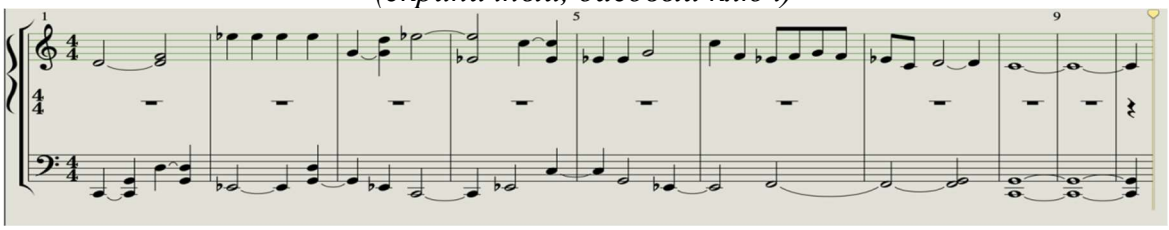


Рис. 10. Партитура из простых чисел промежутка 1502 – 2002 из определителей 2-го и 3-го порядков

Также была взята минорная гамма в промежутке [2,503] с использованием определителей третьего и четвертого порядков. На рисунке 11 представлен результат соединения множеств значений определителей третьего и четвертого порядков. Некоторые ноты транспонировались, чтобы получить более красивое звучание.

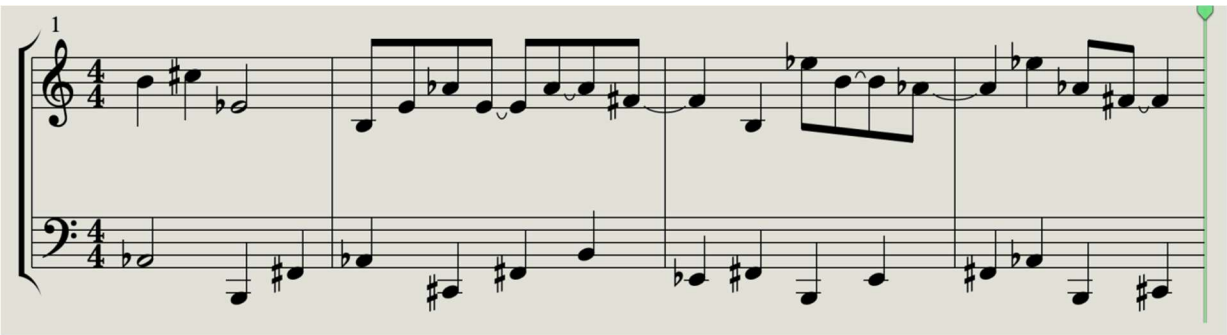


Рис. 11. Партитура из минорной гаммы, интервал от 2 – 502, определители 3-го и 4-го порядков

В результате исследования музыкальных звуков и реализации мелодий была сформулирована операция, названная соединением множеств:

$$A + B = C,$$

где $A = \{a_1, a_2, \ \dots, a_n\}$, $B = \{b_1\ b_2, \dots, b_m\}$,

$$C = \{a_1 \cup b_1, a_2 \cup b_2, \ \dots, a_n \cup b_n, \dots, b_m\}, \ \ n \leq m$$

$$c_i = a_i \cup b_i, \ \ a_i \cup a_i \neq a_i;$$

Данная операция на множествах звуков обладает следующими свойствами:

1) $A + B \neq B + \mathrm{A}$;
2) $(A + B) + \mathrm{C} \neq A + (B + \mathrm{C})$;
3) $k(A + B) \neq kA + kB, \ \ k \in R, \ k > 0$;
4) $(k + l)A \neq kA + lA, \ k, l \in R, \ k, l > 0$.

Выводы

В результате можно заключить, что из модулей значений определителей, элементами которых являются простые числа, получается мелодия, позволяющая заложить основу новых произведений. Предложенная программная реализация предоставляет возможность генерировать мелодии из линейных операций над простыми числами. Гармоники, образуемые соединениями множеств звуков, имеют математическое описание, они интересно и необычно звучат, что может стимулировать к вдохновению и творчеству. А создание собственной музыки через цифры – это яркая, запоминающая, обогащающая человека встреча с искусством, ведущая к развитию аналитического мышления, поиску и вдохновению.

УДК 004.422, 004.932

Трофимец Анастасия Андреевна, Пьявченко Алексей Олегович

АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК НА ВИДЕОКАДРАХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕБ-СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ВИДЕОПОТОКА

В данной работе выполняется подробный анализ существующих методов обнаружения ключевых точек на кадрах цифрового изображения с целью выбора наиболее оптимального из них для использования при реализации веб-системы стабилизации цифрового видеопотока. Обсуждаются результаты моделирования методов средствами MATLAB. Рассматриваются вопросы применения выбранного метода на примере реализации веб-приложения по типу веб-конференции с использованием технологии WebRTC на языке программирования Python и JavaScript.

Анализ изображения, обработка изображения, методы стабилизации, SURF-детектор, веб-система, технология WebRTC.

Trofimets Anastasiia Andreevna, Piavchenko Alexey Olegovich

ANALYSIS AND SELECTION OF METHODS FOR DETECTING KEY POINTS ON VIDEO FRAMES FOR IMPLEMENTATION OF A WEB-SYSTEM FOR STABILIZING DIGITAL VIDEO STREAM

In this paper, a detailed analysis of existing methods for detecting key points on digital image frames is carried out in order to select the most optimal one for use in the implementation of a web-based stabilization system for a digital video stream. The results of modeling methods by means of MATLAB are discussed. The article deals with the application of the selected method on the example of implementing a web application as a web conference using the WebRTC technology in the Python and JavaScript programming languages.

Image analysis, image processing, stabilization methods, SURF-detector, web-system, WebRTC technology.

Введение

Устройства с оптическими приборами, как правило, подвержены качке и вибрации. Из-за дрожания видеокамеры кадры получаются нечеткими, смазанными, то есть такие колебания оказывают вредное влияние на каче-

ство видеоизображения. Например, для срочного онлайн совещания в поездке на машине или поезде при видеозвонке с ноутбука или смартфона будет передаваться нечеткое видеоизображение из-за тряски. И для того, чтобы снизить такое влияние, как известно, применяют различные методы и средства стабилизации.

Основная часть

В настоящей работе рассматривается комплексный метод цифровой стабилизации, обеспечивающий эффективную стабилизацию цифровых видеокадров программным способом. Цифровая стабилизация основана на программной реализации специального алгоритма, который сравнивает последовательность кадров, анализирует сдвиг изображения и возвращает «смещенный» кадр в нормальное положение, то есть в противоположную сторону по отношению к сдвигу [1].

Идея решения проблемы стабилизации кадров видеопоследовательности базируется на поиске ключевых точек на видеоизображениях с последующей минимизацией дрожания самих кадров. Для нахождения характерных точек (ХТ) было предложено использовать метод Speeded Up Robust Features (SURF) [2], как один из наиболее эффективных из известных в настоящее время методов, используемых при решении задачи поиска точек на монохромных изображениях практически вне зависимости от их масштаба и ракурса съемки, а также создания их дескрипторного описания – «дескрипторов, инвариантных к масштабу и повороту».

Согласно методу [2], поиск ХТ на изображении осуществляется с применением матрицы Гессе (Hessian). «Матрица этой квадратичной формы образована вторыми частными производными функции» распределения яркости анализируемого участка изображения.

Здесь уместно напомнить, что применение матрицы Гессе в составе метода обусловлено тем, что ее определитель достигает предельного значения в точке максимального изменения градиента яркости анализируемого участка изображения. Это позволяет довольно эффективно обнаруживать на изображении пятна, края и углы линий.

Расчет градиента в ХТ базируется на использовании разномасштабных фильтров Хаара. Пример такого фильтра показан на рис. 1, а его размер равен $4s$ (где s – масштаб ХТ) [2].

Рис. 1. Фильтр Хаара (значение черной области равно -1, а белого - +1)

После расчета градиента для каждой очередной ХТ метод SURF генерирует свой дескриптор. Дескриптор представляет собой набор из 128 чисел, позволяющих идентифицировать каждую такую ХТ [2].

Общий алгоритм программы для стабилизации видеопотока может быть выражен в виде следующей последовательности действий, описанных с применением языка MatLab:

% чтение кадров из видеофайла:

```
fileName = 'shakeme.avi';
VideoSrc = VideoReader(fileName);
```

% определение характерных точек для каждого кадра:

```
pntsA = detectSURFFeatures(imageA);
pntsB = detectSURFFeatures(imageB);
```

% выбор соответствий между точками:

```
[ftsA, pntsA] = extractFeatures (imageA, pntsA); [ftsB, pntsB] = extractFeatures (imgB, pntsB); iPairs = matchFeatures (ftsA, ftsB);
```

% оценка преобразований сопоставлений:

```
[tform, pntsBm, pntsAm] = estimateGeometricTransform (pntsB, pntsA, 'affine');
```

% преобразование аппроксимации и сглаживания:

```
mH = tform.T; R = mH(1:2,1:2);
ConerTheta = mean([atan2(R(2), R(1)) atan2(-R(3), R(4))]); Scale = mean(R([1 4])/cos(ConerTheta));
translation = mH(3, 1:2);
mHsRt = [[Scale*[cos(ConerTheta) -sin(ConerTheta); sin(ConerTheta) cos(ConerTheta)]; translation], [0 0 1]'];
tformsRT = affine2d(mHsRt);
```

% получение стабилизированного видео.

…

На рис. 2 показан результат стабилизации видеопотока в среде MatLab.

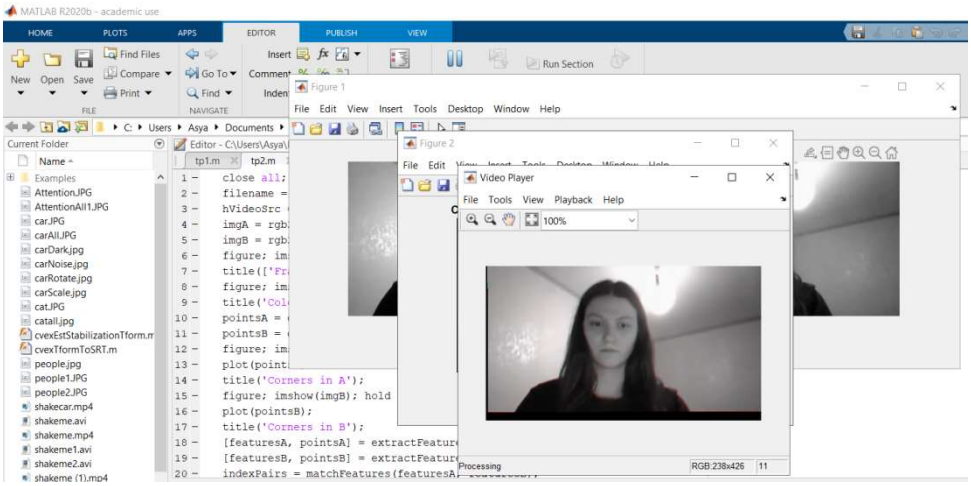


Рис. 2. Работа алгоритма в MatLab

В табл. 1 представлены результаты экспериментального исследования при сравнении методов. Рассмотрены следующие параметры: инвариантность к изменениям масштаба, поворота и яркости, от наличия шума, а также скорость работы и количество найденных точек.

Анализ результатов, сведенных в табл. 1, указывает на то, что метод SURF работает не так быстро, как FAST (Features from Accelerated Segment Test) [3] или ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) [4], но обладает хорошей степенью устойчивости к аффинным преобразованиям, к изменениям яркости; имеет высокое качество детектирования в целом. Метод, с учетом выполненных экспериментов, может быть применен для эффективной стабилизации видеоданных с приемлемым качеством, получаемых в процессе выполнения видеосъемки с разных ракурсов и при разном освещении. С методом SURF также могут сравниться методы FAST и BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Key points) [5]. Применение же этих методов для обеспечения стабилизации видеоизображения, на наш взгляд требует дополнительных исследований.

Для реализации видеоконференции в данной работе будет использоваться технология WebRTC. Это современная открытая технология, которая делает допустимыми коммуникационные возможности в реальном времени при передаче аудио, видео и данных в реальном времени через веб-браузеры с использованием API-интерфейсов JavaScript (Application Programming Interfaces) без плагинов [6].

Таблица 1

Сравнение методов

	Инвариантность				Скорость работы (сек.)	Количество найденных точек (шт.)
	Масштаб	Поворот	Шум	Изменение яркости		
Harris	-	-	+/-	+	0.630	60
Shi-Tomasi	-	-	-	+	0.583	941
FAST	+/-	+	-	-	0.062	33
SURF	+	+	+/-	+/-	0.224	598
ORB	+/-	+/-	+/-	+/-	0.166	2700
BRISK	+/-	+/-	+/-	+	0.470	320
KAZE	+	+	+/-	+/-	2.263	5300

Стоит учитывать, что в самом браузере работает три специальных «движка» для качественного функционирования потокового соединения. «Голосовой движок» и «видеодвижок» отвечают за собирание мультимедийных данных с веб-камеры и микрофона, оптимизируют и сжимают аудио- и видеоданные. «Транспортный движок» объединяет информацию и отвечает за транспортировку потока в зашифрованном виде с помощью безопасного протокола передачи данных SRTP (Secure Real-time Protocol) и протокола дейтаграмм безопасности транспортного уровня DTLS (Datagram Transport Layer Security) [6].

Для организации работы сервера из браузера разработана клиентская часть программного комплекса, которая реализована на языке программирования Javascript и выполняется в веб-браузере на компьютере пользователя, смартфоне или планшете без необходимости установки специального программного обеспечения.

Одной из основных функций является **`createPeerConnection()`**. Она содержит в себе создание нового соединения **`pConnection = new RTCPeerConnection()`** [6]. Данный интерфейс WebRTC представляет собой соединение между локальным компьютером и удаленным узлом, а также включает в себя контроль и поддержку соединения, реализацию закрытия соединения, когда оно больше не нужно.

% подключение медиа-данных (аудио и видео):

```
pConnection.addEventListener('track', function(evt) {
if (evt.track.kind == 'video')
    document.getElementById('video').srcObject      =
evt.streams[0];
else
    document.getElementById('audio').srcObject      =
evt.streams[0];};
```

Серверная часть реализована на языке программирования Python с использованием библиотеки aiortc, которая необходима для взаимодействия с клиентской частью WebRTC.

% получение данных с веб-камеры и микрофона:

```
@pConnection.on("track")
def on_track(track):
if track.kind == "audio":
    pConnection.addTrack(track)
    recorderVid.addTrack(track)
elif track.kind == "video":
    local_videoTransform = VideoTransformTrack(
    track, transform=paramsSDP["transform_video"])
    pConnection.addTrack(local_videoTransform)
```

Также в данной части с помощью библиотеки VidStab языка программирования Python и реализованного класса **VideoTransformTrack(MediaStreamTrack)** выполнена покадровая стабилизация видеоизображения на основе метода SURF.

% определение функции стабилизации

```
my_videoStabilizator = VidStab(kp_method="SURF")
class VideoTransformTrack(MediaStreamTrack):
```

% установка типа медиа-данных как видео

```
kind = "video"
```

% инициализация и приравнивание записи дорожки и видоизменения видеопотока к локальным переменным данного класса

```
def __init__(self, track, transform):
super().__init__()
self.track = track
self.transform = transform
```

% асинхронное получение видеоданных и запись одного кадра в vidFrame

```
async def recv(self):
vidFrame = await self.track.recv()
```

Если выбрана передача видеопотока для стабилизации, выполняется алгоритм стабилизации видеокадров, иначе выводится исходное нестабилизированное видео.

% условие выполнения режима стабилизации

```
if self.transform == "stabilization":
image = vidFrame.to_ndarray(format="bgr24")
```

% получение из метода stabilize_frame нового уже стабилизированного кадра с определенными параметрами вывода:

```
stabilized_frame = my_videoStabilizator.stabilize_frame(input_frame=image,
border_type="reflect", smoothing_window=8)
```

В функции указаны следующие параметры: тип границ при смещении кадра – «отражать», то есть вместо черных границ заполнять наиболее похожими близкими к краям пикселями; стабилизированный кадр выводить с задержкой сглаживания равной восьми нестабилизированным кадрам.

% конец получения видеопотока

```
if stabilized_frame is None: return vidFrame
```

% трансляция на веб-страницу стабилизированного видеопотока

```
    new_vidFrame = VideoFrame.from_ndarray(stabilized_frame, format="bgr24")
    new_vidFrame.pts = vidFrame.pts
    new_vidFrame.time_base = vidFrame.time_base
    return new_vidFrame
else:
    return vidFrame
```

Данная библиотека стабилизирует кадр, учитывая аффинные преобразования, как это было реализовано в среде MatLab.На рис. 3 представлен результат стабилизации видеокадров на веб-странице браузера реализованной веб-системы.

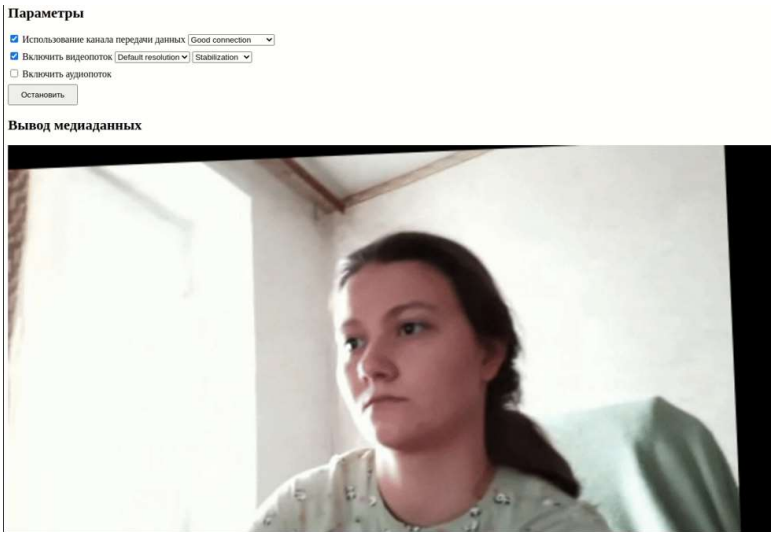


Рис. 3. Результат стабилизации в веб-системе

Выводы

По результатам проделанной работы была разработана веб-система стабилизации цифрового видеопотока на основе технологии WebRTC с наиболее оптимальным методом сопоставления ключевых точек – SURF.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко А. О.* Методы стабилизации цифрового видеопотока данных и проблемы их применения в реальном времени [Текст] / А. О. Пьявченко, К. А. Николаюк, С. А. Великосельский // XVI Всероссийская научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов: сб. науч. тр. в 3 томах. – Ростов-на-Дону, Издательство: Южный федеральный университет. – 2018. – Т1. – С.: 224-233.
2. *Bay H.* SURF: Speeded Up Robust Features [Text] / H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L. Van Gool. // Computer Vision and Image Understanding (CVIU), 2008. – Vol. 110, No. 3. – P. 346-359.
3. *Kadhim H. A.* A method to improve corner detectors (Harris, Shi-Tomasi & FAST) using adaptive contrast enhancement filter [Text] / Haydar Abdulameer Kadhim, Waleed Abdullah Araheemah // Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 2020. – Vol. 8, No. 1. – P. 508-515.
4. Introduction to ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://medium.com/data-breach/introduction-to-orb-oriented-fast-and-rotated-brief-4220e8ec40cf (дата обращения: 01.06.21).
5. A FAST-BRISK Feature Detector with Depth Information [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6263410/ (дата обращения: 01.06.21).

6. WebRTC role in real-time communication and video conferencing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9119656 (дата обращения: 03.06.2021).

Трофимец Анастасия Андреевна, студентка группы КТсо5-2 Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347900, телефон: +7 (960) 45-43-782, email: nastyatrofimec@gmail.com.

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.

Trofimets Anastasia Andreevna, student of the KTso5-2 group of the Institute of Computer Technologies and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 2 Chekhov Street, 347900, phone: +7 (960) 45-43-782, email: nastyatrofimec@gmail.com.

Piavchenko 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 002.53:004.89

Бова Виктория Викторовна, Лещанов Дмитрий Валерьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПАТТЕРНОВ

Сложности в получении достоверных знаний в задаче семантического поиска связаны с динамическим характером информационных предпочтений пользователей и неопределенностью уровня их информированности при формулировании поисковых запросов. Задача поиска закономерностей в таких данных связана с необходимостью обнаружения и анализа возможных ассоциативных последовательностей событий поисковой сессии. В статье предложена модель поиска последовательных паттернов поведения пользователей, для обнаружения скрытых закономерностей при их взаимодействии с распределенными ресурсами знаний, представленных семантической сетью моделей информацион-

ных потребностей пользователя, предметной области поисковых запросов, информационных моделей поисковых образов интернет-ресурсов.

Семантическая сеть, онтологии, последовательные паттерны, секвенциальный анализ, информационный поиск.

Bova Victoria Victorovna, Leshchanov Dmitriy Valeryevich

MODELING A SEMANTIC NETWORK FOR THE SEQUENTIAL PATTERN SEARCH PROBLEM

Problems in obtaining reliable knowledge in the problem of semantic search are associated with the dynamic nature of informational preferences of users and the uncertainty of their level of awareness when formulating search queries. The task of searching for patterns in such data is associated with the need to detect and analyze possible associative sequences of events in a search session. The article proposes a search model for sequential patterns of user behavior to detect hidden patterns in their interaction with distributed knowledge resources, represented by a semantic network of models of user information needs, the subject area of search queries, information models of search images of Internet resources.

Semantic network, ontologies, fractal model, representation of subject-oriented knowledge, knowledge management system.

Введение

Актуальное значение для задачи информационного поиска сегодня приобретает проблема обнаружения достоверных знаний в распределенных информационных интернет-ресурсах (ИР) при моделировании сценариев взаимодействия пользователя с интернет-пространством. Эта проблема связана с распознаванием информационных объектов (запросов, на основе информационных предпочтений (ИП)), имеющих отношение к решаемой пользователем задаче и может рассматриваться как семантическая, основанная на знаниях. [1-5]. Для ее решения в работе предлагается метод построения семантической сети на основе онтологического подхода, который позволит обеспечить интегрированное представление моделей информационных потребностей пользователя, предметной области (ПрО) поисковых запросов, информационных моделей поисковых образов ИР для их дальнейшего сопоставления и интеллектуальной обработки [4-6].

Проблема поиска закономерностей в таких данных связана с необходимостью обнаружения и анализа возможных ассоциативных последова-

тельностей событий поисковой сессии при выполнении поставленных перед пользователем задач и определяет актуальность исследования [3-6]. Для ее решения авторами предлагается модель поиска последовательных паттернов поведения пользователей для обнаружения скрытых закономерностей при их взаимодействии с ИР.

Анализ предметной области и постановка задачи

В наиболее общем виде решаемая в данном исследовании задача заключается в следующем: чтобы эффективно удовлетворить потребность пользователя в необходимой ему информации, необходимо получить формализованное описание этой потребности, что обеспечит средства и методы прогнозирования его поступков в рамках описываемой модели взаимодействия с ресурсами открытой информационной среды [1, 4-7]. Также в модели должны отображаться связи между ИР и ПрО; ИП и ПрО; ПрО и задачами пользователей; пользователями и ПрО. Таким образом, для описания ИП пользователя надо построить онтологическую модель *ONT*, классы которой соответствуют перечисленным выше элементам, а отношения – связям между ними.

Представим формальную постановку задачи. Пусть U – множество пользователей, Res – множество предлагаемых ИР, P – функция полезности, описывающая интерес пользователя $u \in U$ к ИР $r` \in Res$ и характеризующая полноту освещения искомой тематики в поисковой выборке заданного объёма, т. е. $P{:}U \times Res \rightarrow D$, где D – параметр соответствия семантического потенциала (достоверности) тематического охвата ИР сформулированной ИП.

$$D_s = \frac{\sum_1^k V_u[k]_{n+1}}{k*(s-k+1)}, s \geq \sum_1^k V_u[k]_{n+1}, \quad (1)$$

где $\sum_1^k V_u[k]_{n+1}$ – количество присутствующих в выборке поисковых терминов тезауруса запросов пользователей V_u, k – коэффициент семантического потенциала термина запроса, свободный параметр $s = [k;\infty]$ задаётся экспертом и характеризует объём обрабатываемой поисковой выборки. Необходимо для оптимизации задачи поиска – для каждого пользователя $u \in U$ выбрать такой объем ИР $r` \in Res$, что $P(u,r`) = \max\limits_{r` \in Res} d(u, r`)$.

Метод построения семантической сети на основе онтологии

Онтологию можно рассматривать как основу структуры семантической сети представления знаний об ИП (тематических запросов) пользователей, поисковых образах ИР и ПрО терминологического поиска (рис.1) [6, 8].

Формально семантическая сеть представляется двойкой $SN=<I_C,I_R>$, где $I_C=<I_{C1},...,I_{Cn}>$ - множество объектов, то есть экземпляров классов C, определенный в онтологии ONT, $I_R=<I_{R1},...,I_{Rm}>$ - множество экземпляров отношений R, определенных в ONT и связывающих объекты из I_C. Онтология ONT состоит из трех взаимосвязанных онтологий, отвечающих за представление указанных выше компонентов знаний.

Рис.1. Процессы семантического поиска в Интернет-пространстве

Онтология ПрО терминологического поиска описывает область поисково-познавательной деятельности пользователей $O_{SDi}=<V_{SDi}, R_{SDi},F_{SDi}>$, $i=\overline{1,n}$. На онтологии определены:

•$X=\{x_i\}$ – множество понятий $(i=\overline{1,M})$;

•$V=\{y_u\}$ – множество терминов, элементов тезауруса V_u $(u=\overline{1,M})$;

•$R_t=\{r_k\}$ – множество временных отношений между понятиями, определяющих связи семантического потенциала между элементами поиска $(k=\overline{1,k})$;

•$d(t)\rightarrow R_{[0;1]}$ – функция достоверности отношений в момент времени t в интервале [0;1]: 0 – неизвестно; (0;1) – достоверно в некоторой степени; 1 – отношение достоверно на 100%.

Тогда отношение r_k можно определить так: $r_k=<x_i, x_j, v_u, d_k(t)>$,где: x_i, x_j – понятия; $d_k(t)$ имеет вид (1) – функция фактора достоверности отношения r_k между x_i и x_j, определяемое термином v_u; $i,j=\overline{1,M}, k=\overline{1,K}$

$F_t=<F_n, F_s>$ – множество функций интерпретации.

F_n – функция нормализации терминов, в любой момент времени для любого термина i-го понятия возвращает номер j-го терма, определяющий элемент поиска с максимальным фактором достоверности:

$$F_n(N,t)\rightarrow N:\ \forall i=\overline{1,M}, \forall t\ \ F_n(i,t)=arg\ max_{\forall u=\overline{1,U}}\left(d_{k_{iu}}(t)\right), \quad (2)$$

где $d_{kiu}(t)\rightarrow R_{[0;1]}$ – функция фактора достоверности u-го термина, определяющего i-е понятие в момент времени t.

F_s – функция интерпретации термов, в момент времени t ставит в соответствие i-му терму вектор $D=\{d_{kiu}\}$ факторов достоверности, отражающих степень соответствия u-го термина i-му понятию.

Онтологическая модель ПрО имеет сложную структуру, поэтому целесообразно использовать для моделирования знаний пользователя об интересующей его ПрО тезаурус, который можно рассматривать как проекцию онтологии на задачу терминологического поиска [8-10].

O_{User} описывает следующие классы:

•тезаурус терминов запроса $T_V = <V_u, R>$, где V_u – множество терминов, а R – множество семантических отношений между этими терминами. Множества V_u и R конечны. Множество терминов тезауруса T_V соответствует множеству концептов X онтологии O_{SD};

•тезаурус задачи – множество пар, первым элементом в которых являются термины онтологии, а их совокупность характеризует конкретную задачу из ПрО, решаемую в данный момент пользователем, а вторым – вес (положительный или отрицательный) этого термина для данной задачи $T_{Sj} = \{<t_{skj} \in V_{SDi}, w_{kj}>, k = \overline{1,s}\}, j = \overline{1,m}$;

•тезаурус запросов – множество ключевых слов, характеризующих одну из ИП пользователя, связанный с конкретной задачей при помощи тезауруса T_{Sj}, $T_Q = <\{t_q\}, t_{skj}>, q = \overline{1,u}$;

•тезаурус темы запроса – множество запросов, связанных с одной ИП $T_{TH} = <id_{TH}, \{t_q\}>, q = \overline{1,u}$;

•тезаурус результатов запроса – множество пар, первым элементом в которых являются ссылки на ИР, а вторым – оценки достоверности этих ИР пользователем $T_{REZ} = <id_u, rel_u>$.

Онтология поисковых образов ИР служит для описания, представленных в открытом информационной пространстве ресурсов, релевантных предметной области терминологического поиска [1, 9]. $O_{RES} = <R_{URL}, \{<t_{qi}, d_{ki}(t), rel>, i = \overline{1,n}\}>$. Информационная модель содержит сведения о найденных ранее ресурсах в качестве их идентификаторов, запросы, оценки достоверности и релевантности для i-го пользователя.

При решении задачи извлечения новых знаний об исследуемых зависимостях и обнаружения скрытых закономерностей в наборах данных об активности пользователей возникают проблемы нахождения косвенных ассоциаций в последовательности действий. Главная проблема при их поиске - большое число частых последовательностей, масштабируемость во времени и пространстве для которых становится критичной. Для ее реше-

ния авторами предлагается модель поиска последовательных паттернов поведения пользователей на основе методов секвенциального анализа.

Метод поиска закономерностей в последовательностях событий

Sequential pattern mining (поиск/добыча последовательных паттернов) – это метод интеллектуального анализа данных, объектом которого является база последовательностей – кортежа из наборов элементов (itemsets) – непустых множеств одновременно встречающихся элементов [2, 9]. Применительно к задаче поисковой деятельности пользователей, набор элементов будет соответствовать содержимому одного запроса, а вся последовательность будет представлять собой совокупность ИР, просмотренных пользователем за всё время наблюдения (рис.2). Целью секвенциального анализа является получение часто встречающихся подпоследовательностей классов событий C_E в заданной сессии S, удовлетворяющие ограничению минимальной поддержки, которые называются последовательными паттернами P [2, 10].

Рассмотрим формализацию задачи поиска последовательных паттернов на основе модели поведения пользователя в поисковой сессии.

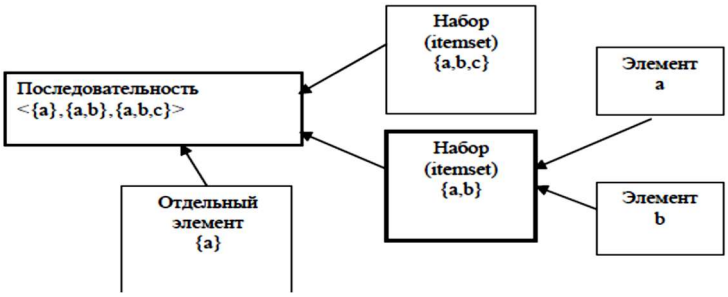


Рис. 2. Структура последовательного паттерна

Пусть C_E множество всех определенных классов событий: $C_E = \{c_1, ..., c_k\}$, $\{c_i\}$, где $i = \overline{1,k}$, – отдельный класс; k – мощность множества C_E. Обозначим через S' множество всех зафиксированных сессий, после классификации и фильтрации $S' = \{s_1', ..., s'_m\}$, где $\{s_i'\}$, $i = \overline{1,m}$, – отдельная сессия; m – мощность множества S'. Сессия после классификации представляет собой размещение элементов множества C_E с повторениями: $s'_i = \langle c_{i1}, \dots, c_{ij} \rangle$, где $\{c_{ij}\}$, $i = \overline{1,m}, j = \overline{1,l'_i}$ – отдельное событие i-й сессии; l'_i – мощность размещения s'_i.

Введем n'суммарное количество событий в сессиях после классификации и фильтрации: $n' = \sum_{i=1}^{m} l'_i$, где m – мощность множества S'; l'_i – мощность размещения s'_i. Обозначим P множество кандидатов последовательных паттернов: $P = \{p_1, ..., p_r\}$, где $\{p_i\}$, $i = \overline{1,r}$ – отдельный

паттерн; r – мощность множества P. Будем считать длиной последовательного паттерна или сессии количество событий в указанном размещении, а также то, что паттерн p входит в сессию s', если все элементы p содержатся в s', при этом порядок элементов в подмножестве из s' соответствует порядку элементов p.

Примем за $\mu_p^{s'}$ значение функции принадлежности i-го ассоциативного признака паттерна, вычисленное как количество непересекающихся упорядоченных вхождений p в сессию s'. Тогда паттерн p называется поддерживаемым сессией s', и как следствие, поддерживаемым пользователем, если количество вхождений $\mu_p^{s'}>0$.

Выразим sup(X⇒Y) через $\lambda_p^{s'}$ поддержку p сессией s', рассчитываемую как:

$$\lambda_p^{s'} = \frac{\mu_p^{s'} * q}{l}, 0 \leq \lambda_p^{s'} \in \mathbb{R} \leq 1, \quad (3)$$

где $\lambda_p^{s'}$ – количество вхождений p в сессию s'; q – длина p; l – длина сессии s'.

Таким образом, для одной сессии можно описать значение поддержки как долю содержания паттерна в сессии. Данное условие необходимо для сравнения разных паттернов по степени влияния на процесс генерации максимальных паттернов [4]. Рассчитаем общую поддержку паттерна как взвешенную среднюю арифметическую согласно формуле:

$$\lambda_p^{s'} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\mu_p^{s_i'} * q}{l_i} * \frac{l_i}{n'} \right) \leq \lambda_p^{s'} \in \mathbb{R} \leq 1, \quad (4)$$

где S' – множество сессий после классификации и фильтрации; m – мощность множества S'; $\mu_p^{s_i'}$ – количество вхождений паттерна p в сессию s_i'; q – длина паттерна p; l – длина сессии s_i'; n' – суммарное количество событий в сессиях после классификации и фильтрации. Формулы (3) и (4) позволяют рассчитывать значение поддержки различных последовательных паттернов и ранжировать паттерны по степени приоритета для дальнейшего расчета достоверности по формуле (1).

Представим математическую модель поискового поведения пользователей с учетом затраченного времени как:

$$M_{User} = \{E, C_E, f, S, S', P, \Lambda, t\}, \quad (5)$$

где $E=\{e_i\}$, $i = \overline{1,n}$ – множество событий с атрибутами; $C_E = \{c_i\}$, $i = \overline{1,k}$ – множество классов событий; f: $E \rightarrow C_E$ – функция классификации событий; $S = \{s_i\}$, $i = \overline{1,m}$ – множество сессий до классификации, $s_i = \langle e_{i1}, \dots, e_{il} \rangle$, $i = \overline{1,m}$ – сессия до классификации, l – длина i-й сессии; $S' = \{s_i'\}$, $i = \overline{1,m}$

– множество сессий после классификации и фильтрации, $s_j^{'} = \langle c_{i1}, \dots, c_{il} \rangle$, $i = \overline{1, m}$ – сессия после классификации и фильтрации, l' – длина i-й сессии после классификации и фильтрации; $P = \{p_i\}$, $i = \overline{1, r}$ – множество последовательных паттернов, $p_i = \langle c_{i1}, \dots, c_{iq} \rangle$, $i = \overline{1, r}$ – последовательный паттерн; $\Lambda = \{\lambda_{p_i}^{s'} \in \mathbb{R} | 0 \leq \lambda_p^{s'} \leq 1, p_i \in P, i = \overline{1, r}\}$ – множество значений поддержки последовательных паттернов; t: $C_E \to \mathbb{R}_+$ – функция преобразования класса событий в затрачиваемое время.

Выводы

Описан процесс формирования семантической сети междисциплинарного пространства знаний, основанный на выделении основных типов концептов предметной области поисковой деятельности пользователей на основе их информационной потребности. Разработана структура онтологии объектов и их свойств, временных состояний объектов, задач поисковой деятельности. Предложена модель поиска максимальных последовательных паттернов, позволяющая эффективно работать с категорийной входной информацией в процессе извлечения ассоциативных зависимостей при меньших временных затратах и избежать затратной процедуры предобработки транзакционной базы данных событий поисковой активности пользователей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-07-00099.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бова В.В., Курейчик В.В., Лещанов Д.В.* Модель семантического поиска в системах управления знаниями на основе генетических процедур // Информационные технологии. 2017. №12. С. 876- 883.
2. *Бова В.В., Лещанов Д.В.* Семантический поиск знаний в среде функционирования междисциплинарных информационных систем на основе онтологического подхода // Известия ЮФУ. 2017. № 7(192). С. 79-90.
3. *Кравченко Ю.А., Лежебоков А.А., Запорожец Д.Ю.* Способы интеллектуального анализа данных в сложных системах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2012.№3. С. 52-57.
4. *Bova V.V., Kureichik V.V., Leshchanov D.V.* The model of semantic similarity estimation for the problems of big data search and structuring // Proceeding of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies. AICT 2017. pp.27-32.

5. *Bova V., Nuzhnov E.V., Kureichik V.V.* The Combined Method of Semantic SimilarityEstimation of Problem Oriented Knowledge on the Basis of Evolutionary Procedures // Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017), Vol 1. Warsaw, Poland. pp.74-83.
6. *BovaV.V., Kravchenko Y. A, Kureichik V. V.* Development of distributed information systems: Ontological approach // Advances in Intelligent Systems and Computing vol. 349. 2015. pp. 113-122.
7. *Кравченко Ю.А., Курситыс И.О., Кулиев Э.В.* Разработка генетического алгоритма расчета семантической близости в задачах управления знаниями // Известия ЮФУ. Техническиенауки. 2016. № 6 (167). С. 75-88.
8. *Rogushina J.V.* The Use of Ontological Knowledge for Semantic Search of Complex Information Objects // Open semantic technologies for intelligent systems, OSTIS-2017. Minsk. 2017. P.127-132.
9. *Кравченко Ю.А.* Задачи семантического поиска, классификации, структуризации и интеграции информации в контексте проблем управления знаниями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. №7 (180). С. 5-18.
10. *Кулиев Э.В., Новиков А.А., Самойлов А.Н.* Ранжирование онтологий в SemanticWeb // Информатизация и связь. 2016.№3. С. 177-181.

Бова Виктория Викторовна, доцент ИКТИБ Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-51, email: vvbova@sfedu.ru.

Лещанов Дмитрий Валерьевич, аспирант ИКТИБ Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-51, email: leshok.dimkaa@yandex.ru.

Bova Victoria Victorovna, associate professor, ICTIS, Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy, phone: +7 (8634) 37-16-51, email: vvbova@sfedu.ru.

Leshchanov Dmitriy Valeryevich, graduate student, ICTIS Southern Federal University, 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy, phone: +7 (8634) 37-16-51, email: leshok.dimkaa@yandex.ru.

УДК 004.42+004.3

Проскуряков Александр Викторович

СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО КУРСУ «МЕТРОЛОГИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ»

Программное и информационное обеспечение основареализации электронного учебного пособия по курсу «Метрология программного обеспечения». Данное синтезированное обеспечение учебного пособия позволяет обеспечить и реализовать следующие функциональные возможности:публикация и просмотр объявленийвозможность скачивать/загружать файлы с сервера/не сервер, возможность создания тестовых заданий, тестирование с сохранением истории тестирования ,управление процессом обучения контингентом обучающихся студентов, реализованы функции разграничения прав доступа пользователей к информационным ресурсам.

Информационное, метрология, обеспечение, программное, электронное учебное пособие, управление образовательным процессом, электронный кабинет преподавателя.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

SYNTHESIS OF INFORMATION AND SOFTWARE OF AN ELECTRONIC TEXTBOOK FOR THE COURSE " SOFTWARE METROLOGY»

Software and information support osnovarealization of the electronic textbook for the course "Software Metrology". This synthesized software of the tutorial allows you to provide and implement the following functionality:publishing and viewing ads, the ability to download / upload files from the server/not the server, the ability to create test tasks, testing with the preservation of the test history, management of the learning process by the contingent of students studying, the functions of differentiating user access rights to information resources are implemented.

Information, metrology, software, software, electronic training manual, educational process management, electronic teacher's office.

Введение. На современном этапе развития информационных технологий обществе Интернет становится самый распространенным, доступным и удобным способом получения необходимой пользователю инфор-

мации. Самый большое преимущество такого подхода – существенное сокращение затрат во времени на пути достижения цели.

В современном образовании всё более прочные позиции занимает получение образовательной информации посредством оперативного доступа к интернет-ресурсам.

Учебные заведения различного уровня – высшего, среднего, дошкольного образования расширяют возможности дистанционного обучения, автоматизации труда преподавателей, информирования о событиях через компьютеризацию[1,2,3,4].

Применительно к ВУЗам такой подход приобретает всё большую популярность:

- замещение обычного тестирования компьютерным тестированием;
- создание порталов по курсам для информирования студентов;
-создание хранилищ файлов для быстрого и удобного предоставления материалов и другое[5,6,7].

Очевидно, и это представляет несомненный интерес, что многие функции, выполняемые преподавателем можно автоматизировать или же сократить время на их исполнение, повысив удобство условий труда преподавателя.

К таким функциям можно отнести: составление тестов и проверка результатов тестирования студентов, доведение до сведения студентов некой информации о событиях, предоставление дополнительных материалов лекций или рекомендуемой литературы, предварительная проверка отчетов, индивидуальных заданий, любого другого материала[7,8,9].

Постановка задачи. В докладе рассматривается подход к синтезу учебного пособия путём реализации его информационного и программного обеспечения. Синтез электронного учебного пособия предполагает достижение следующих целей:

1) повышение доступности взаимодействия преподавателя со студентами;
2) предоставление возможности дистанционного информирования студентов в рамках курса;
3) повышение производительности труда преподавателя;
4) улучшение условий работы преподавателя;
5) сокращение расходов на материалы (бумага для тестирования и т. п.) повышение престижа курса.

Для достижения поставленных целей, решаются следующие задачи:

1) создание системы тестирование студентов;

2) создание доски объявлений по курсу;
3) создание хранилища файлов по курсу;
4) объединение перечисленных выше модулей в единый ресурс;
5) создание на данном ресурсе средств авторизации под полным управлением преподавателя.

Для разработки подобного ресурса удобней всего использовать паттерн MVC технологии ASP.Net, так как он делает систему гибкой: логическая часть не будет зависеть от данных, тем самым обеспечив возможность использования продукта для схожих целей различных курсов[10].

Разработка может с успехом использоваться не только в ВУЗах, но и в других заведениях, имеющих цели упрощения взаимодействия административного, учебно-вспомогательного персонала с целью увеличения производительности труда.

Реализация. Описание информационного и программного обеспечения.

Представленное в докладе разработанное учебное пособие в рамках поставленных целей решает следующие задачи:

1) краткий обзор курса;
2) создание/удаление тестовых заданий;
3) возможность прохождения тестирования с сохранением индивидуального результата;
4) организация доступа к учебным материалам;
5) встроенная доска объявлений;
6) возможность отправки файлов на сервер;
7) разделение прав доступа пользователей к информационным ресурсам пособия;
8) администрирование всех вышеприведенных задач;
9) удаленный доступ к вышеперечисленным задачам.

Исходя из задач, можно выделить следующие модули синтезированного учебного пособия:

1) информационный модуль;
2) тестовый модуль;
3) модуль работы с файлами;
4) модуль авторизации.

Информационный модуль обеспечивает возможность со стороны пользователя просматривать актуальную информацию по курсу в виде объявлений. Со стороны преподавателя должна быть возможность управ-

ления данной информацией: создание, редактирование и удаление объявлений.

Тестовый модуль предоставляет возможность со стороны пользователя просматривать список тестов, проходить тестирование по выбранной теме, получать результаты тестирования, просматривать результаты своих прошлых попыток тестирования. Со стороны преподавателя необходима возможность управления тестовыми заданиями: создание и удаление тем тестирования с заданиями, возможность просматривать результаты тестирования любого студента.

Модуль работы с файлами предоставляет возможность со стороны пользователя просмотра или скачивания с сервера учебно-методических материалов, загрузки на сервер отчетов, индивидуальных работ и т. п. Со стороны преподавателя необходима возможность управления материалами: закачка на сервер, редактирования информации о материалах, удаление материалов. Также возможность просмотра/скачивания материалов, загруженных студентами.

Модуль авторизации предназначен для разграничения доступа к ресурсам. Определяются три группы пользователей: незарегистрированные пользователи (далее – *неавторизованный пользователь*), которые имею возможность лишь просматривать определенную часть контента, зарегистрированные пользователи без прав администратора (далее – *авторизованный пользователь*), которые имеют привилегии пользователей, позволяющие выполнять действия, описанные выше для пользователей и суперпользователь (далее – *администратор*), который имеет возможности, описанные выше для преподавателя.

Исходя из функционального назначения модуля авторизации, предназначенного для разграничения доступа к информационно-вычислительным ресурсам учебного пособия покажем акторов, которые объединены в три группы пользователей, которые показаны на рис. 1.

Рис.1. Акторы разработанного электронного учебного пособия

Функции факторов электронного учебного пособия представлены в табл. 1. Диаграмма вариантов использования учебного пособия показана на рис. 2.

Таблица 1

Актор	Краткое описание
Неавторизованный пользователь	Просматривает следующую информацию: объявления по курсу, структура курса, перечень методических пособий, перечень тестовых заданий.
Авторизованный пользователь	Обладает привилегиями неавторизованного пользователя. Дополнительные возможности: просматривать список учащихся и групп, скачивать методические пособия, проходить тестирование, просматривать итоги своего текущего тестирования и прошлых попыток, закачивать на сервер свои работы.
Администратор	Обладает привилегиями авторизованного пользователя. Дополнительные возможности: управление информацией, управление методическими пособиями, управление тестовыми заданиями, управление работами авторизованных пользователей, управление учащимися и группами.

Все перечисленные задачи целесообразно реализованы в виде контента Web-страницы по данному курсу.

В реализованном программном обеспечении электронного пособия как системы присутствуют четыре контроллера:

- Home. Отвечает за модуль информации;
- User. Отвечает за модуль аутентификации и авторизации;
- File. Отвечает за модуль работы с файлами;
- Test_List. Отвечает за модуль тестирования.

Кроме использования паттерна MVC спроектирована БД, в которой будут храниться данные для системы [11]. Структура базы данных разработана в соответствии с рис. 3.

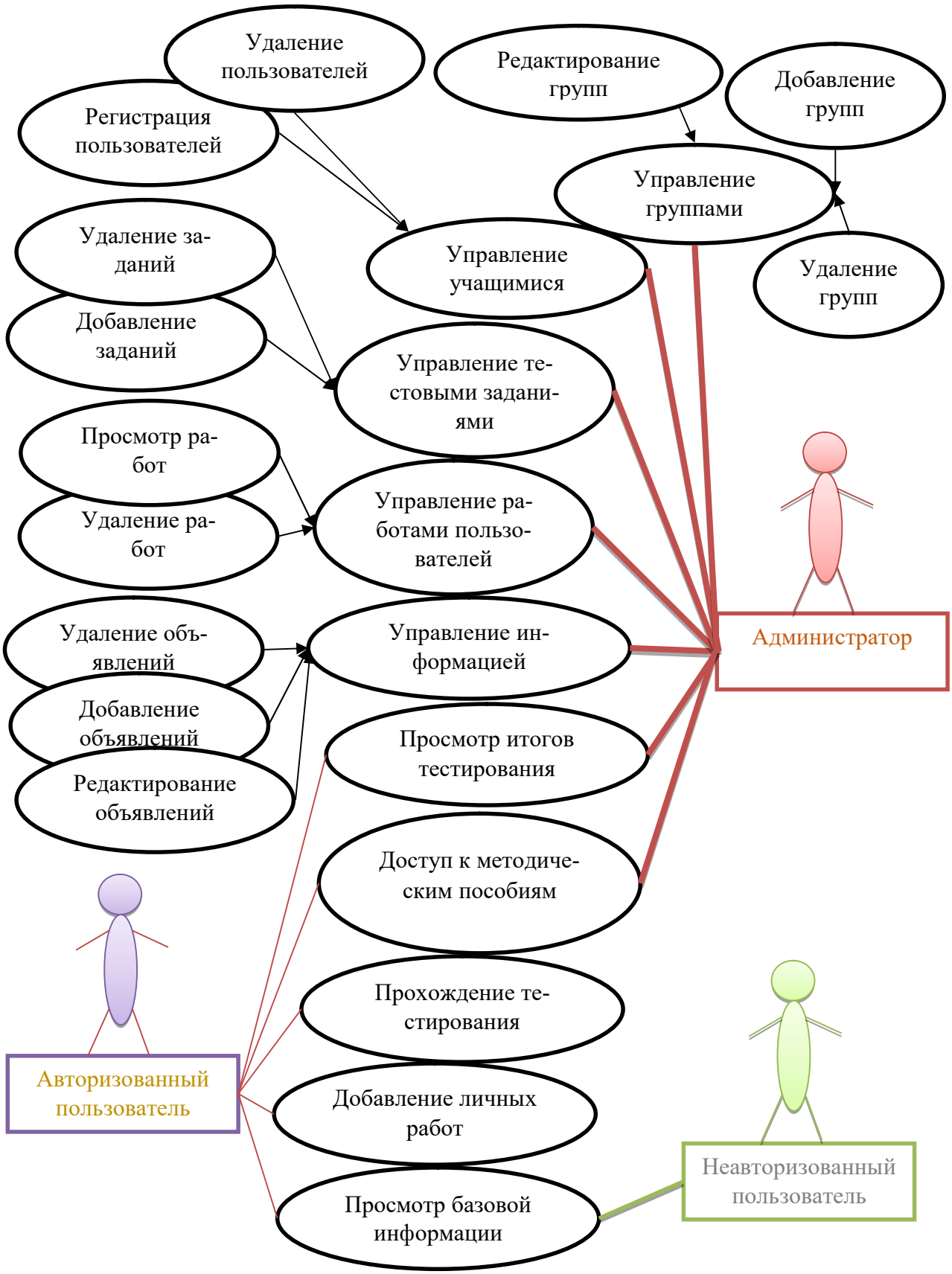


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования учебного пособия

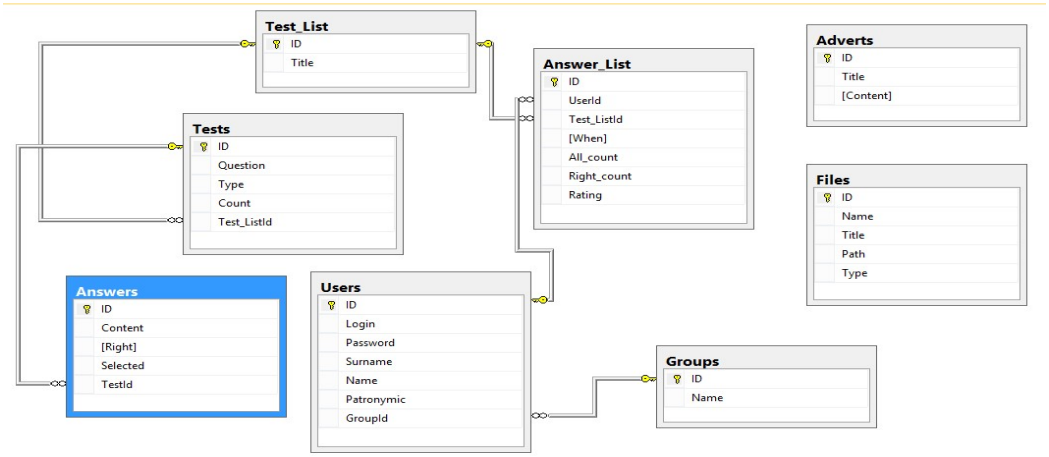


Рис. 3. Диаграмма базы данных

В приложении имеется несколько моделей-классов:

- Advert – класс объявлений;
- Answer – класс вариантов ответов для тестов;
- Answer_List – класс, хранящий информацию о пройденном тесте;
- Files – класс, представляющий информацию о файлах;
- Group – класс, реализующий информацию о группах;
- Test – класс вопроса по тестированию;
- Test_List – класс списков вопросов по тестированию;
- TutorialContext – специальный класс, обеспечивающий взаимодействие с БД;
- User – класс информации о пользователях.

Научная новизна. Результаты. Новизна и инновационный характер работы очевидны, так как в работе задействованы новые перспективные технологии разработки Web-приложений, такие как ASP.Net MVC, EntityFramework по типу CodeFirst. Они показали себя эффективными в рамках решения данной задачи.

Программное и информационное обеспечение полностью соответствует следующим требованиям:

- возможность создания тестов, хранение результатов тестирования;
- возможность администрирования;
- разделение привилегий;
- кроссплатформенность;
- загрузка файлов на сервер, скачивание файлов с сервера;
- возможность адаптировать систему под любой предмет.

Выбранная архитектура полностью была реализована и оправдала цели: система получилась гибкой как со внутренними данными курса, так и в смысле внешних данных – ее без труда можно адаптировать под другой курс или даже для другой задачи, преследующей аналогичные цели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Красильникова В.А.* Теория и технологии компьютерного обучения и тестирования. Монография – М: Дом педагогики, ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 339 с.
2. etest– система подготовки и проведения тестирования [Электронный ресурс]. URL: http://www.etest.ru. (Дата обращения: 25.09.2020).
3. О компании. [Электронный ресурс] // Компьютерные программы для образования фирмы 1С. URL: http://obr.1c.ru/read/info/about/. (Дата обращения: 10.02.2021).
4. О компании. [Электронный ресурс] // Электронное обучение для учебных заведений, системы дистанционного обучения, электронные учебные курсы. ФИЗИКОН. URL: http://physicon.ru/about/. (Дата обращения: 10.02.2021).
5. Indigo – Программа для создания тестов и онлайн тестирования студентов и сотрудников. [Электронный ресурс]. URL: http://indigotech.ru. (Дата обращения: 10.02.2021).
6. *Пешкова В.Е.* Педагогика. Часть 6. Педагогическая информатика. Курс лекций: учебное пособие / В. Е. Пешкова. – Майкоп : АГУ, 2010. – 151 с.
7. О нас – Дуолинго. [Электронный ресурс] // Duolingo. URL: https://www.duolingo.com/info. (Дата обращения: 7.02.2021).
8. Lingualeoblog [Электронный ресурс] // Lingualeo.URL: http://corp.lingualeo.com/ru/o-lingualeo/. (Дата обращения: 8.02.2021).
9. *Рыбакина Н. А.* Проблемы проектирования учебной деятельности в контексте непрерывного образования / Н. А. Рыбакина // Педагогика и психология образования. – 2016. – С. 62–71.
10. Общие сведения о ASP.NET MVC // MSDN – сеть разработчиков Майкрософт [Электронный ресурс]. URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/dd381412%28v=vs.108%29.aspx
11. SQL Server 2014 Express LocalDB // MSDN – сетьразработчиковМайкрософт [Электронныйресурс]. URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/hh510202.aspx

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.

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@sfedu.ru.

УДК 004.021

Дорофеев Александр Вадимович, Зинченко Людмила Анатольевна,
Казаков Вадим Вячеславович

ГЕНЕРАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ ДЛЯ ТЕКСТОВ НАУЧНОЙ ТЕМАТИКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ FASTTEXT

В данном докладе рассматривается задача генерации ключевых слов для текстов научной тематики с помощью модели fasttext, которая является одной из самых современных и дружелюбных для пользователя. В составе этой модели уже есть встроенный инструмент для сжатия текста, но он не позволяет возвращать более одного значения. Обычно одного слова недостаточно для описания текста, особенно научной тематики. Благодаря внедрению данного алгоритма, появляется возможность генерировать от 1 д N ключевых слов, основываясь на их смысле.

Fasttext, сжатие текста, ключевые слова, анализ текста, обработка естественного языка.

Dorofeev Alexander Vadimovich, Zinchenko Lyudmila Anatolyevna,
Kazakov Vadim Vyacheslavovich

GENERATING KEYWORDS FOR SCIENTIFIC TEXTS USING THE FASTTEXT MODEL

This article discusses the problem of generating keywords for scientific texts using the fasttext model, which is one of the most modern and user-friendly. This model already has a built-in tool for compressing text, but it does not allow you to return more than one value. Usually one word is not enough to describe the text, especially scientific topics. Thanks to the implementation of this algorithm, it becomes possible to generate from 1 to N keywords based on their meaning.

Fasttext, text embadding, keywords, text analysis, natural language processing.

Введение

В настоящее время существует множество различных моделей для анализа текста, такие как word2vec, bag of words и fasttext. Последняя из них является наиболее молодой, современной и дружелюбной для пользователя полноценной библиотекой, которая из коробки предлагает предобученные на википедии модели на 157 языках мира [1]. Также, данная библиотека имеет встроенную функцию сжатия текста. Она возвращает слово, являющееся средним вектором всех слов в тексте. Данный метод очень эффективный, но не удовлетворяет концепции ключевых слов, так как одного слово обычно недостаточно для описания научного текста. Представленный в статье алгоритм позволяет решить проблему недостаточного числа ключевых слов, составляя их основываясь на смысле и частоте употребления.

Основная часть

Концепция

Основной идеей алгоритма является разбиение слов на группы по смыслу. Изначально все слова переводятся в векторный формат, так как fasttext использует усовершенствованную версию модели word2vec. Данная технология позволяет представлять слова в виде 300-мерных векторов [2]. Векторы рассредотачиваются в пространстве с учётом смысловой близости слов. Близость рассчитывается по контексту употребления. Например, слова Самолёт и аэроплан упоминаются в статьях википедии примерно в одном значении, поэтому и векторы у них будут приблизительно одинаковые [3].

Для того чтобы понять, насколько векторы близки друг к другу, между ними берётся косинусоидальное расстояние. Иными словами, значение имеет направление векторов, а не расстояние между ними [4].

Принцип работы

Как только мы узнали все векторы слов из модели fasttext, можно посчитать семантическую схожесть каждой пары слов в тексте. Эта характеристика является основной для разбиения слов на группы. Чем больше семантическая близость приближается к единице, тем более схожая пара слов попала в сравнение.

Следующим шагом идёт разбиение на группы по близости с помощью алгоритма кластеризации k-mean, который разбивает слова по семантической близости на 3 разные группы. Группы могут быть непропорциональны по своему размеру.

Далее эти группы разбиваются на подгруппы по смыслу, так как может быть две пары слов, которые близки в своей паре, но кардинально разные между парами, поэтому их нельзя оставлять в одной группе. Примером могут быть (ромашка, роза) и (медь, металл). Слова в паре близкие, но пары совершенно разные.

В случае, если в группу попали слишком разрозненные слова, применяется повторная кластеризация, так как редкие слова тоже важны и было бы неправильно сгребать их в одну общую кучу[4].

В результате слова делятся на 3 основные группы: очень близкие по смыслу, довольно близкие и совсем не близкие. Каждая группа может содержать любое число подгрупп.

Следующим шагом по каждой подгруппе считается средний вектор и находится слово, максимально близкое к этому вектору. Чаще всего это бывает слово, уже имеющееся в тексте, но может быть и такое, что средним окажется слово, которое ранее не упоминалось.

Таким образом, нам удалось собрать усредненное по смыслу и частоте поминание множество ключевых слов.

Применение

Одно из основных направлений для применения алгоритма — генерация ключевых слов для научных текстов.

В настоящее время выпускает огромное количество научных статей на различные тематики. В статьях часто используется сложная терминология, которая осложняет процесс понимания текста. В случаях, когда требуется быстро обработать большой объём сложной информации и максимально грамотно её структурировать, не обойтись без программных средств генерации ключевых слов. Человек не всегда может обладать достаточной компетенцией в научной области статьи и не застрахован от неверной интерпретации слов. Алгоритм с этой задачей справляется быстро и без трудностей.

Таким методом можно структурировать большое количество научных текстов, в которых отсутствовали ключевые слова.

Пример работы алгоритма

Для примера возьмём статью, посвящённую программному модулю автоматизированного расчета параметров экранов защиты бортовой электронной аппаратуры от радиационного воздействия [5]. Данная статья располагает достаточным набором узкоспециализированных слов различной тематики из области физики, информационных технологий и химии. Чело-

веку достаточно сложно с большой скоростью обработать такой объём сложного текста.

Для проведения тестирования потребуется установленный язык программирования Python версии 3.9, Jupiter notebook и набор библиотек: fasttext, gensim [6], sklearn, matplotlib [7], scipy [8], numpy, pandas, itertools, pymorphy2 [9].

На рис. 1 один представлен график распределения слов по группам, на котором по оси X и У располагаются значения близости слов в диапазоне от -1 до 1, а цветами обозначены группы слов.

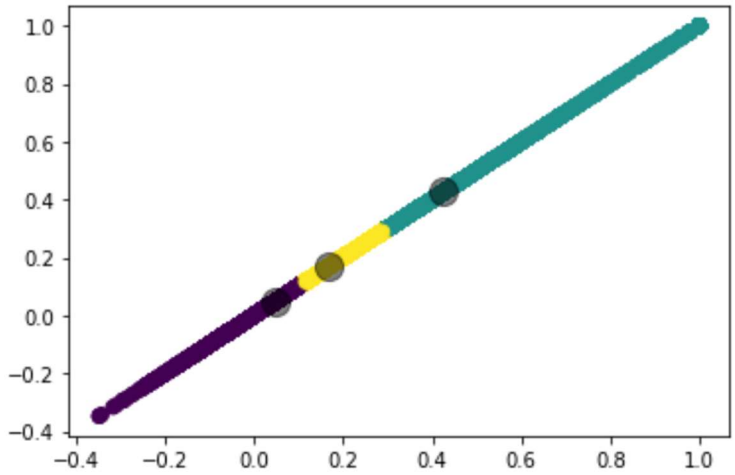


Рис. 1. График распределения слов на группы по их близости

В ходе работы алгоритма слова многократно разбиваются на группы и подгруппы, чтобы иметь возможность обобщить их единым словом, максимально точно описывающим группу.

В результате работы алгоритма получаем следующий список ключевых слов: *['файл', 'слоя', 'процессе', 'сбоям', 'анализа', 'защиты', 'сложность', 'работе', 'РФ', 'расчет', 'модуля', 'задачу', 'модуле', 'базу', 'основе', 'пул', 'числе', 'просмотрщика', 'методика', 'систему', 'меню', 'наличие', 'вывода', 'время', 'форму', 'экран']*.

В данном списке присутствуют слова, описывающие основную тему научной статьи и детали её реализации.

По списку ключевых слов можно понять, что в статье рассматривается методика анализа и расчёта многослойных экранов с помощью некого расчётного модуля, имеющего возможность ввода, вывода данных, состав-

ления пула задач для расчёта и сохранения данных в базу, что полностью соответствует тестируемой научной статье [10].

Выводы

В статье был рассмотрен метод использования модели fasttext для генерации ключевых слов по текстам научной тематики. Алгоритм удовлетворяет поставленной задаче, выделяя за две итерации список ключевых слов, составляющих 10-20% от первоначального текста. Тестирование показало, что алгоритм работает на текстах различной тематики, что делает его полностью универсальным и не зависящим от контекста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Предобученные модели fasttext URL: https://fasttext.cc/docs/en/english-vectors.html (дата посещения 05.05.2021)
2. *Mikolov Tomas, Sutskever Ilya, Chen Kai, Corrado Greg & Dean, Jeffrey*, Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality, 2013.
3. *Levy, Omer; Goldberg, Yoav*. Linguistic Regularities in Sparse and Explicit Word Representations // Proceedings of the Eighteenth Conference on Computational Natural Language Learning, Baltimore, Maryland, USA, June. Association for Computational Linguistics, 2014.
4. *Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Казаков В.В., Журавлёва Л.В., Глушко А. А., Макарчук В. В.* Использование семантических аналогов при подготовке электронной аппаратуры // Информатизация инженерного образования (ИНФОРИНО-2018) Москва, 2018.
5. *Зинченко Л.А., Казаков В.В., Миронов А.А., Дорофеев А.В., Кобылкин С.С., Соколов П.А.* Программный модуль автоматизированного расчета параметров экранов защиты бортовой электронной аппаратуры от радиационного воздействия // программные продукты и системы №2 (Т. 33), 2020.
6. Библиотека для обработки естественного языка URL: https://radimrehurek.com/gensim/ (дата посещения 13.05.2021)
7. Библиотека для построения графиков URL: https://matplotlib.org/ (дата посещения 13.05.2021)
8. Библиотека для математических расчётов URL: https://www.scipy.org/ (дата посещения 13.05.2021)
9. морфологический анализатор для русского языка URL: https://pymorphy2.readthedocs.io/en/stable/ (дата посещения 13.05.2021)
10. *Шахнов В.А., Казаков В.В., Глушко А.А., Резчикова Е.В., Цивинская Т.А., Сорокин Б.С., Соколов П.А., Фомичев П.А.* О возможности применения алгоритмов эволюционных вычислений при проектировании экранов радиацион-

ной защиты // XVII Всероссийская молодежная научно-техническая конференция "Радиолокация и связь - перспективные технологии", 2019.

Зинченко Людмила Анатольевна, д-р техн. наук, профессор московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, Россия, город Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, 105005, телефон: +7 (905) 729-93-65, email: lzinchenko@bmstu.ru.

Дорофеев Александр Вадимович, студент государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, Россия, город Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, 105005, телефон: +7 (919) 726-07-04, email: alexanderzloizebroo@gmail.com.

Казаков Вадим Вячеславович, студент государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, Россия, город Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, 105005, телефон: +7 (968) 936-97-31, email: kazakov-vadim-v@yandex.ru.

Zinchenko Lyudmila Anatolyevna, Dr. Sci., Professor, Moscow State Technical University. N.E.Bauman, Russia, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5, building 1, 105005, phone: +7 (905) 729-93-65, email: lzinchenko@bmstu.ru.

Dorofeev Alexander Vadimovich, student of the State Technical University. N.E.Bauman, Russia, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5, building 1, 105005, phone: +7 (919) 726-07-04, email: alexanderzloizebroo@gmail.com.

Kazakov Vadim Vyacheslavovich, student of the State Technical University named after V.I. N.E.Bauman, Russia, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5, building 1, 105005, phone: +7 (968) 936-97-31, email: kazakov-vadim-v @ yandex .ru.

УДК 528.526

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Голоусов Святослав Владимирович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАЛИБРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В докладе представлена теория и методика автоматизированной калибровки инерциальной навигационной системы на основе МЭМС датчиков при помощи решения оптимизационной задачи. Предложенная методика не требует высокоточного оборудования для проведения калибровки.

МЭМС, калибровка, акселерометр, гироскоп, оптимизация, автоматизация.

Chickrin Dmitry Evgenevich, Golousov Svyatoslav Vladimirovich

OPTIMIZATION BASED CALIBRATION OF MEMS NAVIGATIONAL SYSTEM

The authors present theory and methods for automated calibration of MEMS based navigation system with the use of optimization technics. Presented methods don't depend on high-precision equipment.

MEMS, calibration, accelerometer, gyroscope, optimization, automation.

Введение

Использование модулей инерциальной навигации основанных на микроэлектромеханических датчиках становится все более и более востребованным в последнее время. С ростом количества проектов по созданию беспилотного транспорта растет спрос на недорогие, точные, надежные блоки инерциальной навигации и ориентации. При этом эффективные методы автоматизации процесса калибровки датчиков, входящих в состав модуля инерциальной навигации, играют не последнюю роль.

Исследователи по всему миру занимаются вопросом калибровки акселерометров и гироскопов. Для калибровки в качестве референсных значений часто используют локальное значение гравитационного поля [1,2]. В других работах рассматривается использование поворотного стола, поддерживающего известную угловую скорость [3-7]. В работе [8] предложен вариант калибровки с помощью маятника. Автор [9] предлагает использовать магнитное поле в качестве референсного значения.

Для автоматизации процесса калибровки используют калибровочные стенды. Как правило они представляют собой поворотный стол с одной степенью свободы [3]. В других работах предлагают использовать двухосевой [10] или трехосевой [11] подвес.

В данной работе предлагается использовать автоматизированный стенд для калибровки блока инерциальной навигации при помощи механизма с тремя вращательными степенями свободы, при этом, в отличие от других работ, на точность движения не накладывается существенных ограничений.

Модель измерений

Типичная МЭМС инерциальная сборка состоит из трёх одноосевых акселерометров и гироскопов или, иначе говоря, в состав инерциальной сборки входит трехосевой акселерометр и трехосевой гироскоп. В идеальном случае оси акселерометра взаимно перпендикулярны между собой и параллельны соответствующим осям гироскопа. Однако в действительности при производстве инерциальных датчиков невозможно добиться абсолютной перпендикулярности, в связи с этим выделяют ошибки связанные с неортогональностью осей отдельного трехосевого датчика и ошибки связанные с неколлинеарностью осей акселерометра и гироскопа.

В дополнение к вышесказанному каждый одноосевой датчик также подвержен ошибкам смещения нуля и масштабирования. Помимо этого, любые измерительные приборы подвержены шумовым воздействиям разного характера [12], калибровка которых не рассматривается в данной статье.

Будем считать, что значение физической величины $\boldsymbol{\theta}_{\text{ист}}$ показания трехосевого датчика $\boldsymbol{\theta}_{\text{изм}}$ связаны соотношением:

$$\boldsymbol{\theta}_{\text{изм}} = \mathbf{T}\boldsymbol{\theta}_{\text{ист}} + \mathbf{b} + \mathbf{n}, \tag{1}$$

где $\boldsymbol{\theta}_{\text{изм}}$ – вектор 3x1 показаний датчика, $\boldsymbol{\theta}_{\text{ист}}$ – вектор 3x1 истинного значения физической величины, $\mathbf{T}$ – матрица 3x3 описывающая неортонормированность осей датчика, $\mathbf{b}$ – вектор 3x1 смещения нуля и $\mathbf{n}$ – шумы датчика.

Введем систему координат $Axyz$, оси которой направлены по осям акселерометра и аналогично систему координат $Gxyz$ для осей гироскопа. В дополнении к этим неортогональным системам координат введем ортогональную $A^{O}xyz$ по следующим правилам:

1) ось x совместим с осью x неортогональной системы координат $Axyz$;

2) ось y направим в плоскости xy неортогональной системы координат $Axyz$;

3) ось z направим так, чтобы полученная система координат была правой.

Будем предполагать, что калибровочные параметры акселерометра известны и далее будем работать с откалиброванными показаниями акселерометра.

Как правило, отклонения между осями ортогональной и соответствующими осями неортогональных систем координат составляет доли граду-

са. В этом случае вектор $\boldsymbol{\omega}^{O}$ выраженный в системе координат $A^{O}xyz$ приближенно в проекциях на оси системы координат $Gxyz$ можно записать в следующем виде:

$$\boldsymbol{\omega} = \mathbf{S}^{G} \cdot \boldsymbol{\omega}^{O},\ \mathbf{S}^{G} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma_{xz} & \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} & 1 & \gamma_{yx} \\ \gamma_{zy} & \gamma_{zx} & 1 \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Полная модель измерений:

$$\boldsymbol{\omega}_{изм} = \mathbf{M}^{G}\mathbf{S}^{G}\boldsymbol{\omega}_{ист} + \mathbf{b}^{G} + \mathbf{n}^{G},$$

$$\mathbf{M}^{G} = \begin{bmatrix} m_x^G & 0 & 0 \\ 0 & m_y^G & 0 \\ 0 & 0 & m_z^G \end{bmatrix},\ \mathbf{b}^{G} = \begin{bmatrix} b_x^G \\ b_y^G \\ b_z^G \end{bmatrix}. \qquad (3)$$

Калибровка трехосевого гироскопа

Для нахождения $\mathbf{b}^{G}$ воспользуемся тем фактом, что в неподвижном положении угловая скорость равна нулю. Также будем считать, что ошибки измерения заключенные в векторе $\mathbf{n}^{G}$ имеют нулевое математическое ожидание. Тогда:

$$\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{\omega}_{изм,i} = \sum_{i=1}^{N}(\mathbf{M}^{G}\mathbf{S}^{G}\boldsymbol{\omega}_{ист,i} + \mathbf{b}^{G} + \mathbf{n}_i^{G}) = \sum_{i=1}^{N}\mathbf{b}^{G} + \sum_{i=1}^{N}\mathbf{n}_i^{G} = N\mathbf{b}^{G}\ , \qquad (4)$$

где i – номер измерения, N – количество измерений. Следовательно:

$$\mathbf{b}^{G} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{\omega}_{изм,i}\ . \qquad (5)$$

Оставшиеся девять калибровочных параметров гироскопа $\boldsymbol{\theta}$ будем искать с помощью численной оптимизации. Пусть функция Ω на основании последовательных измерений угловой скорости $\boldsymbol{\omega}_i$ между начальным и конечным моментами времени ($t_н$ и $t_к$) вычисляет положение системы координат в конечный момент времени относительно начального момента времени. Тогда:

$$\mathbf{a}(t_к) = \Omega([\boldsymbol{\omega}_i]_{i=1}^{N})\mathbf{a}(t_н)\ . \qquad (6)$$

Рассмотрим непрерывный участок измерений. Пусть в моменты времени $t_0,\ldots,t_N$, инерциальная сборка находится в состоянии покоя. Тогда:

$$\begin{gathered} \mathbf{a}_0 = \mathbf{a}(t_0), \\ \mathbf{a}_0(t_k) = \mathbf{a}(t_k), \\ \|\mathbf{a}_{ист}(t_k)\| = \|\mathbf{g}\|, \quad k = 0,\ldots,N \end{gathered}\ . \qquad (7)$$

Определим функцию штрафа и задачу оптимизации следующим образом:

$$\min_{\boldsymbol{\theta}} H(\boldsymbol{\theta}),$$
$$H(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{k=1}^{N} \|\mathbf{a}_0(t_k) - \mathbf{a}_{ист}(t_k)\|^2 . \quad (8)$$

В качестве начальной оценки $\boldsymbol{\theta}$ будем использовать параметры, соответствующие идеальному случаю $\boldsymbol{\theta}_0 = [1,1,1,0,0,0,0,0,0]$.

Сбор данных для калибровки

Алгоритм сбора данных для калибровки гироскопа может быть описан следующими параметрами $\Delta t^G_{вр}$, $\Delta t^G_{п}$, $N^G_{изм}$. Параметры в данной работе равны 2 секундам, 5 секундам и 45 измерениям соответственно.

1. Установить все положения моторов в нулевое положение. Начать запись данных.

2. Случайным образом выбрать угловые скорости для всех трех моторов.

3. В течение $\Delta t^G_{вр}$ секунд вращать моторы с рассчитанной угловой скоростью. Остановить моторы.

4. В течение $\Delta t^G_{п}$ секунд удерживать моторы в текущем положении.

5. Если количество циклов вращений и измерений достигло $N^G_{изм}$ – закончить запись данных, иначе вернуться к пункту 2.

Результаты калибровки

В данной работе для проверки алгоритмов была произведена калибровка датчиков NXP FXAS21002CQ и NXP FXOS8700CQ. В соответствии с описанной методикой были собраны данные для калибровки.

На рис. 1 представлены графики показаний акселерометра до и после калибровки. Зеленым показаны истинные значения, полученные в результате прямого измерения ускорения покоя. Красным и синим показаны значения ускорения покоя в результате поворота начального вектора ускорения покоя на углы, полученные в результате интегрирования показаний гироскопа. Для линий красного цвета используются некалиброванные показания гироскопа, для линий синего цвета – калиброванные.

Из представленных на рис. 1 графиков видно, что показания гироскопов без калибровки вносят существенную ошибку в итоговое измерение ускорения. В то же время при использовании калиброванных показаний гироскопа отличие полученных данных от истинных становится незначительным.

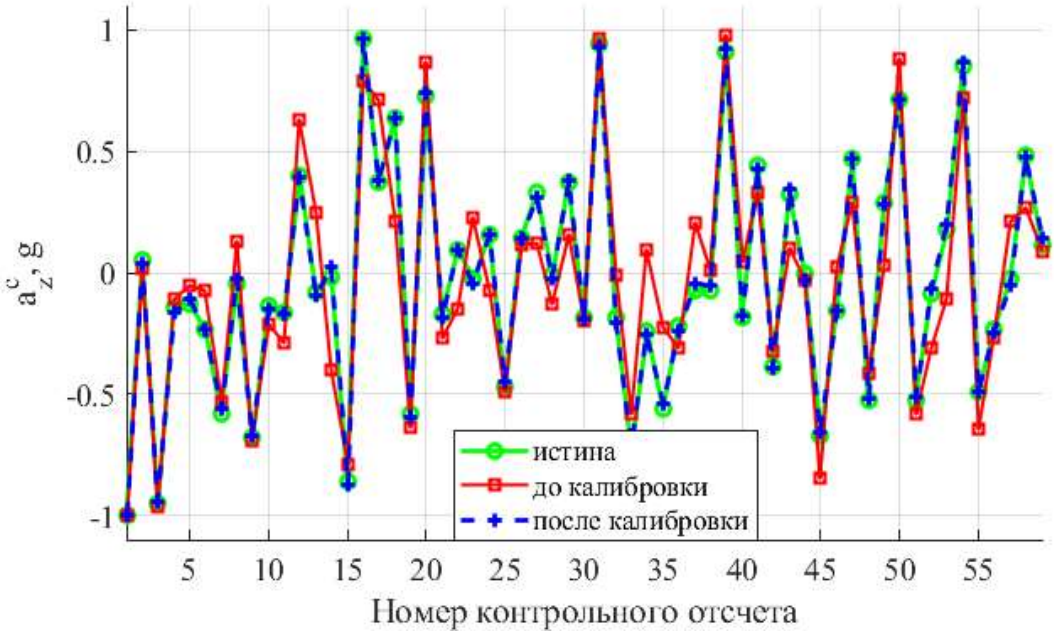


Рис 1. Сопоставление данных до и после калибровки для оси z акселерометра

Выводы

Авторами данной работы представлен алгоритм калибровки модулей инерциальной навигации, а также предложен способ автоматизации процесса сбора данных для калибровки. В отличие от существующих методов калибровки, использующих в качестве референсных значений известное значение угловой скорости поворотного стола, для метода предложенного в данной работе достаточно удерживать датчик в неподвижном положении. Полученные при помощи предложенного метода калибровочные параметры были проверены на контрольном наборе измерений. Полученные результаты свидетельствуют о состоятельности предложенного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Analyses of triaxial accelerometer calibration algorithms / M. Sipos [и др.] // IEEE Sensors Journal. 2011. Т. 12. №. 5. С. 1157-1165.
2. A new multi-position calibration method for MEMS inertial navigation systems / Z. F. Syed [и др.] // Measurement science and technology. 2007. Т. 18. №. 7. С. 1897.
3. Wang S., Meng N. A new Multi-position calibration method for gyroscope's drift coefficients on centrifuge // Aerospace Science and Technology. 2017. Т. 68. С. 104-108.
4. A novel tri-axial MEMS gyroscope calibration method over a full temperature range / H. Yang [и др.] //Sensors. 2018. Т. 18. №. 9. С. 3004.

5. Error analysis and compensation of MEMS rotation modulation inertial navigation system / Y. Jia [и др.] // IEEE Sensors Journal. 2018. Т. 18. №. 5. С. 2023-2030.
6. A comparative study of gravitational acceleration cancellation from on-rotor MEMS accelerometers for condition monitoring / Z. Mones [и др.] // 24th International Congress on Sound and Vibration. – International Institute of Acoustics and Vibration, IIAV, 2017.
7. High-efficiency low-cost accelerometer-aided gyroscope calibration / A. Olivares [и др.] //2009 International Conference on Test and Measurement. IEEE, 2009. Т. 1. С. 354-360.
8. *Choi K. Y., Jang S., Kim Y. H.* Calibration of inertial measurement units using pendulum motion / /International Journal of Aeronautical and Space Sciences. 2010. Т. 11. №. 3. С. 234-239.
9. *Wu Y., Pei L.* Gyroscope calibration via magnetometer // IEEE Sensors Journal. 2017. Т. 17. №. 16. С. 5269-5275.
10. Automatic calibration of low cost inertial gyroscopes with a PTU / J. V. Delgado [и др.] // 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). – IEEE, 2016. – С. 121-125.
11. *Madgwick S. O. H.* Automated calibration of an accelerometers, magnetometers and gyroscopes-a feasibility study // Tehc Rep, x-io Technologies Limited, Bristol, UK. 2010.
12. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации / М. А. Литвин [и др.] // Информационные процессы. 2014. Т. 14. №. 4. С. 326-339.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, директор Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета, Россия, город Казань, ул. Кремлевская, д. 18, 420008, телефон: +7 (917) 27-27-100, email: dmitry.kfu@gmail.com.

Голоусов Святослав Владимирович, аспирант Института Физики Казанского Федерального Университета, Россия, город Казань, улица Кремлевская 16а, 420008, телефон: +7 (999) 164-06-05 email: sgolousov@gmail.com.

Chickrin Dmitry Evgenevich, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Docent, Director of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies of the Kazan Federal University, 420008, Russia, Kazan, 18 Kremlyovskaya street, phone: +7 (917) 27-27-100, email: dmitry.kfu@gmail.com.

Golousov Svyatoslav Vladimirovich, Institute of Physics, KFU, 420008, Russia, Kazan, 16a Kremlyovskaya street, phone: +7 (999) 164-06-05, email: sgolousov@gmail.com.

УДК 519.8, 004.942

Масаев Сергей Николаевич

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОПИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КОМПЕТЕНЦИЯМИ ТРУДОУСТРОЕННЫХ ВЫПУСКНИКОВ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

В работе деятельность предприятия рассматривается как динамическая система. При оценке работ по управлению динамической системой не обнаружено универсального метода для интегральной оценки результата ее работы, взаимосвязанности элементов и влияния факторов внешней среды в зависимости от использования компетенций выпускников высших учебных заведений. В настоящей работе, для анализа, применен метод интегральных показателей. Алгоритм выполнен в авторском комплексе программ по 1,2 млн. значений. Исследование показало существенные изменения значений интегрального показателя, характеризующего состояния динамического объекта, в зависимости от режимов управления. Выполнена оценка внедрения в контур управления динамическим объектом синтаксиса принятия решений такого как компетенции выпускников Сибирского Федерального Университета.

Теория управления, динамическая система, параметры внешней среды, режим интегральные показатели, компетенция выпускников, Сибирский Федеральный Университет.

Masaev Sergei Nikolaevich

ALGORITHM OF CONTROL THE DIGITAL COPY OF THE ENTERPRISE WITH COMPETENCE EMPLOYED GRADUATES OF SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY AS A PROBLEM CONTROL DYNAMIC SYSTEM

In the work of the enterprise is considered as a dynamic system. When evaluating the work on managing a dynamic system, a universal method was not found for an integrated assessment of the result of its work, the interconnectedness of elements and the influence of environmental factors, depending on the use of competencies of graduates of higher educational institutions. In this paper, for analysis, the method of integral indicators is used. The algorithm was implemented in the author's program complex for 1.2 million values. The study showed significant changes in the values of the

integral indicator characterizing the state of a dynamic object, depending on the control modes. An assessment of the implementation of the decision-making syntax, such as the competence of graduates of the Siberian Federal University, into the control loop of a dynamic object is carried out.

Control theory, dynamic system, environmental parameters, integral indicators mode, Alumni Competency, Siberian Federal University.

Введение

В теории управления деятельность экономического объекта, как системы, изучается различными способами: межотраслевыми балансами, векторным, параметрическим и нейросетевым моделированием, агентным подходом и т.д. при этом контур управления компетенциями трудоустроенных выпускников Сибирского Федерального Университета (далее СФУ) или других высших учебных заведений, в таких подходах, не идентифицирован как отдельный объект для изучения. Одна из причин в том, что параметры, раскрывающие задействования компетенций СФУ или другого учебного заведения дающего высшее образования, не сопоставлялись с должностными обязанностями и профессиями, которые необходимы на предприятии. В рамках изучения предприятия, как динамической системы, нет формализованного подхода, поэтому выявить и интерпретировать в них какие-либо закономерности сложно. По данным Росстата 60% населения работает не по специальности, поэтому актуально оценить применение на практике компетенций выпускников высших учебных заведений на предприятиях с различными режимами деятельности и учетом влияния параметров внешней среды.

Классическими подходами в вопросах анализа подобных систем являются работы следующих авторов: В. В. Леонтьев [1], Л. В. Канторович [2], А. Г. Гранберг, А. Г. Аганбегян, В. Ф. Кротов [3] и др. [4]. В 2009 г. автором статьи были предложены интегральные показатели для определения финансового кризиса 2008 года на основе метода корреляционной адоптометрии. В 2013 г. интегральные показатели использованы как отдельный метод, позволяющие охарактеризовать деятельность предприятия в различных условиях работы и учесть взаимосвязи его элементов. Интегральный показатель будет использован в статье.

Целью статьи: оценить состояние экономического объекта как многомерную динамическую систему в базовом режиме и режиме управления

им, через компетенции выпускников Сибирского Федерального Университета с неизвестными параметрами внешней среды.

Основная часть

Алгоритм расчета.

1 этап. ЭВМ № 2013614410. Выполнение процессов фиксируется как $x^i(t)$. Зафиксированные процессы $x(t)=\left[x^1(t),x^2(t),...,x^n(t)\right]^T \in X$ образуют пространство X, где n - количество процессов, $T=\{t:t=1,...,T_{\max}\}$ - период анализа. Идентификация процессов выполняется запатентованным способом [5]. Смоделированное предприятие представляем цифровой копией как многомерную динамическую систему $S=\{T,X\}$, Высчитываем интегральные показатели системы характеризующие ее состояние $G = \sum_{t=1}^{T=\max}\sum_{i=1}^{n} G_i(t)$, $R_i(t)=G_i(t)=\sum_{j=1}^{n}\left|r_{ij}(t)\right|$, $R_k(t)=\frac{1}{k-1}\overset{o}{X}{}_k^T(t)\overset{o}{X}_k(t)=\left\|r_{ij}(t)\right\|$, где k - глубина расчета (в статье k=6 месяцев) [6], $r_{ij}(t)$ - коэффициенты корреляции переменных $x^i(t)$ и $x^j(t)$ в момент времени t. Если идентифицированная система характеризует объект исследования, то выполняем этап 2, иначе выполняем 1 этап.

2 этап. ЭВМ № 2017616973. В идентифицированной системе выбираем метод управления V. Метод управления задан через список компетенций выпускников СФУ v_i^j. Управлением определяется вектором значений $v(t)=\left[v^1(t),v^2(t),...,v^n(t)\right]^T \in V$ - n - размерностью. Показатель V равен G и рассчитывается как $V = \sum_{t=1}^{T=\max}\sum_{i=1}^{n} V_i^k(t)$. Задаем целевую функцию $V_i^k=\sum_{i=1}^{n} v_i^j(x_j^i)\to\min$. Деятельность системы ограничена ресурсами C, тогда $V(X)\le C$. Все подпроцессы системы имеют такое же ограничение. Если выбранный метод управления охватывает все процессы, то выполняем этап 3, иначе повторяем выполнение этапа 2. Управление системой возможно и без описания $x^i(t)$ через контур управления. Если система идентифицирована верно с нашей точки зрения, то выполняем этап 3, иначе 1 этап.

3 этап. ЭВМ № 2008610295. Проверяем управление на оптимальность [7]. Если решение не оптимально, по заданным целевым функциям

$V_i^k = \sum_{i=1}^{n} v_i^j(x_j^i) \to \min$ и не устраивает нас, то возвращаемся на этап 1, иначе переходим к этапу 4.

4 этап. ЭВМ № 2017616970. Оцениваем эффективность управляющих воздействий. Если эффективность нас не устраивает, то задаем новые управляющие воздействия со руководства предприятия и переходим к этапу 1, иначе конец алгоритма.

Объект исследования

Предприятие, используемое в качестве примера (как динамический объект) характеризуется производственными, обслуживающими и административными процессами. Производственные процессы включат в себя все технологические процессы на которые задействуются основные средства, рабочие, товарно-материальные ценности. Вспомогательные процессы включат в себя основные средства, работников, товарно-материальные ценности задействованные на поддержания основных процессов производства. Административные процессы включат в себя основные средства, дополнительные ресурсы направленные на управление всеми процессами предприятия. Полностью цифровая копия данного предприятия описана в отдельной работе [6].

На данном предприятии внедряется контур управления через компетенции выпускников по специальностям СФУ. Специальности регулируются приказом Министерства образования и науки РФ от 12 сентября 2013 г. N 1061 "Об утверждении перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования" (с изменениями и дополнениями).

Моделирование

Размерность динамической системы S – 1,2 млн. значений. Метод контура управления V – компетенции выпускников по специальностям СФУ. Расход ресурса в обычном режиме – 5 641 442 тыс. руб. С 7 периода, на постоянную работу, вводится менеджер по персоналу для ведения выбранного синтаксиса управления на предприятии (динамической системе). Время выполнения алгоритма моделирования – 412 минут.

Результат оценки режима управления S через компетенции выпускников по специальностям СФУ на рис. 1.

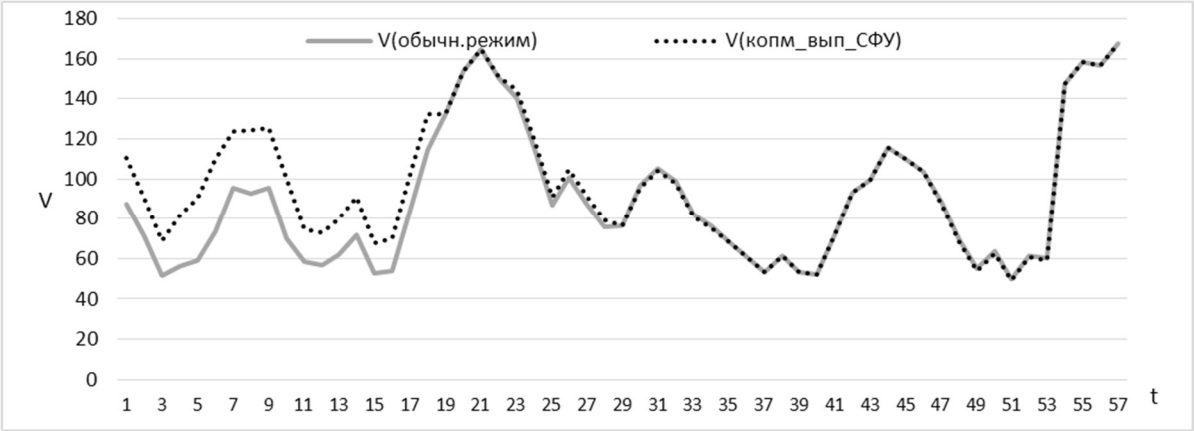


Рис. 1. Динамика параметра $V_i\ (t)$

Выводы

Дополнительный расход ресурсов (заработная плата, командировки, обучение, налоги, канцелярия, связь) на внедрение метода управления динамической системой через компетенции выпускников по специальностям СФУ составит 34 363 тыс. руб.

Методом интегральных показателей выполнена оценка режимов работы цифровой копии предприятия как динамической системы: первый режим $V^k_{обычн_режим}$ – 5 069,9 единиц и второй режим после внедрения управления через компетенции выпускников по специальностям СФУ $V^k_{комп_вып_СФУ}$ – 5 491,3. Следовательно, оценка перехода на управление объектом через компетенции выпускников по специальностям СФУ оценивается как $\Delta V = V^k_{комп_вып_СФУ} - V^k_{обычн_режим}$=421,4. Цель статьи достигнута.

Данный подход был применен для расчета 28 режимов управления по различным методам: цели, стратегии, стандарт информационной безопасности BS 7799-3-2006, V-modell, Hermes, VZPM, PRINCE2, DIN69901, Bsi, Межгосударственная система стандартов, CAN-CSA, ANCSPM, Solow, PROMAT, P2M, жизненные циклы предприятия Ицхака Адизеса, Сто правил НАСА, должностные инструкции, Универсальные компетенции, Таксономия Блума, Дублинские Дескрипторы, Квалификационные Европейские Рамки, Национальные Квалификационные Рамки, компетенции IPMA, компетенции PMBoK, компетенции P2M, компетенции Hermes и др. [8-10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Канторович Л.В.* Математико-экономические работы. Новосибирск: Наука, 2011. 760 с.

2. *Кротов В.Ф.* Основы оптимального управления // М.: Высшая школа. 1990. 430 с.
3. *Leontief W.W.* The Structure of American Economy, 1919-1939. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1941.
4. *Кулакова Ю.И.* Адаптивное бюджетирование в системе стратегического управления строительным предприятием: магистерская диссертация: 38.04.01 / Ю. И. Кулакова. — Красноярск: СФУ 2014.
5. Патент № 2741138 C1 Российская Федерация, МПК G05B 19/00, G06F 17/10. Способ идентификации объекта как системы : № 2019143313 : заявл. 23.12.2019 : опубл. 22.01.2021 / С. Н. Масаев.
6. *Masaev S.N.* Depth of Planning the State of a Dynamic Discrete System by Autocorrelation Function // 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020, Sochi, 06–12 сентября 2020 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 989-993.
7. *Bellman R.* Dynamic programming, Princeton University Press, New Jersey, 1957.
8. *Масаев С.Н.* Концепция построения структуры управления динамической системой // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 40-46. – DOI 10.17586/0021-3454-2021-64-1-40-46.
9. *Масаев С.Н.* Идентификация объекта как системы на основе интегральных показателей // Информатизация и связь. – 2020. – № 6. – С. 65-67.
10. *Масаев С.Н.* Алгоритм оценки состояния системы (санкции, HR, TQM, PMBOK, COVID-19, пожарная безопасность) методом интегральных показателей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – № 1. – С. 36-48. – DOI 10.24143/2072-9502-2021-1-36-48.

Масаев Сергей Николаевич, доцент, кандидат технических наук, Сибирский федеральный университет Российская федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82, email: faberi@list.ru.

Masaev Sergei Nikolaevich, assistant professor, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Siberian Federal University, 79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, email: faberi@list.ru.

УДК 519.8, 004.942

Масаев Сергей Николаевич

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОПИЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ПОЗНОВАТЕЛЬНЫМИ СПОСОБНОСТЯМИ ПЕРСОНАЛА (ТАКСОНОМИЯ Б. БЛУМА) КАК ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

В работе деятельность предприятия рассматривается как динамическая система. При оценке работ по управлению динамической системой не обнаружено универсального метода для интегральной оценки результата ее работы, взаимосвязанности элементов и влияния факторов внешней среды в зависимости от использования познавательных способностей персонала предприятия (таксономии Блума). В настоящей работе, для анализа, применен метод интегральных показателей. Алгоритм выполнен в авторском комплексе программ по 1,2 млн. значений. Исследование показало существенные изменения значений интегрального показателя, характеризующего состояния динамического объекта в зависимости от режимов управления. Выполнена оценка внедрения в контур управления динамическим объектом синтаксиса познавательных способностей персонала.

Теория управления, динамическая система, параметры внешней среды, режим интегральные показатели, познавательные способности персонала, Блум.

Masaev Sergei Nikolaevich

ALGORITHM OF CONTROL DIGITAL THE ENTERPRISE FOR KNOWLEDGE OF PERSONNEL'S ABILITIES (B. BLOOM TAXONOMY) AS A DYNAMIC SYSTEM CONTROL PROBLEM

In the work of the enterprise is considered as a dynamic system. When evaluating the work on managing a dynamic system, a universal method was not found for an integrated assessment of the result of its work, the interconnectedness of the elements and the influence of environmental factors depending on the use of cognitive abilities of the enterprise personnel (Bloom's taxonomy). In this paper, for analysis, the method of integral indicators is used. The algorithm was implemented in the author's program complex for 1.2 million values. The study showed significant changes in the values of the integral indicator characterizing the state of a dynamic object depending on con-

trol modes. An assessment is made of the implementation of the syntax of the cognitive abilities of personnel in the control loop of a dynamic object.

Control theory, dynamic system, environmental parameters, integral indicators mode, staff cognitive abilities, taxonomy Bloom.

Введение

В теории управления деятельность экономического объекта, как системы, изучается различными способами: межотраслевыми балансами, векторным, параметрическим и нейросетевым моделированием, агентным подходом и т.д. при этом контур управления познавательными способностями персонала не идентифицирован как отдельный объект для изучения. Таксономия – это система учебных целей для познания обучающимся. Проблема в том, что параметры, раскрывающие познавательные способности персонала [1, 2] остаются без учета из-за определенных сложностей. В рамках изучения предприятия, как динамической системы, нет формализованного подхода к прогнозу познавательной способности персонала предприятия, поэтому выявить и интерпретировать в них какие-либо закономерности сложно.

Классическими подходами в вопросах анализа подобных систем являются работы следующих авторов: В. В. Леонтьев и Л. В. Канторович [3], А. Г. Гранберг, А. Г. Аганбегян, В. Ф. Кротов [4] и др. В 2009 г. автором статьи были предложены интегральные показатели для определения финансового кризиса 2008 года на основе метода корреляционной адоптометрии. В 2013 г. интегральные показатели использованы как отдельный метод, позволяющие охарактеризовать деятельность предприятия в различных условиях работы и учесть взаимосвязи его элементов. Интегральный показатель будет использован в статье.

Таксономия Б. Блума разработана его группой в 1956 г. и предложена для оценки практических навыков обучающихся [1].

Цель статьи: оценить состояние экономического объекта как многомерной динамической системы в базовом режиме работы и режиме управления им, через познавательные способности персонала (таксономия Б. Блума) с неизвестными параметрами внешней среды.

Основная часть

Алгоритм расчета.

1 этап. ЭВМ № 2013614410. Выполнение процессов фиксируется как $x^i(t)$. Зафиксированные процессы $x(t)=\left[x^1(t),x^2(t),...,x^n(t)\right]^T \in X$ образуют

пространство X, где n - количество процессов, $T=\{t:t=1,...,T_{\max}\}$ - период анализа. Идентификация процессов выполняется запатентованным способом [5]. Смоделированное предприятие представляем цифровой копией как многомерную динамическую систему $S=\{T,X\}$, Высчитываем интегральные показатели системы характеризующие ее состояние $G=\sum_{t=1}^{T=\max}\sum_{i=1}^{n}G_i(t)$, $R_i(t)=G_i(t)=\sum_{j=1}^{n}\left|r_{ij}(t)\right|$, $R_k(t)=\frac{1}{k-1}\overset{o}{X}{}_k^T(t)\overset{o}{X}{}_k(t)=\left\|r_{ij}(t)\right\|$, где k - глубина расчета (в статье k =6 месяцев), $r_{ij}(t)$ - коэффициенты корреляции переменных $x^i(t)$ и $x^j(t)$ в момент времени t. Если идентифицированная система характеризует объект исследования, то выполняем этап 2, иначе выполняем 1 этап.

2 этап. ЭВМ № 2017616973. В идентифицированной системе выбираем метод управления V. Метод управления задан методом таксономии Блума v_i^j. Управлением определяется вектором значений $v(t)=\left[v^1(t),v^2(t),...,v^n(t)\right]^T\in V$ - n - размерностью. Показатель V равен G и рассчитывается как $V=\sum_{t=1}^{T=\max}\sum_{i=1}^{n}V_i^k(t)$. Задаем целевую функцию $V_i^k=\sum_{i=1}^{n}v_i^j(x_j^i)\to\min$. Деятельность системы ограничена ресурсами C, тогда $V(X)\le C$. Все подпроцессы системы имеют такое же ограничение. Если выбранный метод управления охватывает все процессы, то выполняем этап 3, иначе повторяем выполнение этапа 2. Управление системой возможно и без описания $x^i(t)$ через контур управления. Если система идентифицирована верно с нашей точки зрения, то выполняем этап 3, иначе 1 этап.

3 этап. ЭВМ № 2008610295. Проверяем управление на оптимальность [6]. Если решение не оптимально, по заданным целевым функциям $V_i^k=\sum_{i=1}^{n}v_i^j(x_j^i)\to\min$ и не устраивает нас, то возвращаемся на этап 1, иначе переходим к этапу 4.

4 этап. ЭВМ № 2017616970. Оцениваем эффективность управляющих воздействий. Если эффективность нас не устраивает, то задаем новые управляющие воздействия со руководства предприятия и переходим к этапу 1, иначе конец алгоритма.

Объект исследования

Предприятие, используемое в качестве примера (как динамический объект) характеризуется производственными, обслуживающими и административными процессами. Производственные процессы включат в себя все технологические процессы на которые задействуются основные средства, рабочие, товарно-материальные ценности. Вспомогательные процессы включат в себя основные средства, работников, товарно-материальные ценности задействованные на поддержания основных процессов производства. Полностью цифровая копия данного предприятия описана в отдельной работе [7].

На данном предприятии внедряется контур управления через познавательные способности персонала (таксономия Б. Блума): оценка, синтез, анализ, использование, понимание, знание [1, 2].

Моделирование

Размерность динамической системы S – 1,2 млн. значений. Синтаксис контура управления V – познавательная способность персонала. Расход ресурса в обычном режиме – 5 641 442 тыс. руб. С 7 периода нанимается три менеджера по персоналу в соответствие с направлениями деятельности предприятия для ведения выбранного синтаксиса управления на предприятии (динамической системе). Через 6 периодов менеджеры освобождаются от должностей. Время выполнения алгоритма моделирования – 417 минут.

Результат оценки режима управления S через познавательные способности персонала на рис. 1.

Рис. 1. Динамика параметра $V_i\ (t)$

Выводы

Дополнительный расход ресурсов (заработная плата, командировки, обучение выбранному синтаксису управления, налоги, канцелярия, связь)

на внедрение синтаксиса управления динамической системой по таксономии Б. Блума составит 16 045 тыс. руб. Общие затраты предприятия составят 5 659 760 тыс. руб.

Методом интегральных показателей выполнена оценка режимов работы экономического объекта как динамической системы: первый режим $V^k_{обычн_режим}$ – 5 069,93 единиц и второй режим после внедрения управления таксономии Б. Блума $V^k_{Блум}$ – 5 491,18. Следовательно, оценка перехода на управление объектом через таксономию Б. Блума оценивается как $\Delta V = V^k_{Блум} - V^k_{обычн_режим}$=421,25. Цель статьи достигнута.

Данный подход был применен для расчета 28 режимов управления по различным методам: цели, стратегии, стандарт информационной безопасности BS 7799-3-2006, V-modell, Hermes, VZPM, PRINCE2, DIN69901, Bsi, Межгосударственная система стандартов, CAN-CSA, ANCSPM, Solow, PROMAT, P2M, жизненные циклы предприятия Ицхака Адизеса, Сто правил НАСА, должностные инструкции, компетенции выпускников СФУ, Универсальные компетенции, Дублинские Дескрипторы, Квалификационные Европейские Рамки, Национальные Квалификационные Рамки, компетенции IPMA, компетенции PMBoK, компетенции P2M, компетенции Hermes и др. [8-10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bloom B.S. and Krathwohl D. R.* (1956) Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, by a committee of college and university examiners. Handbook I: Cognitive Domain. NY, NY: Longmans, Green
2. *Anderson J.W., Krathwhol D. R., Airasia P. W.* A Taxanomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of education. New York, 2003. 336 p.
3. *Канторович Л.В.* Математико-экономические работы. Новосибирск: Наука, 2011. 760 с.
4. *Кротов В.Ф.* Основы оптимального управления // М.: Высшая школа. 1990. 430 с.
5. Патент № 2741138 C1 Российская Федерация, МПК G05B 19/00, G06F 17/10. Способ идентификации объекта как системы : № 2019143313 : заявл. 23.12.2019 : опубл. 22.01.2021 / С. Н. Масаев.
6. *Bellman R.* Dynamic programming, Princeton University Press, New Jersey, 1957.
7. *Глушач А.А.* Механизмы управления финансовой эффективностью производственной логистики резидента особых экономических зон: магистерская диссертация [Электронный ресурс]: 38.04.01 / А.А. Глушач. — Красноярск:

СФУ 2019, URL: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/112513/glushach_razmeshchenie.pdf?sequence=1
8. *Масаев С.Н.* Концепция построения структуры управления динамической системой // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 40-46. – DOI 10.17586/0021-3454-2021-64-1-40-46.
9. *Масаев С.Н.* Идентификация объекта как системы на основе интегральных показателей // Информатизация и связь. – 2020. – № 6. – С. 65-67.
10. *Масаев С.Н.* Алгоритм оценки состояния системы (санкции, HR, TQM, PMBOK, COVID-19, пожарная безопасность) методом интегральных показателей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – № 1. – С. 36-48. – DOI 10.24143/2072-9502-2021-1-36-48.

Масаев Сергей Николаевич, кандидат технических наук, Сибирский федеральный университет Российская федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 82, email: faberi@list.ru.

Masaev Sergei Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Siberian Federal University, 79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, email: faberi@list.ru.

УДК 519.711

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Егорчев Антон Александрович,
Созутов Илья Георгиевич

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ V-ОБРАЗНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ ADAS

В статье описывается иерархический комбинированный подход (M-Vee) к созданию и модификации сложных аппаратно-программных систем высокой степени надежности. Данный подход основывается на совмещении расширенной V-образной модели проектирования сложных систем и теории иерархических многоуровневых систем Месаровича. Итоговый подход представляет собой V-образную схему проектирования с использованием категорийно-понятийного аппарата многоуровневых иерархических структур типа страты-слои-эшелоны. Применение подхода рассматривается на примере систем автоматизированного управления автомобилем - систем ADAS.

Система ADAS, M-Vee, V-образная модель, система Месаровича, система помощи водителю, система автопилотирования, беспилотный транспорт, ар-

хитектура системы беспилотного транспорта, иерархическая структура системы.

Chickrin Dmitry Evgenevich, Egorchev Anton Aleksandrovich,
Sozutov Ilia Georgievich

ADAS ENGINEERING: M-VEE APPROACH

The article describes a hierarchical hybrid approach (M-Vee) to the development and modification of high reliability complex hardware and software systems.

This approach is based on combining the extended V-shaped model of designing complex systems and the theory of hierarchical multi-level systems by Mesarovich. The resulting approach is a V-shaped design process using the categorical and conceptual apparatus of the 'Strata-Layers-Echelons' type multilevel hierarchical structures. We show an application of the approach on an example of ADAS automated vehicle control systems.

ADAS system, M-Vee, V-shaped model, Mesarovich system, driver assistance system, autopilot system, unmanned vehicles, unmanned vehicle system architecture, hierarchical structure of the system.

Введение

С начала 2000-х годов в терминологию разработчиков автооборудования вошел термин ADAS — системы автоматизированного управления автомобилем [1,2,3]. Системы ADAS различаются по поколениям — от 0 до 5-го — и включают в себя как комплекс вспомогательных систем, увеличивающих безопасность и качество управления автомобилей водителем, так и в полной мере беспилотные транспортные средства [3,4,5]. Непрерывное обновление бизнес-логики применения и технических норм приводит к необходимости регулярного переформулирования технических требований к системе — при этом данное переформулирование может производиться неоднократно в рамках 5-7 лет — жизненного цикла одной ревизии аппаратной платформы [6].

Таким образом, при разработке систем ADAS в рамках жизненного цикла платформы непрерывно происходят следующие итерации проектирования:

1. Формирование и переопределение требований и бизнес-логики работы системы - с использованием методологий «сверху-вниз».

2. Построение обновленной архитектуры из атомарных компонент (атомарной периферии) при фиксированной (монолитной) платформе — аппаратном ядре [6]. Построение системы из фиксированной номенклатуры атомарных компонент характерно методологиям снизу-вверх.

В настоящее время в литературе для проектирования (инжиниринга) систем ADAS в основном используется V-модель [1,7], представляющая собой законченную итерацию проектирования — от формализации требований до испытаний изделия. Модифицированная V-модель также используется не только при разработке, но и при оценке и исследовании продукта, например в [8].

Определение видов иерархических многоуровневых систем ADAS

Системы ADAS по классическим определениям как системы могут быть представлены в виде сетевых структур - декомпозиции элементов, представленных во времени. Сетевые структуры систем в данному случае отображают порядок операций или действий в системе ADAS - с помощью сетевого графика описываются этапы, при проектировании системы ADAS отображается ее сетевая модель, при создании производственного плана – сетевой план. Сетевые модели могут быть представлены однонаправленными, обратными и циклическими связями между элементами системы. Такие связи описываются в виде пути или критического пути между элементами. Однако, системы ADAS являются сложными системами, а, следовательно, к ним применима теория иерархических многоуровневых систем Месаровича [9]. Это означает, что архитектура систем ADAS может быть представлена в виде страт, слоев и эшелонов.

При конструировании архитектуры ADAS одна из проблем состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта. Эта проблема решается стратифицированнием системы по Месаровичу [9], то есть заданием системы ADAS семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования – так называемой страты. Для каждой страты существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывают поведение системы на этом уровне.

Для уменьшения неопределенности ситуации определяется совокупность последовательно решаемых проблем. Выделяются уровни сложности

принимаемого решения — слои. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей определяло бы ограничения при моделировании на нижележащем уровне, а, следовательно, снижало бы неопределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.

Система ADAS так же может быть представлена в виде многоэшелонной иерархической структуры. В данном случае ADAS представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем. При этом некоторые подсистемы имеют права принятия решений, а иерархическое расположение подсистем, так называемая многоэшелонная структура, определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими. Основной отличительной особенностью многоэшелонной структуры является предоставление подсистемам всех уровней определенной свободы в выборе их собственных решений. Причем эти решения могут отличаться от тех, которые бы выбрал вышестоящий уровень. Предоставление свободы действий в принятии решений компонентам всех эшелонов иерархической структуры повышает эффективность ее функционирования. Подсистемам предоставляется определенная свобода в выборе целей, поэтому многоэшелонные структуры называют также многоцелевыми. В таких системах могут быть использованы разные способы принятия решений. При предоставлении подсистемам прав самостоятельности они могут формировать противоречащие друг другу цели и решения, что затрудняет управление, но является в то же время одним из условий повышения эффективности функционирования системы ADAS. Разрешение конфликтов достигается путем вмешательства вышестоящего эшелона. При этом управляющие воздействия, поступающие для разрешения этих противоречий со стороны вышестоящих уровней иерархии, могут быть разной силы.

Формализация предлагаемой модели M-Vee

В представленной статье предлагается методология M-Vee - расширенная V-образная модель проектирования систем [8] преобразованная путем использования категорийного аппарата иерархического представления многоуровневых систем по Месаровичу [9]. Указанная методология позволяет использовать категорийный и математический аппарат общей теории систем и теории онтологий [10,11] в процессе инжиниринга систем ADAS в рамках одного жизненного цикла платформы.

В соответствии с логикой V-модели, методологий проектирования «снизу-вверх», «сверху-вниз» и концепцией иерархического проектирования становится возможным создание следующей обобщенной модели *i*-го эволюционного цикла проектирования систем ADAS как сложных технических систем (рис. 1). Данная модификация модели предлагается авторами как альтернативный способ проектирования систем автоматизированного управления автомобилем - систем ADAS, объединяющий преимущества рассмотренных в статье методов представления сложных систем.

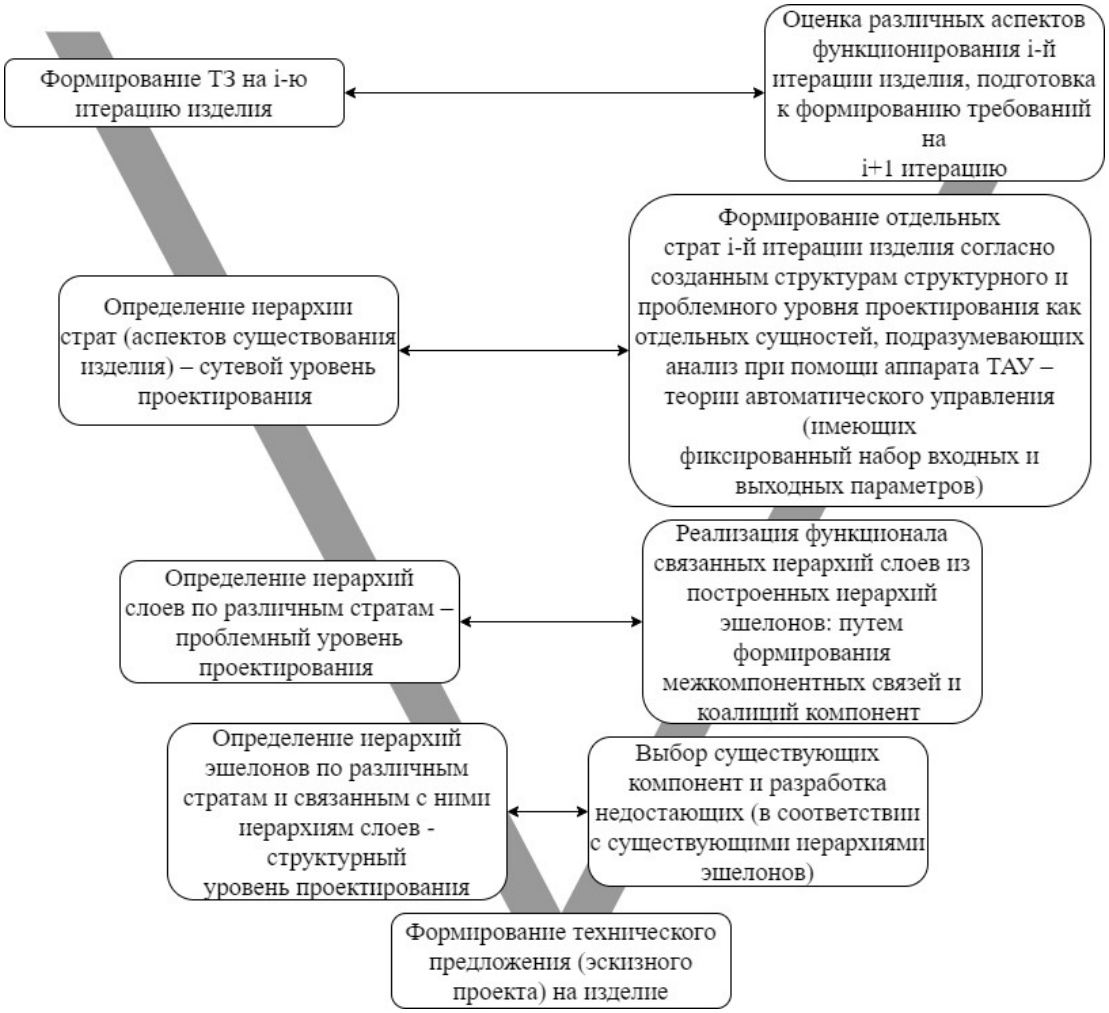


Рис. 1. Обобщенная модель i-го эволюционного цикла проектирования систем ADAS

Выводы

Создание V-образной модели проектирования, сочетающей в себе иерархические подходы сущностного, проблемного и структурного типа, а также инструменты методологий снизу-вверх и сверху-вниз позволяет по мнению авторов выйти в рамках проектирования ADAS, их компонентов и узлов на эволюционный тип проектирования высокую скорость сходимо-

сти к эффективно функционирующей версии продукта и низкую техническую стоимость эволюционных шагов.

Следующими направлениями исследования в рамках указанной темы является сочетание данной технологии проектирования с методологиями целеполагания, используемых при построении т.н. систем критического времени функционирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems. Help Manual. Version 9.0.126 [electronic document] / National ITS Architecture Team. — [Washington]: [US Department of Transportation], 2021. — 221 p. — URL: https://local.iteris.com/arc-it/tools/SET-ITv9.0Help.pdf (accessed 24.05.2021).
2. Development of Autonomous Car—Part I: Distributed System Architecture and Development Process / Jo.K. et al. // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2014. — Vol. 61, no. 12. — P. 7131-7140. — Doi: 10.1109/TIE.2014.2321342.
3. *Heinecke H.* Automotive system design - challenges and potential // Proceedings. Design, Automation and Test in Europe. Munich, Germany. March 7 – 11, 2005. — Vol. 1. — Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2005. — P. 656-657. — Doi: 10.1109/DATE.2005.79.
4. Automated and Autonomous Driving. Regulations under uncertainty. Corporate Partnership Board Report [electronic document] / International Transport Forum, Organisation for Economic Co-operation and Development. — [Paris]: [International Transport Forum], [2015]. — 33 p. — URL: https://www.itf-oecd.org/automated-and-autonomous-driving (accessed 24.05.2021).
5. Regulating Automated Driver. The UK Insurer View [electronic document] / The Association of British Insurers. — [S.l.]: ABI; Thatcham Research, 2017. — 33 p. — URL: https://www.abi.org.uk/globalassets/files/publications/public/motor/2017/07/regulating-automated-driving/ (accessed 24.05.2021).
6. *Чикрин Д.Е., Егорчев А.А., Ермаков Д.В.* Методология S.M.A.R.T.E.S.T. H-GQM для контролируемой эволюции систем ADAS // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2020. — № 2(212). — С. 200-209. — DOI 10.18522/2311-3103-2020-2-200-209.
7. *Forsberg K., Mooz H.* System Engineering for Faster, Cheaper, Better // INCOSE International Symposium. — 1999. — Vol. 9, no. 1. — P. 924-932. — Doi: 10.1002/j.2334-5837.1999.tb00258.x.

8. *Graessler I., Hentze J., Bruckmann T.* V-Model for Interdisciplinary Product Engineering // Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference. — [Zagreb]: [University of Zagreb], 2018. — P. 747-756. — Doi: 10.21278/idc.2018.0333.
9. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Мир, 1973. — 344 с.
10. *Pollard E., Morignot P., Nashashibi F.* An Ontology-based model to determine the automation level of an Autonomous Vehicle for Co-Driving [electronic document] // 16th International Conference on Information Fusion, Jul 2013, Istanbul, Turkey. — [Istanbul]: [IEEE], 2013. — P. 596-603. — URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/6641334 (accessed 24.05.2021).
11. *Mesarovic M., Takahara I.* General Systems Theory: Mathematics Foundations. — New York: Academic Press, 1975. — Xii, 268 p.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, директор Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета, Россия, город Казань, ул. Кремлевская, д. 18, 420008, телефон: +7 (917) 27-27-100, email: dmitry.kfu@gmail.com.

Егорчев Антон Александрович, научный сотрудник Института фундаментальной медицины и биологии Казанского федерального университета, Россия, город Казань, ул. Кремлевская, д. 18, 420008, телефон: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com.

Созутов Илья Георгиевич, старший лаборант Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета, Россия, город Казань, ул. Кремлевская, д. 18, 420008, телефон: +7 (843) 233-70-37, email: ilia.sozutov@gmail.com.

Chickrin Dmitry Evgenevich, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Docent, Director of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of the Kazan Federal University, 420008, Russia, Kazan, 18 Kremlyovskaya street, phone: +7 (917) 27-27-100, email: dmitry.kfu@gmail.com.

Egorchev Anton Aleksandrovich, research fellow of the Institute of Fundamental Medicine and Biology of the Kazan Federal University, 420008, Russia, Kazan, 18 Kremlyovskaya street, phone: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com.

Sozutov Ilia Georgievich, senior lab assistant of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of the Kazan Federal University, 420008, Rus-

sia, Kazan, 18 Kremlyovskaya street, phone: +7 (843) 233-70-37, email: ilia.sozutov@gmail.com.

УДК 519.711

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Егорчев Антон Александрович

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕРХУ–ВНИЗ И СНИЗУ–ВВЕРХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ADAS

Выбор типа основной методологии проектирования оказывает значительное влияние на качество итогового продукта, в том числе и на его способность к дальнейшему развитию и масштабированию. В статье рассматриваются особенности стандартных методологий проектирования снизу–вверх и сверху–вниз применительно к системам ADAS (системам автоматизированного (беспилотного) управления автомобилем), показывается, что использование "чистых" методологий неприемлемо при проектировании указанных систем и требуется создание новой совмещённой методологии проектирования.

Методология проектирования, сверху-вниз, снизу-вверх, система ADAS, беспилотное транспортное средство, проектирование сложных систем.

Chickrin Dmitry Evgenevich, Egorchev Anton Aleksandrovich

TOP-DOWN VS BOTTOM-UP METHODOLOGIES FOR ADAS SYSTEM DESIGN

Selection of the principal design methodology has a significant impact on final product quality, including its evolvability and scalability. The article discusses the features of traditional bottom-up and top-down design methodologies in the context of ADAS (driver assistance and automated driving systems). Necessity of the combined design methodology is shown due to unacceptability of “pure” methodologies for design of this kind of systems.

Design methodology, bottom-up, top-down, ADAS, self-driving vehicle, complex systems design.

Введение

Системы автоматизированного управления транспортным средством (ADAS) — сложные гетерогенные системы управления автомобилем, ко-

торые могут быть как вспомогательными для водителя (например, круиз–контроль, автоматическая парковка и т.д.), так и полностью заменять его [7].

В современной автомобильной промышленности при разработке автомобиля используется множество готовых компонентов от сторонних производителей. При этом соблюдение стандартов в автомобильной промышленности (AUTOSAR, OSEK/VDX, FlexRay, CAN) абсолютно критично, т.к. данные стандарты ориентированы как раз на обеспечение совместной работы оборудования различных производителей, что решает одну из основных проблем подхода снизу–вверх — обеспечение корректного взаимодействия между подсистемами [8–11].

Корреляция между особенностями методологии проектирования и качеством итоговой системы достаточно подробно показана применительно к программному обеспечению [1]. Современные системы ADAS представляют собой сложную смесь программных и аппаратных компонент, но в то же время строятся по тем же принципам, что и сложные программные комплексы различного назначения, так как представляют собой автоматизированную систему управления исполнительными механизмами автомобиля.

Методология сверху–вниз является классической при осознанном (запланированном ранее) создании практически любой крупной аппаратно–программной или программной системы [2]. Действительно, при заказе и планировании создания сложных систем любого рода возникает желание максимально детализировать требования к ним — чтобы получить именно то, что требуется на текущий момент времени. В свою очередь, для создания прототипов и получения быстрых результатов практически всегда используется методология снизу–вверх, использующая блоки — «чёрные ящики» с фиксированной, но уже реализованной функциональностью, позволяющие быстро достичь работающей в первом приближении системы и получить первые результаты и обратную связь от испытателей системы и заказчика работ.

Основная проблема методологии снизу–вверх — возможное несоответствие разрабатываемого продукта требованиям. Но при этом, как показано в [1, 4–6], требования к продукту неизбежно меняются, причём начинается этот процесс ещё во время разработки. С другой стороны, использование методологии снизу–вверх позволяет быстро получать прототипы системы, которые могут использоваться для постепенной верификации си-

стемы на соответствие требованиям, и, что более важно, для уточнения и обновления самих требований.

2. Влияние выбора методологии на разрабатываемую ADAS– систему

2.1. Основные критерии сравнения

2.1.1. Постановка задачи и определение требований

Использование методологии сверху–вниз является неизбежным при постановке задачи на начальной стадии проектирования (утверждения эскизного проекта) любых сложных технических систем — корректная формулировка начального технического задания является важнейшим этапом проектирования.

2.1.2. Композиционный морфизм

Композиционный морфизм возможно рассматривать как расширение фактора адаптируемости системы — адаптируемость подразумевает возможность модификации системы под влиянием внешних факторов, тогда как композиционный морфизм характеризует структурную гибкость системы в целом. Согласно [6], высокая способность системы к адаптации посредством модификации структуры связей реализуема при использовании модульной архитектуры, открытых (непроприетарных) стандартов и стандартных интерфейсов, что соответствует методологии снизу–вверх.

В соответствии с методологией сверху–вниз системы разрабатываются с ориентацией на требования и сценарии использования [1], и фиксированная система связей (единственная, наиболее оптимально соответствующая изначально заданному набору требований) является равноправным и неотъемлемым компонентом системы. Системы такого рода мономорфны — возможен только один способ объединения подсистем, причём зачастую связи описываются раньше формализации требований к функциональности подсистем при декомпозиции.

Для систем ADAS мономорфная структура слабо применима, т. к. активное развитие сферы требует постоянной эволюции разрабатываемых систем.

2.1.3. Масштабируемость и расширяемость

Согласно определению из работы [15] расширяемость представляет собой модификацию системы путём добавления новых компонентов, что подразумевает, аналогично масштабируемости, развитие системы, движимое компонентами, и может быть реализовано только с применением методологии снизу–вверх. В контексте систем ADAS может быть вызвано

выходом на рынок нового типа сенсоров или новых программных решений.

Масштабирование и расширение системы в рамках подхода сверху–вниз выражается в формировании обновлённых требований к системе и полной переработке системы по полному циклу проектирования, что подразумевает глобальные изменения в системе, так как подсистемы в концепции методологии сверху–вниз не являются независимыми и тесно связаны с другими компонентами. Изменение характеристик отдельных подсистем, не контролируемое целеполаганием ко всей системе в целом, может оказать непредсказуемое влияние на внутрисистемные взаимодействия и функционирование системы [5,16].

2.1.4. Стабильность, устойчивость

Стабильность системы здесь корректно рассматривать с точки зрения необходимости внесения изменений. В соответствии с подходом снизу–вверх системы разрабатываются с учётом необходимости корректировки реализации системы с целью удовлетворения требований и обладают достаточной гибкостью внутренней структуры для недеструктивной модификации, в том числе и в процессе эволюции системы. Таким образом, при использовании подхода снизу–вверх можно добиться более устойчивого функционирования системы в условиях изменяющихся требований, а подход сверху–вниз позволяет получить высокостабильную систему, но лишь при условии, что требования будут оставаться неизменными.

2.1.5. Стоимость и время разработки

В случае разработки сложных систем подход снизу–вверх обладает преимуществами в стоимости и времени разработки, так как позволяет (и даже подразумевает) использование сторонних и разработанных ранее компонентов.

В методологии снизу–вверх невозможность конечной реализации запланированной функциональности, как было показано, проявляется на поздних этапах разработки. Также нельзя исключать вероятность неточного/некорректного определения изначальных требований [2], что может быть обнаружено при тестировании на поздних этапах разработки или даже конечными пользователями при использовании уже готовой системы. В обоих случаях процесс переработки системы потребует значительных финансовых и временных затрат, сопоставимых с разработкой системы заново. При использовании методологии снизу–верх неизбежно несоответствие системы требованиям, но гибкость структуры системы и возможность ча-

стых итеративных уточнений позволяет адаптировать систему с минимальными издержками.

2.1.6. Способность к развитию и процесс развития (эволюции)

Для процесса эволюции ADAS–систем характерны постоянные обновления существующих подсистем и периодическое внедрение новых типов периферийных компонентов (как программных, так и аппаратных). В случае подхода сверху–вниз система по определению максимально соответствует поставленным требованиям. Помимо этого, в таких системах эволюция может происходить только посредством перепроектирования системы. Сценарий покомпонентного развития функциональности ADAS–системы в рамках подхода сверху–вниз невозможен.

3. Результаты. Сравнительная таблица

Результаты сравнения обоих методологий по рассмотренным критериям сравнения показывают, что ни одна из них не является превалирующей – и желательно создание методологии проектирования нового, совмещенного типа.

Таблица

Сравнение методологий снизу-вверх и сверху-вниз для систем ADAS

	сверху–вниз	снизу–вверх
постановка задачи, определение требований	+	–
композиционный морфизм	–	+
масштабируемость, расширяемость	–	+
стабильность, устойчивость	–/+	+/–
стоимость, время разработки	–/+	+/-
способность к развитию (эволюции)	–	+

Выводы

В работе исследуются достоинства и недостатки подходов проектирования снизу–вверх и сверху–вниз в системах ADAS. Рассматривается влияния выбора методологии проектирования на различные аспекты результирующих систем.

Оба традиционных подхода проектирования (сверху–вниз и снизу–вверх) обладают недостатками, отклоняющими течение процесса разработки от оптимального направления при возникновении ошибок проектирования.

В должной степени построение эволюционирующих технических систем (к которым относятся системы ADAS) может быть обеспечена только

при использовании подхода снизу–вверх. Однако, для сложных систем критически важным является определение изначальных требований к системе, что может быть достигнуто только с применением методологии сверху–вниз. Формирование обобщённого подхода к проектированию с учётом проведённого анализа планируется как продолжение исследований на тему.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pizka M., Bauer A.* A brief top-down and bottomup philosophy on software evolution // Proceedings. 7th International Workshop on Principles of Software Evolution, 2004. [S.l.]: IEEE, 2004. P. 131-136.
2. *Sangiovanni-Vincentelli A., Damm W., Passerone R.* Taming Dr. Frankenstein: Contract-based design for cyber-physical systems // European journal of control. 2012. Vol. 18. No. 3. P. 217-238.
3. *Crespi V., Galstyan A., Lerman K.* Top-down vs bottom-up methodologies in multi-agent system design // Autonomous Robots. 2008. Vol. 24. No. 3. P. 303-313.
4. *Wan-Kadir W. M. N., Loucopoulos P.* Relating evolving business rules to software design // Journal of Systems architecture. 2004.Vol. 50. No. 7. P. 367-382.
5. *Borches P. D., Bonnema G. M.* Coping with System Evolution-Experiences in Reverse Architecting as a Means to Ease the Evolution of Complex Systems // INCOSE International Symposium. 2009. Vol. 19. No. 1. P. 955-969.
6. *Christian J., Olds J.* A quantitative methodology for identifying evolvable space systems // 1st Space Exploration Conference: Continuing the Voyage of Discovery. [S.l.]: [s.n], 2005. P. 2543.
7. *Bernhart W., Winterhoff M.* Autonomous Driving: Disruptive Innovation that Promises to Change the Automotive Industry as We Know It // Energy Consumption and Autonomous Driving. Cham: Springer, 2016. P. 3-10.
8. *Jo K. et al.* Development of autonomous car — Part I: Distributed system architecture and development process // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2014. Vol. 61. No. 12. P. 7131-7140.
9. *Heinecke H.* Automotive system design-challenges and potential // Proceedings of the conference on Design, Automation and Test in Europe-Volume 1. – [S.l.]: IEEE Computer Society, 2005. P. 656-657.
10. *Benvenuti L. et al.* Contract-based design for computation and verification of a closed-loop hybrid system // International Workshop on Hybrid Systems: Computation and Control. Berlin: Springer, 2008. P. 58-71.
11. *Sangiovanni-Vincentelli A.* Quo vadis, SLD? Reasoning about the trends and challenges of system level design // Proceedings of the IEEE. 2007. Vol. 95. No. 3. P. 467-506.
12. *Boehm B. W.* Verifying and validating software requirements and design specifications // IEEE software. – 1984. Vol. 1. No. 1. P. 75.

13. *Arnaut B. M., Ferrari D. B., et Souza M. L.* O. A requirements engineering and management process in concept phase of complex systems // 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). [S.l.]: IEEE, 2016. P. 1-6.
14. *Sztipanovits J. et al.* Toward a science of cyber–physical system integration // Proceedings of the IEEE. 2012. Vol. 100. No. 1. P. 29-44.
15. *Rowe D., Leaney J., Lowe D.* Defining systems evolvability-a taxonomy of change // Change. 1994. Vol. 94. P. 541-545.
16. *Watson J. D. et al.* Optimization of excess system capability for increased evolvability // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2016. Vol. 53. No. 6. P. 1277-1294.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, директор Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета, Россия, город Казань, ул. Кремлевская, д. 18, 420008, телефон: +7 (917) 27-27-100, email: dmitry.kfu@gmail.com.

Егорчев Антон Александрович, научный сотрудник Института фундаментальной медицины и биологии Казанского федерального университета, Россия, город Казань, ул. Кремлевская, д. 18, 420008, телефон: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com.

Chickrin Dmitry Evgenevich, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Docent, Director of the Institute of Computer Mathematics and Information Technologies of the Kazan Federal University, 420008, Russia, Kazan, 18 Kremlyovskaya street, phone: +7 (917) 27-27-100, email: dmitry.kfu@gmail.com.

Egorchev Anton Aleksandrovich, research fellow of the Institute of Fundamental Medicine and Biology of the Kazan Federal University, 420008, Russia, Kazan, 18 Kremlyovskaya street, phone: +7 (843) 233-76-09, email: eanton090@gmail.com.

УДК 621.391

Дмитриев Александр Георгиевич

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ ПОЛИНОМОМ

Предлагается алгоритм построения тригонометрического полинома по опытным данным при неизвестном порядке полинома. Исходная выборка разбивается на обучающую и проверочную. Коэффициенты Фурье находятся по обучающей выборке. Искомое множество гармоник тригонометрического полино-

ма определяется из условия минимума ошибки аппроксимации, подсчитанной по проверочной выборке для возможных значений порядка полинома.

Аппроксимация, тригонометрический полином, порядок полинома.

Dmitriev Alexander Georgievich

ON AN APPROACH TO THE APPROXIMATION OF EXPERIMENTAL CURVES BY A TRIGONOMETRIC POLYNOMIAL

An algorithm for constructing a trigonometric polynomial based on experimental data is proposed for an unknown order of the polynomial. The initial sample is divided into training and verification samples. The Fourier coefficients are found from the training sample. The desired set of harmonics of a trigonometric polynomial is determined from the condition of the minimum approximation error calculated from the test sample for possible values of the order of the polynomial.

Approximation, trigonometric polynomial, order of the polynomial.

Введение

Во многих приложениях возникает необходимость описания экспериментальных кривых набором ортогональных тригонометрических функций (тригонометрическим полиномом). В случае известного порядка полинома задача сводится к решению системы линейных уравнений [1]. Однако, на практике, часто порядок полинома неизвестен. В работе [2] порядок тригонометрического определяется из необходимости обеспечения заданной точности приближения, в работе [3] отбрасываются слагаемые ряда Фурье с малыми коэффициентами, а в работе [4] порядок полинома определяется из условия минимума невязки, подсчитанной на проверочной выборке.

Целью работы является разработка алгоритма, позволяющего определить только те гармоники, которые вносят основной вклад в изучаемый сигнал.

В данной статье предлагается в определённом смысле оптимальный алгоритм решения поставленной задачи на основе выборки значений экспериментальной кривой.

Основная часть

Задача ставится следующим образом. Пусть для анализа предъявлена экспериментальная кривая $f(t),\ t = t_1,...t_N,\ t_i - t_{i-1} = const,\ i = 2,\ldots N$.

Критерий качества аппроксимации S на выборке экспериментальных значений $f(t_i), i = 1,\ldots,N$ задается в виде

$$S = \sum_{i=1}^{n} (f(t_i) - F(t_i))^2, \qquad (1)$$

где $F(t) = a_0 + \sum_{k \in \Omega_n} a_k \cos w_k t + b_k \sin w_k t -$ тригонометрический полином, Ω_n - множество гармоник, n - число гармоник, $w_k = \dfrac{2\pi k}{T}$, $T = t_N - t_1$, $2n + 1 \le N$.

Требуется найти такие гармоники (множество Ω_n), соответствующие коэффициенты Фурье a_k, b_k, так, чтобы критерий (1) принимал в определённом смысле минимальное значение.

Известно [5], что в случае равноотстоящих узлов, рассматриваемая система тригонометрических функций является ортогональной на заданном дискретном множестве значений экспериментальной кривой, что позволяет для нахождения коэффициентов Фурье при заданном порядке тригонометрического полинома воспользоваться следующими выражениями:

$$a_0 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} f(t_i), \quad \left\{ \begin{array}{l} a_k = \dfrac{2}{N}\sum\limits_{i=1}^{N} f(t_i)\cdot \cos w_k t_i \\ b_k = \dfrac{2}{N}\sum\limits_{i=1}^{N} f(t_i)\cdot \sin w_k t_i \end{array} \right\}, \quad (k = 1, 2, \ldots, n).$$

Нетрудно показать, что критерий (1) можно записать в виде:

$$S = \sum_{i=1}^{n} (f(t_i) - a_0/2)^2 - \frac{N}{2}\sum_{k \in \Omega_n} a_k^2 + b_k^2. \qquad (2)$$

Из выражения (2) следует, что добавляя гармонику в тригонометрический полином, ошибка аппроксимации уменьшается на величину:

$$\frac{N}{2}\sum_{k^* \in \Omega_n} a_{k^*}^2 + b_{k^*}^2.$$

Таким образом, можно выбирать те гармоники, которые вносят наибольший вклад в рассматриваемый сигнал.

Для нахождения Ω_n предлагается следующая процедура:

1. Исходная выборка данных разбивается на обучающую и проверочную. В качестве обучающей выборки выбираются экспериментальные значения в нечетные моменты времени, а в качестве проверочной выборки – в чётные моменты времени.

2. Рассматривается обучающая выборка, находятся коэффициенты Фурье последовательно для тригонометрического полинома 1-го, 2-го, …, $n_{\max}$ порядка ($j = 1,\ldots,n_{\max}$, $n_{\max}$ выбираем из содержательных соображений), рассчитывается ошибка аппроксимации для каждого j:

$$S_{обуч}(j) = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{\frac{N}{2}}(F(t_{2i-1},j) - f(t_{2i-1}))^2,$$

$$F(t_{2i-1},j) = a_0(j) + \sum_{k=1}^{j}(a_k(j)\cos wt_{2i-1} + b_k(j)\sin wt_{2i-1}).$$

3. Рассматривается проверочная выборка и для каждого j рассчитывается ошибка аппроксимации для построенных в пункте 2 моделей:

$$S_{пров}(j) = \frac{1}{\frac{N}{2} - 2j - 1}\sum_{i=1}^{\frac{N}{2}}(F(t_{2i},j) - f(t_{2i}))^2,$$

$$F(t_{2i},j) = a_0(j) + \sum_{k=1}^{j}(a_k(j)\cos wt_{2i} + b_k(j)\sin wt_{2i}).$$

4. Определяется вклад каждой гармоники в уменьшение ошибки аппроксимации на основе проверочной выборки:

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

5. Выполняется сортировка $\Delta S_{пров}(j)$ в порядке убывания с запоминанием соответствующих гармоник.

6. Выбираются те гармоники в порядке убывания $\Delta S_{пров}(j)$, для которых $\Delta S_{пров}(j) > 0$. Определённые таким образом гармоники являются искомым множеством Ω_n.

Моделирование рассмотренного подхода построения тригонометрического полинома приводилось в математической системе MathCad. На рис. 1 показана исходная кривая $f(t)$.

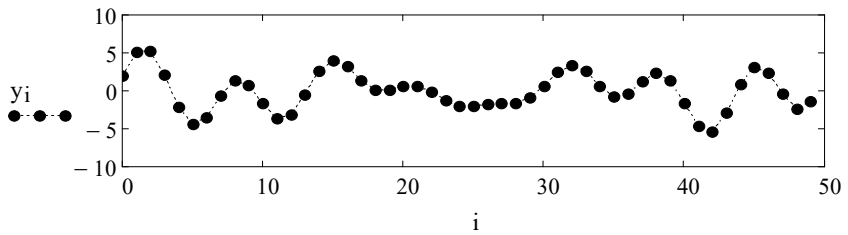


Рис. 1.

На данную кривую накладывалась независимая нормальная помеха с математическим ожиданием m=0 и с различными значениями среднеквадратического отклонения $\sigma : \sigma = 0{,}5;\ 1{,}5;\ 3$. Результаты моделирования по-

казаны на рисунках 2-4 (R1 – ошибка аппроксимации, подсчитанная по обучающей выборке, RR2 – ошибка аппроксимации, подсчитанная при добавлении гармоник в порядке уменьшения их вклада на основе проверочной выборки, SS(x,mm) – тригонометрический полином, построенный по найденным гармоникам).

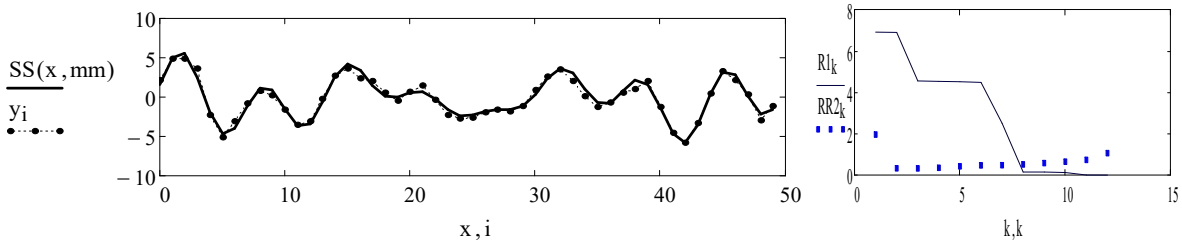


Рис. 2. ($\sigma = 0{,}5;\ \Omega_n = \{8,3,7\}$)

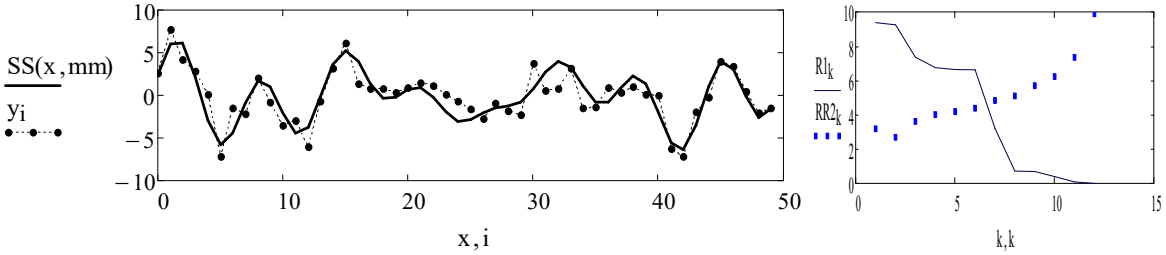


Рис. 3. ($\sigma = 1{,}5;\ \Omega_n = \{8,7,3\}$)

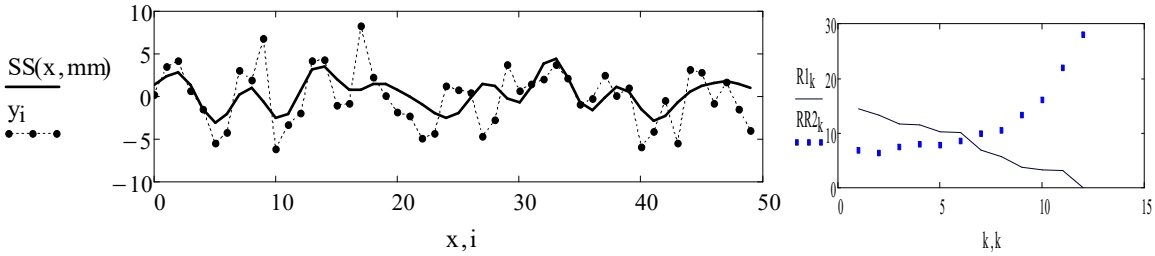


Рис. 4. ($\sigma = 3;\ \Omega_n = \{3,10,8\}$)

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. *Вержбицкий В.М.* Численные методы / В.М. Вержбицкий. – М.: Издат. дом «Оникс 21 век», 2005. – 400 с.

2. *Грищенко Н.В.* Сравнительный анализ методов аппроксимации. – Кривой Рог: Криворожский государственный педагогический институт, 1998. – 26 с.
3. *Сыромясов А.О., Прытков С.В.* Аппроксимация фотометрических данных тригонометрическими полиномами одной переменной. Альманах современной науки и образования, № 5-6 (84) 2014, с. 117-122.
4. *Дмитриев А.Г.* Оценка порядка тригонометрического полинома по опытным данным / А.Г. Дмитриев, В.В. Кудряшов //Материалы 45-й военно-научной конференции. – Череповец, ЧВВИУРЭ, 2020. С.107-111.
5. *Марчук Г.И.* Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1989. – 608 с.

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 004.021

Шепель Илья Олегович

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ О ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ В КАРТУ ЗАНЯТОСТИ РТП

В работе рассматривается проблема построения модели проходимости окружающего пространства в среде с большим количеством динамических объектов. Целью работы является качественное улучшения алгоритма построения карты занятости путем добавления способа обработки данных от существующих алгоритмов детектирования движущихся препятствий. В исследовании решается задача объединения данных о статичном окружении и о динамических объектах в одну общую модель проходимости для дальнейшего планирования траектории движения. Представленная в статье модификация алгоритма способна комплексировать данные как карт занятости, построенных по трехмерному облаку точек, так и данные, представленные в виде массива трехмерных объектов с известными координатами, размерами и ориентацией. Комплексирование данных происходит на уровне построения карт занятости и не накладывает дополнительных требований на источник информации о динами-

ческих препятствиях. Одновременное использование классического подхода к построению карт позволяет обнаруживать препятствия в случае ошибки алгоритма обнаружения динамических препятствий. Подход протестирован в реальных условиях, а также на открытом наборе данных, записанном внутри помещения.

Карта занятости, лидар, облако точек, комплексирование данных, обнаружение препятствий, динамический объект, автономное движение.

Shepel Ilya Olegovich

ALGORITHM OF COMPLEXING DATA ON DYNAMIC OBJECTS INTO THE OCCUPANCY MAP OF UGV

The paper deals with the problem of constructing a passability model of environment with a large number of dynamic objects. The aim of the work is to improve the algorithm for constructing the occupancy map by adding data from existing algorithms for moving obstacles detection. The modification of the algorithm presented in the article is able to combine data from both occupancy maps based on a lidar point cloud, and arrays of bounding boxes of objects with known coordinates, dimensions, and orientation. Data aggregation occurs at the level of building occupancy maps and does not impose requirements on the source of information about dynamic obstacles. The parallel use of the classical approach allows to detect obstacles in the event of an error in the output of the dynamic obstacle detection algorithm. The approach is tested in real-world conditions, as well as on an open dataset.

Occupancy map, lidar, point cloud, data complexing, obstacle detection, dynamic object, autonomous movement.

Введение

В настоящее время активно развиваются автономные робототехнические платформы (РТП) на базе небольших шасси, которые должны быть способны к безаварийному движению в пешеходных зонах с большим количеством движущихся объектов, например для решения задачи доставки последней мили или уборки улиц. Подобные РТП сталкиваются с рядом проблем: большинство существующих наборов данных ориентировано на сферу беспилотных автомобилей, современные алгоритмы обнаружения препятствий также требуют большого набора различных сенсоров и высо-

ких вычислительных мощностей, характерных для больших платформ. Кроме того, эти алгоритмы ориентированы на применение на дорогах общего пользования, которые отличаются высокой структурированностью и детерминированным характером движения окружающих объектов. Пешеходные зоны отличаются большей плотностью объектов, хаотичным движением и отсутствием разметки, что сокращает применимость алгоритмов из сферы беспилотного транспорта.

В работе описана модификация алгоритма построения карты занятости по облаку точек от лидара и массиву объектов, которые представлены в виде ограничивающих параллелепипедов с известными координатами и ориентацией. Ключевые отличия разработанного алгоритма следующие:

- реализованный алгоритм работоспособен в реальном масштабе времени;
- в качестве входных данных может использоваться выход целого ряда алгоритмов определения динамических препятствий, входное облако точек также может генерироваться как лидаром, так и стереокамерой;
- в случае ошибки алгоритма обнаружения динамического объекта препятствие размечается классическим алгоритмом построения карты занятости.

Обзор существующих методов

Карта занятости [1] является одним из самых распространенных методов для построения модели проходимости и решения задачи автономного движения наземной РТП. Большинство методов используют лидар как единственный источник данных и рассчитаны на применение в беспилотном транспорте [2, 3], в то время как подходы для небольших роботов чаще используют стереокамеры [4]. Для детекции динамических объектов в карте занятости как правило используются изображения с камер и нейросетевые подходы [5, 6]. Другое семейство алгоритмов для обнаружения динамики также использует сверточные сети, но в качестве входа используют классические карты занятости [7, 8]. В то же время конкурсы по обнаружению трехмерных движущихся объектов [9, 10] показывают, что наиболее точными являются методы с использованием лидаров, выдающие информацию в виде вектора с координатами, ориентацией и размерами. При этом существующие методы построения моделей проходимости не используют подобные решения для обработки динамических объектов.

Алгоритм построения карты занятости

В работе рассматривается проблема построения карты занятости с учетом движения динамических препятствий. В качестве метода для определения ограничивающих параллелепипедов объектов был выбран Centerpoint [11], один из лучших по качеству и быстродействию на датасете nuScenes [10]. Детальное изучение таких подходов не входит в область интереса работы.

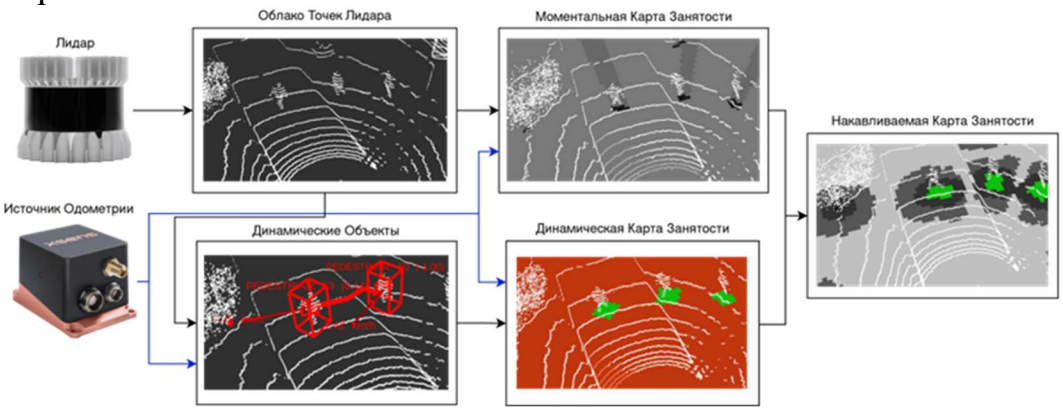


Рис. 2. Общая схема алгоритма

Представленный алгоритм (см. рис. 1) является развитием подхода, предложенного автором в [12]. В отличие от оригинальной работы, где происходило объединение моментальных карт от разных лидаров, комплексируется моментальная карта, полученная по сырому облаку точек, и выходные данные алгоритма обнаружения динамических препятствий. Ограничивающие параллелепипеды обнаруженных объектов проецируются на ячейки карты и помечаются как динамические. В случае если кроме размеров и ориентации объекта имеется информация и о векторе его скорости, то особые значение присваиваются и ячейкам, в которые объект попадет в процессе движения. Это позволяет планировать траекторию движения РТП по единственной карте занятости [7]. Кроме того, использование динамической карты занятости позволяет решить проблему «хвостов» после динамических объектов, которые появляются в накапливаемой карте при обновлении статуса ячеек дискретным фильтром Байеса как показано в [2]. Накапливаемая карта без и с использованием динамической карты занятости показана на рис. 2.

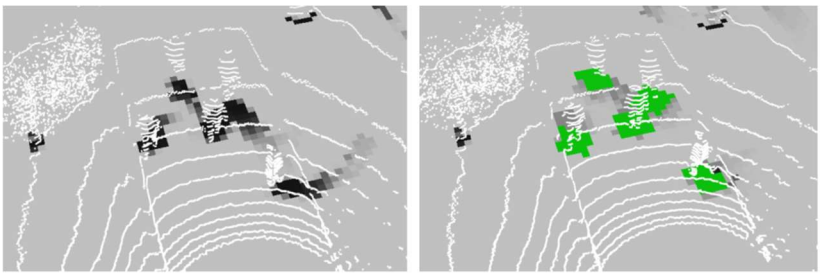


Рис. 3. Накапливаемая карта без комплексирования динамических объектов (слева) и с ним (справа)

Экспериментальные результаты

Разработанный алгоритм был протестирован на РТП (см. рис. 3) в реальных условиях, для экспериментов использовался лидар Ouster OS1-32 и инерциальная система Atlans-C.

Рисунок 4 – Внешний вид экспериментальной РТП

Так же быстродействие алгоритма замерялось на платформе Jetson AGX Xavier и на десктопном компьютере с процессором Intel i7-10700K и видеокартой RTX 3070 на открытом датасете L-CAS [13]. Среднее время работы всех компонентов алгоритма представлено в табл. 1.

Таблица 1

Быстродействие компонент алгоритма

	Мом. карта по облаку точек, мс	Centerpoint и дин. карта, мс	Накапливаемая карта, мс	Суммарное время, мс
Desktop	26	38	15	79
Xavier	32	109	18	149

Выводы

В статье представлена модификация алгоритма построения карты занятости, комплексирующая информацию о динамических объектах. Предложенное решение протестировано на реальных данных и работает в реальном масштабе времени, в том числе и на экономичных платформах, что

позволяет использовать его на небольших РТП. В будущем планируется расширить подход и комплексировать данные от радаров в общую модель проходимости. Еще одним из направлений развития подхода является использование семантически размеченных облаков точек, что также позволит выделять динамические препятствия на карте занятости.

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. *Jaspers H., Himmelsbach M., Wuensche H. J.* Multi-modal local terrain maps from vision and lidar // 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – IEEE, 2017. – С. 1119-1125.
3. *Huang J. et al.* An online multi-lidar dynamic occupancy mapping method // 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – IEEE, 2019. – С. 517-522.
4. *Xu L. et al.* An occupancy grid mapping enhanced visual SLAM for real-time locating applications in indoor GPS-denied environments //Automation in Construction. – 2019. – Т. 104. – С. 230-245.
5. *Wang Y. et al.* A Fusion of Dynamic Occupancy Grid Mapping and Multi-object Tracking Based on Lidar and Camera Sensors // 2020 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS). – IEEE, 2020. – С. 107-112.
6. *Eppenberger T. et al.* Leveraging Stereo-Camera Data for Real-Time Dynamic Obstacle Detection and Tracking // arXiv preprint arXiv:2007.10743. – 2020.
7. *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.
8. *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.
9. *Geiger A., Lenz P., Urtasun R.* Are we ready for autonomous driving? the kitti vision benchmark suite // 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – IEEE, 2012. – С. 3354-3361.
10. *Caesar H. et al.* nuscenes: A multimodal dataset for autonomous driving // Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2020. – С. 11621-11631.

11. *Yin T., Zhou X., Krähenbühl P.* Center-based 3d object detection and tracking // arXiv preprint arXiv:2006.11275. – 2020.
12. *Шепель И. О.* Модифицированный алгоритм построения карты занятости по облаку точек от нескольких лидаров // Программные продукты и системы. – 2020. – Т. 33. – №. 2.
13. *Yan Z., Duckett T., Bellotto N.* Online learning for human classification in 3d lidar-based tracking // 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – IEEE, 2017. – С. 864-871.

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 621.391

Гаврилова Надежда Александровна

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОТЕРЯМИ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЧНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ

Предлагаются двухэтапные алгоритм сжатия изображений в рамках, так называемого, структурного подхода. На первом этапе находится разбиение каждой строки изображения на непересекающиеся фрагменты. Для этой цели вводится критерий качества фрагментации, предлагается алгоритм его минимизации на основе динамического программирования. С целью уменьшения объёма вычислений разработан быстродействующий рекурсивный алгоритм пиковой фрагментации, в результате работы которого находится разбиение каждой строки изображения на непересекающиеся фрагменты, границами которых являются точки локальных экстремумов, удовлетворяющие заданным требованиям. В результате формируется массив границ фрагментов строк изображения. На втором этапе ставится задача уменьшения числа фрагментов на основе метода предсказания. Для этого вводится критерий, зависящий от разбиения строк на группы и числа фрагментов в группе (на основе первой строки в группе находится ошибка предсказания для других строк; для строк-ошибок предсказания находится разбиение на фрагменты). Для нахождения

разбиения на группы и числа фрагментов в каждой группе, доставляющие минимум критерию, применяется метод динамического программирования.

Сжатие изображений, метод предсказания, метод динамического программирования.

Gavrilova Nadezhda Aleksandrovna

LOSSY IMAGE COMPRESSION METHODS AND ALGORITHMS BASED ON LINE FRAGMENTATION

A two-stage image compression algorithm is proposed in the framework of the so-called structural approach. At the first stage, each line of the image is split into disjoint fragments. For this purpose, a criterion of fragmentation quality is introduced, and an algorithm for its minimization based on dynamic programming is proposed. In order to reduce the amount of computations, a high-speed recursive algorithm for peak fragmentation has been developed, as a result of which, each line of the image is divided into disjoint fragments, the boundaries of which are the points of local extrema that satisfy the specified requirements. As a result, an array of borders of fragments of image lines is formed. At the second stage, the task is to reduce the number of fragments based on the prediction method. For this, a criterion is introduced that depends on the division of lines into groups and the number of fragments in the group (based on the first line in the group, the prediction error for other lines is found; for the lines-prediction errors, the division into fragments is found). To find the division into groups and the number of fragments in each group that provide the minimum to the criterion, the dynamic programming method is used.

Image compression, prediction method, dynamic programming method.

Введение

При проведении ряда технических и естественно - научных исследований возникает задача сжатия изображений в связи с необходимостью передачи и последующего хранения больших объёмов данных. Так, например, при дистанционном зондировании земли передаваемые изображения содержат миллионы и десятки миллионов пикселей, что требует применения процедур сжатия изображений, допускающих потерю информации при незначительном снижении качества изображений.

К настоящему времени существует много работ [1-10], посвященных методам решения этой проблемы. Среди них можно выделить большую группу работ в рамках так называемого структурного подхода [11], при

котором изображение разделяется на некоторые фрагменты (блоки, области различной конфигурации) с последующим их анализом, преобразованием с целью получения сжатого представления как самих фрагментов, так и изображения в целом. Так в работах [1-5] исходное изображение разбивается на непересекающиеся блоки фиксированного размера, для каждого блока выполняется ортогональное преобразование. В качестве ортогональных преобразований используются дискретное преобразование Фурье (ДПФ), дискретное преобразование Уолша (ДПУ), дискретное косинусное преобразование (ДКП) и др. В работе [1] показано, что ДКП обеспечивает упаковку наибольшего количества информации в наименьшее число коэффициентов, в месте с тем в ряде работ [2-6] отмечается, что при применении ДКП происходит искажение малоразмерных деталей и размытие контуров на изображениях, а при больших коэффициентах сжатия проявляется эффект блочной структуры. К структурному подходу можно отнести методы сжатия изображений, основанные на выделении контуров [6-8], позволяющие сохранить качественное отображение контуров на восстановленных изображениях. Отмечается эффективность алгоритма для низкочастотных изображений, которая значительно снижается для детализированных изображений, содержащих большое количество контуров.

В работах [9,10] анализируются подходы интерполяции изображений на кодирующей стороне с использованием локальных непрерывных функций с заранее установленной точностью. В данном случае фрагментом изображения является часть строки изображения, которая с заданной точностью приближается многочленом заданной степени (используются многочлены нулевого и первого порядков). Для определения границ фрагментов применяется последовательный алгоритм веерного типа [9], который требует определения локальных непрерывных функций для каждого пикселя изображения, что приводит значительным вычислительным затратам.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов сжатия изображений в рамках структурного подхода и основанных на построчной фрагментации изображений.

Основная часть

Предлагается процедура, состоящая из двух этапов. На первом этапе находится разбиение каждой строки изображения на заранее неизвестное число непересекающихся «однотипных» фрагментов. Далее на основе полученных разбиений разрабатываются алгоритмы построчного предсказания.

Этап построчной фрагментации изображений. В докладе предлагается к рассмотрению два алгоритма: алгоритм, основанный на минимизации заданного критерия качества фрагментации, и алгоритм пиковой фрагментации.

Алгоритм 1. Задача ставится следующим образом. Рассмотрим i строку изображения $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{iM})$, $i = 1, ..., N$. Введем критерий качества фрагментации:

$$J(r^i) = \min_{L^i(r_i)} \max_{j=1,2,...,r} \max_{k=[L^i_{j-1}, L^i_j]} \left| x_{i,k} - f^i_j(a^i_j, k) \right|, \tag{1}$$

где $L^i(r_i) = (L_0 = 1 < L^i_1 < L^i_2 < ... < L^i_j < ... < L^i_{r_i} = M)$ – разбиение текущей строки изображения на r_i непересекающихся фрагментов; $f^i_j(a^i_j, k)$ - многочлен по заданному набору базисных функций, построенный на фрагменте $[L^i_{j-1}, L^i_j]$, a^i_j - вектор оцениваемых параметров.

Требуется найти такое минимальное число фрагментов $r_i^{\min}$, разбиение на фрагменты $L^i(r_i)$, локальные функции $f^i_j(a^i_j, k)$, чтобы значение критерия (1) не превышало заданной величины:

$$J(r_i^{\min}) \le K \tag{2}$$

при ограничениях на непрерывность приближающей функции и условий интерполяции на границах фрагментов:

$$f^i_j(a^i_j, L^i_j) = f^i_{j+1}(a^i_{j+1}, L^i_j) = x_{i,L^i_j}, \quad j = 1, 2, ..., r-1. \tag{3}$$

Обозначим через $\delta(L^i_{j-1}, L^i_j) = \max_{k=[L^i_{j-1}, L^i_j]} \left| x_{i,k} - f^i_j(a^i_j, k) \right|$ – ошибку приближения, подсчитанную на фрагменте $[L^i_{j-1}, L^i_j]$ с учётом ограничений (3). Тогда критерий (1) примет вид:

$$J(r^i) = \min_{L^i(r_i)} \max_{j=1,2,...,r} \delta(L^i_{j-1}, L^i_j) \tag{4}$$

Нетрудно убедиться, что критерий (4) при заданном числе фрагментов удовлетворяет принципу оптимальности Р. Белмана [13] и, следовательно, для определения оптимальных границ интервалов можно применить метод динамического программирования [12]. Последовательно увеличивая число фрагментов, находим такое $r_i^{\min}$, при котором выполняется условие (2).

Алгоритм 2. Под фрагментацией строки изображения будем понимать такое её разбиение на непересекающиеся фрагменты, чтобы на границах фрагментов соответствующий пиксель принимал локальный минимум или максимум. Такой пиксель будем называть пиком и обозначать p_{ij}. Будем считать, что пик $p_{ij} = x_{ij}$ является локальным максимумом, если:

$$x_{i,j-1} \le x_{ij} > x_{i,j+1} \cup x_{i,j-1} < x_{ij} \ge x_{i,j+1} \ , \tag{5}$$

и локальным минимумом, если

$$x_{i,j-1} \ge x_{ij} < x_{i,j+1} \cup x_{i,j-1} > x_{ij} \le x_{i,j+1} \ . \tag{6}$$

Определения (5), (6) учитывают наличие на изображении так называемых «плато», т.е. наличие последовательности пикселей, имеющих одинаковое значение.

Работа алгоритма фрагментации основывается на понятии сектор. Сектор – массив пикселей $(x_{in}, x_{i,n+1}, ..., x_{im})$ и два пика p_{iq}, p_{is}, которые находятся один слева, а другой справа от рассматриваемого массива пикселей, $q < n < m < s$. Пики, которые при работе алгоритма будут находиться в состоянии *определен* считаются границами фрагментов, их значение и положение в строке запоминаются в массиве границ фрагментов.

В начале работы алгоритма сектором является вся строка. Далее производится анализ сектора, поиск пиков в пределах сектора и разделение сектора на подсектора в соответствии с найденными пиками, при этом пики, которые находятся в состоянии *определен*, сохраняются в массиве границ фрагментов. Для каждого подсектора процедура обработки сектора повторяется, определяются новые подсектора, и т.д. Такая рекурсивная процедура продолжается до тех пор, пока дальнейшее разбиение на подсектора становится невозможным. Сформированный в результате работы процедуры массив границ фрагментов содержит искомые границы фрагментов. Процедура сходится за конечное число шагов, поскольку на каждой итерации происходит разделение сектора на несколько подсекторов или уменьшение количества пикселей в секторе.

Этап построчного предсказания. Рассмотрим разбиение $L^i(r_i) = (L_0 = 1 < L_1^i < L_2^i < ... < L_j^i < ... < L_{r_i}^i = M)$ i-й строки исходного изображения. Соединим отрезками прямых пиксели, расположенные на границах фрагментов и выполним дискретизацию построенной таким образом функции. В результате получим массив $\tilde{X}_i = (\tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, ..., \tilde{x}_{iM})$, построенный для i-й строки, который назовём строкой-предсказанием. Рассмотрим l-ю

строку и вычислим $\widehat{X}_l = X_l - \tilde{X}_i = (\widehat{x}_{l1}, \widehat{x}_{l2}, ... \widehat{x}_{lj}, ..., \widehat{x}_{lM})$, $\widehat{x}_{lj} = x_{lj} - \tilde{x}_{ij}$. Строку $\widehat{X}_l$ назовём строкой-ошибкой предсказания l-й строки. Применим процедуру фрагментации к $\widehat{X}_l$. Обозначим через $L(i,l)$ - разбиение, полученное после фрагментации, $r(i,l)$ - число фрагментов разбиения $L(i,l)$.

Рассмотрим разбиение строк на непересекающиеся группы, причём первым элементом группы является строка-предсказание, остальные строки группы – строки, к которым применяется предсказание. Введём критерий равный числу фрагментов при фиксированном разбиении строк на группы:

$$Q = \sum_{k=1}^{s} \left[r(G_k) + \sum_{l=G_k+1}^{G_{k+1}-1} r(G_k, l) \right], \qquad (1)$$

где s - число групп, G_k - номер строки-предсказания k-й группы (первая строка в группе), $r(G_k) = r_{G_k}$ - число фрагментов разбиения строки-предсказания G_k, $r(G_k, l)$ - число фрагментов разбиения l-й строки-ошибки предсказания для k-й группы. Требуется найти такое разбиение на группы, чтобы критерий (1) принимал минимальное значение.

Нетрудно показать, что для решения поставленной задачи можно воспользоваться методом динамического программирования. В соответствующей процедуре учитывается, что число строк в каждой группе не превышает заданной величины NG, и, следовательно, минимальное число групп $s_{\min} = M / NG$. Максимальное число групп $s_{\max}$ предполагается заданным.

Выводы

В статье рассмотрены методы и алгоритмы различной сложности сжатия изображений с потерями в рамках, так называемого, структурного подхода. На этапе фрагментации предложен алгоритм, доставляющий глобальный минимум выбранному критерию качества фрагментации. С целью уменьшения объёма вычислений разработан быстродействующий рекурсивный алгоритм пиковой фрагментации, операция сравнения в которой является основной. На этапе предсказания сформулирован критерий и предложен алгоритм его минимизации, позволяющий получить минимальное число фрагментов при разбиении строк на группы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2012. - 1104 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. *Исмагилов И.И., Васильева М.Ю.* Сжатие цифровых изображений с использованием преобразований Уолша // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — Казань, 2008. - № 9-10. - С. 91-99.
6. *Самохвалов А.В.* Разработка метода интерполяции полутоновых изображений с большими пустыми областями // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2009. - № 2 (42). - С. 138-141.
7. *Самохвалов А.В*. Сжатие полутоновых изображений на основе контурных кодирования и интерполяции и дискретного вейвлет-преобразования // Автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук, Ижевск, Ижевский государственный технический университет, 2009. – 23 с.
8. *Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В*. Сжатие изображений на основе компенсации контуров при вейвлет-преобразовании // Проблемы управления и информатики, 2006, - № 3. - С. 89-101.
9. *Davisson L.* Data compression using straight line interpolation. IEEE Transactions on Information Theory, 1968, 14(3): 390 – 394.
10. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.— М.: Мир, 1982.— Кн.2 — 790 с.
11. *Браверман Э.М., Мучник И.Б.* Структурные методы обработки эмпирических данных. — М.: Наука, 1983. — 464 с.
12. *Беллман Р., Дрейфус С.* Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука. 1969. 457 с.
13. *Марчук Г.И.* Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1989. – 608 с.

Гаврилова Надежда Александровна, аспирант Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, 190031, Россия,

город Санкт-Петербург, Московский пр-т., 9, телефон: +7 (950) 024-82-56, email: wuuzee.nd@gmail.com.

УДК 004.94: 681.518

Хлапонин Дмитрий Александрович

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Цель исследования разработать функциональную модель географической информационной системы экологического мониторинга. Задачи исследования: провести анализ методов разработки приложений, разработать проект ГИС диаграммами. Разработана модель с помощью нотации IDEF0, предложены возможные улучшения модели.

Экология, мониторинг, IDEF0, экологический мониторинг, модель, ГИС, геоинформационная система.

Khlaponin Dmitry Alexandrovich

FUNCTIONAL MODELING OF A GEOINFORMATION SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

The purpose of the study is to develop a functional model of a geographic information system for environmental monitoring. Research objectives: analyze application development methods, develop a project with GIS diagrams. A model is developed using the IDEF0 notation, and possible improvements to the model are proposed.

Ecology, monitoring, IDEF0, environmental monitoring, model, GIS, geoinformation system.

Введение

Состояние нашей планеты в настоящее время находится не в лучшей форме. Постоянно набирающий скорость рост науки и техники с одной стороны открывает перед человечеством много новых возможностей, но с другой стороны сильно влияет на экологию.

Влияние цивилизации на окружающую среду с каждым днём приближает нас к глобальной экологической катастрофе. Весь научный

прогресс не сможет предотвратить экологическую катастрофу, поскольку искусственные системы не в силах заменить естественный биокомпонент окружающей среды, а значит и не урегулируют происходящие в биосфере процессы.

Поэтому задачи экологического мониторинга крайне важны и для их решения необходимо использовать современные геоинформационные технологии, с помощью которых можно сформировать и проанализировать необходимый объем данных для оценки параметров окружающей среды и оперативно выявить проблемные области для принятия дальнейших решений.

Анализ методов разработки программного обеспечения

Для разработки программного продукта существует несколько разных подходов [1, 2, 3, 4, 5] и методологий – иначе говоря, устоявшихся лучших практик. Выбор той или иной методики зависит от таких факторов как: специфика проекта, количество сотрудников, система финансового обеспечения проекта, личных предпочтений, а иногда и темперамента руководителя.

У программного обеспечения, как у живого существа есть свой жизненный цикл (ЖЦ). Жизненный цикл программного обеспечения (ПО) – это стадии, которые проходит программный продукт от появления идеи до ее осуществления, реализации в бизнесе и последующей поддержки. Модели жизненного цикла во многом предопределяют и методологии разработки ПО.

Разработка программного обеспечения состоит из следующих этапов:

- определение стратегии: выяснение требований, оценка реализации этих требований, расчет бюджета и определение возможности выполнения работ для клиента на взаимных условиях. Этот этап может происходить в цикле лишь один раз;

- анализ: исследование функций, которые определились на этапе стратегии, атрибутов и связей. Данный этап обычно происходит сразу после определения стратегии и может повторяться в цикле;

- проектирование: сбор модели данных;

- реализация: разработка продукта по требованиям, взаимодействие всей команды для достижения конечной цели, один из самых насыщенных этапов цикла разработки;

- тестирование: этот этап может идти параллельно с фазой реализации. Происходит тестирование всего, что делают разработчики, работы продукта;

- внедрение: зачастую продукт внедряется итерациями, чтобы сделать это более качественно, постепенно справляясь с ошибками и трудностями. На этапе внедрения вашим главным тестировщиком будет ваш клиент. Вся система выходит на полную мощность и начинает работать для своих пользователей;

- использование и техническая поддержка: поддержание проекта на плаву, взаимодействие с клиентом, пользователями и т.д. Все зависит от условий работы над проектом.

Чередование этих этапов, взаимодействие между ними может меняться, исходя из выбранной модели процесса разработки ПО. Существует некая вариативность в прохождении этапов ЖЦ во время разработки и внедрения продукта на рынок. Для каждого продукта это происходит по-своему, но чтобы процессом как-то управлять были сформулированы модели жизненного цикла ПО - упрощенное и обобщенное представление о том, как развивается продукт. В реальности жизнь продукта не соответствует модели.

Среди моделей жизненного цикла программного обеспечения можно выделить наиболее известные:

- каскадная модель (она же “водопадная” – waterfall, может быть с промежуточным контролем);

- итерационные модели (по кусочкам, например, сначала разработали функцию отображения карты, затем на следующей итерации разработали базу данных, затем интегрировали базу данных с картой, затем добавили функции анализа и т.д.);

- инкрементная модель (от простого к сложному, или, от фундаментальных функций к более специфическим);

- спиральная модель (похожа на инкрементную, но с большим акцентом на анализ рисков).

По большому счету все модели можно разделить на две больших группы: последовательные и итерационные модели.

Построение функциональной модели IDEF0

Проектирование информационных систем по стандарту IDEF0 сводится к декомпозиции основных функций системы на отдельные процессы,

работы или действия [6, 7, 8, 9, 10]. В результате разрабатывается иерархическая модель анализируемой системы, при этом декомпозицию можно проводить многократно, до четкого и детального описания всех процессов. Диаграммы IDEF0 верхнего уровня принято называть родительскими, а нижнего уровня – дочерними.

Анализируемый процесс представляется в виде прямоугольника. Слева изображаются входные данные, справа – выходные, сверху управляющие или регламентирующие воздействия, а снизу объекты управления.

После выполненного анализа предметной области, строим функциональную модель (рис. 1).

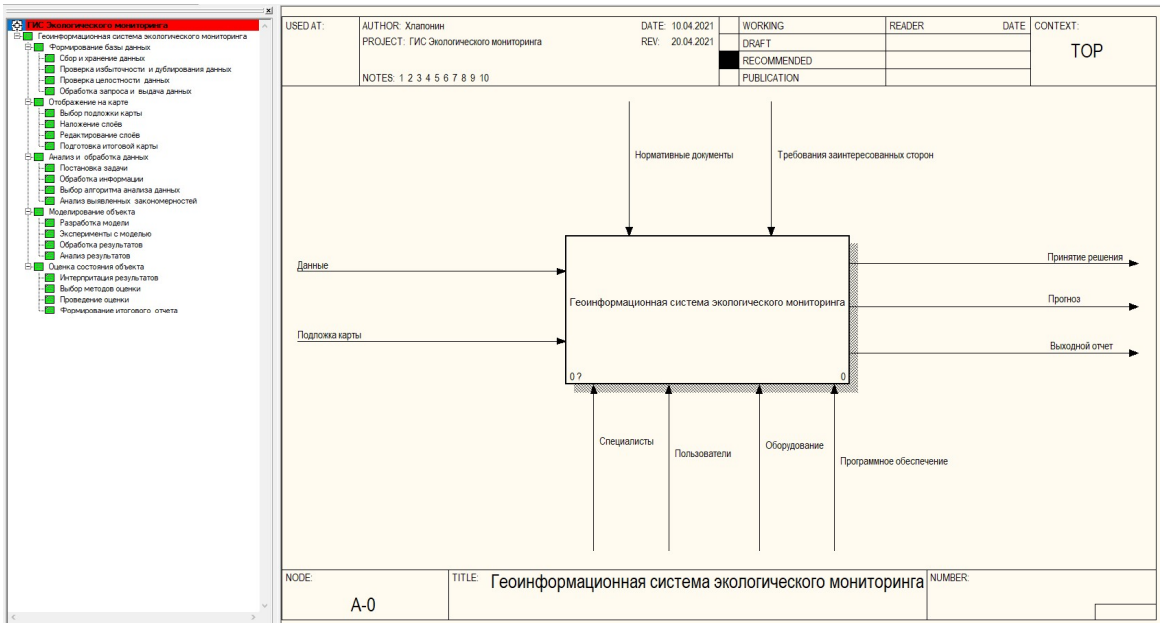


Рис. 1. Родительская диаграмма IDEF0 A-0

Входными данными в родительской диаграмме являются:

- исходные данные (параметры окружающей среды, данные с пунктов наблюдений, объекты мониторинга, данные ДЗЗ и т.д.);

- подложка карты (спутниковые снимки, схематичная карта, план территории и т.д.).

Выходными данными:

- прогноз (параметров окружающей среды, катаклизмов, влияния объектов мониторинга на окружающую среду и т.д.);

- принятие решения (формирование решения или рекомендации по выявленной проблеме: сокращение объема производства, усиление мер по охране окружающей среды, организация мероприятий по восстановлению лесов и т.д.);

- выходной отчет (формирование отчета об исследуемой проблеме, о результатах анализа данных, о результатах оценки состояния объекта исследования, о результатах проведенных экспериментов).

Управляющие или регламентирующие воздействия:

- нормативные документы (указы, законы, регламенты, стандарты, рекомендации, методики и т.д.);

- требования заинтересованных сторон (заказчика, органов государственной власти, общества, пользователей и т.д.).

Объекты управления:

- специалисты (программисты, тестировщики, инженеры и т.д.);

- пользователи;

- оборудование (Компьютеры, смартфоны, планшеты, контрольно-вычислительная техника, устройства ввода-вывода и т.д.

- программное обеспечение (программные средства разнообразного назначения: обработки и сбора информации, визуализации, редактирования, анализа, моделирования и т.д.).

После построения родительской диаграммы «Геоинформационная система экологического мониторинга», выполняется декомпозиция основного блока на дочерние блоки (рис. 2).

Формируем пять основных блоков функций, которые отражают принцип работы всей системы:

- формирование базы данных. В данном блоке осуществляется сбор и хранение данных, проверка на избыточность и отсутствие дублирования данных, проверка целостности, обработка запроса и выдача данных;

- отображение на карте. На данном этапе выполняется выбор подложки карты, процесс наложения слоёв, редактирование слоёв и подготовка итоговой карты;

- анализ и обработка данных. Блок включает в себя постановку задачи, обработку информации, выбор алгоритма анализа данных и анализ выявленных закономерностей;

- моделирование объекта. Включает в себя разработку модели, эксперименты с моделью, обработку результатов и анализ результатов;

- оценка состояния объекта. В завершающем блоке производится интерпретация результатов выполненных на этапе моделирования, выбор методов оценки состояния объекта, проведение оценки и формирование итогового отчета.

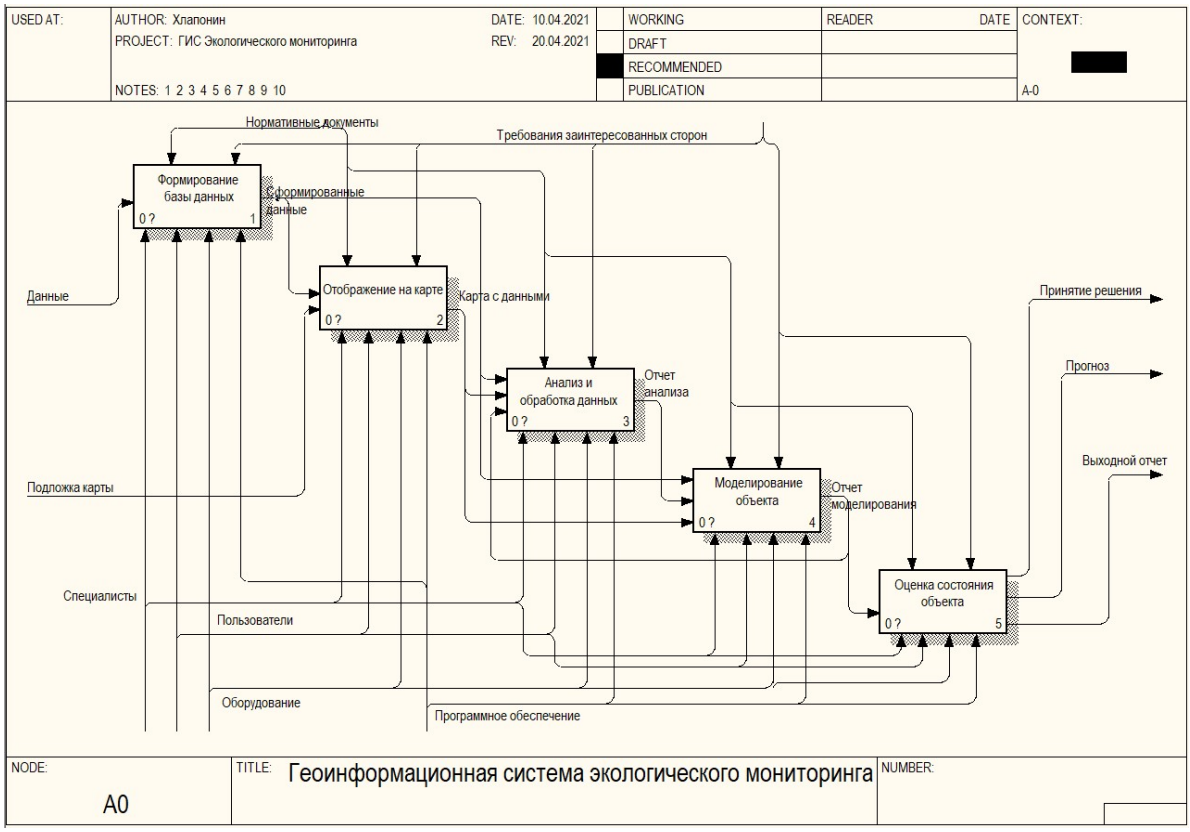


Рис. 2. Декомпозиция родительской диаграммы A0

Выводы и предложения

Таким образом, мы построили функциональную модель геоинформационной системы экологического мониторинга. Для усовершенствования системы следует после блока «Моделирование объекта» вернутся на «Отображение на карте», это позволило бы визуализировать получившуюся модель и на наглядном примере определить проблемы, требующие решения. Возможно, некоторые функции можно реализовать программными средствами, без участия специалиста или пользователя, добавить автоматизированные функции. Так же, можно было бы сделать более глубокую декомпозицию некоторых блоков, чтобы процесс был ещё более подробным.

В дальнейшем данную модель можно использовать как основу при разработке системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дубенецкий Б.Я.* Проектирование информационных систем. /Б.Я.Дубенецкий. – Л. : ЛЭТИ, 2008. – 675 с.
2. *Зиндер Е. З.* Системное проектирование. / Е.З. Зиндер. – М.: Мир, 2009. – 535 с.

3. *Ипатова Э. Р.* Методологии и технологии системного проектирования информационных систем: учебник / Э.Р. Ипатова, Ю.В. Ипатов; РАО. – М.: Флинта: МПСИ, 2008. – 256 с.
4. *Марков А.С.* Базы данных. Введение в теорию и методологию: учебник / А.С. Марков К.Ю. Лисовкий. – М.: Финансы и статистика, 2014. – 512 с.
5. *Стасышин В.М.* Проектирование информационных систем и баз данных // В.М. Стасышин. – Новосиб.: НГТУ, 2012. – 100 с.
6. *Вендров А.М.* CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. / А.М. Вендров. – М. : Финансы и статистика, 2009. – 758 с.
7. *Горбаченко В.И., Убиенных Г. Ф., Бобрышева Г. В.* Проектирование информационных систем с CA ERwin Modeling Suite 7.3 — Пенза: Издательство ПГУ, 2012г.
8. *Калянов Г. Н.* CASE-технологии. / Г.Н. Калянов. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 435 с.
9. *Похилько А. Ф.* CASE-технология моделирования процессов с использованием средств BPWin и ERWin : учебное пособие / А. Ф. Похилько, И. В. Горбачев.– Ульяновск:УлГТУ, 2008. – 120 с.
10. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования URL: https://docs.cntd.ru/document/1200028629 (дата обращения: 20.05.21).

Хлапонин Дмитрий Александрович, студент магистрант группы ЭПмо2-1, Южного федерального университета, Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, Россия, город Таганрог, улица Шевченко 2, 347900, телефон: +7 908 191 27 58, email: lllpionerlll@gmail.com.

Khlaponin Dmitry Aleksandrovich, undergraduate student of EPmo2-1 group, Southern Federal University, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation, Russia, Taganrog, Shevchenko Street 2, 347900, phone: +7 908 191 27 58, email: lllpionerlll@gmail.com.

УДК 621.396

Гужва Дмитрий Александрович, Север Константин Олегович,
Морозов Андрей Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ С КОНЕЧНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ, ОБЛАДАЮЩИХ МАЛОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТЬЮ

В данной обзорной статье рассмотрены фильтры с конечной импульсной характеристикой и банки фильтров. Использование данных фильтров для описания производительности слуховых аппаратов. Рассмотрены способы компенсации потери слуха и способы повышения громкости с помощью широкополосного усиления. А также рассмотрена принципиальная схема метода цифровой обработки сигналов с использованием банка фильтров.

Рекурсивный КИХ фильтр, БИХ фильтр, MCL, HT, UCL, SRT, банк фильтров.

Guzhva Dmitriy Alexandrovich, Morozov Andrey Alekseevich,
Sever Constantine Olegovich

INVESTIGATION OF ALGORITHMS FOR CONTROLLED DIGITAL FILTERS WITH FINITE IMPULSE RESPONSE WITH LOW COMPUTATIONAL COMPLEXITY

In this review article, filters with a finite impulse response and filter banks are considered. Using these filters to describe the performance of hearing aids. Methods of compensating for hearing loss and ways to increase the volume using broadband amplification are considered. A schematic diagram of the digital signal processing method using a filter bank is also considered.

Recursive FIR filter, IIR filter, MCL, HT, UCL, SRT, filter bank.

Введение

Фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ) могут иметь линейную фазочастотную характеристику (ФЧХ), проходящую через ноль системы координат, которая обеспечивается при симметричной КИХ.

Поэтому они популярны во многих приложениях, таких как системы связи, обработка аудиосигналов, биомедицинская аппаратура и т. д.

К сожалению, из-за большей длины КИХ стоимость реализации СБИС фильтра для КИХ-фильтров, как правило, выше, чем у фильтра с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) примерно с такими же характеристиками не считая того, что у БИХ-фильтров ФЧХ принципиально нелинейна (максимально линейна у фильтров Бесселя).

Известно, что длина КИХ фильтра нижних частот (ФНЧ) обратно пропорциональна его полосе пропускания (для ФНЧ – частоте среза). Поэтому вычислительная сложность алгоритма фильтрации велика, когда фильтр узкополосен.

Предполагаются найти эффективные методы проектирования фильтров, пригодных для звукового диапазона частот, в частности, для слуховых аппаратов.

Использования банков фильтров в цифровом слуховом аппарате

Аудиометрические данные, используемые для описания производительности слухового аппарата включают порог слуха (HT), уровень наиболее комфортной громкости (MCL) и уровень неудобной громкости (UCL).

MCL - это уровень интенсивности речи, который наиболее громкий. Для большинства людей с нормальным слухом речь наиболее комфортна на 40-50 дБ выше порога распознавания речи (SRT) [1].

Отношение UCL к HT известен как динамический диапазон, который устанавливает ограничение на максимальную мощность слуховых аппаратов.

Один из способов компенсировать потерю слуха – повысить громкость речи с помощью широкополосного усиления.

На рис. 1. показан эффект усиления речи на 20 дБ.

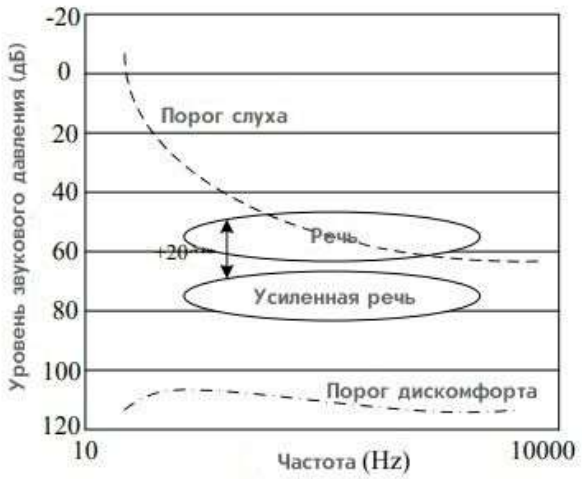


Рис. 1. Эффект усиления речи на 20 дБ

Перед усилением в высокочастотном диапазоне интенсивность речи меньше порогов слышимости, что означает, что речь в этом диапазоне не может быть услышана [2].

После усиления на 20 дБ можно услышать всю речь. В этом случае интенсивность усиленной речи меньше порога дискомфорта.

Однако иногда метод широкополосного усиления вызывает проблемы. На рис. 2, интенсивность некоторых звуков речи больше, чем пороги дискомфорта после усиления, потому что усиление применяется ко всей частоте.

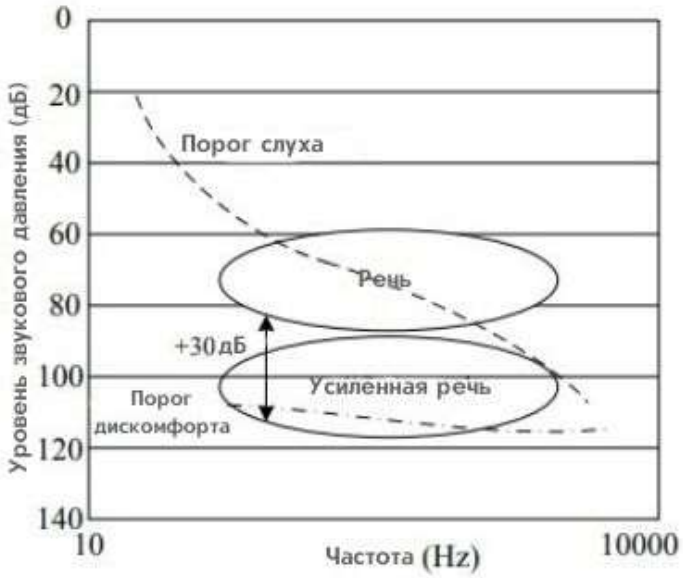


Рис. 2. Проблемы метода широкополосного усиления

Одним из способов решения этой проблемы является использование алгоритма на основе банка фильтров.

Весь диапазон частот разделен на несколько поддиапазонов, и каждый поддиапазон имеет свой собственный коэффициент усиления. Метод, основанный на банке фильтров, позволяет избежать того, чтобы низкочастотные звуки превышали пороговые значения дискомфорта, как показано на рис. 3 [3] [4].

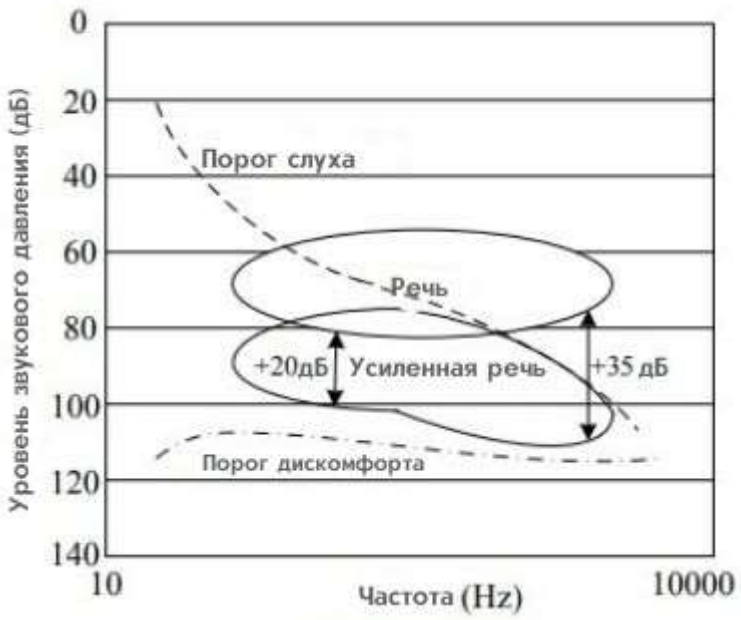


Рис.3. Использование разных коэффициентов усиления для разных диапазонов

Алгоритм, основанный на банке фильтров, позволяет легко регулировать усиление речи [5].

В пределах рассматриваемого речевого спектра регулировка полностью программируется и способна обеспечить комфорт пациентов.

Принципиальная схема метода цифровой обработки сигналов с использованием банка фильтров приведена на рис. 4 [6].

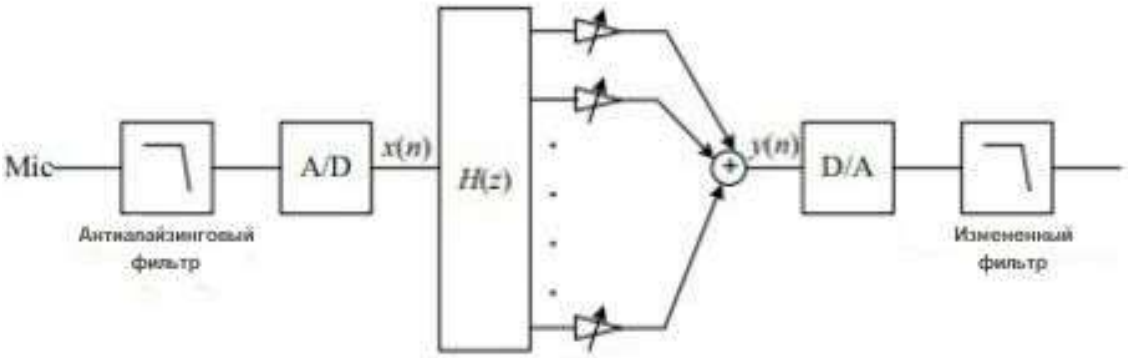


Рис.4. Схема метода цифровой обработки сигналов с использованием банка фильтров приведена

Стоимость цифровых КИХ-фильтров увеличивается с уменьшением полосы пропускания ФНЧ (частоты его среза). Для снижения вычислительной сложности алгоритма фильтра применяется интерполяция, т.е. каскадное соединении фильтров, в простейшем случае двух [7]. Первый

фильтр имеет длинную, но прореженную КИХ с относительно небольшим числом ненулевых отсчетов (коэффициентов). Достоинством его является высокая крутизна переходной полосы АЧХ и ее узость, недостатком – многополосность (из-за вторичной дискретизации при прореживании КИХ получается вторичная периодичность АЧХ). Второй каскад – интерполяционный фильтр, который как бы заполняет (при свёртке КИХ обоих фильтров) нули КИХ первого фильтра промежуточными отсчетами без лишних операций. В частотной области получается перемножение АЧХ, в результате чего получается узкополосный фильтр с крутой переходной полосой и отсутствием паразитных полос. При этом вычислительная сложность (пропорциональна суммарному числу ненулевых коэффициентов фильтра в целом) оказывается гораздо меньше, чем при прямой реализации цифрового ФНЧ. Если ФНЧ реализовать в виде рекурсивного КИХ-фильтра [8], то фильтр может иметь малую вычислительную сложность без применения интерполяции. Если рекурсивный КИХ-фильтр реализовать на звеньях с прямоугольной КИХ, то легко обеспечить управляемость фильтра изменением длины блоков задержки, определяющей длину КИХ, а значит, частоту среза [9]. В [10] рассмотрены управляемые рекурсивные БИХ-фильтры.

Выводы

Стоимость цифровых КИХ фильтров увеличивается с уменьшением полосы пропускания ФНЧ (частоты его среза). Основными идеями этих методов являются интерполяция и перемножение АЧХ.

Полученный фильтр имеет сильно прореженные коэффициенты, что в сумме с коэффициентами интерполирующего фильтра дает низкую вычислительную сложность, гораздо меньшую, чем при прямой реализации цифрового ФНЧ. Перемножение АЧХ подавляет паразитные полосы, порождаемые прореживанием КИХ (децимацией).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Wei Y. and Lian Y.* A Computationally Efficient Non-Uniform Digital Filter Bank for Hearing Aid, IEEE International Workshop on Biomedical Circuits and Systems, pp. S1.3.INV-17-20, Dec. 2004. процессоры обработки информации
2. *Hamida A. B*. Implication of new technologies in deafness healthcare: deafness rehabilitation using prospective design of hearing aid systems, IEEE International Symposium on Technology and Society, pp. 85-90, Sept. 2000.
3. *McAllister H. G., Black N. D., Waterman N. and Li M*. Audiogram matching using frequency sampling filters, Proceedings of the 16th IEEE Annual International

Conference on Engineering Advances: New Opportunities for Biomedical Engineers, vol. 1, pp. 249 - 250, Nov. 1994.
4. *Витязев В.В*. Методы цифровой частотной селекции и оптимальное проектирование полосовых фильтров на процессорах обработки сигналов, 06.12.1996 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.
5. *Onat E., Ahmadi M., Jullien G. A. and Miller W. C.* Optimized delay characteristics for a hearing instrument filter bank,Proceedings of the 43rd IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems, vol. 3, pp. 1074-1077, Aug. 2000.
6. *Турулин И.И.* Основы теории рекурсивных КИХ-фильтров: монография И.И.Турулин; Южный федеральный университет. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. –264 с.
7. *Турулин И.И., Верич Ю.Б.* Применение системы MATLAB для синтеза узкополосных нерекурсивных фильтров // Цифровая обработка сигналов. №3, 2003, С.44-45.
8. *Бородянский И.М., Турулин И.И.* Применение рекурсивных КИХ-фильтров для подавления помех при автоматическом контроле сопротивления изоляции // Изв. ЮФУ. Технические науки. №10. 2016. С. 99-110
9. *Верич Ю. Б.* Методика синтезаузкополосных КИХ-фильров в системе. РАН 2001. №155..
10. *Турулин И.И.* Управляемые цифровые фильтры: монография. – Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2016. –308 с.

Гужва Дмитрий Александрович, аспирант, Южного федерального университета, направления 05.12.04, Россия, город Таганрог, улица Петровская 17, 347900, телефон: +7 (905) 457-19-75, email: aleksandrovich777@inbox.com.

Север Константин Олегович, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347900, телефон: +7 (988) 546-79-23, e-mail: remales@mail.ru.

Морозов Андрей Алексеевич, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 17, 347900, телефон: +7 (903) 453-89-71, e-mail: morozov@sfedu.ru.

Guzhva Dmitriy Alexandrovich, graduate student Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 17 Petrovskaya street, phone: +7 (905) 457-19-75, e-mail: aleksandrovich777@inbox.com.

Morozov Andrey Alekseevich, graduate student Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 17 Petrovskaya street, phone: +7 (903) 453-89-71, e-mail: morozov@sfedu.ru.

Sever Constantine Olegovich, graduate student Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, Chekhov Street 22, phone: +7 (988) 546-79-23, e-mail: remales@mail.ru.

УДК 303.732.4

Скворцов Сергей Владимирович, Фетисова Татьяна Анатольевна

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

В докладе представлены методика и результаты исследования параллельного генетического алгоритма, реализованного на платформе CUDA и обеспечивающего поиск минимума целевой функции нескольких аргументов. Для организации экспериментов использованы положения теории факторного анализа. Для сравнения рассмотрена последовательная версия генетического алгоритма. Сделаны выводы об эффективности двухуровневого распараллеливания с различными вариантами селекции и кроссинговера на большом объеме данных.

Генетический алгоритм, многопоточность, производительность, факторный анализ.

Skvortsov Sergey Vladimirovich, Fetisova Tatyana Anatolevna

EXPERIMENTAL PERFORMANCE ESTIMATION OF THE PARALLEL GENETIC ALGORITHMBASED ON FACTOR ANALYSIS

The report presents a methodology and research results for a parallel genetic algorithm implemented on the CUDA platform and providing a search for the minimum of an objective function of several arguments. For the organization of experiments, the provisions of the theory of factor analysis were used. For comparison, a sequential version of the genetic algorithm is considered. Conclusions are made about the efficiency of two-level parallelization with various variants of selection and crossing over on a large amount of data.

Genetic algorithm, multi-threading, performance, factor analysis.

Введение

Одним из существующих подходов к повышению производительности программных приложений является организация многопоточности вычислений [1], в том числе и средствами графического процессора [5, 10]. Цель данной работы заключается в анализе и систематизации данных, полученных в результате проведения экспериментов по оценке быстродействия последовательной и параллельных версий генетического алгоритма (ГА) поиска минимума функции нескольких аргументов. Заметим, что при разработке параллельных версий ГА использованы два уровня многопоточности (параллеллизма), поддерживаемых платформой CUDA, а также их комбинация [7, 9]. Верхний уровень - это блоки данных, обрабатываемые параллельно, нижний уровень – множество параллельных потоков в одном блоке данных.

1. Методика проведения экспериментального исследования

Для построения методики проведения экспериментов использованы положения теории факторного анализа [2, 3]. Исходными данными для оценки быстродействия ГА в последовательной и параллельной версиях являются:

- количество особей популяции – от 2000 до 8000;
- количество блоков (обрабатываемых параллельно) - от128 до 512;
- количество параллельных потоков - от 128 до 512;
- уровни сложности целевой функции - от алгебраической функции третьей степени (простая) до трансцендентной функции с наличием нескольких тригонометрических слагаемых (сложная);
- варианты селекция - колесо рулетки, турнирная, ранговая [6];
- варианты кроссинговера - одноточечный, двухточечный, однородный [8].

Введем уловные обозначения: X_{ind}– количество особей; X_{block} – число блоков; X_{thread}– число потоков; X_{func} – сложность функции; X_{sel} – тип селекции; X_{cros} – тип кроссинговера. Тогда согласно теории полного факторного анализа, уравнение регрессии имеет 6-ой порядок и выглядит следующим образом:

$$Y = b_1 X_{ind} X_{block} X_{func} X_{sel} + b_2 X_{ind} X_{block} X_{func} X_{cros} + b_3 X_{ind} X_{block} X_{func} X_{sel} X_{cros} +$$
$$+ b_4 X_{ind} X_{thread} X_{func} X_{sel} + b_5 X_{ind} X_{thread} X_{func} X_{cros} + b_6 X_{ind} X_{thread} X_{func} X_{sel} X_{cros} +$$
$$+ b_7 X_{ind} X_{block} X_{thread} X_{func} X_{sel} + b_8 X_{ind} X_{block} X_{thread} X_{func} X_{cros} +$$
$$+ b_9 X_{ind} X_{block} X_{thread} X_{func} X_{sel} X_{cros}.$$

2. Экспериментальное исследование

Для проведения эксперимента по оценке эффективности параллельных вариантов генетического алгоритма для поиска минимума функции в заданном диапазоне, на платформе CUDA разработано четыре версии программы поиска минимума целевой функции в заданном диапазоне: последовательная реализация на ЦП; одноуровневая блочная; одноуровневая поточная и двухуровневая блочно-поточная реализация на платформе CUDA. Эксперимент проводился с использованием следующих технических средств: видеоплата NVIDIA GeForce gtx 1070, процессор IntelCore i5 6500.

Задачи эксперимента: сравнение скорости работы параллельных и последовательных версий программ; анализ полученных результатов в целом для определения рациональных режимов практического применения разработанных многопоточных приложений поиска данных.

В процессе эксперимента выполнялись измерения времени работы перечисленных версий программ, реализующих генетический алгоритм с использованием вариантов селекции и кроссинговера, указанных выше, и случайной мутации. Обобщенные результаты эксперимента представлены на рис. 1, где показаны зависимости средних значений времени работы в секундах от номера опыта, каждому из которых соответствует свой набор исходных данных, сформированных случайным образом.

Основное уравнения регрессии с коэффициентами, полученными при проведении факторного эксперимента, выглядит следующим образом:

$$Y = 0{,}21 X_{ind} X_{block} X_{func} X_{sel} + 0{,}03 X_{ind} X_{block} X_{func} X_{cros} + 0{,}25 X_{ind} X_{block} X_{func} X_{sel} X_{cros} +$$
$$+ 0{,}03 X_{ind} X_{thread} X_{func} X_{sel} + 0{,}31 X_{ind} X_{thread} X_{func} X_{cros} + 0{,}72 X_{ind} X_{thread} X_{func} X_{sel} X_{cros} +$$
$$+ 0{,}34 X_{ind} X_{block} X_{thread} X_{func} X_{sel} + 0{,}63 X_{ind} X_{block} X_{thread} X_{func} X_{cros} +$$
$$+ 0{,}84 X_{ind} X_{block} X_{thread} X_{func} X_{sel} X_{cros}.$$

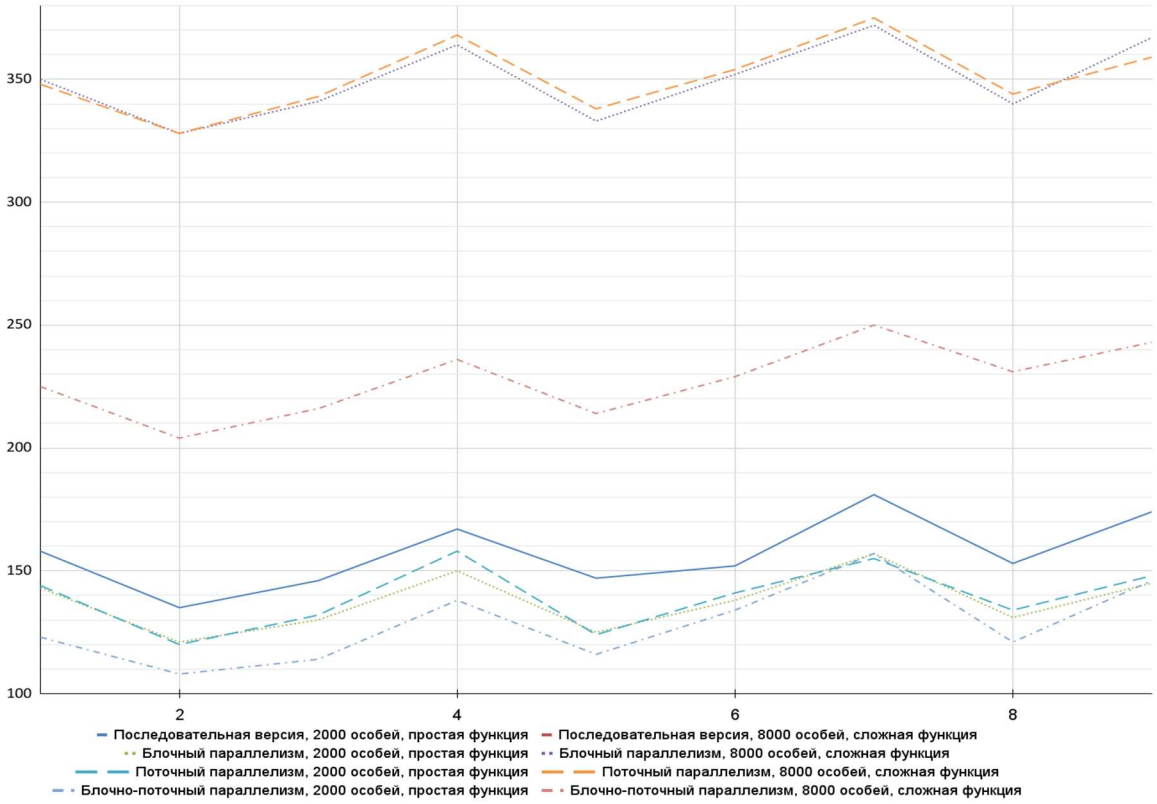


Рис. 1. График зависимости времени от номера опыта исходных данных последовательной и параллельной версий

Несомненно, все многопоточные версии работают быстрее [4], однако при малом количестве особей и с простой целевой функцией быстродействие незначительно. Но при двухуровневом распараллеливании с большим количеством особей и со сложной целевой функцией производительность возрастает в 3 раза. Если рассмотреть работу блочной и поточной версий, то алгоритм выполняется примерно одинаково быстро. В свою очередь, блочно-поточный параллелизм превосходит по быстродействию одноуровневое распараллеливание.

Оператор селекция ведет себя одинаково как в последовательной, так и в многопоточной версиях. Большее время занимает селекция типа «колесо рулетки» в первом опыте, быстрее всего турнирная селекция во втором опыте. Блочная и поточная реализация параллелизма практически не отличаются друг от друга.

Время работы генетического алгоритма возрастает, начиная от одноточечного кроссинговера и заканчивая однородным. Данная связь прослеживается в последовательной и параллельной версиях алгоритма. Блочный

и поточный способы организация многопоточности дают практически одинаковые результаты.

В блочной группе большее воздействие на скорость распараллеливания оказывает одновременные многопоточные версии селекции и кроссинговера, а кроссинговер оказывает малое воздействие. В поточной группе тоже быстродействие значительно зависит от комбинации операторов, но меньше от селекции. В блочно-поточной группе скорость выполнения многопоточной версии алгоритма относительно значимости операторов аналогична поточной группе. Минимальное влияние кроссинговера или селекции в блочной и поточной версиях соответственно обусловлено организацией способа распараллеливания, а именно обменом данных в блоках и потоках. Например, в блочном параллелизме для любого типа скрещивания необходимо затратить приблизительно одинаковое время, что незначительно влияет на работу всего генетического алгоритма, в то время, как в поточной группе тип кроссинговера очень важен для получения более быстрого результата. Аналогичные выводы можно сделать и об операторе селекция.

При сравнении способов распараллеливания лучшие результаты по быстродействию обладает блочно-поточная группа, что подтверждается высокими коэффициентами взаимодействия каждого оператора генетического алгоритма и их комбинации. Это связано с тем, что используется двухуровневое распараллеливание, где на первом уровне выполняется весь генетический алгоритм, а на втором – вычисление фитнес-функции.

Выводы

Таким образом, в результате проведения экспериментальных исследований было установлено, что все параллельные версии генетического алгоритма дают улучшение по времени работы в сравнении с последовательным вариантом реализации. Сложность целевой функции заметно влияет на работу параллельного генетического алгоритма - чем она сложнее, тем больше время работы алгоритма (как минимум, в 2 раза). При увеличении количества особей производительность алгоритма повышается. Блочный и поточный параллелизм CUDA при таком наборе исходных данных дают примерно одинаковый эффект. Значительное уменьшение времени работы наблюдается при организации блочно-поточного параллелизма (по сравнению с последовательной версией временные затраты сокращаются в 3 раза). Применение многопоточного генетического алгоритма целесообразно при большем количестве особей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы [Текст]/ Под ред. В.М. Курейчика. — 2-е изд., испр. и доп.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 320 с.
2. Планирование эксперимента. Учебно-практическое пособие / Ерещенко Т.В., Михайлова Н.А. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015.
3. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие / Н. И. Сидняев. — М. : Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2011.
4. *Skvortsov S., Fetisova T., Perepelkin D., Fetisov D.* Approach of Acceleration of Genetic Algorithm on CUDA platform // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2019 - DOI: 10.1109/MECO.2019.8760016.
5. *Лунин Д.В., Скворцов С.В.* Разработка параллельного генетического алгоритма для решения задачи коммивояжера на платформе CUDA // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – Т. 60. – № 2. – С. 50-55.
6. *Панченко Т.В.* Генетические алгоритмы [Текст]: учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 [3] с.
7. *Скворцов С.В., Фетисова Т.А.* Направления исследований параллельных генетических алгоритмов // Сборник трудов III Международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании», СТНО - 2020. Рязань, 2020. – Том 3, с. 98-105.
8. *Яминов Б.* Генетические алгоритмы: Дискретная математика: алгоритмы / Б. Яминов // Санкт-Петербургский государственный университет. — 2005.
9. *Фетисова Т.А., Скворцов С.В.* Ускорение генетического алгоритма средствами графических процессоров фирмы NVIDIA // Современные технологии в науке и образовании (СТНО-2019), Международный научно-технический форум, Сборник трудов, Том 4. 2019. С. 193-198.
10. *Жуков Р.А., Плехов П.В.* Реализация параллельного генетического алгоритма на архитектуре NVIDIA CUDA // JUVENIS SCIENTIA, 2016, №3, с. 8-10.

Скворцов Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры САПР ВС Рязанского государственного радиотехнического университета, Россия, город Рязань, улица Гагарина59/1, 390005, телефон: +7 (4912) 72-03-03, email: s.v.skvor@gmail.com.

Фетисова Татьяна Анатольевна, аспирант кафедры САПР ВС Рязанского государственного радиотехнического университета, Россия, город Рязань, улица Гагарина59/1, 390005, телефон: +7 (4912) 72-03-03, email: pyurova_ta@mail.ru.

Skvortsov Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of CAD Ryazan State Radio Engineering University, 390005, Russia, Ryazan, 59/1Gagrin street, phone: +7(4912) 72-03-03, email: s.v.skvor@gmail.com.

Fetisova Tatyana Anatolevna, Postgraduate Student of Department of CAD Ryazan State Radio Engineering University, 390005, Russia, Ryazan, 59/1Gagrin street, phone: +7(4912) 72-03-03, email: pyurova_ta @mail.ru.

УДК 621.397.3

Гужва Дмитрий Александрович, Морозов Андрей Алексеевич,
Север Константин Олегович

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ СПОСОБОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО И ГАУССОВСКОГО ШУМА В ИЗОБРАЖЕНИИ

В статье представлен сравнительный анализ медианной фильтрации и фильтрации Винера для устранения импульсного и гауссовского шума в изображении. Для моделирования использовалось одно изображение, искаженное импульсным и гауссовским шумом. При медианной фильтрации применена матрица фильтрующего ядра с квадратичной и крестообразной формой. При использовании фильтра Винера применена матрица фильтрующего ядра с квадратичной формой. Фильтрации производились с окнами, равными 3x3 и 5x5. В результате получена численная оценка качества фильтрации изображения на основе пикового отношения сигнала к шуму (PSNR). На основе полученных данных приведены рекомендации по использованию исследуемых фильтров.

Обработка изображений, импульсный шум, гауссовский шум, фильтры, медианный фильтр, фильтр Винера.

Guzhva Dmitriy Alexandrovich, Morozov Andrey Alekseevich,
Sever Constantine Olegovich

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEDIAN FILTRATION AND FILTERING OF WIENER FOR ELIMINATION OF IMPULSE AND GAUSSIAN NOISE IN IMAGE

The article presents a comparative analysis of median filtering and Wiener filtering to eliminate pulse and Gaussian noise in the image. A single image distorted by pulse and Gaussian noise was used for the simulation. For median filtering, a matrix

of the filter core with a quadratic and cross-shaped shape is used. When using the Wiener filter, the matrix of the filter core with a quadratic shape is applied. Filters were performed with windows equal to 3x3 and 5x5. The result is a numerical estimate of the image filtering quality based on the peak signal-to-noise ratio (PSNR). Based on the obtained data, recommendations for the use of the studied filters are given.

Image processing, pulse noise, Gaussian noise, filters, median filter, Wiener filter.

Введение

В процессе формирования и приема-передачи цифровые изображения подвергаются влиянию различных шумов, что приводит к ухудшению визуального качества и потере участков изображений. Одной из основных задач цифровой обработки изображений является восстановление поврежденных пикселей (реставрация изображения по заданному критерию) [1].

При формировании изображений и до оцифровки шумы накладываются на аналоговый сигнал. Источники шума могут быть как внутренними (неидеальность используемого оборудования - цифровые шумы, вносимые фотосенсорами цифрового фотоаппарата), так и внешними (плохие условия съемки - шумы, возникающие при ночной фото-, видеосъемке) [2]. При передаче цифровых сигналов возможны такие искажения, как потеря одного или группы пикселей (последнее – при передаче пикселей пакетами).

Существуют различные виды шумов [3], но на практике наиболее распространенными являются модели импульсного и аддитивного гауссовского шума.

Импульсный шум заменяет части пикселей на изображении значениями случайной или фиксированной величины. Данный вид шума связан с ошибками, возникающими при передаче изображений [4].

Отличительной чертой аддитивного гауссовского шума является добавление значений из соответствующего нормального распределения с нулевым средним значением к каждому пикселю изображения. Данный тип шума обычно возникает во время формирования цифрового изображения.

На данный момент существует множество методов очистки изображений от шума, которые зависят от типа шумового воздействия [5]. Алгоритмы шумоподавления обычно предназначены для подавления определенного типа шума. Универсальных фильтров, определяющих и подавляющих все типы шумов, пока не существует. Однако большинство шумов можно обобщить моделью белого гауссовского шума, поэтому большинство алго-

ритмов ориентируется на подавление данного вида шума. Наиболее популярными методами удаления шумов являются сглаживающие фильтры, фильтры Винера, медианные фильтры и ранжирующие фильтры [6].

В данной работе проведен сравнительный анализ медианной фильтрации и фильтрации Винера для устранения импульсного и гауссовского шума.

Основная часть

Для моделирования использовалось изображение «Ноутбук», представленное на рис. 1, а.

Исходное изображение отдельно искажалось импульсным шумом (рис. 1, б) при помощи функции «addnoise» [7] программного пакета MathCAD 15.0 со следующими параметрами:

- p = 0,2 – значение вероятности добавления шума на используемое изображение;
- n = 150 – значение интенсивности пикселя, добавляемого (или высчитываемого) в зашумленный пиксель.

Также исходное изображение отдельно искажалось гауссовским шумом (рис. 1, в). Для создания гауссовского шума использовалось следующее выражение:

$$\mathrm{gnoise}(\mathrm{Qavg}, \sigma) = \mathrm{Qavg} + \sigma\sqrt{-2\ln\big(\mathrm{rnd}(1)\big)} * \cos(2 * \pi * \mathrm{rnd}(1)), \qquad (1)$$

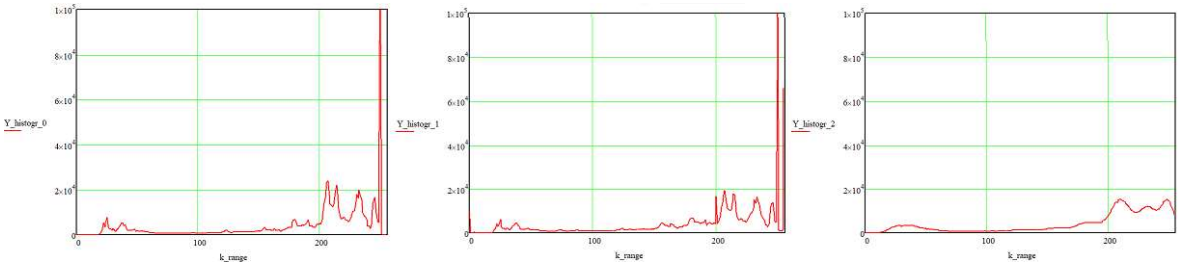
где Qavg – среднее значение шума, σ – среднеквадратическое отклонение.

Используя функцию gaussian noise, была построена матрица шума с параметрами Qavg = 1, σ = 5 и добавлена на исходное изображение.

а) б) в)

Рис. 1. Изображение: а) исходное; б) искаженное импульсным шумом; в) искаженное гауссовским шумом

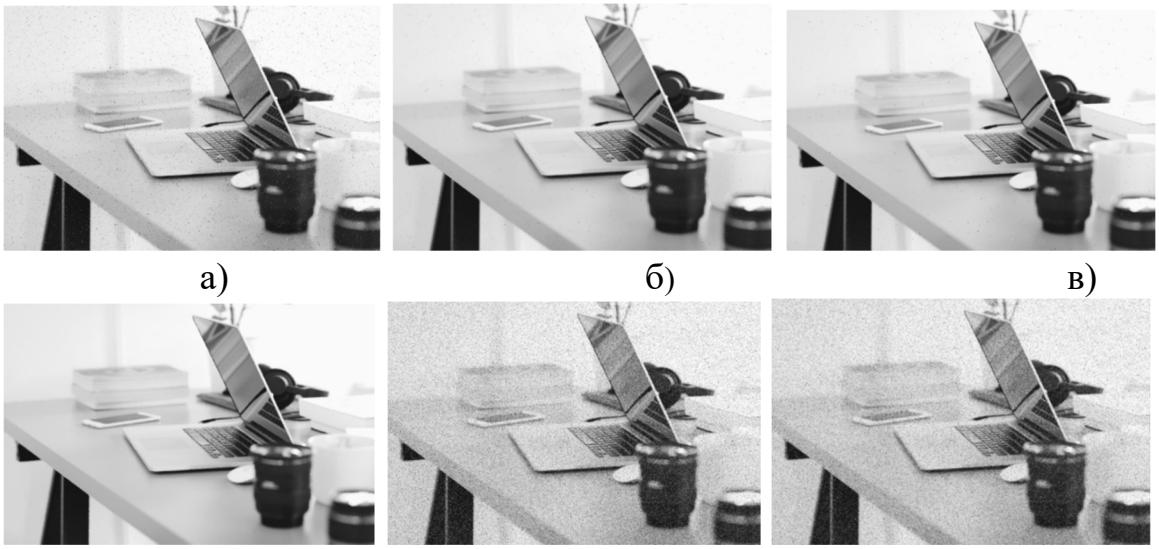
Для наглядного отображения влияния шума на исходное изображение на рис. 2 представлены гистограммы исходного и зашумленных изображений.



а) б) в)

Рис. 2. Гистограмма изображения: а) исходного; б) искаженного импульсным шумом; в) искаженного гауссовским шумом

Очистка зашумленных изображений (см. рис. 1 б, в) производилась медианной фильтрацией с матрицами фильтрующих ядер в виде квадрата и креста и с окнами 3x3, 5x5 при помощи функции «quanfilt» и фильтрации Винера с окнами 3x3 и 5x5 при помощи функции «wiener2d». На рис. 3-4 показаны результаты обработки изображений.



а) б) в)

г) д) е)

Рис. 3. Очищенное изображение от импульсного шума после: а) медианной фильтрации с матрицей в виде креста и окном 3x3; б) медианной фильтрации с матрицей в виде креста и окном 5x5; в) медианной фильтрации с матрицей в виде квадрата и окном 3x3; г) медианной фильтрации с матрицей в виде квадрата и окном 5x5; д) фильтрации Винера с окном 3x3; е) фильтрации Винера с окном 5x5

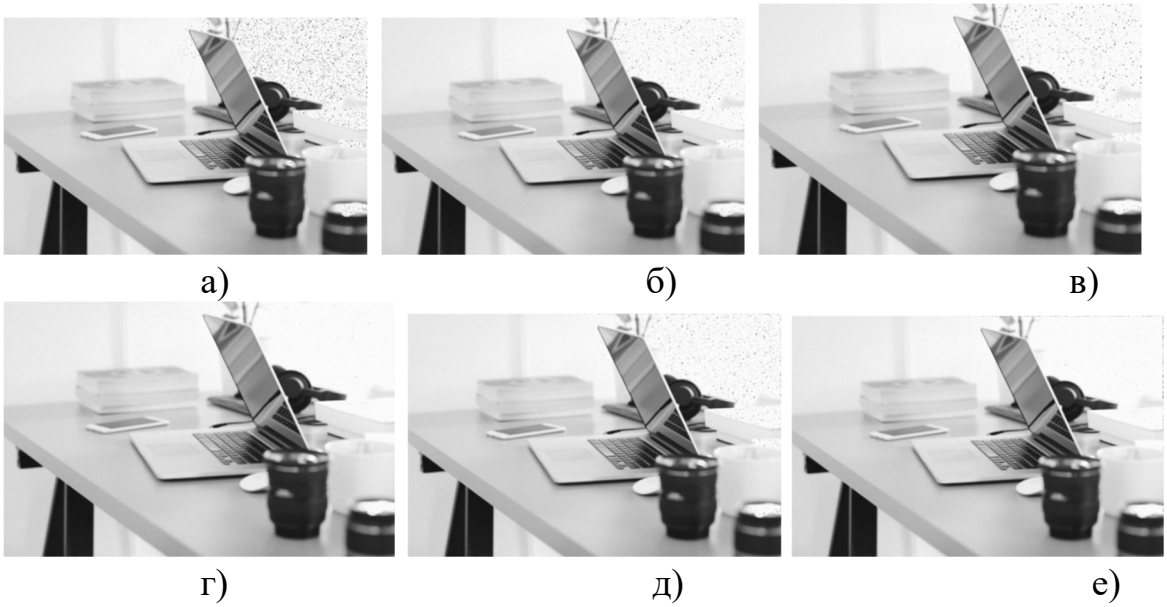


Рис. 4. Очищенное изображение от гауссовского шума после: а) медианной фильтрации с матрицей в виде креста и окном 3x3; б) медианной фильтрации с матрицей в виде креста и окном 5x5; в) медианной фильтрации с матрицей в виде квадрата и окном 3x3; г) медианной фильтрации с матрицей в виде квадрата и окном 5x5; д) фильтрации Винера с окном 3x3; е) фильтрации Винера с окном 5x5

Для оценки качества фильтрации изображения от шума использовалась характеристика PSNR (пиковое отношение сигнал-шум), вычисляемая

$$\mathrm{PSNR} = 10\log\left(\frac{\mathrm{N}^2}{\mathrm{MSE}}\right), \quad (2)$$

$$MSE = \frac{\sum_i \sum_j \left(y_{i,j} - x_{i,j}\right)^2}{H_1 * H_2}, \quad (3)$$

где MSE – среднеквадратическая ошибка восстановленного изображения; N – максимальная величина пикселя изображения, в данном случае равняется 255; $y_{i,j}$ – восстановленное изображение; $x_{i,j}$ – исходное изображение; H_1 и H_2 – ширина и высота изображения.

Чем больше величина PSNR, тем лучше качество восстановленного изображения, и для тождественно равных изображений $\mathrm{PSNR} = \infty$.

Таблица 1

Численная оценка качества фильтрации (PSNR) для каждого метода

Используемые методы	**Значение PSNR**	
	Импульсный шум	**Гауссовский шум**
Исходное зашумленное изображение	14,146	33,986
Медианная фильтрация с матрицей в виде креста и окном 3x3	24,807	38,365
Медианная фильтрация с матрицей в виде креста и окном 5x5	33,129	38,818
Медианная фильтрация с матрицей в виде квадрата и окном 3x3	33,233	39,109
Медианная фильтрация с матрицей в виде квадрата и окном 5x5	**36,216**	36,862
Фильтрация Винера с окном 3x3	17,392	40,137
Фильтрация Винера с окном 5x5	18,581	**41,34**

Для меняющейся помехосигнальной обстановки могут быть применены управляемые цифровые фильтры [8], для снижения вычислительной сложности – рекурсивные КИХ-фильтры [9]. КИХ последних может быть линейной, что обеспечивает минимальные искажения изображений. В [10] предлагаются фильтры, сочетающие достоинства фильтров [9, 10] для несложных импульсных характеристик, например, двумерных окон, подходящих для сглаживания изображений.

Выводы

В результате применения различных видов фильтраций над зашумленными изображениями установлено, что наилучшими результатами обладают медианная фильтрация с матрицей в виде квадрата и окном 5x5 для очистки изображения с импульсным шумом и фильтрация Винера с окном 5x5 для очистки изображения с гауссовским шумом. Полученные численные оценки качества фильтрации изображения (PSNR) для каждого метода доказывают данное утверждение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gonzalez R.C.* Digital image processing [Text] / R.C. Gonzalez, R.E. Woods // Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. – 2007. – 976 p. – ISBN: 978-0- 13-168728-8.
2. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера,2005.
3. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.* В21 Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. - 384 с.
4. *Gonzalez, R.C.* Digital image processing using MATLAB [Text] / R.C. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins // Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall, Inc. – 2010. – 344 p. – ISBN: 978-0-9820854-0-0.
5. Проблема подавления шума на изображениях и видео и различные подходы к ее решению [Электронный ресурс] – URL: https://docplayer.ru/57372769-Problema-podavleniya-shuma-na-izobrazheniyah-i-video-i-razlichnye-podhody-k-ee-resheniyu.html (Дата обращения: 22.05.2021).
6. *Buades A.* A review of image denoising algorithms, with a new one [Text] / A. Buades, B. Coll and J.M. Morel // SIAM Multiscale Modeling and Simulation. – 2005. – vol. 4. – pp. 490-530.
7. Сложение и измерение шума [Электронный ресурс] – URL: https://support.ptc.com/help/mathcad/ru/index.html#page/PTC_Mathcad_Help%2Faddition_and_noise_measurement.html%23 (Дата обращения: 10.05.2021).
8. *Турулин И.И.* Управляемые цифровые фильтры: монография. Таганрог: Изд-во Южного Федерального Университета. – 2016. – 308 с.
9. *Турулин И.И.* Основы теории рекурсивных КИХ-фильтров: монография. – Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2016. –264 с.
10. *Турулин И.И., Ткаченко М.Г.* Быстроперестраиваемые цифровые фильтры: монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 104 с.

Север Константин Олегович, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова 22, 347900, телефон: +7 (988) 546-79-23, e-mail: remales@mail.ru.

Морозов Андрей Алексеевич, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 17, 347900, телефон: +7 (903) 453-89-71, e-mail: morozov@sfedu.ru.

Гужва Дмитрий Александрович, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 17, 347900, телефон: +7 (905) 457-19-75, e-mail: aleksandrovich777@inbox.com.

Sever Constantine Olegovich, graduate student Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, Chekhov Street 22, phone: +7 (988) 546-79-23, e-mail: remales@mail.ru.

Morozov Andrey Alekseevich, graduate student Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 17 Petrovskaya street, phone: +7 (903) 453-89-71, e-mail: morozov@sfedu.ru.

Guzhva Dmitriy Alexandrovich, graduate student Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 17 Petrovskaya street, phone: +7 (905) 457-19-75, e-mail: aleksandrovich777@inbox.com.

Ковалев Владислав Владимирович

АЛГОРИТМ НЕЛИНЕЙНОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Решение задач обнаружения образов целевых объектов на видеоизображениях является нетривиальной задачей компьютерной зрения. Как правило это связано с разнообразием входных данных, на основе которых принимается решение поставленной задачи. Для решения данного недостатка автором статьи разработан алгоритм предварительной обработки видеоизображений, основанный на нелинейном контрастировании видеоизображений, который приводит признаки видеоизображений к одним значениям динамического диапазона за счет нелинейного контрастирования высокочастотных и низкочастотных компонент видеоизображения, полученных путем вычисления пирамиды Лапласа. Приведена оценка влияния предварительной обработки на точность обнаружения алгоритма автоматического обнаружение образов целевых объектов. Оценка произведена на разнообразном наборе видеоизображений, эмитирующим влияние различных факторов на значения динамического диапазона видеоизображений.

Kovalev Vladislav Vladimirovich

ALGORITHM OF NONLINEAR CONTRASTING OF VIDEO IMAGES TO INCREASE THE ACCURACY OF OBJECT DETECTION

Solving the problems of detecting images of target objects in video images is a non-trivial task of computer vision. As a rule, this is due to a variety of input data, on the basis of which a solution to the problem is made. To solve this drawback, the author of the article has developed an algorithm for preliminary processing of video images, based on nonlinear contrasting of video images, which brings the features of video images to the same values of the dynamic range due to nonlinear contrasting of high-frequency and low-frequency components of the video image obtained by computing the Laplace pyramid. The estimation of the influence of preprocessing on the detection accuracy of the algorithm for automatic detection of images of target objects is given. The assessment was made on a diverse set of video images that emit the influence of various factors on the values of the dynamic range of video images.

Введение

Проблема автоматического обнаружения образов целевых объектов на видеоизображениях привлекает специалистов в области компьютерного зрения. Это связано с широким применением алгоритмов обнаружения образов объектов в различных областях науки и техники. Однако, как показывает практика, не всегда получается достичь желаемых результатов в точности обнаружения. Это связано с проблемой описания и извлечения информации [1, 2], описывающей образы целевых объектов. Так как обнаружение образов объектов на видеоизображения в разнообразном признаковом пространстве, зависящем от времени суток, времени года, погодных условий и т.д. является чрезвычайно сложной задачей. Для устранения подобного рода недостатков автором статьи разработан алгоритм предварительной обработки видеоизображений на основе нелинейного контрастирования признаков видеоизображения, позволяющий повысить точность алгоритмов обнаружения образов объектов на видеоизображениях. Приведено экспериментальное исследование влияния разработанного алгоритма предварительной обработки видеоизображений на точность обнаружения образов целевых объектов в сложных оптических условиях.

Описание алгоритма обнаружения образов объектов

На первом этапе последовательное во времени видеоизображение поступает на «блок предварительной обработки видеоизображений», в ко-

тором происходит преобразование исходных признаков видеоизображения в новые признаки с целью повышения точности обнаружения конкретных образов объектов на изображениях [3]. «Блок обнаружения образов объектов» включается в себя локализацию и классификацию образа объекта на видеоизображении. Локализация объекта заключается в определении фигуры, описывающей образ, чаще всего это прямоугольник. Задача классификации заключается в определении метки класса образа из числа возможных классов.

В качестве алгоритма обнаружения образов объектов используется детекционная сверточная нейронная сеть «You only look once v3» (YOLOv3) [4], которая относится к категории алгоритмов машинного обучения. Важной особенностью СНС является, что до процесса обучения разработчиком задается архитектура сети с набором гиперпараметров. Гиперпараметры СНС — это параметры модели сети, которые задаются до обучения и не изменяются в процессе обучения: размер фильтра, тип активации, количество слоев архитектуры, тип оптимизатора и т.д. Процесс обучения СНС заключается в подборе весовых коэффициентов фильтров так, чтобы минимизировать функцию ошибки методом обратного распространения. Результатом решения СНС есть набор детекций, каждая из которых хранит информацию о найденном образе: параметры фигуры, описывающей образ, уверенность решения и метка класса образа объекта. После чего полученные детекции отображаются на исходном видеоизображении в «блоке отображения образов объектов» визуализируя работу сети для оператора.

В исследовании используется выборка видеоизображений в инфракрасном ИК оптическом диапазоне в количестве 20000. Выборка включает три класса образов целевых объектов: грузовой автомобиль, легковой автомобиль и человек. ИК изображения является невидимым для человеческих глаз, так как волновой диапазон ИК излучения находится выше видимого излучения. Далее рассмотрим алгоритм предварительной обработки видеоизображений, расположенный в «блоке предварительной обработки видеоизображений».

Алгоритм нелинейного контрастирования изображения

С течением времени значения динамического диапазона видеоизображений всегда находятся в разных значениях. Это связано с большим количеством как внешних, так и внутренних факторов. Например, на изменение динамического диапазона видеоизображения может повлиять система

автоматической регулировки усиления (АРУ), встроенная в оптическую аппаратуру, либо же это может быть внешние факторы окружающей среды: температура, давление, влажность и т.д. В большинстве случаев резкие изменения динамического диапазона приводят к некорректным результатам алгоритмов компьютерного зрения, где алгоритмы обнаружения образов не являются исключением. Поэтому приведение признаков изображений к одним значениям динамического диапазона находит свое применим в задачах обнаружения образов объектов на видеоизображениях. Решения этой проблемы основывается на нелинейном контрастировании видеоизображения. Алгоритм нелинейного контрастирования можно разбить на следующие этапы: рекурсивное вычисление пирамиды Лапласа видеоизображения с получением высокочастотных (ВЧ) и низкочастотной (НЧ) составляющих [5], нелинейное преобразование ВЧ и НЧ составляющих видеоизображения и восстановление видеоизображения.

На рис.1 а), б) приведены ИК видео изображения и соответствующие распределения элементов яркости в момент времени t_0 и t_1. Как можно заметить, различие значений динамических диапазонов в разные моменты времени существенны, что уменьшает точность алгоритмов обнаружения образов объктов. На рис. 2 а), б) отображены контрастированые ИК видео изображения с соответствующими распределениями элементов яркости в моменты времени t_0 и t_1.

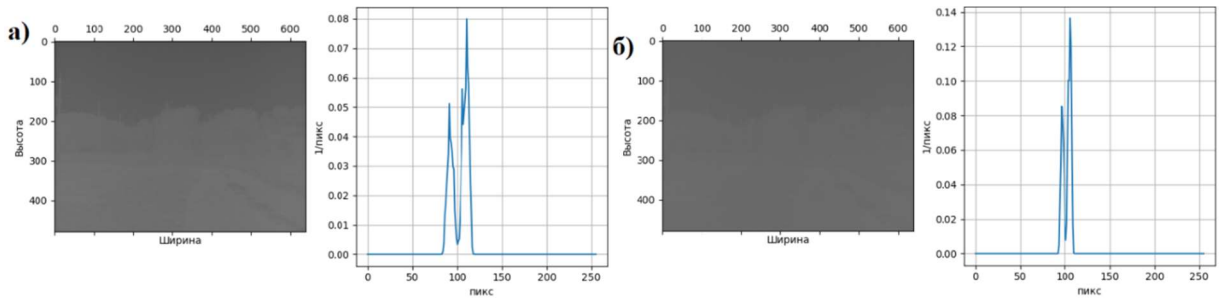


Рис. 1. ИК видео изображения с соответствующим распределением элементов яркости в моменты времени а) t_0, б) t_1

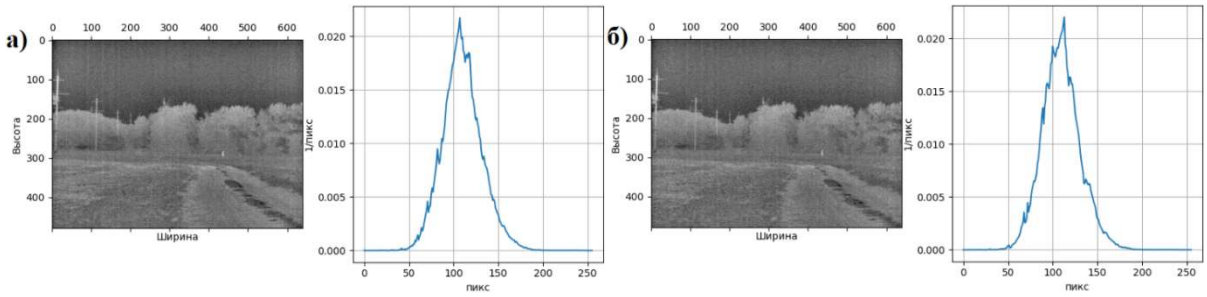


Рис. 2. Контрасированные ИК видео изображения с соответствующим распределением элементов яркости в моменты времени а) t_0, б) t_1

Из распределений элементов яркости контрастированных видеоизображений видно, что разница динамических диапазонов несущественна в отличие от исходных видеоизображений. Это означает, что признаки, описывающие образы, будут находиться в одном диапазоне значений, что позволит алгоритму обнаружения адаптироваться к распределению входных данных, что повысит точность обнаружения.

Оценка влияния алгоритма нелинейного контрастирования на точность обнаружения объектов

Оценка влияния алгоритма нелинейного контрастирования на точность алгоритмов обнаружения образов объектов осуществляется путем сравнения двух моделей СНС обученных на исходной выборке ИК видеоизображений и предварительно обработанной алгоритмом нелинейного контрастирования. Сравнение моделей СНС производилось на тестовой выборке ИК видеоизображений, имитирующей сложные оптические условия, заключающиеся в разнообразном изменении динамического диапазона элементов яркости видеоизображений [6, 7]. В качестве интегрального критерия точность алгоритмов обнаружения образов объектов используется метрика Mean Average Precision (mAP) [8], которая рассчитывается как среднее между метрикой Average Precision (AP) для каждого класса. Следует отметить, что на сегодняшнее время в состязательном соревновании алгоритмов обнаружении образов объектов «COCO» [9] лучший алгоритм [10] достигает 58,7 % по критерию mAP. Оценка точности моделей СНС на основе метрик mAP показала, что модель, обученная на выборке видеоизображений, предварительно обработанной алгоритмом нелинейного контрастирования, достигла 48 % в то время, как модель, обученная на исходную выборку, достигла 44 %. Это результат пока зазывает влияние предварительной обработки видеоизображений на увеличение точности обнаружения образов объектов нейросетевым алгоритмом.

Выводы

Алгоритмы обнаружения образов объектов принимают непредсказуемое решение на видеоизображениях, признаки которых отличны от признаков, которые имеют распределение признаков отличное от распределения признаков в обучающей выборке. Для решения проблем данного рода в статье приведен разработанный автором алгоритм предварительной обработки видеоизображений: нелинейное контрастирование. За счет приведения признаков видеоизображения к одним значениям динамического

диапазона, к которым нейросетевой алгоритм адаптировался, увеличивается точность обнаружения образов целевых объектов.

Произведена оценка влияния алгоритма нелинейного контрастирования видеоизображений сравнением двух моделей детекционных сверточных нейронных сетей архитектуры YOLOv3, обученных на выборках видеоизображений предварительно обработанной алгоритмом нелинейного контрастирования и исходной выборке. Оценка моделей производилась на основе интегральной метрики Mean Average Precision, которая рассчитывалась на генеральном наборе видеоизображений. Сравнение полученных метрик показала, что сверточная нейронная сеть, обученная на предварительно обработанной выборке видеоизображений, достигла точности 48%, а сеть, обученная на исходной выборке видеоизображений — 44% по критерию mAP. Этот результат показывает влияние предварительной обработки на увеличение точности работы алгоритма обнаружения образов целевых объектов на видеоизображениях, признаки которых слабо взаимосвязаны с признаками видеоизображений, содержащихся в обучающей выборки. Последующие исследования будут направлены на сравнение разработанного алгоритма с существующими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вапник В.Н. Червоненкис А.Я.* Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). М.: Наука, 1979. 416 с.
2. *Сенин А.Г.* Распознавание случайных сигналов. Новосибирск: Наука, 1974. 76 с.
3. *Верхаген К., Дейн Р., Грун Ф. и [др]*. Распознавание образов. Состояние и перспективы, М. : Радио и связь, 1985. — 104 с.: ил.
4. *Redmon J., Farhadi A.* YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv, 2018, Available at: https://arxiv.org/abs/1804.02767v1.
5. *Vorobiev V., Gribunin V.* Theory and practice of wavelet transformations, VUS, 1999.
6. *Shorten C., Khoshgoftaar T.* A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning // J Big Data 6, 60 (2019).
7. The Effectiveness of Data Augmentation in Image Classification using Deep Learning.
8. *Van Etten A*. Satellite imagery multiscale rapid detection with windowed networks // In 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) (pp. 735–743). IEEE.

9. *Tsung-Yi L., Michael M., Serge B.* Microsoft COCO: Common Objects in Context, arXiv, 2015, Available at: https://arxiv.org/abs/1405.0312.
10. *Ze L., Yutong L., Yue C.* Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows // arXiv, 2021, Available at: https://arxiv.org/abs/2103.14030.

Ковалев Владислав Владимирович, аспирант кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, город Таганрог, улица Чехова 2, 347922, телефон: +7 (952) 586-44-92, email: vlad.kovalev94@mail.ru.

Kovalev Vladislav Vladimirovich, postgraduate student of the Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Southern Federal University», Russia, Taganrog, Chekhov Street 2, 347922, phone: +7 (952) 586-44-92, email: vlad.kovalev94@mail.ru.

УДК 303.732.4, 378.1, 311.2

Богачев Иван Сергеевич, Даничев Алексей Александрович,
Погребников Александр Константинович, Якунин Юрий Юрьевич

РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ДИСЦИПЛИН В СИСТЕМЕ ПОРЯДКОВЫХ ШКАЛ

Каждый семестр студенты вузов в ходе опроса ставят бальные оценки по различным аспектам образовательного процесса. Различие в наборах изучаемых дисциплин приводит к большому числу пропусков в исходных данных. В данной работе рассмотрена возможность повышения релевантности итогового рейтинга дисциплин с помощью методов анализа данных в порядковых шкалах.

Образовательный процесс, показатель, рейтинг дисциплин, анализ данных, порядковая шкала.

Bogachev Ivan Sergeevich, Danichev Aleksey Aleksandrovich,
Pogrebnyakov Alexander Konstantinovich, Yakunin Yuri Yurievich

RATING SYSTEM FOR EVALUATING DISCIPLINE IN ORDER SCALE SYSTEM

Every semester, university students, during a survey, give points on various aspects of the educational process. The difference in the sets of subjects studied leads to a large number of omissions in the source data. In this paper, we consider the possibility of increasing the relevance of the final rating of disciplines using data analysis methods in ordinal scales.

Educational process, indicator, discipline rating, data analysis, ordinal scale.

Введение

Сервис анкетирования студентов института космических и информационных технологий, являющийся частью личного кабинета, позволяет получать обратную связь в структурированном и текстовом видах по различным аспектам образовательного процесса [1,2]. Одним из способов анализа отзывов студентов является составление рейтинга дисциплин на основе среднеарифметических баллов анкетирования.

Проблемой является большое количество пропусков при наличии недостоверных данных и малого числа градаций. Большинство студентов оценивает лишь часть изучаемых дисциплин. Многие студенты ставят в анкете всем дисциплинам только 5 или такую же оценку, как получили на экзамене. Студент проходит анкетирование в рамках одного семестра и может ставить баллы не абсолютные, а в сравнении с другими дисциплинами этого семестра.

Так как основная цель составления рейтинга – выделение проблемных дисциплин и дисциплин, которые нравятся студентам, то уместно воспользоваться методами анализа данных в порядковых шкалах. Переход от бальных оценок к матрицам парных сравнений огрубляет результат, но при этом сглаживает указанные проблемы. В случае неопределенности дисциплины стремятся принять равные ранги, что позволяет доверять назначенным первым и последним местам в рейтинге.

В качестве выборки были взяты данные 9 бакалаврских групп, связанных между собой общими направлениями и изучаемыми предметами, за полный цикл обучения (8 семестров). Итоговый рейтинг строится для 125 дисциплин.

Основная часть

В ходе обзора исходных данных было выявлено, что основной проблемой для их качественного анализа является неполнота данных анкетирования, представленных лишь на четверть от максимального количества оценок. Среди дисциплин средний процент количества ответов составляет приблизительно 30%. Около 80 % дисциплин имеют небольшое количество оценок (менее 100). Такое количество пропусков в данных затрудняет качественную оценку полученных результатов.

Отсутствие определенного статистического распределения (рис. 2), корреляций между исследуемыми переменными не позволяют на основе имеющихся данных строить приемлемые доверительные интервалы для показателей или заполнять пропуски с высокой точностью [3-5].

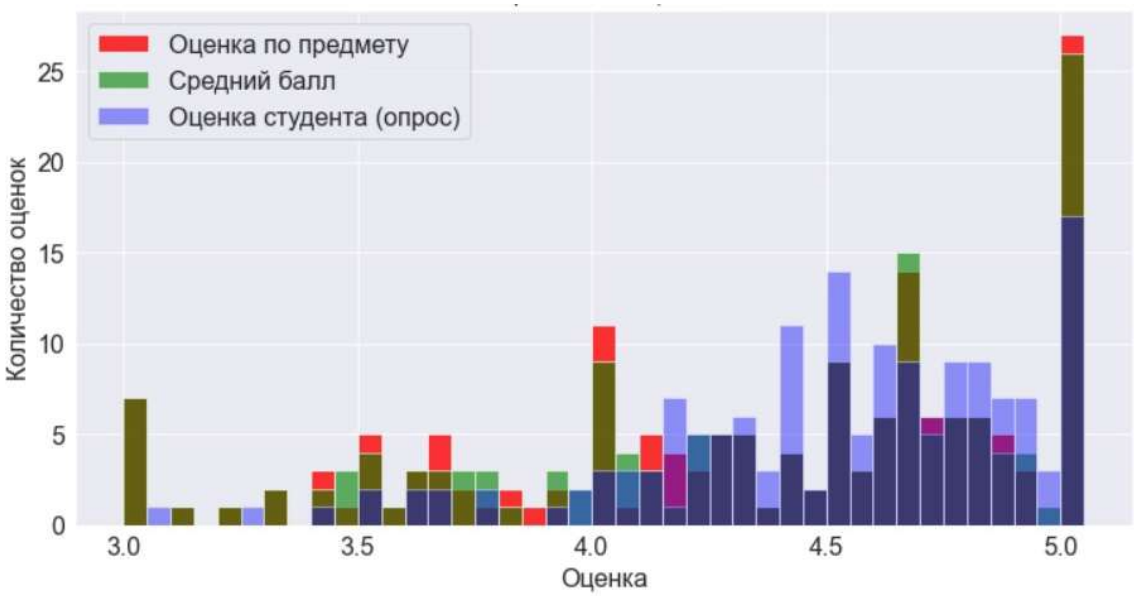


Рис. 2. Частотная гистограмма ключевых показателей

Для составления достоверного итогового рейтинга перейдем от бальных оценок к математическому аппарату порядковых шкал [7,8]. Противоречивые сравнения объектов или большое число пропусков делает применение методов анализа данных в порядковых шкалах невозможным. Необходимо учитывать коэффициент согласованности и разреженности данных:

- Ks определяет, насколько одинаково эксперты сравнивают пары объектов;
- Kst определяет число случаев не транзитивности оценок;

- Kz отвечает за оценку пропусков, обусловленных тем, что дисциплины сравнивались не всеми студентами;

- Kz_0 отвечает за оценку пропусков, обусловленных тем, что пары дисциплин ни разу не сравнивались.

Исходя из полученных результатов (табл. 1), разреженность матриц отношений исходных данных высока и их согласованность близка к минимальному порогу, поэтому следует использовать метод выделения наборов объектов с высокой согласованностью, исключая объекты с малым числом сравнений [9]. В результате удалось выделить 25 дисциплин с приемлемыми показателями.

Таблица 1

Коэффициенты разреженности и согласованности данных

Коэффициенты	**Все дисциплины**	**Согласованный набор**	**Минимальные (рекомендуемые) значения**
Ks	0.2	0.3	0.2 (>0.6)
Kst	0.001	0	Kst→0
Kz	0.001	0.4	0.4 (>0.5)
Kz_0	0.02	0.6	0.86 (>0.92)

Далее, с помощью обобщенного метода строчных сумм [10] восстановлены пропущенные данные и строится новый рейтинг дисциплин.

Сравнение рейтингов дисциплин данных с пропусками и данных с заполненными пропусками показывает, что большое количество дисциплин изменили позицию, занимаемую в итоговом рейтинге. По таблице 2 видно, что дисциплины № 4 и 80 увеличили средний бал и перешли из категории «плохих» дисциплин в категорию приемлемых с оценкой больше 4. У 8 дисциплин несмотря на только отличные баллы рейтинг был понижен. Это обуславливается тем, что некоторые дисциплины были оценены на 5 одновременно с ними у одних групп студентов, и на более низкие баллы в других группах.

Таблица 2

Средний балл дисциплин до и после обработки

<table>
<tr><th rowspan="2">Код дисциплины</th><th colspan="2">С пропусками</th><th colspan="2">Без пропусков</th></tr>
<tr><th>Средний балл</th><th>Рейтинг</th><th>Рейтинг</th><th>Средний балл</th></tr>
<tr><td>24,53</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">1</td><td>1</td><td>5</td></tr>
<tr><td>11,25,58,68,107, 43,91,114</td><td>2</td><td rowspan="3">[4.5; 5,0)</td></tr>
<tr><td>9, 47,88,102, 105, 45,55,40,77</td><td>[4.5; 5,0)</td><td>2, 3, 4, 5</td><td>2, 3, 4, 5</td></tr>
<tr><td>18, 34, 95,104</td><td>[4,0; 4.5)</td><td>6, 7</td><td>5</td></tr>
<tr><td>4,80</td><td>[3.6; 4.0)</td><td>8, 9</td><td>6, 7</td><td>[4,0; 4.5)</td></tr>
</table>

Выводы

В данной работе показана принципиальная возможность применения методов анализа данных в порядковых шкалах для улучшения анализа данных с малым числом градаций и большим количеством пропусков. Продемонстрированный подход позволил построить релевантный итоговый рейтинг только для 20% дисциплин. Продолжение исследований предполагают применение транзитивных замыканий для дисциплин, не вошедших в итоговый рейтинг и моделирование ответов студентов (для оценки погрешности алгоритма).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Погребников А.К., Шестаков В.Н., Якунин Ю.Ю.* Классификация дисциплин с низким уровнем освоения студентами // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании/ Труды IV Международной научной конференции. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. С. 119-123
2. *Якунин Ю.Ю., Погребников А.К.* Анализ обратной связи в персональной образовательной среде. // Информатика и образование/ 2018;(10). С. 36-41
3. *Зангиева И.К.* Решение проблемы неполноты данных массовых опросов/ Вып. 3. М.: Издательский дом ГУ-ВШЭ, 2008. С. 84-95.
4. *Фомина Е.Е.* Подготовка и анализ результатов анкетирования с применением математических методов статистики// Социосфера/ 2018.– № 2.– С.– 194-198.
5. *Фомина Е.Е., Жиганов Н.К.* Методика обработки результатов анкетирования с использованием методов многомерной и параметрической статистики // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки/ 2017.– № 1.– С. 106-115.

6. *Якунин Ю.Ю., Медведев А.В., Ярещенко Д.И.* О математическом моделировании образовательного процесса в университете// Высшее образование сегодня/ М: Издательская группа «ЛОГОС», 2016. – Вып. 11.– С. 45-51.
7. *Литвак Б. Г.* Экспертная информация:Методы получения и анализа// М. : Радио и связь, 1982.
8. *Даничев А.А., Гехман А.В., Якунин Ю.Ю.* Обработка результатов экспертиз в реестре научно-технических разработок // Вестник сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнёва/ Красноярск: СибГАУ, 2010. Вып. 6(32). С. 30-34.
9. *Даничев А. А. Воловик М. А., Даничев А. М.* Программная система поддержки принятия решений: обработка информации в порядковых шкалах // бюллетень CAD/CAM/CAE/CALS / Краснояр. гос. техн. ун-т; науч.-образовательный центр интегрир. компьютер. технологий. Красноярск, 2004. С. 32–46.
10. *Чеботарев П.Ю.* Обобщение метода строчных сумм для неполных парных сравнений // Автоматика и телемеханика. 1989.№8.С. 125–137.

Богачев Иван Сергеевич, магистрант группы КИ19-04-02М, студент базовой кафедры «Интеллектуальные системы управления» Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, Россия, город Красноярск, улица Академика Киренского, 26 к1, ауд. 3-06, 660074, телефон: +7 (391) 291-22-87, email: ibogachev-ki19@stud.sfu-kras.ru.

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

Погребников Александр Константинович, старший преподаватель базовой кафедры «Интеллектуальные системы управления» института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, Россия, город Красноярск, улица Академика Киренского, 26 к1, ауд. 3-06, 660074, телефон: +7 (391) 291-22-87, email: APogrebnikov@sfu-kras.ru.

Якунин Юрий Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий базовой кафедры «Интеллектуальные системы управления» института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, Россия, город Красноярск, улица Академика Киренского, 26 к1, ауд. 3-06, 660074, телефон: +7 (391) 291-22-87, email: yyakunin@sfu-kras.ru.

Bogachev Ivan Sergeevich, undergraduate student of the KI19-04-02M group, student 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: ibogachev-ki19@stud.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.

Pogrebnikov Alexander Konstantinovich, senior lecturer 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: APogrebnikov@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 004.8

Якушин Юрий Юрьевич

СИММЕТРИЧНЫЕ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫЕ НЕЙРОКРИПТОСИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

В данной работе рассматриваются симметричные состязательные нейрокриптосистемы для защиты информации в распределенных системах. Целью работы является императивное доказательство работы симметричных состязательных нейрокриптосистем в процессе обучения защите информации. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: показаны особенности защиты информации в распределенных системах, отличия от математических криптографических методов, рассмотрены и формализованы симметричные состязательные нейрокриптосистемы, выполнена постановка

эксперимента по обучению защите симметричных состязательный нейрокриптосистем. В результате проведенного эксперимента было показано, что состязательная нейрокриптосистема может обучится защите информации от гипотетического и реального злоумышленника.

Состязательная нейрокриптосистема, нейрокриптография, защита информации, симметричная нейрокриптосистема, распределенная система.

Yakushin Yuriy Yurievich

SYMMETRIC ADVERSARIAL NEURAL CRYPTOSYSTEMS FOR PROTECTION OF INFORMATION IN DISTRIBUTED SYSTEMS

This paper considers symmetric adversarial neurocryptosystems for information protection in distributed systems. The aim of the work is an imperative proof of the work of symmetric adversarial neurocryptosystems in the process of teaching information security. To achieve this goal, the following tasks were solved: the features of information protection in distributed systems, the differences from mathematical cryptographic methods were shown, symmetric adversarial neurocryptosystems were considered and formalized, an experiment was set up to teach the protection of symmetric adversarial neurocryptosystems. As a result of the experiment, it was shown that an adversarial neurocryptosystem can learn to protect information from a hypothetical and real attacker.

Adversarial neurocryptosystem, neurocryptography, information protection, symmetric neurocryptosystem, distributed system.

Введение

Особенность защиты информации в распределенных системах связана с тем, что конечные узлы распределенной системы находятся на удаленном расстоянии, а передача информации между ними осуществляется по физическим каналам связи [1], что позволяет злоумышленнику получить доступ к передаваемой информации, прослушивая канал связи. В этом случае для защиты информации необходимо использование криптографических методов защиты информации [2].

Используемые сейчас, математические криптографические методы основаны на идеях вычислительно сложных задач, которые являются практически неразрешимыми для злоумышленника на современном этапе развития технологий [3]. Однако математическим криптографическим мето-

дам свойственна проблемы, связанные с развитием технологий, например «инфляция ключа», неустойчивость к квантовым вычислениям [4-6].

Одним из перспективных направлений является нейрокриптография [7], которая изучает применение стохастических алгоритмов, в частности искусственных нейронных сетей, для шифрования и криптоанализа, и не имеет проблем математической криптографии [8].

Симметричные состязательный нейрокриптосистемы

Состязательные нейрокриптосистемы являются новым направлением в нейрокриптографии, которые предложили Мартин Абади и Дэвид Г. Андерсен из исследовательского проекта Google Brain в своей работе [9].

Состязательные нейрокриптосистемы рассматривают криптографическую защиту информации в целях генеративно-состязательных сетей [10]. Особенность предложенного подхода состоит в том, что в процессе обучения абоненты будут получать свои формы шифрования и дешифрования сообщений, а не обучатся конкретным криптографическим алгоритмам.

Как и другие криптографические методы, состязательные нейрокриптосистемы можно разделить на два вида: ассиметричные и симметричные. Предлагается исследование последних для проверки работоспособности концепции состязательной нейрокриптографии, как более простых систем при проведении экспериментов. Доказательство работы симметричных нейрокриптосистем можно рассматривать как необходимое условие работы ассиметричных нейрокриптосистем, которые имеют наибольшую практическую значимость при защите информации в распределенных системах.

Рассмотрим схему симметричной состязательной нейрокриптосистемы (рис. 1) и опишем цели ее участников [9].

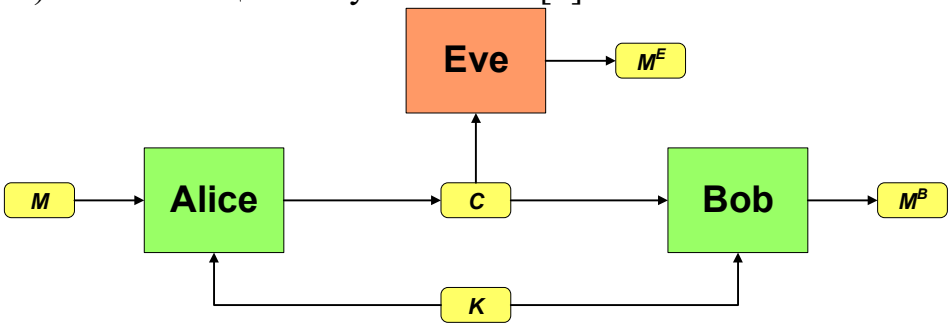


Рис. 1. Симметричная состязательная нейрокриптосистема

Пусть Алиса, Боб и Ева имеют соответствующие нейронные сети A – Alice, B – Bob, E – Eva, где Алиса и Боб – абоненты ассиметричной состязательной нейрокриптосистемы, а Ева является криптоаналитиком пытающимся расшифровать сообщения, передаваемые от Алисы к Бобу.

Формализуем цели участников симметричной состязательной нейрокриптосистемы.

Пусть Алиса шифрует сообщение M при помощи ключа K используя нейронную сеть Alice с параметрами W_A, тогда зашифрованное сообщение C:

$$C = A(W_A, M, K). \quad (1)$$

Пусть Боб дешифрует зашифрованное сообщение C при помощи ключа K, используя нейронную сеть Bob с параметрами W_B, тогда расшифрованное Бобом сообщение M^B:

$$M^B = B(W_B, C, K). \quad (2)$$

В отличие от Боба Ева не владеет ключом поэтому дешифрованное ей сообщение при помощи нейронной сети Eve с параметрами W_E будет:

$$M^E = B(W_B, C, K). \quad (3)$$

В качестве оценочной функции будем использовать среднее отклонение дешифрованных бит до открытого текста:

$$d(M, M') = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|M_i - M_i'|, \quad (4)$$

где N – количество бит в сообщении.

Определим функцию потерь Евы как расстояния от дешифрованного ею текста до открытого. Такой подход имеет малую практическую ценность, однако он очень наглядный и удобный для проведения исследования:

$$L_E: d(M, M^E). \quad (5)$$

Определим функцию потерь для Алисы и Боба с учетом ошибки дешифрования Евы:

$$L_{AB}: d(M, M^B) + (1 - L_E)^2. \quad (6)$$

Искусственные нейронные сети оперируют вещественными значениями, однако ключ и сообщение представлены битовыми значениями. В процессе обучения состязательной нейрокриптосистемы данные могут рассматриваться как вещественные значения, однако в процессе использования необходимо отображение выходных значений дешифраторов Боба и Евы на двоичное множество.

Обучение симметричной состязательной нейрокриптосистемы защите информации

Параметры симметричной состязательной нейрокриптосистемы:

– архитектуры нейронных сетей Алисы и Боба идентичны: FC x 1 – CONV1D x 4, с использованием функции активации сигмоиды в

полносвязном слое (FC), ReLU в трех сверточных слоях (CONV1D) и гиперболического тангенса в последнем сверточном слое;

– архитектура нейронной сети Евы сложнее чем у Алисы и Боба: FC x 2 – CONV1D x 4, что дает ей некоторое вычислительное преимущество перед ними;

– длинна сообщения и длинна ключа: 16 бит;

– размер партии пакетов на эпохе обучения: 4096 примеров для Боба и 8 192 примеров для гипотетической и реальной Евы;

– скорость обучения: 0.0008;

– количество эпох обучения: 1000.

Результат обучения симметричной состязательной нейрокриптосистемы рассчитан по приведенной ранее оценочной функции, показывающей ошибку дешифрования (4) и представлен на рис. 2.

На рис.2 синей линией показана ошибка дешифрования Боба, оранжевой – гипотетической Евы, с которой соревнуется нейрокриптосистема Алисы и Боба, зеленой – реальной Евы, обучающейся параллельно с гипотетической Евой, однако о реальной Еве криптосистема Алисы и Боба ничего не знает, красным показана среднее отклонение зашифрованного сообщения от исходного сообщения.

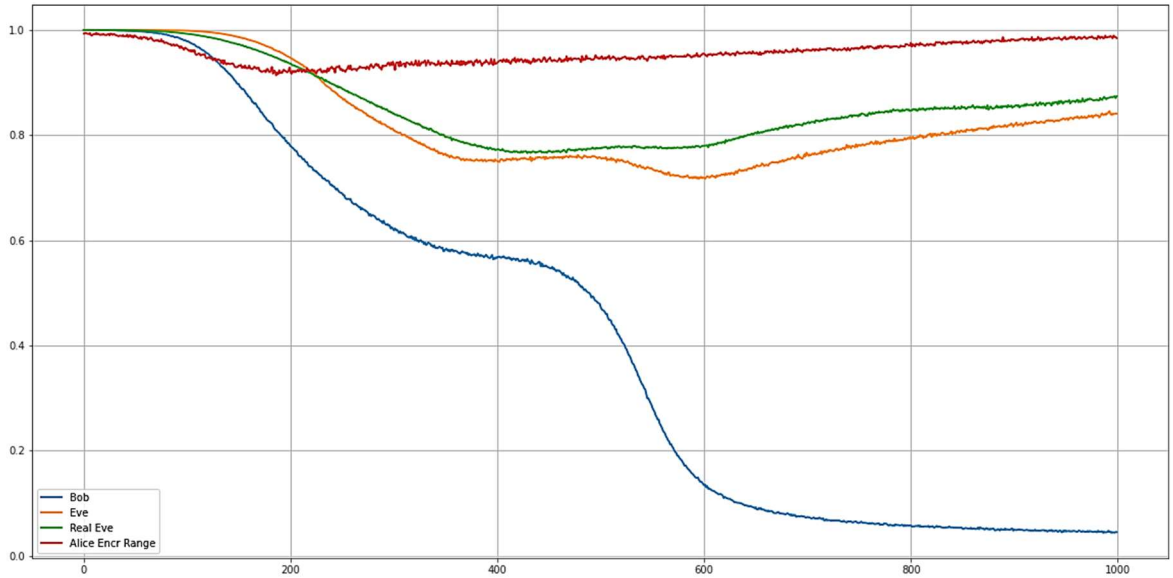


Рис. 2. Результат обучения защите симметричной состязательной нейрокриптосистемы

Выводы

В результате обучения защите симметричной состязательной нейрокриптосистемы можно наблюдать следующее поведение (Рисунок 2): Боб постепенно обучается дешифрованию сообщений Алисы, в то время как гипотетическая и реальная Ева пытаются адаптироваться к созданной Алисой и Бобом криптосистеме, и когда ей это частично удается криптосистема изменяется, что временно приводит к повышению ошибки дешифрования Боба. После изменения криптосистемы ни гипотетическая ни реальная Ева уже не могут к ней адаптироваться в то время, как Боб практически безошибочно обучился дешифровать сообщения Алисы.

Однако ввиду случайной природы искусственных нейронных сетей нельзя утверждать, что подобное поведение будет аналогичным для каждого случая [11], поэтому необходимо более детальное исследование проблемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. — СПб.: Питер, 2003. — 877 с: ил. — (Серия «Классика computer science»). ISBN 5-272-00053-6
2. Атака на Internet / Медведовский И. Д., Семьянов П. В., Леонов Д. Г. – А92 2е изд., перераб. и доп. – М.: ДМК. – 336 с.: ил. ISBN 5-89818-036-2
3. *Шеннон К.* Теория связи в секретных системах //Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ. – 1963. – С. 333-369.
4. *Yakushin, Y. Y.* Socio-humanitarian and technical aspects of the protection of information / Y. Y. Yakushin, N. A. Dmitrienko, G. I. Mogilevskaya // Modern Science. – 2020. – No 1-2. – P. 198-201.
5. *Boudot F. et al*. Comparing the difficulty of factorization and discrete logarithm: a 240-digit experiment //Annual International Cryptology Conference. – Springer, Cham, 2020. – С. 62-91.
6. *Bajpai P. et al*. The Suitability of RSA for Bulk Data Encryption //2020 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS). – IEEE, 2020. – С. 1-6.
7. Применение искусственных нейронных сетей и системы остаточных классов в криптографии / Н. И. Червяков, А. А. Евдокимов, А. И. Галушкин [и др.]. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 280 с. – ISBN 9785922113861.

8. *Rivest R. L., Shamir A., Adleman L.* A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems // Communications of the ACM. - New York, NY, USA: ACM, 1978. - T. 21. - No. 2, Feb. 1978. - S. 120-126. - ISSN 0001-0782
9. *Abadi M., Andersen D. G.* Learning to protect communications with adversarial neural cryptography //arXiv preprint arXiv:1610.06918. – 2016.3.
10. *Goodfellow I.* Nips 2016 tutorial: Generative adversarial networks //arXiv preprint arXiv:1701.00160. – 2016.
11. *Arora S. et al*. Generalization and equilibrium in generative adversarial nets (gans) //International Conference on Machine Learning. – PMLR, 2017. – С. 224-232.

Якушин Юрий Юрьевич, магистрант Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ДГТУ в г. Шахты, Россия, город Шахты, улица ул. Шевченко, 147, 346500, телефон: +7 (961) 285-76-51, email: yakushin.yuriy96@gmail.com.

Yakushin Yuriy Yuryevich, Master's student of the Institute of service and entrepreneurship (branch) of DSTU in Shakhty, Russia, Shakhty, st. Shevchenko, 147, 346500, phone: +7 (961) 285-76-51, email: yakushin.yuriy96@gmail.com.

УДК 519.688

Цветков Федор Алексеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В УМНОЖИТЕЛЕ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ЯЗЫКЕ LABVIEW

В докладе показывается, как с помощью программ на языке LabVIEW смоделировать процессы в умножителе частоты дискретизации, в том числе и в целых числах. В докладе показаны приемы программирования алгоритмов работы узлов интерполятора: двухфазного корректирующего фильтра и интегрально-гребенчатого фильтра. Результаты проиллюстрированы спектральными и временными диаграммами во всех узлах интерполятора.

Моделирование, интерполятор, корректирующий фильтр, интегрально-гребенчатый фильтр, LabVIEW.

Tsvetkov Fedor Alekseevich

MODELING OF PROCESSES IN THE SAMPLE RATE MULTIPLIER IN THE LABVIEW LANGUAGE

The report shows how to use programs in the LabVIEW language to simulate the processes in the sample rate multiplier, including in integers.The report shows the techniques of programming algorithms for the operation of the interpolator nodes: a two-phase correction filter and an integral comb filter. The results are illustrated by spectral and time diagrams at all the nodes of the interpolator.

Modeling, interpolator, correction filter, integral comb filter, LabVIEW.

Введение

В современных устройствах связи сигналы, как правило, имеют цифровую форму, т.е. являются последовательностью цифровых кодов с определенной частотой следования (частотой дискретизации). При этом часто возникает необходимость преобразовать частоту дискретизации с сохранением формы передаваемого сигнала. Например, в передающих устройствах исходный информационный сигнал (с микрофона и т.п.) имеет малую верхнюю частоту занимаемой полосы частот и оцифровывается с небольшой частотой дискретизации. Модулируемое несущее колебание имеет более высокую частоту дискретизации. Поэтому возникает необходимость повысить частоту дискретизации информационного сигнала до совпадения частот дискретизации у этих колебаний. В литературе за процессом повышения частоты дискретизации закрепился термин «интерполяция». В большинстве случаев частоту дискретизации повышают в целое число раз. Ниже рассмотрена модель интерполятора с коэффициентом интерполяции 20 при входной частоте дискретизации 10 кГц и, соответственно выходной частоте 200 кГц. Модель написана на языке графического программирования LabVIEW.

Основная часть

На рис. 1 показана структурная схема модели интерполятора.

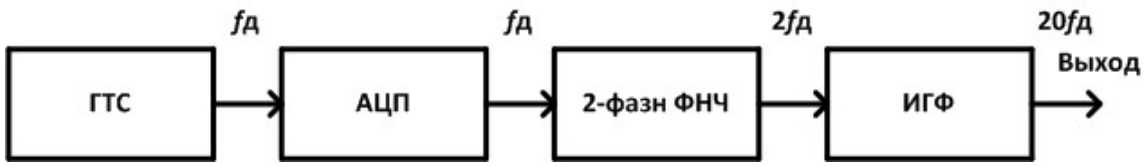


Рис. 1. Структурная схема модели интерполятора

На схеме использованы обозначения:

- ГТС – генератор тестового сигнала, формирующий последовательность из 100 цифровых отсчетов с плавающей запятой и частотой дискретизации $f_д$ = 10 кГц, вычисленных для суммы 25 гармонических колебаний с частотами i*0,1 кГц, где i = 1; 2; 3; … , 25 со случайными начальными фазами, равномерно распределенными от -180° до +180°, и одинаковыми амплитудами 1 В);

- АЦП – аналого-цифровой преобразователь, роль которого сводится к квантованию поступающих на него отсчетов, при этом можно задать диапазон входного напряжения и разрядность выходных целочисленных двоичных кодов, а также использование или не использование округления к ближайшему целому числу;

- 2-фазн ФНЧ – полифазный (2 фазы) фильтр нижних частот, со специально подобранной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) для компенсации спада АЧХ ИГФ; одновременно с фильтрацией этот ФНЧ удваивает частоту отсчетов сигнала;

- ИГФ – интегрально-гребенчатый фильтр (CIC-фильтр Хогенауэра), осуществляющий повышение частоты дискретизации еще в 10 раз путем вставки девяти нулей между каждой парой его входных отсчетов и ослабляющий возникающие при этом дополнительные спектральные составляющие.

Таким образом, интерполятор должен повысить частоту дискретизации в 20 раз ($f_{д\ вых}$= 200 кГц) с сохранением формы тестового сигнала. При этом требуется обеспечить неравномерность АЧХ интерполятора для составляющих входного сигнала с частотами 0,1 … 2,0 кГц не хуже 1 % и уровень паразитных составляющих не выше -40 дБ.

Модель должна так же имитировать работу 2-фазн ФНЧ и ИГФ в целых числах, осуществлять масштабирование промежуточных результатов путем отбрасывания целого количества младших двоичных разрядов с или без округления к ближайшему целому числу. Также модель должна позволять рассмотреть форму и амплитудный спектр колебаний во всех ключевых точках интерполятора.

Заданным требования удовлетворяет программа, написанная на языке LabVIEW. Лицевая панель программы показана на рис. 2, а функциональная диаграмма – на рис. 3.

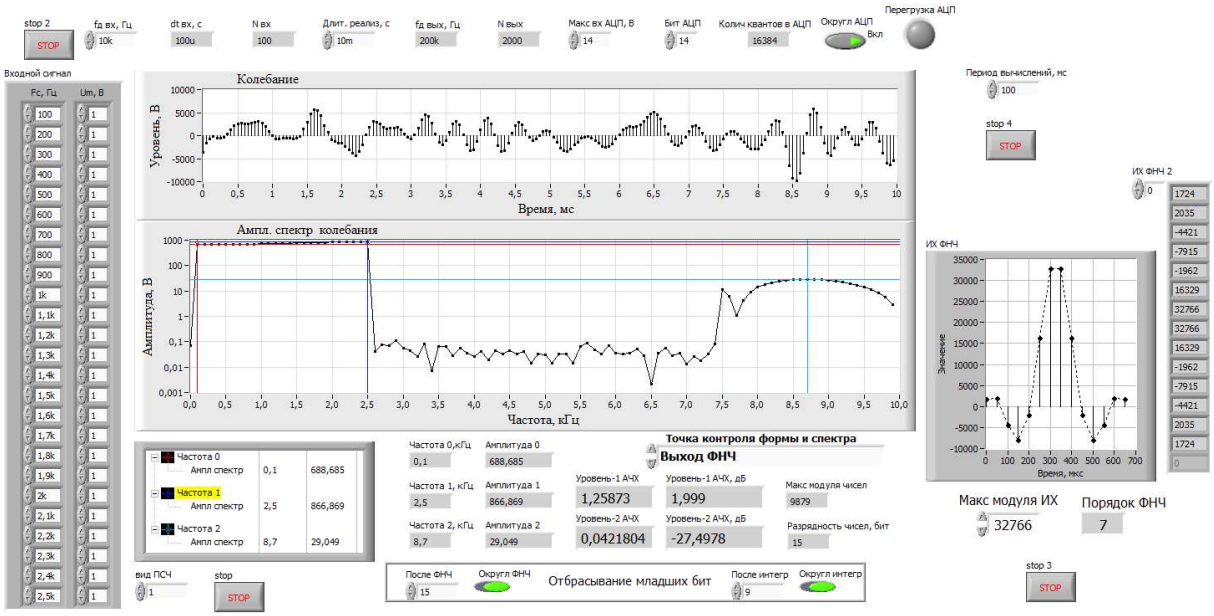


Рис. 2. Лицевая панель программной модели интерполятора

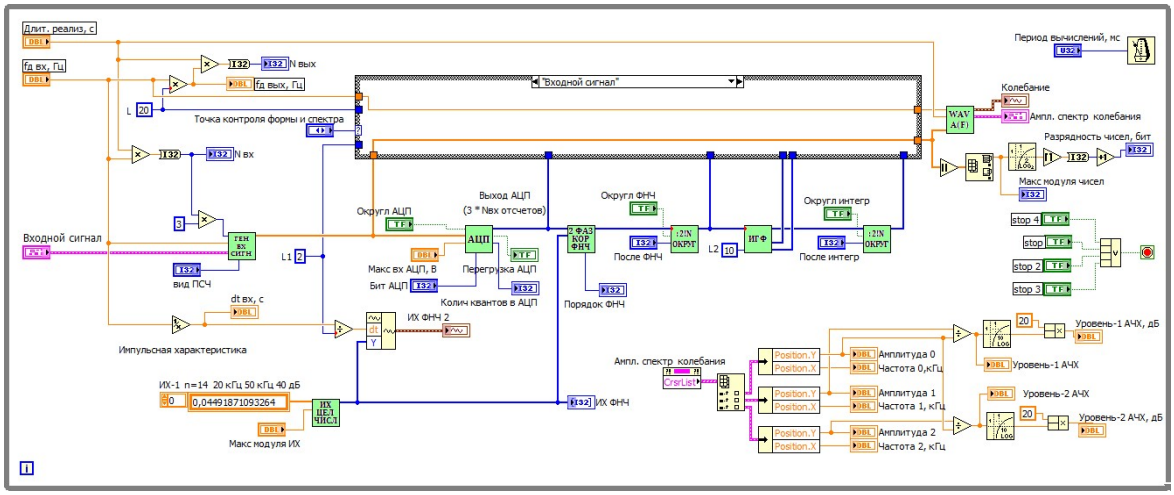


Рис. 3. Функциональная диаграмма программной модели интерполятора

На лицевой панели размещены элементы ввода в программу задаваемых значений, элементы отображения получаемых в результате моделирования параметров, а также временная диаграмма и соответствующий ей амплитудный спектр колебания в следующих точках модели:

- на выходе генератора тестового сигнала;
- на выходе АЦП;
- на выходе 2-фазн ФНЧ;
- на выходе гребенчатого звена ИГФ;
- после вставки нулевых отсчетов;

- на выходе интегрирующего звена ИГФ, т.е. на выходе интерполятора.

Следует заметить, что при моделировании длительность реализации сигнала выбрана такой, чтобы все гармонические составляющие имели целое число периодов. Это исключит явление «растекания» спектральных составляющих. При моделировании длительность реализации принята равной 10 мс. А частоты всех составляющих тестового сигнала кратными 100 Гц. Но при работе фильтров возникают переходные процессы в начале и конце реализации, которые также приведут к растеканию спектральных составляющих. Для исключения этого длительность реализации увеличивается втрое (т.е. до 30 мс), а при показе временной диаграммы и амплитудного спектра используется только средняя часть длиной 10 мс, в пределах которой переходных процессов нет.

Рассмотрим элементы программы.

ГТС выполнен в виде подпрограммы. Его функциональная диаграмма показана на рис. 4.

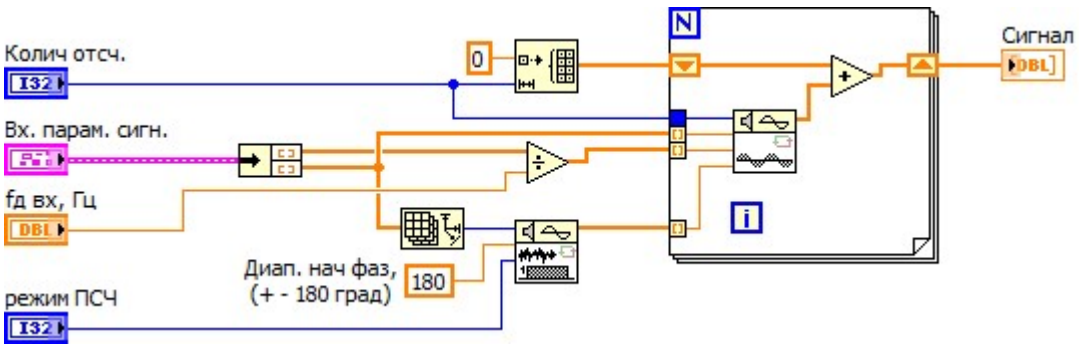


Рис. 4. Функциональная диаграмма ГТС

Параметры гармонических составляющих задаются в кластере «Вх. парам. сигн.» в виде набора частот и амплитуд. Этот кластер разделяется на два массива (частот и амплитуд) и в цикле для каждой пары этих данных вычисляются отсчеты гармонического колебания, которые прибавляются к содержимому регистра сдвига. Начальные фазы составляющих задаюся массивом чисел от датчика равномерно распределенных чисел в диапазоне ±180°. Выходной массив чисел «Сигнал» является сформированной последовательностью отсчетов сигнала в формате с плавающей запятой.

Отбрасывание необходимого количества младших бит в целых числах выполняется подпрограммой «:2!N ОКРУГ», функциональная диаграмма которой показана на рис. 5.

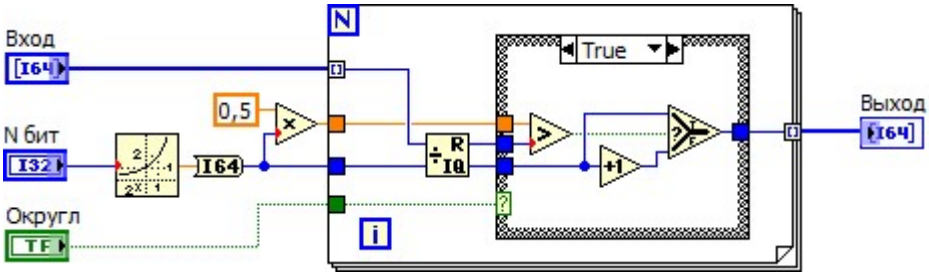


Рис. 5. Функциональная диаграмма подпрограммы «:2!N ОКРУГ»

По заданному количеству N бит отбрасываемых младших бит вычисляется $2^{N\ бит}$ и на это число делится каждое число входного массива. Половина от $2^{N\ бит}$ является пороговым значением, при превышении которого остатком от деления к частному добавляется 1, если значение логической переменной = 1. В противном случае частное включается в выходной массив без изменения.

АЦП выполнен в виде подпрограммы. Его функциональная диаграмма показана на рис. 6.

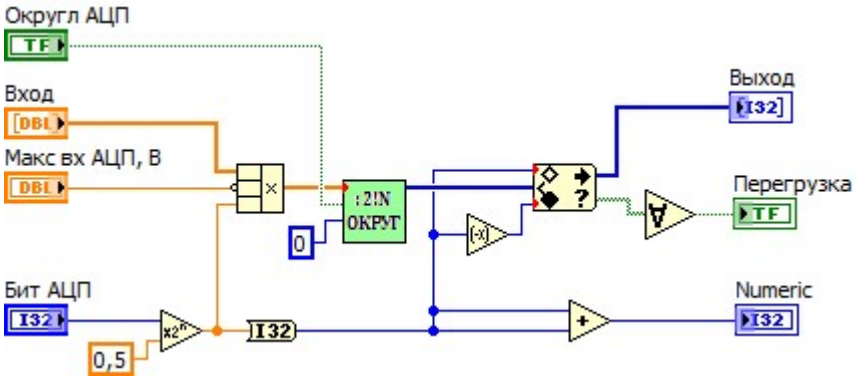


Рис. 6. Функциональная диаграмма АЦП

Числа во входном массиве делятся на «Макс вх АЦП, В», которое является наибольшим по модулю значением на входе АЦП, при котором не будет перегрузки. Затем полученное число умножается на $0{,}5^{Бит\ АЦП}$ (количество квантов на выходе АЦП с одним знаком). В результате получается число, целая часть которого является искомым кодом с АЦП. Подпрограмма «:2!N ОКРУГ» отбрасывает 0 младших бит, т.е. дробную часть и, если требуется выполняет округление (при Округл АЦП = 1). После этого

выполняется проверка нахождения полученного целого числа в диапазоне [-0,5$^{\text{Бит АЦП}}$, +0,5$^{\text{Бит АЦП}}$), и если все числа выходного массива не выходят за эти границы выдается логический сигнал отсутствия перегрузки.

2-фаз КОР ФНЧ выполнен так же в виде подпрограммы, функциональная диаграмма которой показана на рис. 7.

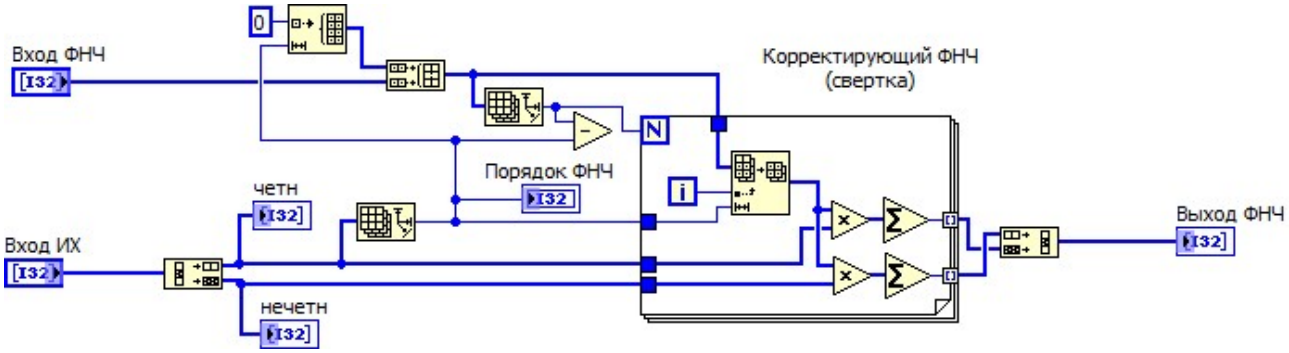


Рис. 7. Функциональная диаграмма 2-фаз КОР ФНЧ

Двухфазный ФНЧ выполняет удвоение частоты отсчетов сигнала. Для этого отсчеты импульсной характеристики «Вход ИХ» разделяются на две последовательности четных и не четных отсчетов. Эти последовательности являются импульсными характеристиками двух отдельных фильтров, вычисляющих отсчеты выходного напряжения по одному и тому же блоку входных отсчетов путем умножения на него и суммирования. Полученные два массива «вкладываются» один в другой так, что один массив становится четными отсчетами, а дугой – нечетными отсчетами выходного массива «Выход ФНЧ». Значения отсчетов импульсной характеристики подбираются так, чтобы весь интерполятор имел равномерную частотную характеристику.

ИГФ выполнен в виде подпрограммы, функциональная диаграмма которой показана на рис. 8.

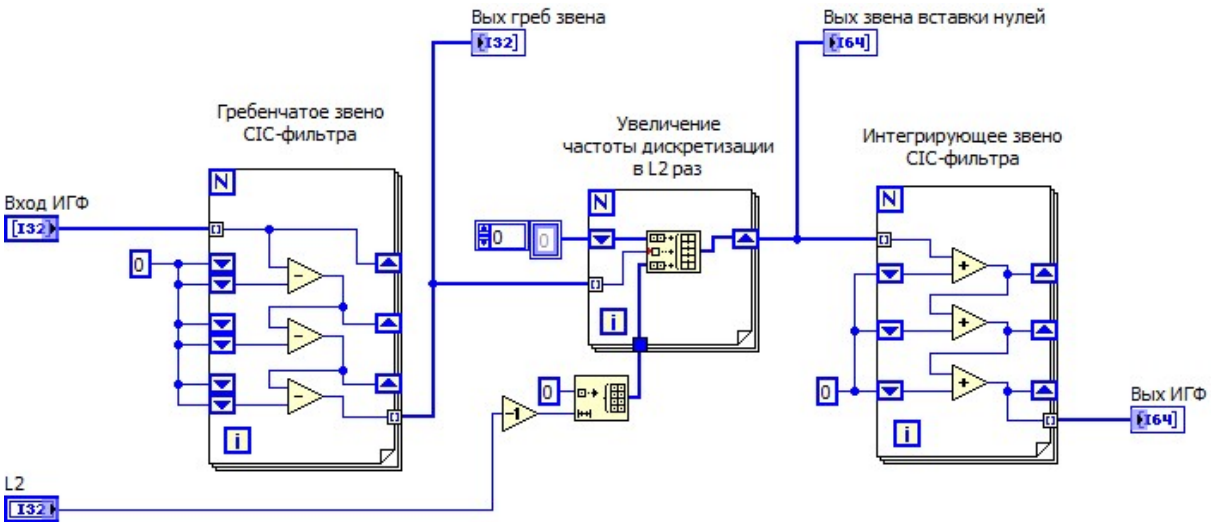


Рис. 8. Функциональная диаграмма ИГФ

Гребенчатое звено имеет 3 каскада вычисления разностей. Каждая разность вычисляется между отсчетами, разделенными двумя интервалами дискретизации. Получившийся результат выдается в виде массива «Вых греб звена» для контроля формы, спектра и разрядности (бит). Затем между каждой паров отсчетов этого массива вставляется L2-1 нулей (происходит повышение частоты дискретизации в L раз. Полученный массив «Вых звена вставки нулей» также выдается для контроля формы, спектра и разрядности (бит) и поступает на вход интегрирующего звена. Это звено имеет 3 каскада интегрирования. Полученный массив «Вых ИГФ» является выходным для всего интерполятора.

Подпрограмма WAV A(F) формирует график временной диаграммы и график ее амплитудного спектра. Ее функциональная диаграмма показана на рис. 9. Из массива «Отсчеты» выделяется средняя часть, свободная от переходных процессов и подвергается обработке. Амплитудный спектр вычисляется «физический» для частот от 0 до (*f*д, Гц)/2.

Выбор сигнала для индикации осуществляется селектором, управляемым переменной «Точка контроля формы и спектра». Его функциональная схема показана на рис. 10. Селектор выбирает необходимые данные и подает их на вход «WAV A(F)», а также на определитель разрядности (бит) данных (показан случай вывода на индикацию сигнала с выхода ФНЧ).

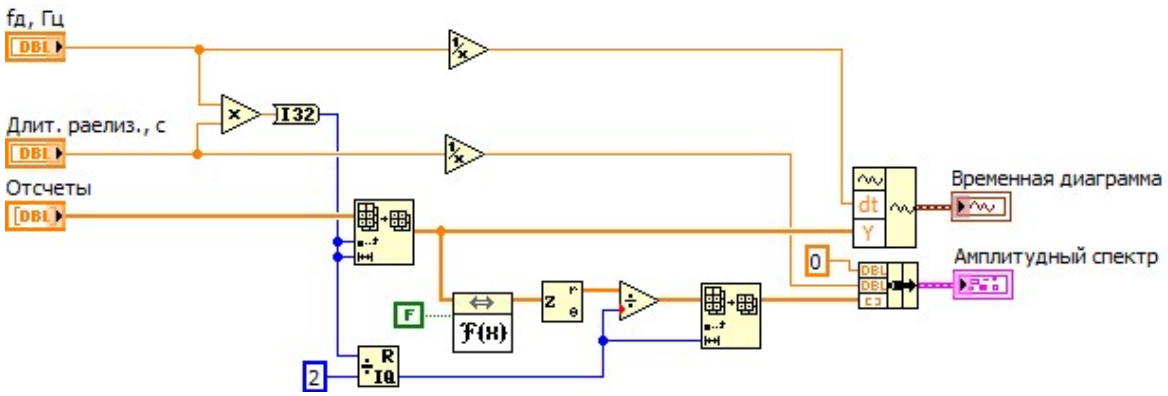


Рис. 9. Функциональная диаграмма подпрограммы «WAV A(F)»

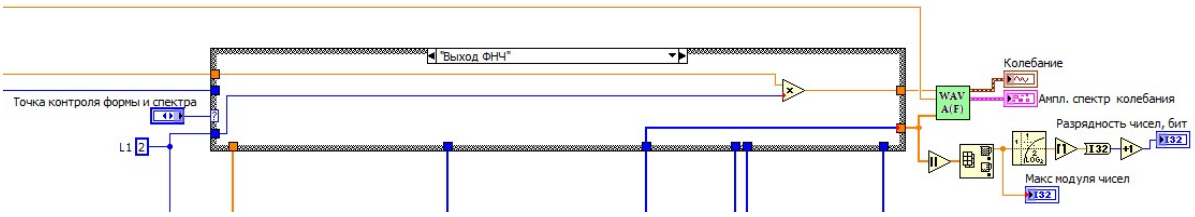


Рис. 10. Функциональная диаграмма селектора

В заключении рассмотрим временные и спектральные диаграммы, получающиеся при моделировании интерполятора с коэффициентом интерполяции 20 (см. рис. 11 – 16).

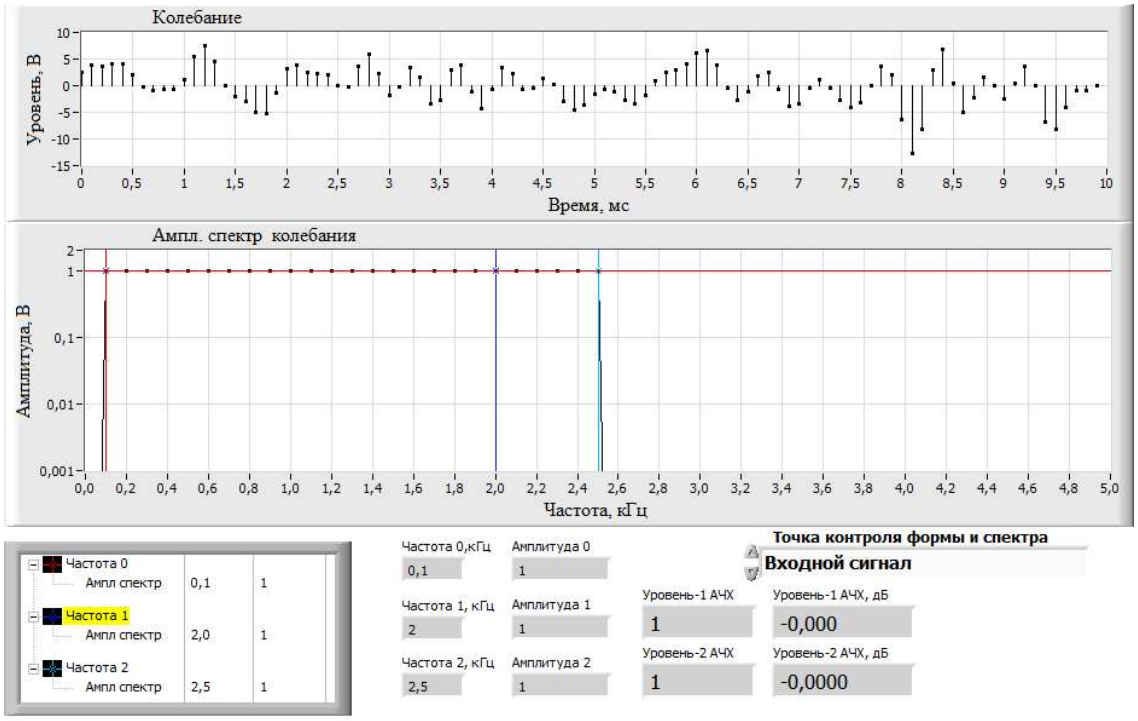


Рис. 11. Входной сигнал с частотой дискретизации 10 кГц

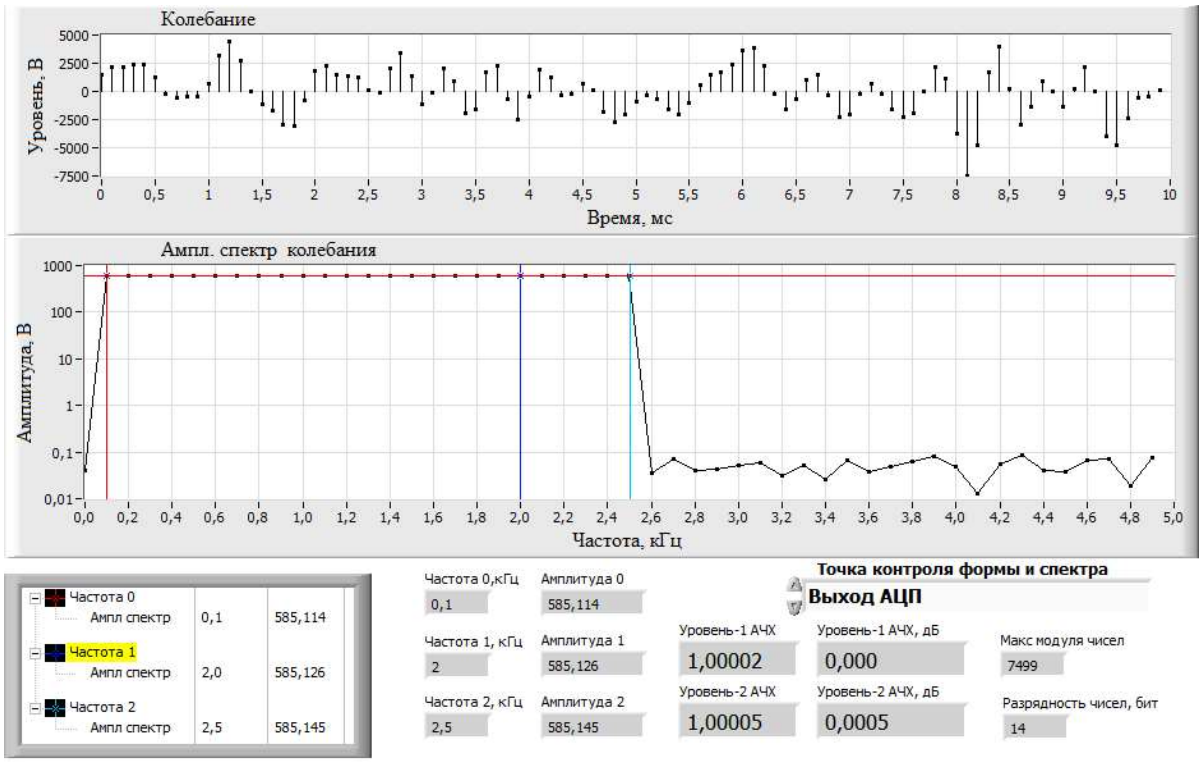


Рис.12. Выходной сигнал АЦП с частотой дискретизации 10 кГц

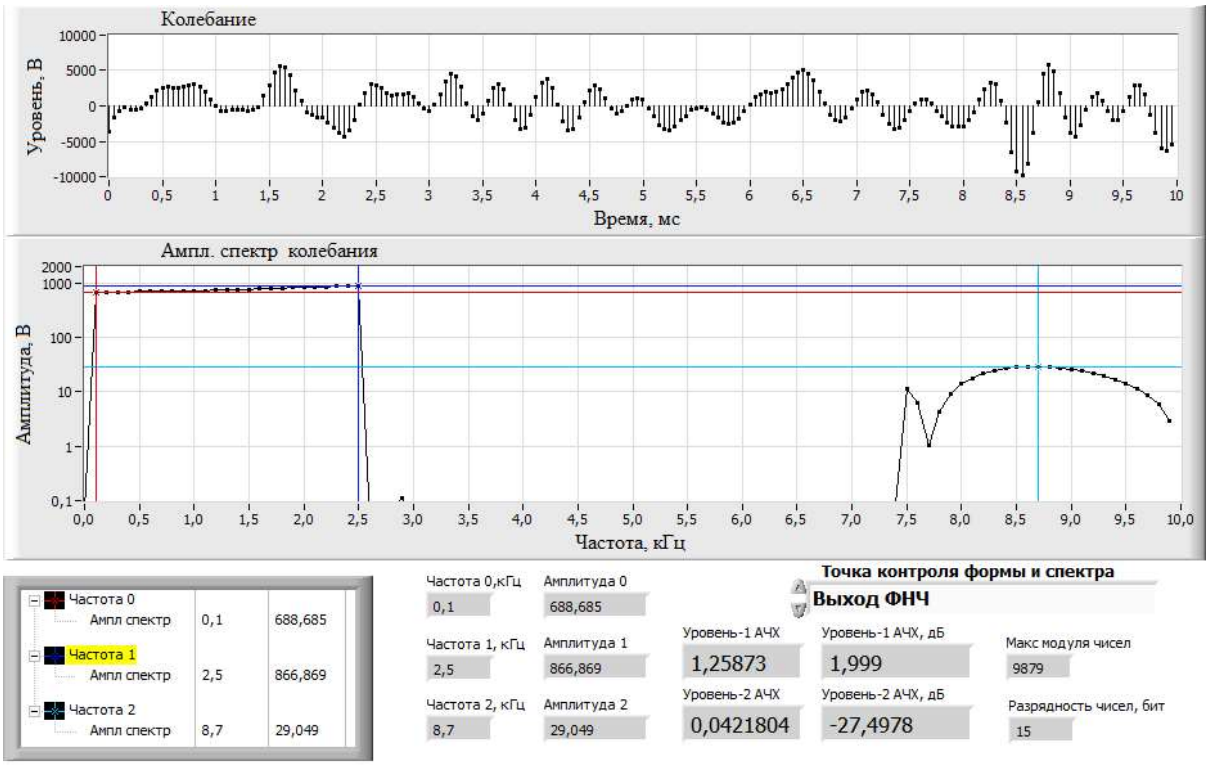


Рис. 13. Выходной сигнал ФНЧ с частотой дискретизации 20 кГц (отброшены 15 младших бит)

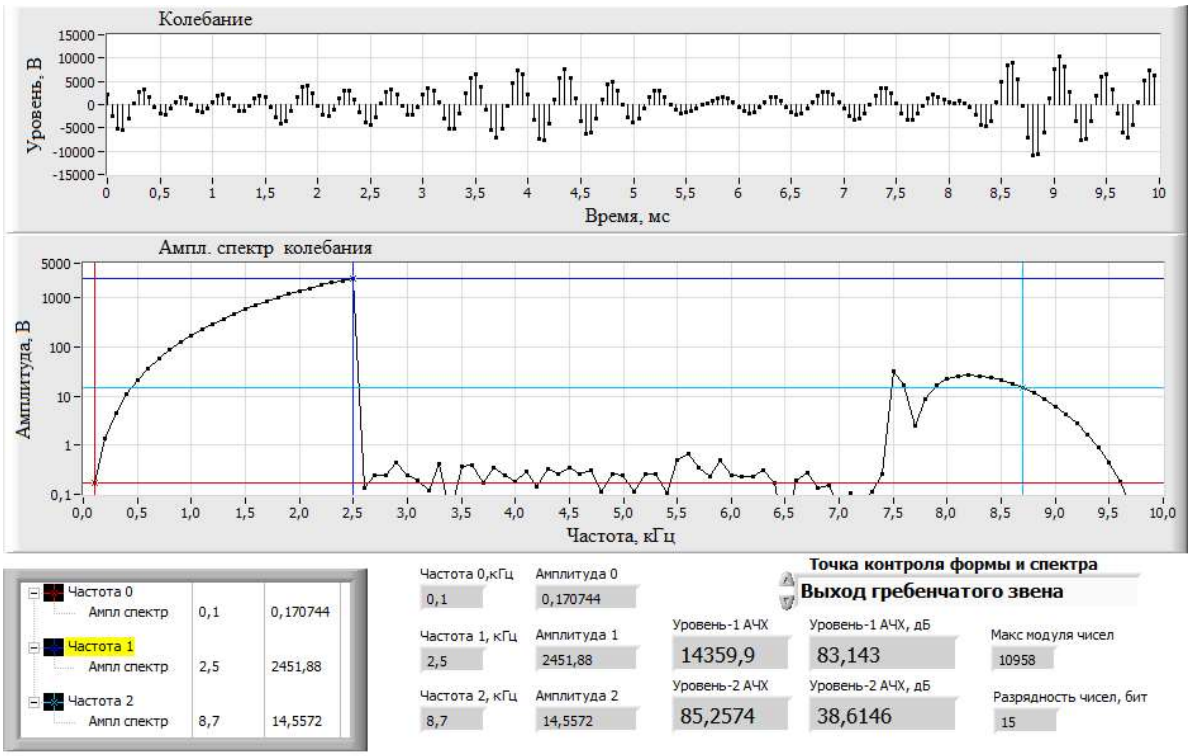


Рис. 14. Выходной сигнал после гребенчатого звена (частота дискретизации 20 кГц)

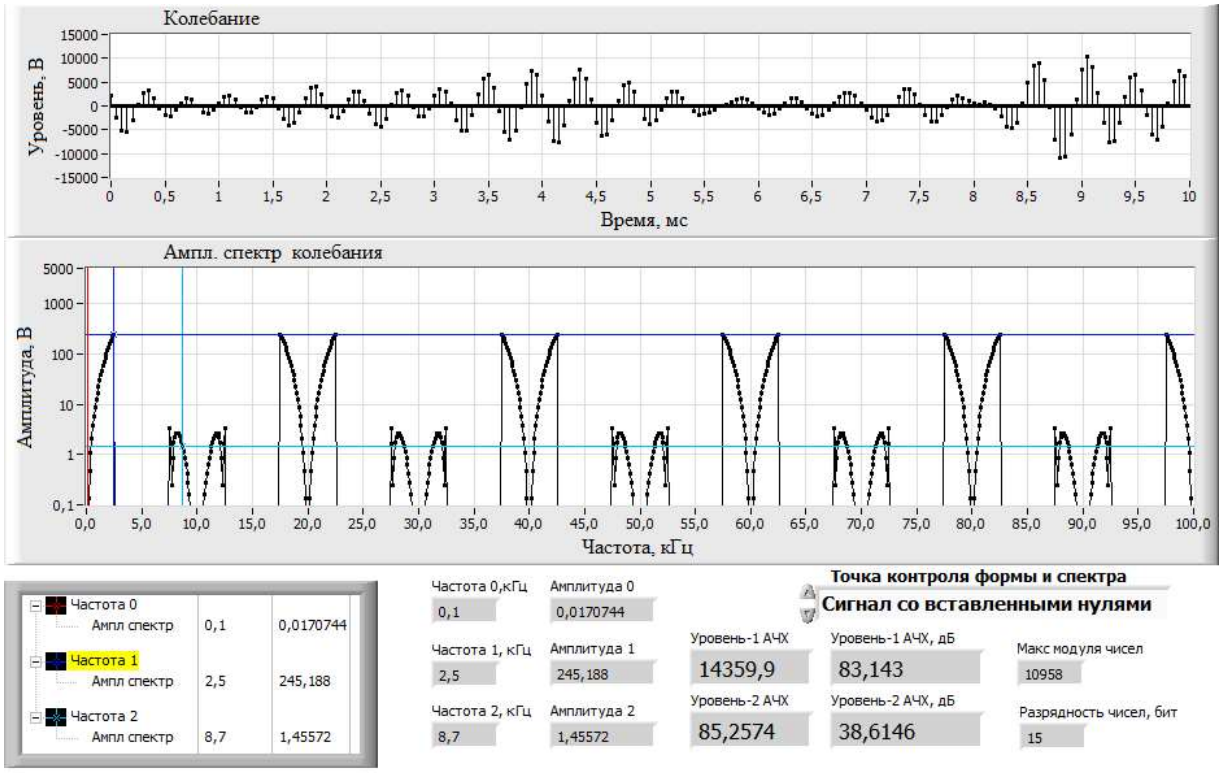


Рис.15. Сигнал после вставки нулей (частота дискретизации 200 кГц)

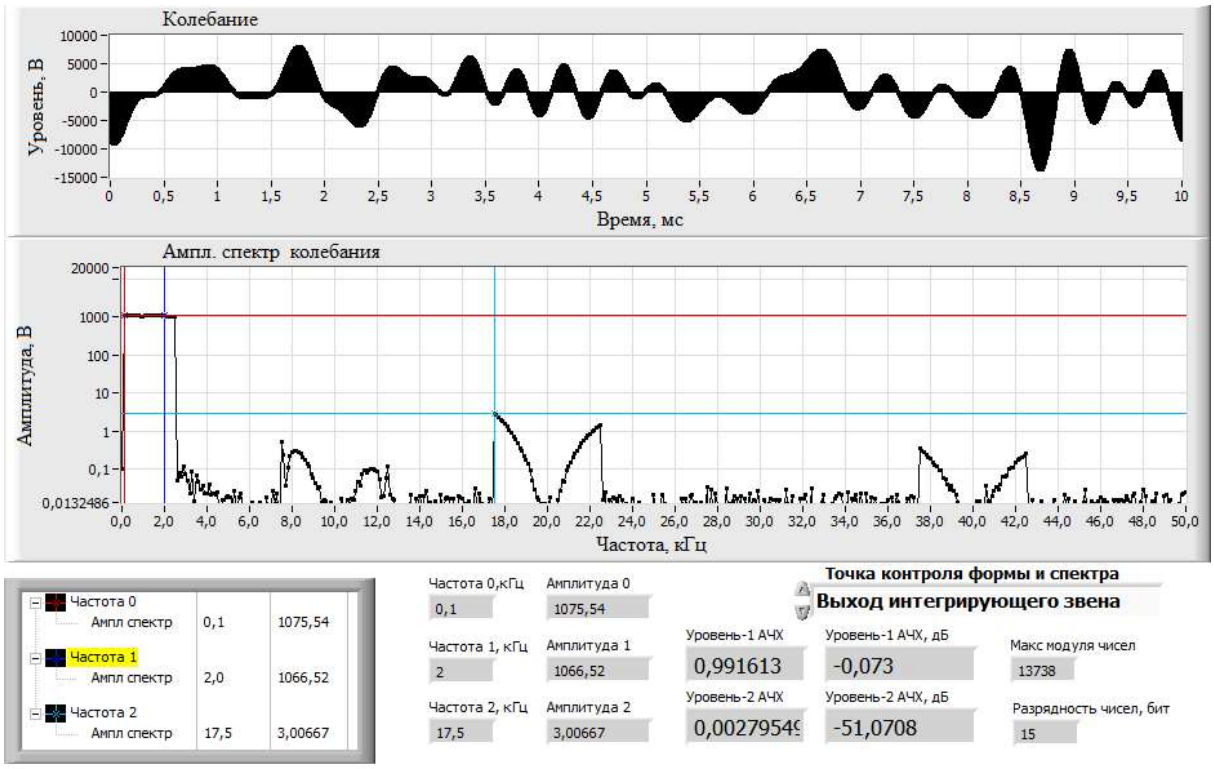


Рис. 16. Сигнал на выходе интерполятора
(частота дискретизации 200 кГц, отброшены еще 9 младших бит)

Из рис. 16 видно, что форма выходного сигнала весьма близка к форме входного, АЧХ на частоте 2,0 кГц, по сравнению с частотой 0,1 кГц, спадает менее, чем на 1 %, а уровень паразитных составляющих не превышает -50 дБ. Т.е. поставленная задача решена.

Выводы

Показана возможность моделирования на языке LabVIEW процессов в интерполяторе, работающем с целыми числами. Разработанная модель обладает хорошей наглядностью и позволяет гибко варьировать параметры интерполятора для получения необходимых свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Прокис Джон*. Цифровая связь. Пер. с англ. /Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.: ил.
2. *Скляр, Бернард*. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с. : ил. – Парал. тит. англ.
3. *Ричард Лайонс*. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бинов-Пресс», 2006 г. – 656 с.: ил.
4. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.

5. *Цветков Ф.А., Терешков В.В.* Программно-конфигурируемые радиоустройства: принципы построения и алгоритмы обработки сигналов: Учебное пособие / под ред. Цветкова Ф.А.. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – 163 с.

Цветков Фёдор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский, 44, 347928, телефон: +7 (8634) 37-16-32, email: fa-tsvet@yandex.ru, facvetkov@sfedu.ru.

Tsvetkov Fedor Alekseevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane, 44, 347928, telephone: +7 (8634) 37-16-32, email: fa-tsvet@yandex.ru, facvetkov@sfedu.ru.

УДК 004.032.26

Бутырлагин Николай Владимирович, Югай Владислав Яковлевич,
Чумаков Владислав Евгеньевич

ТОКОВЫЕ ПОРОГОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В НЕЙРОСЕТЯХ И ЗАДАЧАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В статье исследованы перспективы использования токовых пороговых логических элементов в нейросетях и задачах искусственного интеллекта. Рассмотрена схема персептрона и приведены её основные уравнения. Показана схема токового троичного порогового логического элемента правого циклического сдвига и результаты его компьютерного моделирования. Представлены преимущества предлагаемой схемотехники.

Нейросеть, искусственный интеллект, персептрон, токовый пороговый логический элемент, элемент правого циклического сдвига.

Butyrlagin Nikolay Vladimirovich, Yugai Vladislav Yakovlevich,
Chumakov Vladislav Evgenievich

THE CURRENT THRESHOLD LOGICAL ELEMENTS IN NEURAL NETWORKS AND TASKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The article explores the prospects for using current threshold logic elements in neural networks and artificial intelligence tasks. The scheme of the perceptron is considered and its basic equations are presented. The circuit of the current ternary threshold logic element of the right cyclic shift is shown and the results of its computer simulation. The advantages of the proposed circuitry are presented.

Neural network, artificial intelligence, perceptron, current threshold logic element, right cyclic shift element.

Введение

Нейронные сети (НС) наиболее часто применяются для сбора и анализа больших массивов структурированных данных, что является актуальным в современных системах вычислительной инфраструктуры. В современных реалиях НС посредством машинного восприятия классифицируют и группируют немаркированные данные, за счёт сложных алгоритмов обучения и самообучения, позволяющих получать высокую точность задач прогнозирования, кластеризации или распознавания [1-7]. Простейшей реализацией НС является перцептрон, входящий в состав бинарных алгоритмов классификации, который легко описывается средствами цифровой схемотехники и используется для задач линейной классификации [8]. Помимо описанных задач, посредством возможности быстрой реорганизации, на основе НС реализуют модель искусственного интеллекта для решения задач, связанных с более глубоким видом обучения [9].

Анализ свойств схемы персептрона

На рис. 1 показана схема персептрона [10], содержащая входные сигналы (x_1, x_2, x_3,…, x_n), весовые коэффициенты (w_1, w_2, w_3, …, w_n), сумматор, в котором вычисляется взвешенная сумма произведений входных сигналов и весовых коэффициентов с некоторым численным значением смещения, функция активации, использующая пороговую функцию, для определения выходного значения.

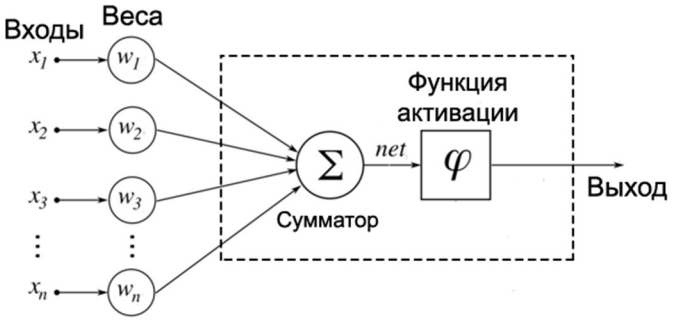


Рис. 1. Схема персептрона [10]

В реализации с помощью НС весьма эффективны схемы токовых логических элементов, имеющие достаточно простую схемотехнику и описываемые пороговыми функциями [11]. Следует также отметить, что использование токовых сигналов существенно упрощает выполнение операции суммирования. Для токовых сигналов суммирование легко реализуется простым «монтажным» подключением сигналов к общему узлу. Причем сумма может формироваться как сумма не только положительных, но и отрицательных слагаемых. В случае отрицательных весовых коэффициентов достаточно изменить направление токового сигнала по отношению к суммирующему узлу.

Токовые логические элементы также весьма перспективны для схемотехнической реализации различных функций активации. В большинстве известных реализаций функция активации реализуется простым сравнением с определенным пороговым уровнем и соответствующим переключением двоичного выходного сигнала. Для расширения функциональных возможностей персептрона токовые логические элементы позволяют реализовать не только сравнение с заданным пороговым уровнем, но и выполнять определенные преобразования выходного сигнала. Существенные дополнительные возможности могут быть связаны с применением как двоичных, так и многозначных сигналов. В приведенной ниже схемотехнической реализации использован троичный токовый логический элемент, выполняющий функцию активации, которая может легко перестраиваться изменением единственного управляющего сигнала, что может обеспечить применение новых алгоритмов реализации обучения НС. Сумматор, как указывалось выше, реализуется «монтажным» объединением суммируемых сигналов о входном информационном узле. На рис. 2 представлена схема токового порогового логического элемента правого циклического сдвига [12], работающего с троичными сигналами.

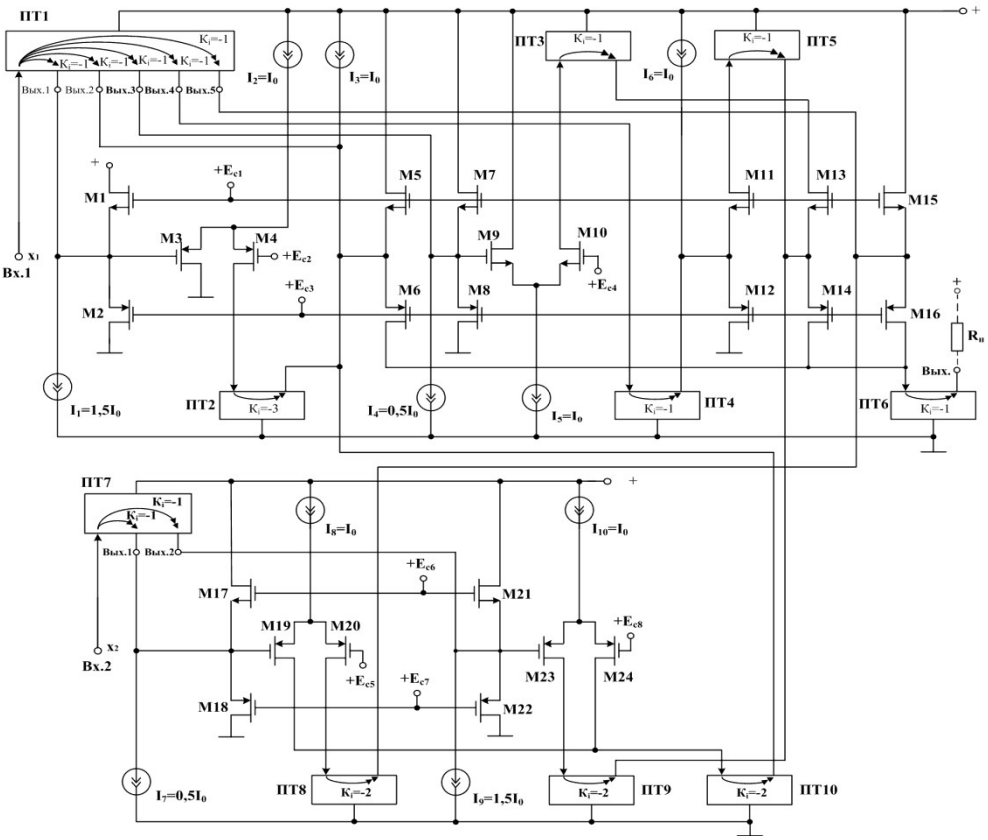


Рис. 2. Схема токового порогового элемента правого циклического сдвига

Элементы циклического сдвига могут быть использованы для построения схем триггеров [13]. Табл. 1 содержит таблицу истинности функции правого циклического сдвига ($y=x\oplus i$).

Таблица 1

Таблица истинности функции правого циклического сдвига

	0			1			2		

Результаты компьютерного моделирования токового порогового элемента правого циклического сдвига рис. 2 приведены на рис. 3.

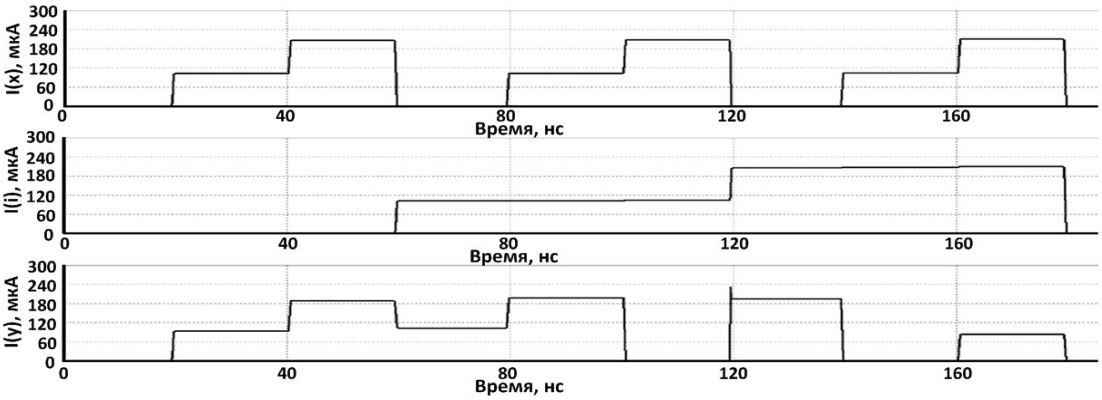


Рис. 3 Осциллограммы входных и выходных сигналов схемы рис.2

Качественные характеристики предлагаемой схемотехники (рис. 2) в условиях воздействия температуры, радиации, изменения напряжения питания, а также повышение её эксплуатационной надежности обеспечиваются разностным представлением выходного сигнала токовых IP-модулей (представление сигнала разностью двух или более сигналов). В этом случае при одновременных изменениях вытекающих и втекающих токов логических элементов значение его выходного сигнала мало изменяется в большом диапазоне изменения значений входных логических переменных [11].

Выводы

Актуальным направлением является поиск новых структур токовых пороговых логических элементов для построения нейронов и НС нового поколения. Возможности потенциальной логики ограничены в задачах проектирования СБИС, особенно при малых напряжениях питания, что снижает возможности реализации пороговой логики в потенциальной форме.

Исследование выполнено в рамках стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов № СП-2100.2021.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лозович О.Н., Максимов А.Л.* Применение нейронных сетей на основе ПЛИС для решения задач надежности коммуникационных информационных систем // «Искусственный интеллект» 3’2011. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/ bitstream/handle/123456789/60238/53-Lozovich.pdf?sequence=1 (дата обращения: 04.05.2021).

2. *Кичак В.М., Семенова Е.А., Войцеховская О.А*. Реализация троичных логических операций с помощью двухпороговых нейронов // Научные труды Винницкого национального технического университета, вып. 1, сентябрь 2011 г. URL: https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/195 (дата обращения: 04.05.2021).
3. *Королев А. А., Кучуганов А. В.* Моделирование искусственных нейронных сетей с помощью графического адаптера общего назначения // Известия ТПУ. 2014. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-iskusstvennyh-neyronnyh-setey-s-pomoschyu-graficheskogo-adaptera-obschego-naznacheniya (дата обращения: 04.05.2021).
4. *Velichko A.* Neural Network for Low-Memory IoT Devices and MNIST Image Recognition Using Kernels Based on Logistic Map. Electronics 2020, 9, 1432. https://doi.org/10.3390/electronics9091432.
5. *Фридман О. В.* Логические нейронные сети: методы автоматического конструирования, редукции, извлечения правил // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. №9 (9). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/logicheskie-neyronnye-seti-metody-avtomaticheskogo-kostruirovaniya-reduktsii-izvlecheniya-pravil (дата обращения: 04.05.2021).
6. *Димитриченко Д. П.* Об одном алгоритме обучения логических нейронных сетей, Итоги науки и техн. Сер. Соврем. мат. и ее прил. Темат. обз., 2019, том 166, 3–9. DOI: https://doi.org/10.36535/0233-6723-2019-166-3-9.
7. Интеллектуальные системы в науке и технике. Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века [Электронный ресурс] : сборник статей по материалам Международной конференции «Интеллектуальные системы в науке и технике» и Шестой всероссийской научно-практической конференции «Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века» (г. Пермь, 12–18 октября 2020 г.) / под редакцией Л. Н. Ясницкого ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 16,7 Мб; 654 с.
8. *Жидков О. В., Мациевский С. В.* Моделирование логических функций персептронами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2006. №10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-logicheskih-funktsiy-perseptronami (дата обращения: 04.05.2021).
9. *Васильев А. П., Абрамов А. Х.* Искусственный интеллект на основе нейронных сетей // Academy. 2018. №5 (32). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-na-osnove-neyronnyh-setey (дата обращения: 04.05.2021)

10. Глава 3. Основы ИНС. URL: https://neuralnet.info/chapter/основы-инс/#Искусственный-нейрон (дата обращения: 04.05.2021).
11. *Бутырлагин Н.В., Чернов Н.И., Прокопенко Н.Н., Бугакова А.В.* Токовые цифровые логические элементы и IP-модули для задач автоматического управления и контроля ядерными объектами, Научно-практический журнал «Глобальная ядерная безопасность» Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2019, с. 74-89.
12. Пат. 2725149 Российская Федерация, МПК H03K19/00, H03K 19/017. Токовый пороговый элемент правого циклического сдвига / Бутырлагин Н.В., Югай В.Я., Прокопенко Н.Н., Пахомов И.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». – № 2020109170; заявл. 02.03.2020; опубл. 30.06.2020, Бюл. № 00. – 20с.: ил.
13. *Данилов В. В., Ковригин Б. Н., Чепин Е. В.* Троичная запоминающая ячейка и троичные триггеры // Труды МФТИ. 2010. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/troichnaya-zapominayuschaya-yacheyka-i-troichnye-triggery (дата обращения: 04.05.2021).

Бутырлагин Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донской государственный технический университет, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344010; телефон: +7 903 432 07 99, email: nbutyrlagin@mail.ru.

Югай Владислав Яковлевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления» Южный федеральный университет, Россия, Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347928; телефон: +7 905 430 22 06, email: yugtag@gmail.com.

Чумаков Владислав Евгеньевич, аспирант кафедры «Информационные системы и радиотехника» Донской государственный технический университет, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1, 344010; телефон: +7 989 502 00 32, email: vladislav.230497@mail.ru.

Butyrlagin Nikolay Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of Department of Information Systems and Radio Engineering Don State Technical University, 344010, Russia, Rostov-on-Don, 1 Gagarin sq., phone: +7 903 432 07 99, email: nbutyrlagin@mail.ru.

Yugai Vladislav Yakovlevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Automatic Control Systems, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane 44, 347928; phone: +7 905 430 22 06, email: yugtag@gmail.com.

Chumakov Vladislav Evgenievich, post-graduate student of the Department of Information Systems and Radio Engineering, Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1, 344010; phone: +7 989 502 00 32, email: vladislav.230497@mail.ru.

УДК 004.021

Пилипенко Ирина Александровна

ЦИФРОВЫЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ

Доклад посвящен исследованию цифровых стеганографических алгоритмов, внедряющих данные в видеопоток: Least Significant Bit, Pixel-Value Differencing и Triple Pixel-Value Differencing. Принято, что рассмотренные алгоритмы применимы для сокрытия информации в видео контейнер. LSB может быть использован в контейнерах, к которым будет применяться lossless сжатие, в то время как PVD и TPVD не устойчивы к сжатию, в связи с чем не обеспечивают гарантированного извлечения данных из контейнера.

Стеганография, контейнер, сокрытие данных.

Pilipenko Irina Aleksandrovna

DIGITAL STEGANOGRAPHIC ALGORITHMS

The article is devoted to the study of digital steganographic algorithms that embed data in a video stream: Least Significant Bit, Pixel-Value Differencing and Triple Pixel-Value Differencing. It is accepted that the considered algorithms are applicable for hiding information in a video container. LSB can be used in containers to which lossless compression will be applied, while PVD and TPVD are not resistant to compression, and therefore do not provide guaranteed data retrieval from the container.

Steganography, container, data hiding.Steganography, containe, data hiding.

Введение

Цифровые алгоритмы являются наиболее широким классом стеганографических алгоритмов. Они основаны на внедрении секретной информации в цифровые объекты, вызывая незаметные органам чувств искажения этих объектов. Зачастую этими объектами становятся избыточные по своей природе мультимедиа объекты: изображения, аудио, видео, 3D модели.

Все цифровые алгоритмы можно разделить на несколько групп:

- алгоритмы, работающие с цифровым сигналом;
- алгоритмы «впаивающие» скрытую информацию;
- алгоритмы, использующие особенности форматов файлов.

Вследствие наличия двух противоположных целей: скрытности и устойчивости – стегоалгоритмы отличаются по своему применению. Группа методов «впаивающих» информацию содержит в основном методы добавления цифровых водяных знаков для защиты авторских прав. Они являются устойчивыми практически ко всем видам преобразования, но являются слишком заметными для использования для скрытия информации.

Напротив, алгоритмы, работающие с цифровым сигналом, разработаны для скрытия информации в контейнере. Они с успехом могут применяться в тех странах, где использование криптографии карается законом, обеспечивая скрытую передачу данных в стегоканале.

В зависимости от размера секретного сообщения, разные стеганографические алгоритмы имеют место. Для небольшого объема данных возможно применение метода, который использует изображение в качестве контейнера. В случае, когда объем исходного сообщения слишком велик, может быть применен видео стегоконтейнер.

Применение видео в качестве стегоконтейнера хорошо еще и тем, что благодаря большому объему сообщение может быт распределено равномерно и контейнер останется практически неискаженным [1,2].

Примерами стеганографических алгоритмов, внедряющих данные в видеопоток, являются [3]:

- LSB - метод наименее значимого бита;
- Pixel-Value Differencing;
- Triple PVD.

Целью работы является исследование стеганографических алгоритмов с рассмотрением их характеристик, для дальнейшего использования в разработке программного средства.

Основная часть

Алгоритм НЗБ (LSB) – Least Significant Bit – наименее значимый бит – это метод скрытия информации в цифровом потоке, суть которого заключается в замене наименее значимых битов в контейнере на биты секретного сообщения. Благодаря тому, что заменяемы биты не оказывают большого влияния на контейнер, разница между пустым контейнером и заполненным не ощутима для восприятия человека [4].

Метод LSB может применяться для изображений, аудио и видео. В случае работы с изображениями метод работает следующим образом. Допустим в качестве контейнера используется изображение 1024x768 с глубиной цвета 24 бита (3 байта на пиксель). Цвет пикселя закодирован в формате RGB, то есть на каждую составляющую цвета отводится 1 байт. Цвет пикселя для примера – розовый, #F4B28F. Представление одного пикселя представлено на рис. 1.

1	1	1	1	0	1	0	**0**
1	0	1	1	0	0	1	**0**
1	0	0	0	1	1	1	**1**

Рис. 1. Представление 24 битового пикселя

Также предположим, что первые три бита сообщения равны 110. Тогда пример пикселя для заполненного контейнера будет выглядеть как показано на рис. 2.

1	1	1	1	0	1	0	**1**
1	0	1	1	0	0	1	**1**
1	0	0	0	1	1	1	**0**

Рис. 2. Заполненный пиксель

Цвет пикселя изменился на 3/255. Такое незначительно изменение совершенно незаметно для зрительной системы человека, и, более того, на низкокачественных устройствах может вовсе не отобразиться.

При использовании этого метода объем встроенного сообщения может достигать 1/8 от объема контейнера. Также при необходимости может быть использовано 2 или 3 последних бита, что скажется на качестве передаваемого контейнера, и передача сообщения будет более заметна.

Метод LSB является неустойчивым к таким искажениям контейнера как сжатие, поворот, масштабирование и к любым атакам на разрушение контейнера. Этот метод может быть использован только при отсутствии шумов в канале. Также алгоритм может быть использован только в контейнерах, к которым будет применяться lossless сжатие, так как сам метод применяется к сырым данным, до того, как они были обработаны.

Стегоанализ данного метода проводится по аномальным значениям наименее значимых бит [2,4].

PVD – Pixel-Value Differencing – схема, использующая разницу между двумя соседними пикселями блока, чтобы определить какое количество секретных бит может быть встроено в блок.

Алгоритм PVD обеспечивает высокую скрытность благодаря адаптивному алгоритму выбора размера секретного сообщения встраимоевого в контейнер. Кроме того, он предлагает возможность встраивать большое количество групп данных, сохраняя постоянность характеристик контейнера после встраивания данных.

Алгоритм работает над одной из составляющих цвета пикселя и может работать как над цветовым пространством RGB, так и YCbCr.

Изображение разбивается на некоторое количество не перекрывающих друг друга блоков. Пример разбивки показан на рис. 3.

Затем для каждой пары бит вычисляется значение d, которое означает разницу между соседними пикселями блока. После это значение сравнивается со значениями из таблицы квантования. Чем меньше значение d, тем меньшее количество бит может быть встроено в этот блок [5].

После нахождения граничных значений, из секретного потока извлекается необходимое количество бит, которое затем конвертируется в целое число b. Затем значения цвета пикселей меняются в соответствии с формулой (1).

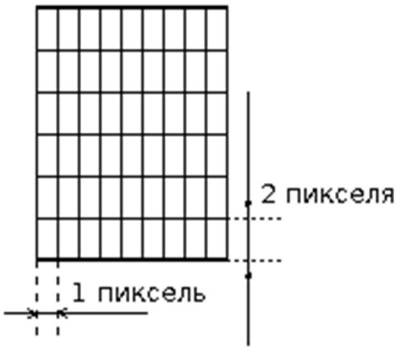


Рис. 3. Деление изображения на блоки

$$\left(p'_i, p'_{i+1}\right)=\begin{cases}(p_i+\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil, p_{i+1}-\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil), если \cdot p'_i \geq p'_{i+1}, d'_i > d_i \\ (p_i-\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil, p_{i+1}-\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil), если \cdot p'_i < p'_{i+1}, d'_i > d_i \\ (p_i-\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil, p_{i+1}+\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil), если \cdot p'_i \geq p'_{i+1}, d'_i \leq d_i \\ (p_i+\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil, p_{i+1}-\left\lceil\frac{\left|d'_i\right|-d_i}{2}\right\rceil), если \cdot p'_i < p'_{i+1}, d'_i \leq d_i\end{cases}, \qquad (1)$$

где p_i, p_{i+1} – значение пикселей блока; d_i - разница; d'_i – новое значение разницы.

После этого новые данные подставляются в контейнер. При извлечении, получатель должен обладать такой же таблицей квантования для того, чтобы извлечь скрытые данные.

Алгоритм в первую очередь был описан для изображений, но так как видео – это множество изображений, то в качестве контейнера может быть использовано и видео. PVD может быть использован для внедрения данных в I-фреймы [6].

Проблемой алгоритма является то, что он не обеспечивает гарантированного извлечения данных из контейнера, так как он не является устойчивым к сжатию. В случае сжатия емкость контейнера будет резко снижаться, так как необходимо использование другой таблицы квантования [2].

Triple PVD – TPVD – является модификацией алгоритма PVD применяемой для встраивания информации в видео [7]. Секретные данные встраиваются в GOP, в I-, P- и B-фреймы.

Архитектура алгоритма состоит из трех функций:

- извлечение фреймов;
- определение максимального изменения сцены;
- встраивание данных.

Выполнение первой функции зависит от формата контейнера и кодека. Но для работы кодека фреймы должны быть закодированы в интра формате, чтобы возможно было извлечь ДКП коэффициенты из цифрового потока. После извлечения фреймов, из них должны быть выбраны те, которые максимально отличаются от соседних фреймов. Для этого гисто-

граммы соседний фреймов Ii и Ii+1 подвергаются сравнению по формуле (2).

$$HD(\mathrm{I}_i, \mathrm{I}_{i+1}) = \sum \frac{(H_i(k) - H_{i+1}(k))^2}{(H_i(k) + H_{i+1}(k))^2}, \qquad (2)$$

где $\mathrm{I}_i, \mathrm{I}_{i+1}$ – соседние фреймы; H_i, H_{i+1} - соответствующие составляющие гистограмм; HD – максимальное значение, согласно которому и будет выбран кадр для вставки.

На изображении линии можно разделить на вертикальные, горизонтальные и диагональные. В то время как PVD использует только два вида пар, горизонтальные и вертикальные, TPVD предлагает использовать еще и диагональные пары блока. Диагональная пара называется третьей, отчего алгоритм и носит название Triple PVD.

После выбора подходящего фрейма, кадр разбивается на пересекающиеся блоки 2x2, и блок делится на три пары. Если в блоке содержится 4 пикселя: p(x, y), p(x+1, y), p(x, y+1), и p(x+1, y+1), то парами будут P0, P1, P2 соответственно, где P 0 = (p(x, y), p(x+1, y)), P 1 = (p(x, y), p(x, y+1)) и P 2 = (p(x, y), p(x+1,y+1)). Пример разбиения на пары показан на рис. 4.

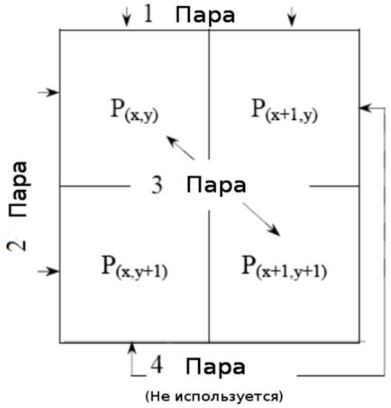


Рис. 4. Разбиение блока на пары

После разбиения, каждая пара модифицируется новым значением d'. Но, так как новых значений пикселя p(x, y) три, то должна быть выбрана наиболее подходящая пара, в то время как остальные пиксели после встраивания изменятся соответствующе. Выбор оптимальной пары производится по среднеквадратичному отклонению от предыдущего значения.

Затем алгоритм продолжается подобно PVD: согласно таблице квантования, выбирается количество бит [8], которое можно встроить в данную

пару, происходит скрытие данных, и новые значения пикселей встраиваются в контейнер.

Благодаря выбору наилучшей пары, встраивание данных не вносит зрительных изменений в контейнер, а также не появляется аномальных отклонений в значениях гистограмм. Но алгоритм не является устойчивым к сжатию видео [9, 10].

Выводы

В данной работе рассмотрены стеганографические алгоритмы, позволяющие скрывать данные в мультимедийные объекты [10]. Представленные методы позволяют создавать высокоёмкие контейнеры с низким отклонением от оригинального контейнера.

Метод LSB является неустойчивым к таким искажениям контейнера как сжатие, поворот, масштабирование и к любым атакам на разрушение контейнера. Этот метод может быть использован только при отсутствии шумов в канале. Также алгоритм может быть использован только в контейнерах, к которым будет применяться lossless сжатие, так как сам метод применяется к сырым данным, до того, как они были обработаны. PVD может быть использован для внедрения данных в I-фреймы. Проблемой алгоритма является то, что он не обеспечивает гарантированного извлечения данных из контейнера, так как он не является устойчивым к сжатию. В случае сжатия емкость контейнера будет резко снижаться, так как необходимо использование другой таблицы квантования. Благодаря выбору наилучшей пары в алгоритме TPVD, встраивание данных не вносит зрительных изменений в контейнер, а также не появляется аномальных отклонений в значениях гистограмм. Но алгоритм не является устойчивым к сжатию видео

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васина,Т.С.* Обзор современных алгоритмов стеганографии. / Т.С. Васина // Наука и образование. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2012. -№4, С. 1-7.
2. Хорошко, В.О. Основы компьютерной стеганографии: уч. пособие для студентов и аспирантов / В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.Э. Шелест. –Винница: ВДТУ, 2003. – 143 с.
3. *Грибунин,В.Г.* Цифровая стеганография. / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев – Москва: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
4. *Cox, I.J.* Digital watermarking and steganography / I.J. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich. – San Francisco: Morgan KaufmannPublishing, 2008. – 624 p.

5. *Singh,H. V*. Robust copyright marking using Weibull distribution / H. V. Singh, S. Rai, A. Mohan, S. P. Singh // Computers & Electrical Engineering. –2011. – № 37(5). – 714-728 p.
6. *Коханович,Г.Ф.* Компьютерная стеганография. Теория и практика /Г.Ф. Коханович, А.Ю. Пузыренко – Киев: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
7. *Sherly, A.P.* A Compressed Video Steganography using TPVD / A.P. Sherly, P.P. Amritha - Delhi Technology Institute, 2014. – 30 p.
8. *Вернер М.* Основы кодирования: Учебник для ВУЗов / М. Вернер; пер. с нем. Д. К. Зигангирова. – Москва : Техносфера, 2004. – 288 с.
9. *Ричардсон Я.* Видеокодирование H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения / Я. Ричардсон; [пер. с англ. В. В. Чепыжова.] – Москва: Техносфера, 2005. – 368 с.
10. Формат MPEG. Базовые принципы сокращения избыточных видео-данных в процессе MPEG-кодирования. – Текст : электронный // Контур :[сайт]. – 2020 г. - URL: http://www.konturm.ru/tech.php?id=mpegko.

Пилипенко Ирина Александровна, аспирант кафедры «Кибербезопасность информационных систем» Донского Государственного технического университета, Россия, город Ростов-на-Дону, площадь Гагариа 1, 344000, телефон: +7(928)109-04-17, email: irenphil@ya.ru.

Pilipenko Irina Aleksandrovna, graduate studentof the Department of Cybersecurity of Information Systems, Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don, Gagaria Square 1, 344000, phone: +7 (928) 109-04-17, email: irenphil@ya.ru.

УДК 681.3.01

Клевцов Сергей Иванович

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СГЛАЖИВАЮЩЕГО КУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА

Для прогнозирования параметров системы рассмотрен метод с использованием упрощенной версии сглаживающего прогнозирующего кубического сплайна. Выполнен синтез алгоритма для определения коэффициентов кубического сплайна. Также проведено сравнение эффективности различных моделей прогнозирования параметра с позиции возможности их реализации в микроконтроллерной системе. Было проведено сравнение точности прогнозирования предложенной модели сглаживающего сплайна и моделей сглаживающего временного ряда.

Временной ряд, модель, сплайн, алгоритм, прогнозирование.

Klevtsov Sergey Ivanovich

PARAMETER ESTIMATION OF A TECHNICAL OBJECT USING A SMOOTHING CUBIC SPLINE

To predict the parameters of the system, a method is considered using a simplified version of the smoothing predictive cubic spline. The synthesis of an algorithm for determining the coefficients of a cubic spline is performed. Also, a comparison is made of the effectiveness of various models for predicting a parameter from the standpoint of the possibility of their implementation in a microcontroller system. A comparison was made of the forecasting accuracy of the proposed smoothing spline model and the smoothing time series models.

Time series, model, spline, algorithm, forecasting

Введение

Высокая стоимость технических объектов и значительные потери от простоев, вызванных сбоями в подобных системах, обуславливают актуальность поиска эффективных подходов к мониторингу. Перспективным является активный подход к мониторингу, который направлен не только на проверку состояния компонентов объекта, но и на прогнозирование возможных аварийных ситуаций на ранней стадии [1]. Прогнозирование возникновения подобных ситуаций, обеспечивающее упреждающее устранение причин их возникновения, необходимо для достижения более устойчивого контроля состояния объекта.

Наличие многофункциональных микропроцессорных модулей в составе средств мониторинга, их использование для обработки данных, снимаемых с датчиков, делает постановку и реализацию такой задачи актуальной и своевременной [2]. Микропроцессорный модуль способен снимать и обрабатывать несколько параметров объекта. Поэтому его можно использовать для оценки совокупности параметров. Совокупность параметров может определять функционирование объекта. Поэтому оценка совокупности параметров в результате даст прогноз изменения работоспособности объекта.

Для предварительной оценки целесообразно использование простых моделей [3]. Такие модели могут быть построены на основе приближенных функциональных зависимостей между переменными объекта. Могут быть

использованы соотношения, которые получены в результате упрощения сложных математических соотношений.

Предварительная оценка часто является достаточной для прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций. Оценка и процедуры по предотвращению нештатных ситуаций реализуются на нижнем уровне системы мониторинга. Эти действия обеспечивают высокую динамику реакции на эти ситуации и повышение эффективности системы мониторинга.

Прогнозирование параметра с использованием сглаживающего кубического сплайна

Для осуществления прогнозной оценки состояния совокупности параметров необходимо знать возможные значения параметров в моменты времени, последующие за текущим значением. Исследования показывают, что для прогнозирования параметра технического объекта можно воспользоваться подходом, основанным на использовании метода сглаживающих кубических сплайнов [4].

Синтез алгоритма для определения коэффициентов сглаживающего прогнозирующего кубического сплайна на равномерной временной сетке может базироваться на методике построения сглаживающего кубического сплайна, изложенной в [4].

Коэффициенты сглаживающего кубического сплайна K определяются из соотношения в матричном виде:

$$(\mu WYW^T + {}^1\!/_6\,\Omega)K = WP, \qquad (1)$$

где μ - параметр сглаживания, P – вектор измеренных значений параметра, Y – матрица весовых множителей, матрицы Ω и W – формируются на основе известного шага измерения значения сигнала по времени, K – вектор коэффициентов сплайна.

Опуская промежуточные преобразования, из соотношения (1) получим систему уравнений для определения коэффициентов K_j, $j=0,1, \ldots,L$.

Эта система уравнений в матричном виде:

$$UK = Q,$$

где $K = \left(K_0, K_1, \ldots, K_L\right)^T$;

$$U = \left(\mu WYW^T + {}^1\!/_6\,\Omega\right);$$

$$Q = WP.$$

Решение матричного уравнения осуществляется известными методами, например, методом Гаусса или методом прогонки [5].

Если вектор K найден, то по аналогии с [6] получим:

$$P^* = P - \mu Y W^T K \ ,$$

где $P^* = \left(p_1^*, p_2^*, ..., p_L^* \right)$.

Используя разработанную методику построения сглаживающего прогнозирующего сплайна, основанную на теоретических положениях, представленных в [6,7], и опуская вычисления, можно получить соотношение для вычисления параметра технического объекта в моменты времени, следующие за текущим моментом, при котором сделано последнее измерение параметра:

$$p(t) = p_{j+1}^* \cdot (m+1) - p_j^* \cdot m + \frac{h^2}{6}\left[K_{j+1} \cdot (m+1)((m+1)^2 - 1) - K_j m(m^2 - 1) \right],$$

где $p(t)$ – значение параметра в момент времени $t = t_{j+1} + mh, m \geq 1$; p_j^* - сглаженные значения параметра p; K_j - коэффициенты, определяющие сглаживающий прогнозирующий сплайн.

Для оценки эффективности разработки было проведено сравнение точности прогнозирования с использованием предложенной модели сглаживающего сплайна и моделей сглаживающего временного ряда.

Заключение

Для реализации предварительной прогнозной оценки состояния объекта рассмотрен подход к определению параметра технического объекта с использованием упрощенной версии сглаживающего прогнозирующего кубического сплайна. В расчетах используется равномерная временная сетка. Выполнен синтез алгоритма для определения коэффициентов кубического сплайна. Проведено сравнение эффективности различных моделей прогнозирования параметра с позиции возможности их реализации в микропроцессорном модуле. Было проведено сравнение точности прогнозирования с использованием предложенной модели сглаживающего сплайна и моделей сглаживающего временного ряда.

Результаты прогнозирования показывают, что абсолютная погрешность прогнозирования параметра исследуемых моделей сравнима по величине. Использование сплайна позволяет сгладить скачки погрешности. Однако, для реализации прогнозирования потребуется более мощные вычислительные средства по сравнению с вариантом использования моделей временных рядов. Разработанные модель и методика могу быть использованы для оперативного мониторинга и управления объектом в реальном масштабе времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Lihua Sun, Yingjun Guo, Haichao Ran*. A New Method of Early Real-Time Fault Diagnosis for Technical Process / Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference. – Wuhan, China, 2010. – P. 4912-4915.
2. *Пьявченко О.Н.* Концептуальное представление о прецизионных интеллектуальных микропроцессорных модулях ввода, измерений и обработки аналоговых сигналов. / Известия ТРТУ. №3 (75). 2007. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. - С.3-13.
3. *Darkhovsky B., Brodsky B.* Asymptotically Optimal Methods of Early Change-point Detection /Sequential Analysis. – 2013. – No. 32. – P. 158-181.
4. *Кочегурова Е.А., Шебеко Е.В.* Использование вариационного сглаживающего сплайна в задаче краткосрочного прогнозирования/ Известия Томского политехнического университета. 2006. Т.309. №7 – С.36-39.
5. *Мэтьюз Дж.Г., Финк Куртис Д.* Численные методы. Использование MATLAB, 3-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 720 с.
6. *Квасов Б.И.* Методы изогеометрической аппроксимации сплайнами. – М.: Физматлит, 2006. – 360 с.
7. *Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л.* Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980. – 382 с.

Клевцов Сергей Иванович, Южный федеральный университет, доцент, кандидат технических наук, E-mail: sergkmps@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: sergkmps@mail.ru, Petrovsky, 81, Taganrog , 347900, Russia, Phone: (8634) 328025.

УДК 621.315.611

Королихин Николай Николаевич, Полуянович Николай Константинович

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУШНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Работа посвящена решению задачи анализа поступающих с системы мониторинга рефлектограм с использованием нейронных сетей. Показано, что прогнозирование позволяет оценить тенденции в изменениях того или иного

фактора влияющего на ресурс ВЭЛ. прогнозировать не саму температуру, а изменение ее значений.

Система мониторинга температуры, рефлектограмма, электроснабжение.

Korolikhin Nikolay Nikolaevich, Poluyanovich Nikolay Konstantinovich

NEURAL NETWORK ANALYSIS OF TEMPERATURES OF AIR ELECTRIC LINES BASED ON OPTICAL FIBER

The work is devoted to solving the problem of analyzing reflectograms coming from the monitoring system using neural networks. It has been shown that forecasting allows assessing trends in changes in one or another factor affecting the VEL resource. to predict not the temperature itself, but the change in its values.

Temperature monitoring system, reflectogram, power supply.

Введение

Для обеспечения бесперебойной работы систем электроснабжения необходимо следить за состоянием силовых кабельных линий. При эксплуатации кабельные линии (КЛ) подвергаются воздействию электрического и теплового поля; механическому старению материалов изоляции; химическое старение под влиянием агрессивных веществ и т. д [1]. Старение изоляции силовых кабелей в результате длительного воздействия эксплуатационных факторов может привести к пробою кабелей при достижении предельных значений характеристик изоляции, что в свою очередь ведет к снижению надежности всей энергосистемы.

Все большее распространение получают системы мониторинга воздушных линий электропередач на основе использования оптического волокна. Это позволило волоконно-оптическим датчикам перейти из разряда экспериментальных лабораторных приборов в разряд широко применяемых приборов. Распределенные волоконно-оптические датчики представляют собой перспективный вариант систем мониторинга состояния объектов критической инфраструктуры (линии электропередач, мостов, тоннелей, трубопроводов и т.д.).

Цели и задачи работы. Для решения задачи анализа поступающих с системы мониторинга рефлектограм необходимо использовать алгоритмы нейронных сетей (НС) ориентированных на анализе временных рядов. Однако целесообразно заменить временную характеристику на расстояние,

чтобы можно было анализировать температуру с привязкой к длине диагностируемой воздушной линии. Зададим уровню температуры переменную, которая отображает температуру на определенном участке воздушной линии. Предположим, что замеры ведутся через одинаковые отрезки длины, например 1 м., таким образом получим последовательность значений величины (временной ряд).

Целью прогнозирования является создание модели, которая позволяет заглянуть в будущее и оценить тенденции в изменениях того или иного фактора. Качество прогноза в таком случае зависит от наличия предыстории изменяемого фактора, погрешностей измерения рассматриваемой величины и других факторов.

Формально задача прогнозирования формулируется следующим образом: найти функцию f, позволяющую оценить значение переменной x в момент времени (t + d) по ее N предыдущим значениям, так чтобы Обычно d берется равным единице, то есть функция f прогнозирует следующее значение x. Временной ряд представляет собой последовательность наблюдаемых значений, в нашем случае температуры, упорядоченных в неслучайные моменты времени. Отличием анализа временных рядов (ВР) от анализа случайных выборок является предположение о равных промежутках времени между наблюдениями и их хронологический порядок [2]. Так же в нашем случае есть необходимость прогнозировать не саму температуру, а изменение ее значений. Точность такого прогноза будет характеризоваться процентом ошибок прогноза. При решении задач прогнозирования приходится принять решения относительно таких характеристик временного ряда как тренд, сезонная и циклическая компоненты, делать предположения о модели временного ряда – аддитивной, мультипликативной и др. Автоматического способа обнаружения трендов во временных рядах не существует. В то же время при изучении кривой, отражающей результаты наблюдений, аналитику трудно делать предположения относительно повторяемости формы кривой через равные промежутки времени [2]. Общим недостатком статистических моделей является сложность выбора типа модели и подбора ее параметров. Все это существенно увеличивает субъективный вклад участников процесса анализа и прогнозирования ВР. Таким образом, результат анализа и прогнозирования ВР зависит как от квалификации аналитика в предметной отрасли, так и от его квалификации в методах анализа.

Аппарат НС подразумевает минимальное участие аналитика в формировании модели временного ряда, так как способность нейросетевых моделей к обучению позволяет выявить скрытые взаимосвязи и закономерности между данными, а алгоритмы обучения адаптируют весовые коэффициенты в соответствии со структурой данных, представленных для обучения [3-5]. Параметрическая настройка НС происходит на основе обучения сети на выделенной из множества исходных данных обучающей выборке (ОВ). При обучении с учителем для каждого обучающего входного примера требуется знание правильного ответа. Нейронной сети предъявляются значения входных и выходных сигналов, а она по определенному алгоритму подстраивает веса синаптических связей. В процессе обучения производится корректировка весов сети по результатам сравнения фактических выходных значений с известными заранее и ожидаемыми выходными значениями. При обучении НС происходит изменение весовых коэффициентов сети на основании изменения фактической погрешности на итерациях обучения.

Качество обученной НС оценивается на контрольной выборке (КВ), также выделенной из множества исходных данных. Если на КВ значение ошибки находится в допустимых пределах, то настройка НС считается завершенной, а нейронная сеть готовой для решения задачи прогнозирования.

При построении модели прогнозирования часто приходится выполнять некоторое предварительное преобразование данных с целью удовлетворения ряду известных требований. Это касается как прогнозируемой величины (ПВ), так и обучающей и контрольной выборок. Основное требование к ПВ заключается в том, чтобы было возможно прогнозировать будущие значения временного ряда. Как правило, в зависимости от задачи, приходится прибегать к таким методам по преобразованию входных данных, которые позволяют правильно судить о закономерностях и особенностях в данных, отражающих их качественные характеристики. Часто встает задача отображения данных в пространство меньшей размерности. Такая свертка данных приводит к устранению избыточности в данных и сокращению времени обучения НС.

Важной предпосылкой для правильного восстановления интерполируемой функции нейронной сетью является то, чтобы наборы, входящие в ОВ и КВ не противоречили друг другу. Это означает, что для двух близких векторов выборки значения прогнозируемой величины также

близки. На практике применяется подход, состоящий в том, что два вектора считаются близкими, если один находится в некоторой окрестности другого. Границы окрестности выбирают так, чтобы условие имело место для 50-100% наборов из ОВ или КВ. Таким образом, для обеспечения качества построенной нейронной сети следует соответствующим образом выбрать как данные для обучения, так и данные для ее оценки.

Поскольку НС работает только с числовыми входными данными, важным этапом при подготовке данных является преобразование и кодирование данных. Данные, предназначенные для обучения, должны быть нормализованы и их значения должны быть распределены в определенном диапазоне [6].

Признаки по которым НС способна определять дефект ВЛ. Приведем примеррефлектограммы в момент запуска ВЛ в работу, рис. 1. Затухание сигнала происходит равномерно. Всплеск в начале графика и в конце означают начало и конец линии. Полученная рефлектограмма принимается за эталонное состояние, и любые изменения графика должно будет фиксироваться НС и анализироваться.

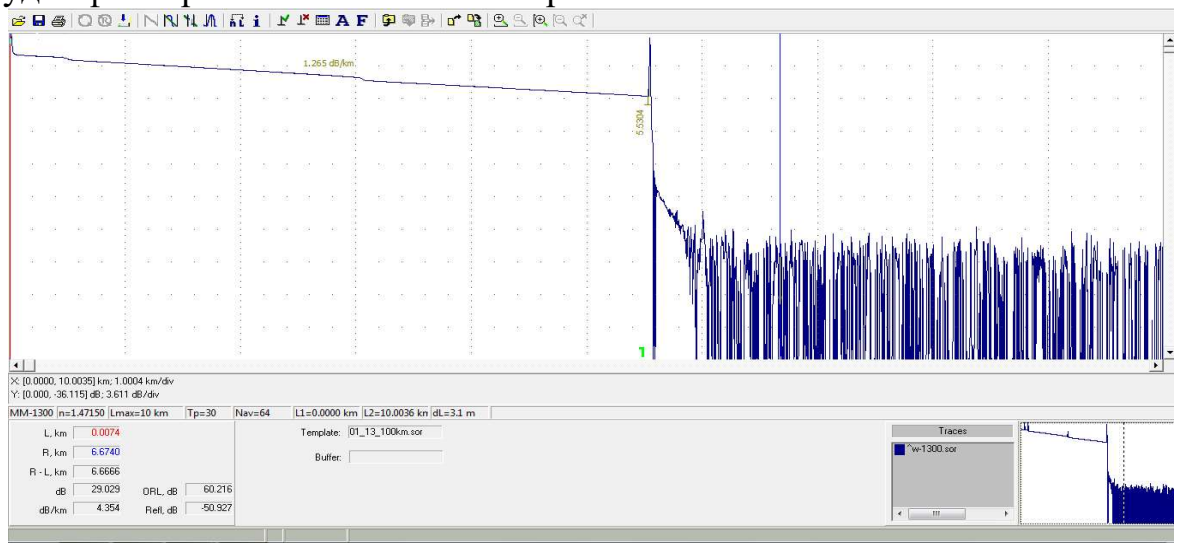


Рис. 1 Рефлектограмма ВЛ без аварийных событий

Приведем примеры изменения графика и какие выводы должна будет делать НС исходя из полученных результатов. На участке ВЛ затухание сигнала усилилось, после события затухание сигнала приходит в норму (рис. 2, а). Это неотражающая неоднородность при котором затухание сигнала начинает отличаться от среднего значения затухания для этой линии ОВ. На рис. 2, а среднее затухание сигнала 1.265 dB/км, в обозначенном же отрезке величина затухания превышает номинал в

несколько раз. При этом если температура не изменяется, то можно сделать вывод, что ОВ подвержено внешнему воздействию (возможно растяжение или изгиб). На участке ВЛ отраженный сигнал имеет резкий всплеск, после события затухание сигнала приходит в норму (рис. 2, б).

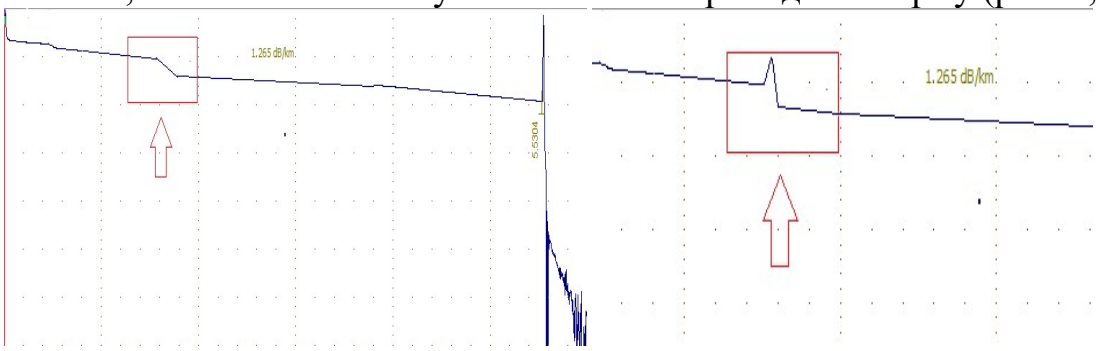


Рис. 2. Рефлектограммы ВЛ. а) при подозрении на внешнее воздействие на ВЛ; б) событие отражения

При фиксации резкого нарастания амплитуды отражённого сигнала НС будет фиксировать событие отражения. Это событие может означать наличие или формирование микротрещин в оптическом волокне, что в свою очередь говорит о повреждении ВЛ. Поэтому фиксация «зарождения» подобных событий особенно важна. Здесь следует обращать внимание на увеличение значения затухания сигнала, если это значение превышает десятые доли числа, значит следует отслеживать рост значения затухания на подозрительном участке ОВ. При дальнейшем росте в значения сигнала на 0,3 дБ следует вызвать аварийное сообщение о предаварийном состоянии. Если в процессе работы будет зафиксирован конец ОВ, значение которого будет отличаться от эталонного (рис. 3), то система мониторинга зафиксирует обрыв ВЛ и выведет аварийное сообщение.

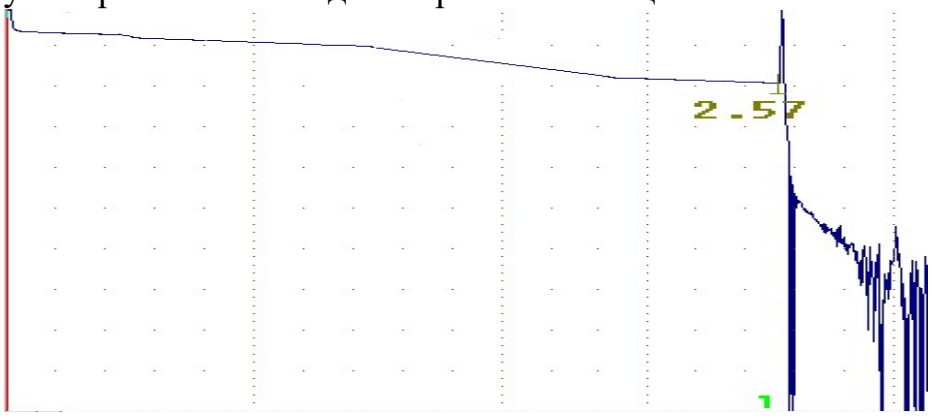


Рис. 3. При эталонной длине ОВ в 5,53км, система мониторинга зафиксировала длину в 2,57км

В табл. 1 приведено сравнение первоначального ВЛ и замера ВЛ после обрыва.

Таблица 1

Фиксация события обрыва ВЛ

Первоначальный замер ВЛ		Замер ВЛ при обрыве	
Расстояние, км.	Мощность, dB	Расстояние, км.	Мощность, dB
0	55,688	0	55,688
1	55,698	1	55,698
…	…	…	…
2800	51,018	2555	51,430
2805	51,006	2560	51,358
…	…	2565	54,360
5522	50,840	2570	10,568

Заключение. Применение НС является перспективным вариантом прогнозирования изменения температуры изоляции ВЭЛ. Применение метода НС позволяет исключить человеческий фактор в оценке текущего состояния исследуемого участка воздушной линии. Недостатком метода является тот факт, что для обучения нейронной сети необходимо наработать достаточно статистической информации, чтобы после обучения процент ошибок свести к минимуму. Поэтому применение нейронных сетей возможно спустя какое то время после ввода в эксплуатацию системы мониторинга. По рефлектограммам событие отражения можно визуально определить основные виды событий встречающихся при эксплуатации системы мониторинга. Но так как НС может работать только с цифровой информацией, были приведены табличные варианты этих событий. Рассмотрена математическая модель обучения нейронных сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Совершенствование методов диагностики и прогнозирования электроизоляционных материалов систем энергоснабжения. Монография / М. Н. Дубяго, Н. К. Полуянович; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 192 с.
2. *Хуршудов А.А.* Обучение многослойного разреженного автоэнкодера на изображениях большого масштаба / А.А. Хуршудов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 2(116). – С. 27–31;

3. *Бокс Дж., Дженкинс Г.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление: М. Мир,1974.
4. *Bishop C.M.* Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford University Press,2003
5. Солдатова О.П., Семенов В.В.// Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования. Электронный научный журнал «Исследовано в России» http://zhurnal.gpi.ru/articles/2006/136.pdf.
6. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* //Нейросетевое моделирование: многослойный персептрон. www.ievbran.ru/kiril/Library/Book1/content394/content394.htm.

УДК 004.414.3

Попов Вадим Евгеньевич

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСМОТРА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Для оптимизации работы специалистов, выполняющих визуальный осмотр линий электропередач в целях выявления неисправностей, является актуальным разработка программного обеспечения для автоматизации осмотра линий электропередач. Таким образом, цель исследования – разработать прототип программного обеспечения для автоматизации осмотра линий электропередач. Задачи исследования, заключаются в следующем, необходимо выявить ключевые моменты при проведении осмотра линий электропередач, определить сценарии для проведения работ, составить требования к программному обеспечению (ПО), предложить функционал, который будет реализовать ПО. В итоге получен прототип программного обеспечения, реализующий автоматическое управление БПЛА по заданному сценарию.

Линии электропередач, неисправности, программное обеспечение, беспилотные летательные аппараты, нейросеть.

Popov Vadim Evgenyevich

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PROTOTYPE FOR AUTOMATED INSPECTION OF POWER LINES

To optimize the work of specialists performing a visual inspection of power lines to identify faults, it is relevant to develop software for automating the inspection of power lines. Thus, the aim of the study is to develop a software prototype to auto-

mate the inspection of power lines. The objectives of the study are as follows, it is necessary to identify key points when inspecting power lines, to determine scenarios for carrying out work, to draw up requirements for software (software), to offer functionality that will be implemented by the software. As a result, a software prototype was obtained that implements automatic control of UAVs according to a given scenario.

Power lines, malfunctions, software, unmanned aerial vehicles, neural network.

Введение

С каждым годом электросетевым организациям становится сложнее своевременно выявлять неисправности на объектах электросетевого хозяйства. С увеличением масштабов единой энергосистемы – увеличивается и время, необходимое для выполнения работ по выявлению повреждений электрооборудования. Для своевременного определения неисправности линий электропередач выполняется визуальный осмотр специалистами. Время выполнения осмотра может занимать более нескольких дней. В крупных компаниях в рамках эксперимента начинают применять беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1] с целью оптимизации затрат привлеченных ресурсов организации для проведения работ по выявлению неисправностей на объектах электросетевого хозяйства. Однако, для большинства беспилотных летательных аппаратов требуется пульт управления, а соответственно и диспетчер, который будет им управлять, в качестве таких устройств выступают: летательный аппарат Mavic 2 Enterprise Advanced [2], БПЛА самолетного типа АС-КАМ [3] и др. Таким образом, актуальностью исследования является разработка программного обеспечения, автоматически управляющего БПЛА по заданному сценарию.

Анализ основных этапов проведения осмотра линий электропередач

При периодическом осмотре линий электропередачи необходимо обращать внимание на противопожарное состояние трассы, фундаментов, опор, проводов, тросов, изоляторов, арматуры и разрядников [4]. На территории электросетевого хозяйства не должно быть угрозы возникновения пожароопасных ситуаций. Осмотр токопроводящих частей требует использование тепловизора [5]. А также иногда необходимо личное присутствие специалиста для более детального осмотра оборудования, которое находится над землей. Обнаруженные неисправности должны быть отмечены и переданы в производственно-технический отдел для их скорейшего устранения. Для оптимизации затрат ресурсов уже начинают внедрение

БПЛА [6]. Использование БПЛА уменьшает время проведения осмотра, снижает риски получения травм у персонала, не требует получения допусков для проведения работ и расширяет возможности автоматизации процесса.

Прототип программного обеспечения для автоматизации осмотра линий электропередач

Для автоматизации процесса проведения визуального осмотра воздушных линей электропередачи [7] необходимо реализовать программное обеспечение для автоматического управления БПЛА. Основная задача автоматического управления БПЛА – исполнение программируемых сценариев [8]. Пользователь должен иметь возможность задать маршрут полета [9] и при необходимости взять на себя ручное управление устройством. Для выполнения визуального осмотра БПЛА должен быть оснащен камерой высокой четкости с оптическим и цифровым зумом, а также тепловизором. Пилот должен иметь возможность управлять режимами съемки вручную. Отснятые кадры должны сохраняться на сервере, и специалисты в режиме реального времени смогут оценивать состояния электросетевого оборудования и принимать решения по предотвращению аварийных ситуаций.

Также для упрощения процесса проведения визуального осмотра необходимо реализовать нейросеть [10], обученную на большом количестве фотографий воздушных линий электропередачи, для автоматического определения компонентов электрооборудования. Это позволит БЛПА самостоятельно проводить съемки оборудования.

Выводы

Таким образом, были проведены исследования процесса проведения визуального осмотра воздушных линий электропередачи, и были выявлены ключевые моменты, на основе которых были составлены сценарии работы предлагаемого программного обеспечения. По предварительным оценкам внедрение такого ПО позволит снизить расходы ресурсов электросетевых организаций, минимизировать вероятность получение травмы на производстве и повысить качество проводимых работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспилотный летательный аппарат БПЛА (дрон). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Беспилотный_летательный_аппарат_(дрон,_БПЛА) (дата обращения: 24.05.2021).

2. Mavic 2 Enterprise Advanced. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.dji.com/ru/mavic-2-enterprise-advanced (дата обращения: 24.05.2021).
3. Дистанционная диагностика линий электропередач. [Электронный ресурс]. – URL: https://ascam.aero/distantsionnaya-diagnostika-liniy-elektroperedach/ (дата обращения: 24.05.2021).
4. Монтаж и эксплуатация воздушных линий электропередачи. [Электронный ресурс]. – URL: https://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page12 (дата обращения: 24.05.2021).
5. Применение тепловизоров в энергетике. [Электронный ресурс]. – URL: https://prom-avt.ru/uslugi/teplovisia/primtepven.html (дата обращения: 24.05.2021).
6. Как новый закон меняет правила использования беспилотников. [Электронный ресурс]. – URL: http://duma.gov.ru/news/46465/ (дата обращения: 24.05.2021).
7. Воздушные линии электропередачи (ВЛ, ВЛЭП). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.np-sr.ru/ru/glossary/item/vozdushnye-linii-elektroperedachi-vl-vlep (дата обращения: 24.05.2021).
8. *Агеев А.М., Михайленко С.Б., Зезюля В.А.* Способ точной посадки беспилотного летательного аппарата // Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами / Сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции – Коломна, 2016 г.
9. *Гулевич С.П., Мельников Д.Н., Суворов А.П.* Математическое моделирование движения беспилотного летательного аппарата в режиме полёта с огибанием рельефа местности // Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами / Сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции – Коломна, 2016 г.
10. Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество. [Электронный ресурс]. – URL: https://habr.com/ru/post/348000/ (дата обращения: 24.05.2021).

Попов Вадим Евгеньевич, бакалавр Северо-Кавказского федерального университета, Россия, город Ставрополь, улица Кулакова 2, 355035, телефон: +7 (988) 626 19-08, email: anttoniinav@gmail.com.

Popov Vadim Evgenievich, bachelor of the North Caucasus Federal University, Russia, Stavropol, Kulakova street 2, 355035, phone: +7 (988) 626 19-08, email: anttoniinav@gmail.com.

УДК 004.4:528.721

Поленов Максим Юрьевич, Волошин Александр Валерьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧНЫХ И ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ ОЦЕНКИ РАЗМЫТИЯ ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Актуальность темы представляемого исследования связана с необходимостью повышения скорости обработки информации о параметрах и состоянии перемещающихся объектов для улучшения управления инфраструктурой, потоками транспорта и пассажиров, системами мониторинга и управления, а также с точки зрения комплексных систем безопасности в общественных местах, на объектах транспорта и т.д. Основной целью исследований является модификация фотограмметрического метода определения геометрических характеристик статичного или подвижного объекта путем исследования серии его изображений.

Анализ изображений, фотограмметрия, автоматизированная система, мониторинг, параметры объекта.

Polenov Maxim Yurievich,Voloshin Aleksandr Valerevich

STUDY OF THE PHOTOGRAMMETRIC METHOD FOR DETERMINING GEOMETRIC PARAMETERS OF STATIC AND MOVING OBJECTS BY ESTIMATING A BLUR OF THEIR IMAGES

The relevance of the topic of the presented research is related to the need to increase the processing speed of information about the parameters and state of moving objects to improve the management of infrastructure, traffic flows and passengers, monitoring and control systems, as well as from the point of view of integrated security systems in public places, at transport facilities and etc. The main purpose of the research is to modify the photogrammetric method for determining the geometric characteristics of a static or moving object by examining a series of its images.

Image analysis, photogrammetry, automated system, monitoring, object parameters.

Введение

В настоящее время все большую роль в различных программных системах и комплексных системах мониторинга начинают играть алгоритмы и модули определения различных характеристик движущегося объекта: расстояние до него, скорость и направление движения, координаты положения в пространстве и другие. Фотограмметрия является одним из направлений определения таких характеристик по получению всей необходимой информацию об объекте по его изображениям.

В существующих интеллектуальных системахвыделяются несколько пассивных способов получения данных об исследуемых объектах. Можно выделить многосенсорный подход (стереозрение), построение перспективы изображения, использование зафиксированной камеры и дополнительного освещения объекта, а также специальную калибровку фото или видеодетектора [1]. Каждая из представленных методик может вполне использоваться на практике в зависимости от поставленной задачи, типа автоматизированнойсистемы удаленного контроля и мониторинга, а также от параметров самого объекта [2-4].

Наиболее популярными методами определения параметров объекта в такой постановке задачи являются методы стереозрения, т.е. наличие нескольких фотодетекторов; определения размытия при заданном движении видеокамеры; регулировка фокуса детектора; определения размытия для различных цветов, входящих в образ объекта [5,6]. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, связанные с техническими и программными возможностями реализации отдельных процедур.

Большинство современных камер используют различные системы и алгоритмы автофокусировки на основе пассивного фокуса и того факта, что точно сфокусированное изображение имеет наилучший контраст относительно любых объектов в выбранной сцене. Для восстановления глубины изображения можно использовать фокусировку камеры, проводимую по следующему алгоритму: изображение разделяется на отдельные активные окна, наилучший контраст для выбранных окон общего изображения записывается в память, и данная процедура повторяется до получения наилучшего контраста для всего изображения, по которому ипроизводится фокусировка объектива; полученное фокусное расстояние используется после определения настоящей глубины отдельных фрагментов изображения [7,8].

Основным подходом, реализуемым в данной статье, является определение геометрических и кинематических параметров исследуемого объекта по размытию, получаемому при различных настройках фотодетектора (в зависимости от фокусного расстояния, выдержки и диафрагмы).

Определение геометрических параметров объектов путем оценки размытия их изображений

В качестве определяющего соотношения, связывающего основные параметры фотодетектора и расположения объекта в экспозиции, предлагается использовать соотношение:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_{ob}} + \frac{1}{D_{ftp}}, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние, Dob – расстояние от выбранной точки объекта до объектива фотокамеры, Dfip – расстояние между центром объектива и сфокусированным изображением наблюдаемого объекта.

Соотношение (1) необходимо разрешить для заданного фокусного расстояния относительно пары значений Dob и Dfip. На рис. 1 показано, что модель и характеристики реальных фотодетекторов могут существенно отличаться, для их увязки предлагается использовать коэффициент масштабирования:

$$M = \frac{D_{fip}}{D_{ob}} = \frac{L_{im}}{L_{ob}}, \quad (2)$$

где Lim – размер изображения объекта на CCD матрице, Lob – фак. размер объекта

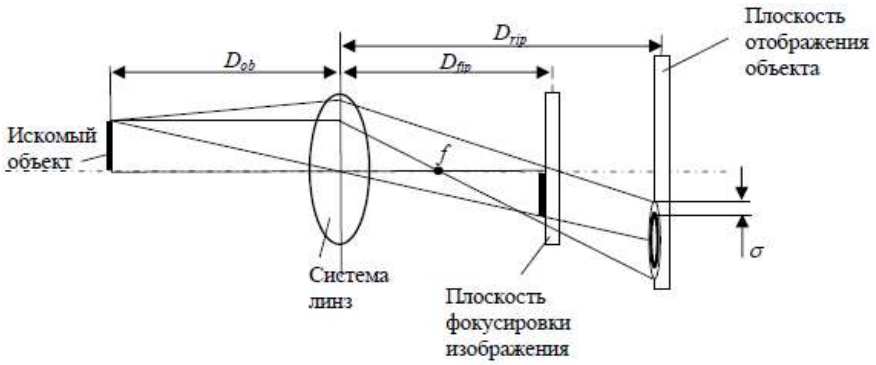


Рис. 1. Схема выполнения оценки глубины изображения, с использованием размытия из-за расфокусировки для случая $D_{rip} \geq D_{fip}$

Величина Dfip≥Dob является инвариантной для различных настроек фотодетектора и представляет собой дополнительное граничное условие [9].

Для определения размытия объекта (диаметра пятна размытия или дисперсия) предлагается использовать соотношение:

$$\sigma = \frac{B\left|D_{rip} - D_{fip}\right|}{D_{fip}}, \qquad (3)$$

где σ – величина размытия объекта, B – величина апертуры, D_{rip} – расстояние от центра объектива до плоскости, в которой находится объект.

Определение расстояние Dfip может проводиться по двум выражениям, в зависимости от расположения плоскости фокусировки (см. рис. 1)

$$D_{rip} = D_{fip} \pm \frac{D_{fip}\sigma}{B}, \qquad (4)$$

знак «+» применяется при $D_{rip} \geq D_{fip}$, знак «-» соответствует $D_{rip} < D_{fip}$.
Если в соотношениях (2) – (4) учитывать заранее устанавливаемые величины, например, фокусное расстояние фотодетектора, то можно записать

$$D_{fip} = \frac{f \cdot D_{ob}}{(D_{ob} - f)}. \qquad (5)$$

Используя выражение (4) можно вычислить расчетное расстояние от точки детектирования до объекта исследования

$$D_{cob} = \frac{f \cdot D_{rim}}{(D_{rim} - f)}. \qquad (6)$$

В общем случае использования предлагаемой методики, без использования разности размытий для различных цветов, расстояние от детектора до объекта, находящегося вне фокуса, при условии, что расстояние до объекта в фокусе известно, будет определяться по следующей формуле:

$$z = \frac{Dpf}{[(D+\sigma)\, f - \sigma \cdot p]} \qquad (7)$$

где z– искомое расстояние до объекта, p – расстояние до объекта, находящегося в фокусной точке, D – диаметр линзы, σ – диаметр пятна размытия (считается, что размытие в точке происходит одинаково во всех направлениях).

Применение представленной выше формулы на практике не позволяет получить результат, близкий к реальным значениям расстояния до объекта, полученным экспериментально (рис. 2), в связи со сложностью определения оценки размытия изображения.

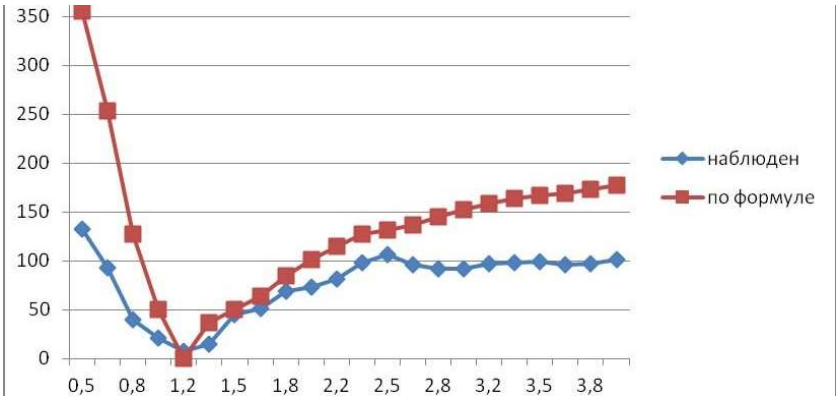


Рис. 2. Зависимости размытия объекта от расстояния до него, полученные поприведенной выше известной формуле и экспериментально

Математическое ожидание разностей между экспериментальными данными размытия изображения и размытия, вычисленного по известной формуле равно – 56,34870619, а их дисперсия равна 2664,364785.

Границы размытости зависят от числа диафрагмы *f/D* используемой камеры: чем выше число диафрагмы, тем меньше света попадает на матрицу камеры, и площадь круга изменяется пропорционально квадрату его радиуса. Используя предлагаемый подход, определим расстояние до исследуемых объектов прямоугольной и круглой формы и их размытие путем анализа серии изображений, полученных с помощью фотодетектора с различными настройками (некоторые из них приведены на рис. 3).

Диаметр размытия границы объекта определяется по формуле:

$$\Delta x_r = \Delta X_R * Sx,$$

где ΔX_R – диаметр размытия границы объекта, измеренный в пикселях; Sx – размер пикселя CCD матрицы используемой камеры.

Размер пикселя CCD матрицы [6,9] рассчитывается через пропорцию с учетом размеров получаемого кадра в пикселях (в нашем случае, это 4608 x 3072 пикселей или число эффективных пикселей для используемого фотоаппарата – 24.3 Мпикс) и размеров самой матрицы используемой камеры в мм (в нашем случае, использовался фотоаппарат Nikon D610, размеры матрицы которого равны 15.4 x 23.1 мм), а также с учетом того, что пиксель – квадратный,

$$S_x = \sqrt{15.4mm * 23.1mm / (4608pix * 3072pix)} = 5*10^{-6}m).$$

Для Nikon D750 размеры получаемого кадра в пикселях составляют 6016 x 4016 пикселей, размеры матрицы равны 35.9 x 24 мм, откуда

$$S_x = \sqrt{35.9mm * 24mm / (6016pix * 4016pix)} = 5,9*10^{-6}m).$$

Рис. 3. Изображения, полученные с помощью фотокамеры, при различныхфокусных расстояниях: а) 24 мм, б) 35 мм, в) 45 мм, г) 55 мм

Реальное расстояние до объекта в момент фотографирования мишени (см. рис. 2) – 3.5 м. При использовании традиционной методики определения расстояния по размытию (1) – (7) получаем расстояние, равное 4.6 м; при использовании же предлагаемого подхода с оценкой размытия отдельно по основным цветам (1) – (7), с учетом (8) и (9), определяемое расстояние составляет 3.8 м.

На рис. 4 представлена зависимость размытия от расстояния до объектапри расстоянии до объекта в фокусе, равном 1,2 м.

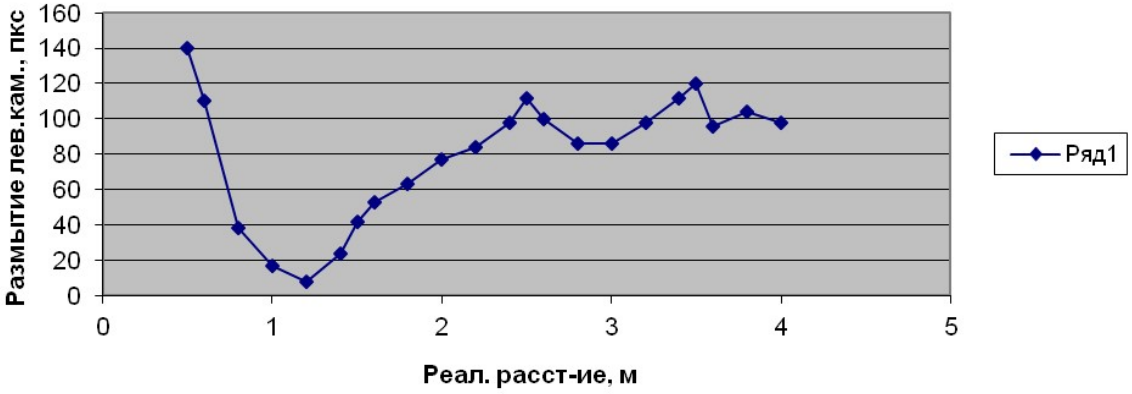


Рис. 4 Зависимость размытия от расстояния при измерении наблюдений с одной камеры

Чем больше возможностей для проведения дополнительных экспериментов для получения наблюдений, тем более точной можно определить необходимую зависимость: для нескольких экспериментов вычисляется среднее размытие в зависимости от расстояния. Например, для трех массивов измерений график представлен на рис.5.

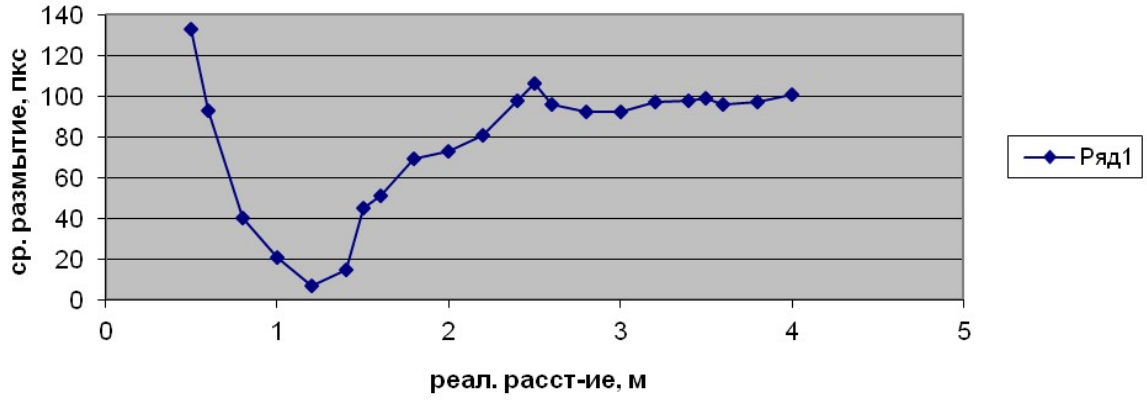


Рис.5 Зависимость среднего размытия от расстояния

Выводы

Исследован и апробирован фотограмметрический метод получения параметров объектов на основе использования методов стереозрения и размытия изображения, который позволяет увеличить точность определения геометрических и кинематических характеристик. Разрабатываемая комплексная методика определения параметров статичного объекта на основе использования алгоритмов детектирования размытия изображений объекта может быть модернизирована и обобщена на случай движения объекта по разным траекториям и с разной скоростью, на случай движения самой системы детектирования и получения первичной информации так же, как это происходит при аэрофотосъемке [10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Седов М.О.* Разработка методов и устройств сжатия с раздельным преобразованием составляющих спектра сигнала телевизионного изображения // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04, Москва, 2013.
2. *Локтев Д.А.* Определения параметров объекта по серии его изображений в комплексной системе мониторинга // Путь и путевое хозяйство, №2, 2015.
3. *Локтев Д.А.* Определение геометрических параметров объекта с помощью анализа серии его изображений // Телекоммуникации и транспорт. T-Comm,

№5, 2015.
4. *Пронин С.П.* Контроль параметров вибрации объекта по оптическому изображению тест-объекта на экране монитора персонального компьютера // Естественные и технические науки. – М.: Изд-во Спутник+, № 5 (43), 2009.
5. *Локтев Д.А.* Сравнение методологий разработки систем интеллектуального взаимодействия / Д.А. Локтев, А.Н. Алфимцев, А.А. Локтев // «Вестник МГСУ», №5 – М.: МГСУ, 2013.
6. *Толкачев Д.С.* Повышение точности калибровки внешних параметров видеокамеры // Электронный научный журнал. Инженерный вестник Дона, № 3, 2013. http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1840 (дата обращения: 17.05.2021).
7. *Замотайлов О.В.* Разработка метода восстановления изображения со специализированных приборов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17. Москва. – 2012.
8. *Сергеев Е.А., Котов В.В.* Методика оценки геометрических искажений в системах формирования панорамного изображения // Известия ТулГУ. Технические науки, № 4, ч.1, 2010.
9. *Konstantinova P., Adam D., Angelova D. and Behar V.* Contour Determina- tion in Ultrasound Medical Images Using Interacting Multiple Mode Probabilistic Data erlag // LNCS 4310, 2007.
10. *Чечель А. О.* Трекинг графических объектов, представленных в виде покевых структур // Современное телевидение и радиоэлектроника. Труды 20-й Международной научно-технической конференции. – М.: ФГУП "МКБ Электрон", 2012.

Поленов Максим Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-15-50, E-mail: mypolenov@sfedu.ru

Волошин Александр Валерьевич, ассистент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 68-08-90, E-mail: avoloshin@sfedu.ru

Polenov Maxim Yurievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and

Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovsky lane, 347900, Phone: +7 (8634) 37-15-50, E-mail: mypolenov@sfedu.ru

Voloshin Aleksandr Valerievich, Assistant of the Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovsky lane, 347900, Phone: +7 (8634) 68-08-90, E-mail: avoloshin@sfedu.ru

Pooja V. Janse, R. R. Deshmukh

DEVELOPING SPECTRAL LIBRARY OF MAJOR CROPS IN AURANGABAD REGION

Hyperspectral remote sensing is very useful in many applications because of its capability of detailed spectral characterization. There are many natural and man-made materials spectral signatures can be saved as data archive called as spectral library. In this paper, the steps of creating spectral library has been demonstrated. In order to obtain spectral signature of vegetation, spectroradiometer and proper analysis tools are required. We have used ASD Fieldspec4 Spectroradiometer with wavelength range of 350-2500nm for capturing spectral signature and Viewspec Pro for further analysis. We have collected spectral signatures of various crops like Jowar, Wheat, Maize, Bajara and Cotton from Aurangabad region and created spectral library using ENVI.

Hyperspectral Remote Sensing, Spectral Library, ASD Spectroradiometer, ENVI.

1. INTRODUCTION

In early 1980s, Hyperspectral Remote Sensing (HRS) is one of the most substantial breakthrough in the area of remote sensing. Hyperspectral remote sensing is used for mapping, identification and detection of any object's material present on earth. All object's present on earth surface reflects and absorbs light incident on it. Study of this property of material is called as "Spectroscopy" [1]. Material can be a man-made like building, roads etc. or can be natural like vegetation, rocks, soil types and water bodies. HRS technology has higher capability of examining characteristics and properties of material.

Depending on the chemical composition of material, physical properties, every material has its own spectral properties. Following fig. 1 shows spectral properties of vegetation [2].

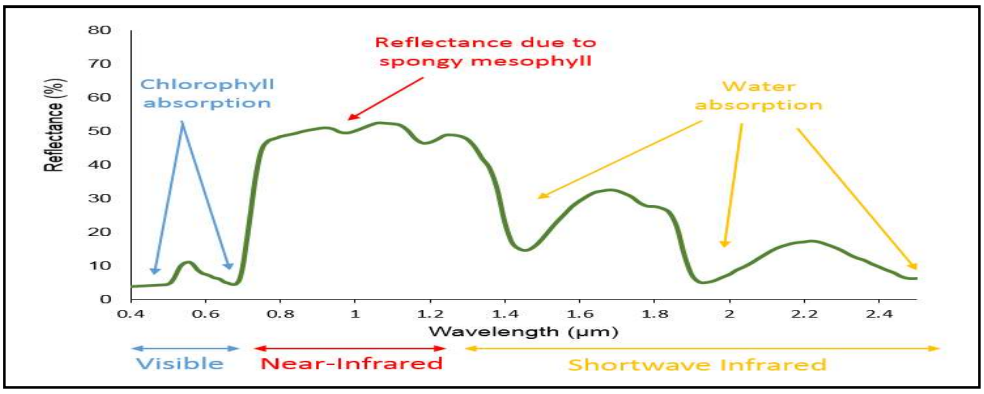


Fig. 1. Spectral Signature of Vegetation

From the above figure we can see the absorption bands of chlorophyll, carotenoids, anthocyanin in visible region, water content absorption in shortwave infrared region and reflection due to internal cell structure of leaf in near infrared region. The spectral characteristics of vegetation can be used for various applications. For example, study of vegetation pattern, ecosystem structure and its function, land covered by vegetation, health of vegetation, etc. Because of these various applications, spectral library of vegetation have been created [3].

The data archives which are consists of spectral signatures measured of any man-made or natural material is called as Spectral Library [4, 5]. There are two main purposes of developing spectral library,

- The use of remotely sensed data as measurement of reflectance for future data processing, and
- The use of reflectance measurement by Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) for laboratory assessment.

In this research work, spectral library of spectral signatures of Bajara, Cotton, Jowar, Maize and Wheat have been created.

2. SPECTRAL DATA COLLECTION

2.1 Study Area

We have collected leaf samples of Bajara, Cotton, Jowar, Maize and Wheat from Paithan Road, Chikalthana and Harsool road Area of Aurangabad region. The latitude value of Aurangabad, Maharashtra is 19.8762° N and longitude value is 75.3433° E. The mentioned study area is consist of both man made material and agricultural fields.

(a) (b) (c)

Fig. 2. Satellite image of the study area (a) Paithan road, (b) Harsool road, and (c) Chikalthana

2.2 Leaf Sample Preparation and Laboratory Setup

Leaf samples of Bajara, Cotton, Jowar, Maize and Wheat were cut from plant and immediately kept in air tight plastic bag so that there will be no or very less loss of its biological properties. These samples then brought to laboratory in Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, Maharashtra for spectral signature generation.

We have collected spectral signature of leaf samples by using ASD FieldSpec4 spectroradiometer and RS3 software. We collected database in laboratory in controlled condition, it was a dark room specially created for spectral data collection because other colors and light sources will affect the spectral signature. The spectrometer setup is shown in fig. 3.

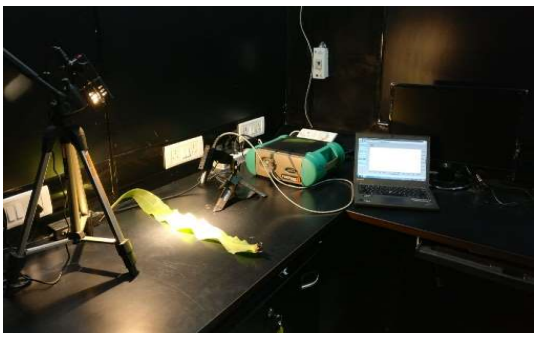


Fig. 3. Spectrometer Setup in data collection process

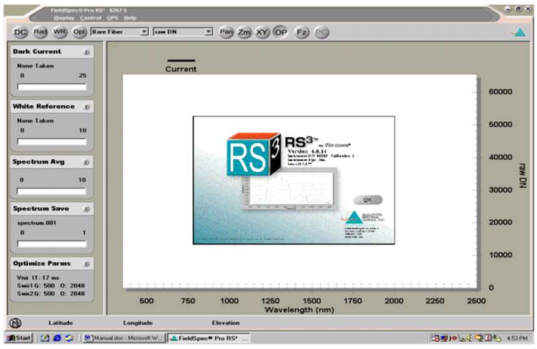


Fig. 4. RS3 software splash screen

2.3 Instrumentation and Software

Analytical Spectral Device (ASD) FieldSpec 4 Spectroradiometer is a primary tool used for generating hyperspectral signature data. It is general-purpose instrument which has proven effectiveness of application in several areas which require measurement of reflectance, transmittance, radiance, or

irradiance. FieldSpec 4 Spectroradiometer is a compact and field portable device of incredible precision, with a spectral range of 350 nm to 2500 nm.

RS3, ViewSpec Pro, Microsoft Excel 2013 and ENVI 4.7 are essential software's which are used in this study. RS3 software states to the version of the Analytical Spectral Devices application. Its purpose is to receive and store the spectral signature data transmitted from ASD Spectroradiometer. ViewSpec pro software is used for converting .asd file into ASCII file of .txt format. ENVI is useful for analysis, visualization and presentation of data.

We have warmed up ASD Fieldspec4 Spectroradiometer for 30 minutes before data collection. Distance between spectral gun and light source was kept 50 cm. Distance between spectral gun and sample was set to 8 cm. and 8^0 Field of View (FOV) was used. Then we used RS3 Software for capturing spectral signature. The splash screen of RS3 is shown in figure 4.

Then Spectroradiometer have been optimized first to set the appropriate light source settings [6]. Then white reference panel reading have been measured. Then spectral signature of leaf samples have been collected. Leaf spectral measurement provides reflectance values from 350nm-2500nm.

2.4 Data Processing

The spectral data which is captured using ASD Spectroradiometer were received and stored using RS3 software in .asd format. The spectral data then be viewed with ViewSpec Pro after necessary conversion from .asd format to ASCII in .txt format. The ViewSpec Pro software was used for the data conversion process. All the spectral data saved in .asd format were transferred to ASCII and later saved as .txt format. Furthermore, the data arrangement process was carried out using Microsoft Excel to average all the spectra data obtained from ASD Spectroradiometer device.

3. CREATION OF SPECTRAL LIBRARY

3.1 Spectral Library Builder

We have created Spectral library of vegetation using ENVI software [4]. The steps of creation of spectral library are explained as follows.

1. Open an ENVI Software and go to Toolbox – Spectral – Spectral Libraries – Spectral Library Builder.
2. Then it will ask for input file in three different formats. We have options for giving input as data file, ASCII file or spectrum file.
3. Then for importing input file dialog box will open as follows. We have chosen an option from ASD Binary File.

4. Then spectral signature files have been chosen and plotted.

5. Then we have exported it as spectral library and saved in computer. Output file will be saved with .sli extension.

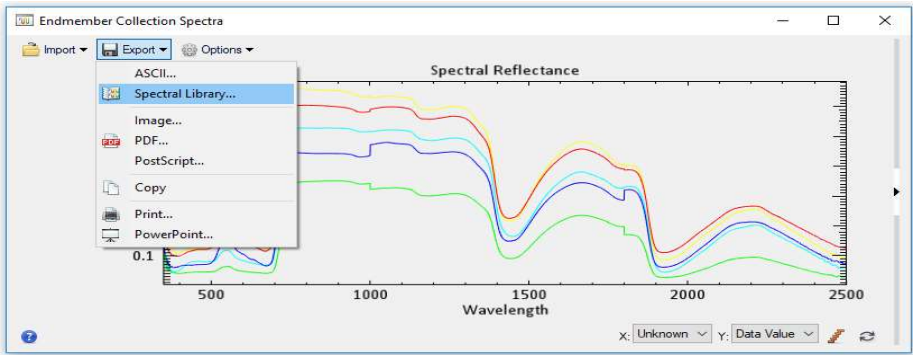


Fig.5. Exporting spectral signature data as spectral library

3.2 Viewing Spectral Library

For viewing spectral library Spectral Library Viewer tool from ENVI can be used.

1. Go for Display – Spectral Library Viewer.

2. By default ENVI provides four spectral library. ASTER, IGCP, USGS and Veg_lib.

3. For viewing spectral library go to open spectral library.

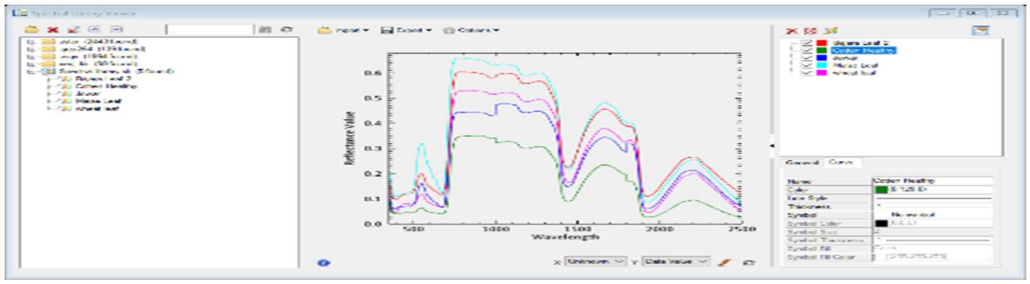


Fig.6. Viewing Spectral Library

4. CONCLUSION

Based on study carried out for creating spectral library, it can be concluded that the spectral reflectance data of vegetation possess valuable information which can be used in many application of remote sensing, like discrimination between various species of crops, discrimination between healthy and non-healthy crops, monitoring plant growth, estimation of Land Use Land Cover by particular crop, Estimation of build-up area and agricultural area within city etc. This paper has summarized the steps of creating spectral library and importance of spectral library. This can play important role for guiding other researcher to develop spectral library of their database. This spectral library can also be useful for other researchers.

REFERENCES

1. *Pooja Vinod Janse, Ratnadeep R. Deshmukh*, Hyperspectral Remote Sensing for Agriculture: A Review, IJCA, Vol.172, No.7, 2017.
2. *R. N. Sahoo, S. S. Ray and K. R. Manjunath*, Hyperspectral remote sensing of agriculture, CURRENT SCIENCE, VOL. 108, NO. 848 5, pp. 848-859, 2015.
3. *Priyanka U. Randive, Ratnadeep R. Deshmukh, Pooja Vinod Janse, Jaypalsing N. Kayte*, Study of detecting Plant diseases using Non-Destructive Methods: A Review, International Journal of Emerging Trends and Technology in Computer Science, Volume 7, Issue 1, January-February 2018.
4. *Rohit S. Gupta, Ratnadeep R. Deshmukh, Priyanka U. Randive, Abdulla Omeer, Jaypalsing N. Kayte, Pooja V. Janse*, Building Spectral Library of Soil Samples using Spectroscopic Device and ENVI Software, IJRAR, Volume 6, Issue 1, January 2019.
5. *Muhammad Ikhwan Jamaludin, Abdul Nasir Matori, Mohammad Faize Kholik and Munirah Mohd Mokhtar*, Development Spectral Library of Vegetation Stress for Hydrocarbon Seepage, Applied Mechanics and Materials, Vol. 567, pp 693-698, 2014.
6. *K. Pfitzner, A. Bollhöfer, G. Carr*, A Standard Design for Collecting Vegetation Reference Spectra: Implementation and Implications for Data Sharing, SPATIAL SCIENCE, Vol. 52, No. 2, December 2006.

Miss. Pooja V. Janse is currently pursuing the Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from Department of Computer Science and IT, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad, and Maharashtra, India. She is currently working as BSR Research Fellow under the project entitled "**UGC SAP-II DRS Phase II Biometric: Multimodal System Development**" sanctioned by UGC to the Department of Computer Science and Information Technology, Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad. She have published more than 20 research papers in reputed National and International Journals / conferences. Her research interest includes the digital speech signal processing, Remote Sensing and Geographical Information System (GIS) Technology.

Dr. R. R. Deshmukh, Professor, M.E., M.Sc. (CSE) Ph.D. FIETE, Presently working as Professor in Department of CSIT, Dr. B.A.M. University, Aurangabad, (MS), India. He is a Fellow member and working as Chairman, IETE Aurangabad Centre, He has been elected as sectional member of ICT section of Indian Science congress Association. He is life member of ISCA, CSI, ISTE, IEEE, IAEng, CSTA, IDES and a senior

member of ACEEE. He was Vice-Chairman of IETE Aurangabad Centre for last 4 years and member of Management Council of Dr. B. A. M. University. He is Member of Academic Council and Senate member of Dr. B. A. M. University, Aurangabad. Edited Nine books and published more than 170 research papers in reputed National and International Journals / conferences. He is reviewer and editor of several journals at national & international level. His areas of specialization are Human Computer Interaction, Digital Speech Signal processing, Data Mining, Data Warehousing, Image Processing, Pattern Recognition, Artificial Intelligence, Computational Auditory Scene Analysis (CASA), Neural Networks etc.

Научное издание

Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»

В двух томах

Том 1

Отв. за выпуск Клевцов С. И.

Оригинал-макет подготовила Замай Н. А.