

с е т е в о й н а у ч н ы й ж у р н а л ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

Том 5 № 1
Volume 5 2020

16+

Сайт журнала:
rinformation.ru
сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)
Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017



Том 5, № 1. 2020

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 5, № 1. 2020

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: Черноморец А.А., доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: Болгова Е.В., кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: Ляшенко И.В., кандидат филологических наук, доцент

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Басов О.О., доктор технических наук (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург)

Белов С.П., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Волчков В.П., доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

Дмитриенко В.Д., доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Иващук О.А., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Калмыков И.А., доктор технических наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

Корсунов Н.И., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Косыкин А.В., доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)

Ломазов В.А., доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

Маторин С.И., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Рубанов В.Г., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Таранчук В.Б., доктор физико-математических наук, профессор, (Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: Andrey A. Chernomorets, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: Evgeniya V. Bolgova, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: Igor V. Lyashenko, Ph.D. in Philology, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery D. Dmitrienko, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

Olga A. Ivaschuk, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Igor A. Kalmykov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Nikolay I. Korsunov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Alexander V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vadim A. Lomazov, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vasily G. Rubanov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery B. Taranchuk, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Belarus)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.

Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod State National Research University»

Publisher: Belgorod State National Research University

Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

Publication frequency: 4/year

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

Сансевич В.К., Безручко В.В. Моделирование процесса оценки погрешностей при реализации метода индивидуального прогнозирования	3	Sansevich V.K., Bezruchko V.V. Modeling the error estimation process when implementing the method of individual forecasting	3
Дылевский А.В. Синтез автоматических дифференциаторов с помощью полиномов Баттерворта	11	Dylevsky A.V. Design of automatic differentiators using Butterworth polynomials	11
Выгоняйло В.Р., Михелев В.М. Повышение точности классификации рентгеновских снимков с использованием дообучения составной нейросети	20	Vygoniailo V.R., Mikhelev V.M. Increasing accuracy classification of x-ray images using training of composite neural network	20
Какаев Д.В., Маслова М.А. Обзор вирусов удаленного доступа для мобильных устройств	27	Kakaev D.V., Maslova M.A. Overview of remote access viruses for mobile devices	27
Нестеров Е.В., Кондратенко Т.В., Кузнецов А.В. Анализ влияния импульсных помех на кабели связи в сетях передачи данных с коммутацией пакетов	35	Nesterov E.V., Kondratenko T.V., Kuznetsov A.V. The analysis of the influence of the impulsive disturbance on cables in packet communication	35
Михелев В.М., Коняева Е.С. Компьютерная система предварительной обработки МРТ снимков головного мозга	40	Mikhelev V.M., Konyaeva E.S. Computer system of preliminary processing MRI images of the brain	40

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

AUTOMATION AND CONTROL

Бражников А.М., Бражникова А.М., Забержинский Б.Э. Разработка стенда для изучения принципов измерения изношенности дорожного покрытия	54	Brazhnikov A.M., Brazhnikova A.M., Zaberzhinsky B.E. Development of a stand to study the principles of measuring road surface wear	54
Гончаренко Ю.Ю., Кушнарев А.А., Лагуткина Т.В. Использование обязательных методов усиленных средств программной защиты при использовании сервисов цифрового образования	61	Goncharenko J.J., Kushnaryov A.A., Lagutkina T.V. The use of mandatory methods of enhanced software protection in digital education services	61

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 621.391

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-1

Сансевич В.К.
Безручко В.В.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ИНДИВИДУАЛЬНОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

e-mail: sans115@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы компьютерного моделирования процессов образования погрешности прогнозирования состояния объекта контроля. Для анализа процесса образования погрешностей при реализации методов прогнозирования выделены основные этапы решения этой задачи.

Представлена структурно-функциональная организация прогнозирования состояния объекта контроля. Разработана модель образования погрешностей при решении задачи прогнозирования в автоматизированной системе контроля технического состояния. Моделирование производилось по разработанному алгоритму оценки погрешностей при реализации метода индивидуального прогнозирования.

По результатам моделирования установлены аналитические зависимости случайной составляющей погрешности прогнозирования от длины учитываемой предыстории и уровня зашумленности идеального тренда.

Ключевые слова: прогностический контроль; принцип минимакса; метод гарантированного прогнозирования; погрешность прогнозирования.

UDC 621.391

Sansevich V.K.
Bezruchko V.V.

**MODELING THE ERROR ESTIMATION PROCESS WHEN
IMPLEMENTING THE METHOD OF INDIVIDUAL
FORECASTING**

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: sans115@mail.ru

Abstract

The article deals with the issues of computer modeling of the formation of error in forecasting the state of the object of control. To analyze the process of error formation in the implementation of forecasting methods, the main stages of solving this problem are highlighted.

The structural and functional organization of forecasting the state of the object of control is presented. A model of error generation in solving the forecasting problem in an automated technical condition control system has been developed. The simulation was performed according to the developed algorithm for estimating errors in the implementation of the method of individual forecasting.

Based on the simulation results, analytical dependences of the random component of the prediction error on the length of the prehistory taken into account and the noise level of the ideal trend are established.

Keywords: predictive control; minimax principle; guaranteed prediction method; prediction error.

ВВЕДЕНИЕ

Для анализа процесса образования погрешностей при реализации методов прогнозирования необходимо выделение основных этапов решения этой задачи. Это – разработка моделей объекта контроля (ОК) и моделей воздействующих факторов, оптимизация параметров ОК, формирование определяющего параметра ОК, измерение, прогнозирование, верификация прогноза.

Следует отметить, что отмеченные выше этапы, связаны с описанием ОК как в многомерном пространстве параметров, так и с помощью обобщенного (определяющего) параметра (ОП).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Этап моделирования ОК и изменения его ТС под действием различных факторов имеет две основные цели. Первая цель – формирование как набора контролируемых параметров ОК, так и единого параметра, определяющего обобщенное состояние ОК. Это обобщенное состояние должно характеризовать не только возможность реализации функциональных нагрузок, определенных функцией ОК, но и остаточный его ресурс. Таким образом понятие обобщенного состояния гораздо шире понятия технического состояния (ТС). Второй целью этапа моделирования является определение законов изменения как отдельных параметров ОК, так и обобщенного его состояния во времени. Тогда модель системы можно представить следующими подмоделями (см. рис. 1): - модель 1 (модель статики ОК или модель описания ОК), модель 2 (модель описания воздействующих факторов), модель 3 (модель изменения статики ОК за счет управляющих и регулирующих воздействий), модель 4 (модель изменения состояния ОК под действием естественных процессов старения).

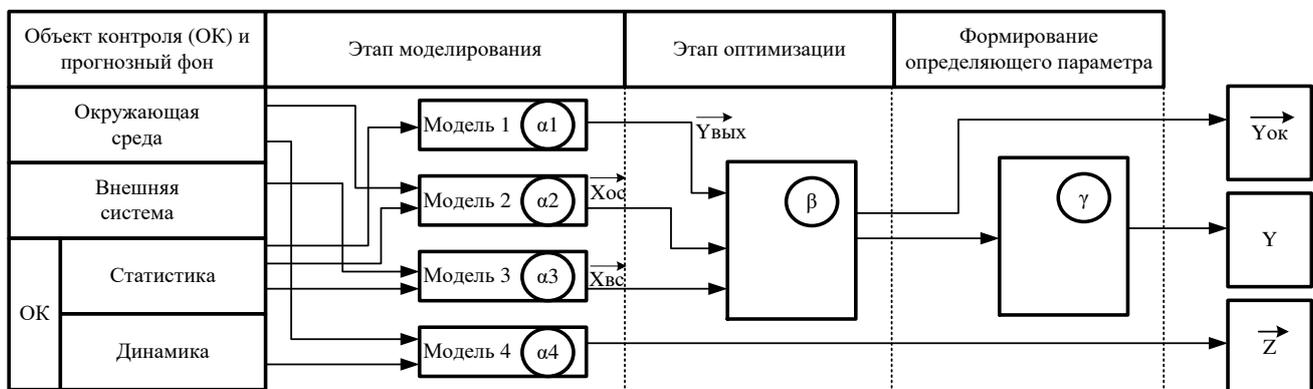


Рис. 1. Структурно-функциональная организация прогнозирования состояния объекта контроля
Fig. 1. Structural and functional organization of forecasting the state of the object of control

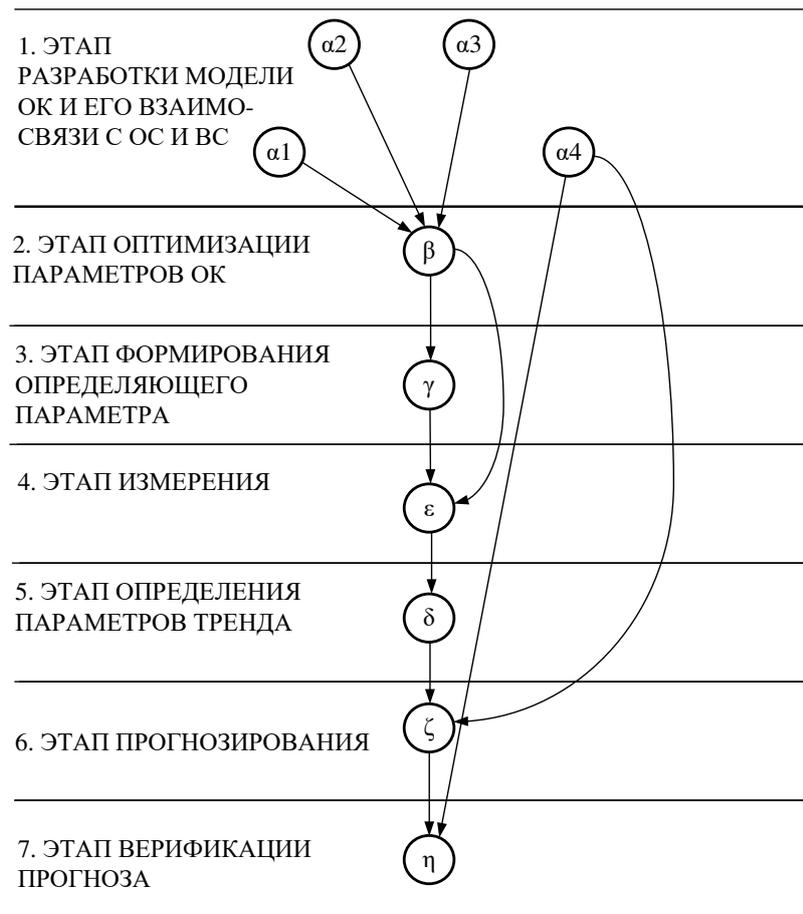


Рис. 2. Граф образования погрешностей при решении задачи прогнозирования в автоматизированной системе контроля технического состояния

Fig. 2. Graph of error formation in the solution the problem of forecasting in an automated system technical condition monitoring

Каждая из выделенных подмоделей обладает рядом первичных методических погрешностей $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, где α_1 – методическая погрешность, обусловленная неточностью описания состояния ОК моделью 1 в фазовом пространстве состояний; α_2 – методическая погрешность, обусловленная неточностью описания воздействий окружающей среды на состояние ОК (неточность модели 2); α_3 – методическая погрешность, обусловленная неточностью описания воздействий внешней среды на состояние ОК (неточность модели 3); α_4 – методическая погрешность, обусловленная неточностью описания процессов изменения состояния во времени при износе и старении ОК (погрешность выбора вида изменения дрейфа прогнозируемой величины).

В технической диагностике кардинальным понятием является понятие ОП, основная идея которого заключается в трансформации n -мерного пространства параметров (состояний) в одномерное.

Естественно, что переход от многомерного пространства параметров к одномерному не всегда происходит однозначно и является источником некоторой дополнительной неопределенности. Таким образом, само введение понятия ОП и его дальнейшее использование связано с первичной погрешностью β , являющуюся методической погрешностью, обусловленной выбором из всего множества параметров $\{Y_{вых}\}, \{Y_{ос}\}, \{Y_{вс}\}$ оптимального их количества. Этот выбор осуществляется с помощью функционального преобразования, рассматриваемого как

алгоритмическое преобразование множества параметров указанных моделей в оптимизированное множество собственно параметров, включающее их нормирование.

Вся совокупность первичных методических погрешностей α_1 , α_2 , α_3 , и β при выполнении функционального преобразования трансформируется в погрешность γ , представляющую собой методическую погрешность, обусловленную неточностью описания состояния ОК с помощью ОП. Следует заметить, что γ из-за замены описания состояния ОК фазовым пространством параметров $\{Y_{вх}\}$, $\{Y_{ос}\}$, $\{Y_{вс}\}$ на некоторое искусственное точечно-линейное множество Y , представляет также методическую погрешность выбора фазового пространства упомянутых параметров, при помощи которых определяется ОП. В таком случае γ представляет собой источник методической погрешности характера моделирования и может использоваться как условие прерывания структурных связей в моделях образования погрешностей при решении задачи прогнозирования остаточного ресурса ОК.

Описание погрешности γ представляет собой результат реализации трех первых этапов решения задачи прогнозирования ТС ОК. Погрешность γ является результирующей погрешностью первичных методических погрешностей α_1 , α_2 и α_3 . Методическая погрешность α_4 целиком зависит от выбора модели 4 (см. рис.1), описывающей динамику состояний ОК под влиянием ОС. Поэтому погрешность, которая заложена в модель 4, проявится на более поздних этапах решения задачи прогнозирования ТС ОК.

Следует заметить, что все первичные измерительные погрешности в конечном счете определяются погрешностью β . Причем уменьшение β (предположим, за счет увеличения числа параметров $Y_{ок}$ для определения ОП) влечет за собой увеличение γ .

Поскольку ОП является параметром высокого иерархического уровня, то в присущих на измерительном этапе инструментальных погрешностях будут присутствовать как аппаратные погрешности, так и методические.

Кроме того, при увеличении длины учитываемой предыстории L методические погрешности аппроксимации уменьшается. В то же время методические погрешности, связанные с экстраполяцией параметров модели 4, увеличивается. Для реализации этапа собственно прогнозирования служит функционально-алгоритмическое преобразование, вид которого зависит от принятой модели 4, вектора Z текущих параметров воздействия ОС на динамику необратимых процессов износа и старения ОК и от целей прогнозирования.

Последним этапом решения задач прогнозирования является этап верификации значения прогноза, полученного на предыдущем этапе. Целью этапа верификации служит установление адекватности системы принятых моделей и гипотез действительным процессам старения ОК.

Исходя из вышесказанного предлагается граф образования погрешностей при прогнозировании (рис. 2), вершинами которого служат упомянутые источники погрешностей, представленные подмножествами:

$$M\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}, M\beta = \{\beta\}, M\gamma = \{\gamma\}, M\delta = \{\delta\}, M\varepsilon = \{\varepsilon\}, M\zeta = \{\zeta\}, M\eta = \{\eta\}.$$

В этой системе сложность отношений между отдельными подмножествами обусловлена не только взаимосвязью самих подмножеств, но и наличием отношений между внутренними элементами подмножеств.

Из рассмотренного графа (см. рис. 2) образования погрешностей при реализации алгоритмов прогнозирования представляют интерес три последних этапа – этап определения параметров тренда, этап собственно прогнозирования и этап верификации. Исследование этих этапов даст возможность, не рассматривая всей сложности первых четырех этапов, оценить эффективность методов прогнозирования в зависимости от различных факторов влияния на процесс изменения состояния ОК.

Из которого следует, что наиболее целесообразно в нашем случае использовать метод имитационного моделирования.

Анализ факторов образования погрешностей индивидуального прогнозирования и погрешностей реализации алгоритмов прогнозирования показывает дискретность вариантов моделирования их образования. Сюда относятся различные комбинации возможных длин учитываемой предыстории L и уровней зашумленности W тренда $Y(t)$.

Учитывая необходимость анализа процесса образования погрешностей прогнозирования при различных факторах влияния и реализациях алгоритма прогнозирования, а также с целью обеспечения полноты исследований процессов образования погрешностей в рассматриваемых автоматизированных системах контроля (АСК), включающих в себя блоки с реальным математическим обеспечением, наиболее целесообразным является применение метода имитационного моделирования. Для составления схемы алгоритма имитационного моделирования может быть использован граф образования погрешностей, изображенный на рис. 2.

Предложенный вариант моделирования имеет своей целью исследование основных свойств погрешностей прогнозирования. Данный вариант имитационного моделирования процессов образования погрешностей прогнозирования может быть реализован алгоритмом, схема которого приведена на рис. 3.

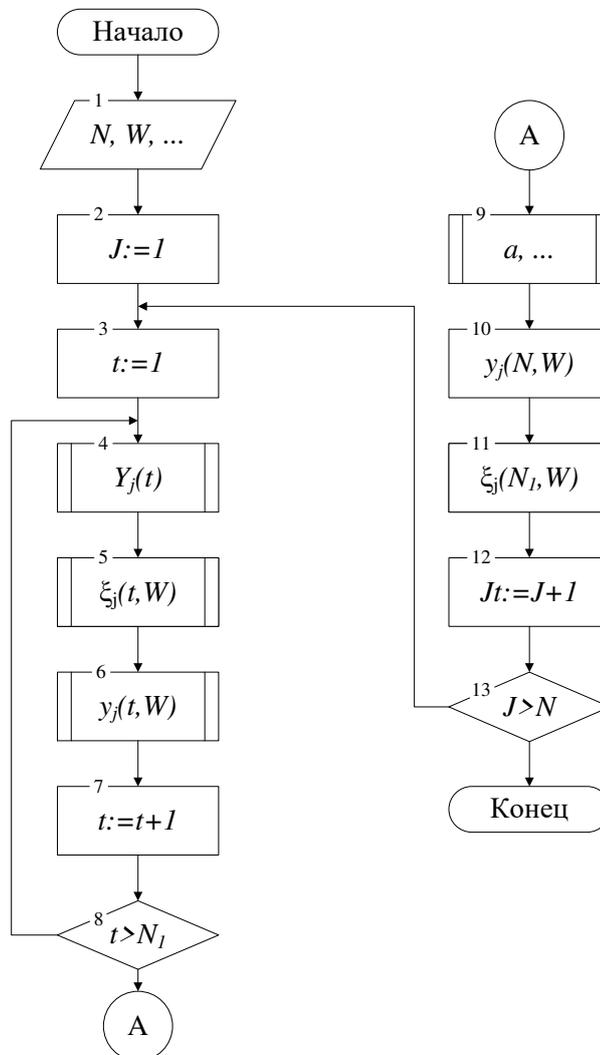


Рис. 3. Алгоритм моделирования процесса оценки погрешностей при реализации метода индивидуального прогнозирования

Fig. 3. Algorithm for modeling the error estimation process when implementing the method of individual forecasting

Имитационное моделирование предусматривает реализацию следующих четырех этапов исследований:

- 1) генерирование идеального тренда $Y(t)$ на практически неограниченном количестве временных сечений t ;
- 2) генерирование помехи $\xi(t, W)$ с различными видами ее закона распределения;
- 3) генерирование реального тренда $y(t, W)$ для данного уровня зашумленности W и реализация прогнозирования, согласно исследуемого алгоритма;
- 4) сравнение результатов прогноза по идеальному $Y(t)$ и реальному $y(t, W)$ трендам.

Сущность этапа генерирования идеального тренда заключается в формировании с помощью вычислительной машины значения $Y_j(t)$ (блок 4). Тренд $Y(t)$ может быть представлен линейной, параболической и экспоненциальной зависимостями.

Второй этап исследования процесса образования погрешностей (блок 5) предусматривает генерирование помехи $\xi_j(t, W)$ для заданного в блоке 1 уровня зашумленности W , где $\xi_j(t, W)$ определяется умножением случайно выдаваемых ЭВМ чисел на величину W . Предлагается генерировать помеху с нормальным или равномерным законами распределения.

Особую важность представляет правильная реализация второго этапа, т.к. характер погрешности прогнозирования существенно зависит от закона распределения генерируемой помехи. Например, использование равномерно распределенной помехи вместо обычно встречаемой нормально распределенной приводит к достаточно большому увеличению усредненной погрешности прогнозирования, в то же время уменьшая количество выбросов $y_j(t, W)$ и тем самым повышая устойчивость алгоритмов прогнозирования. Следует отметить, что устойчивость алгоритмов прогнозирования чрезвычайно важна для построения АСК, реализующих прогноз на достаточно большой интервал времени.

Сущность третьего этапа (блок 6) заключается в формировании на основе первого и второго этапов реального тренда $y_j(t, W)$.

Здесь предусмотрены аддитивный $y(t, W) = Y(t) + \xi(t, W)$ или мультипликативный $y(t, W) = Y(t) \cdot \xi(t, W)$ виды соединений помехи с идеальным трендом. Четвертый этап включает блоки 9-11. Здесь сперва происходит определение методом наименьших квадратов коэффициентов (блок 9), принятого на этапе моделирования вида тренда $Y(t)$.

Это определение производится для уровня W и заданного блоком 1 начального объема временных сечений N_1 (блок 8). Блок 10 определяет значение прогнозов $y_j^{+i}(N_1, W)$ на i временных сечений вперед, используя при этом результаты реализации блока 9. В блоке 11 определяется погрешность прогнозирования по формуле

$$\zeta_j(N_1, W) = y_j^{+i}(N_1, W) - Y_j^{+i}(N_1), \quad (1)$$

где $Y_j^{+i}(N_1)$ - результат прогноза по идеальному тренду на i шагов вперед, j - номер операции сравнения результатов прогнозирования для заданных N_1 и W . По аналогичным с (1) формулам в блоке 11 определяются погрешности полученных в блоке 9 коэффициентов тренда $Y(t)$. Количество N операций сравнения (объем выборки) задается в блоке 1, где $j \in 1..N$.

Поскольку четвертый этап практически соответствует рабочим программам, заложенным в АСК (программно или алгоритмически), то предусматривается возможность реализации произвольных алгоритмов индивидуального прогнозирования.

На рис. 3 не показан цикл, который осуществляет изменение длины учитываемой предыстории L в границах от N_1 до заданной блоком 2 N_2 . В этот цикл входят блоки 2-13. Данный вариант имитационного моделирования процессов образования погрешностей при индивидуальном прогнозировании согласно вышеописанной схеме алгоритма реализован на ЭВМ.

В силу возможных трансформаций изменения состояния ОК, например, под действием управляющих воздействий, необходимо предусмотреть возможность автоматического (программного или случайного) изменения начального участка третьего этапа имитационного моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

анализ процессов образования погрешностей, возникающих при реализации методов прогнозирования, позволил разработать обобщенную модель процессов образования погрешностей, их снижения в процессе прогнозирования, а также оценку достоверностей производимых результатов;

на основе теоретических и экспериментальных исследований, включающих в себя вычислительный эксперимент, реализованный на ЭВМ, возможно определение свойств, характеризующих погрешности определения различных параметров математической модели изменения технического состояния электронных устройств, на основе которых возможно осуществлять не только управление этими устройствами в процессе эксплуатации, но и разрабатывать новые методы коррекции результатов прогнозирования;

также по результатам моделирования появляется возможность установить аналитические зависимости случайной составляющей погрешности прогнозирования от длины учитываемой предыстории и уровня зашумленности идеального тренда.

Список литературы

1. ГОСТ 19919-74. Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения. – М., 1975. – 12 с.
2. Снитюк В.Е. Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы. Учебное пособие. – К.: «Маклаут», 2008. – 364 с.
3. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
4. Карлин С., Стадден В. Чебышевские системы и их применение в анализе и статистике / пер. с англ. под ред. С.М.Ермакова. – М.: Наука, 1976. – 586 с.
5. Клячкнн, В.Н. Прогнозирование состояния объекта с использованием систем временных рядов / В.Н. Клячкнн, Ю.Е. Кувайскова, Д.С. Бубырь // Радиотехника. – 2015. – № 6. – С. 45-47.
6. Кувайскова, Ю.Е. Методика структурно-параметрической идентификации системы временных рядов / Ю.Е. Кувайскова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4-4. – С. 914-918.
7. Винограденко А.М. Способ мониторинга предаварийного состояния контролируемых объектов / А.М. Винограденко, П.А. Будко, А.С. Юров, А.И. Литвинов // Датчики и системы – 2014. – №9. – С. 8-14.
8. Дорошенко Г.П. Анализ состояния и перспективы развития системы технического обеспечения связи и автоматизации / Г.П. Дорошенко, Е.Б. Харченко, А.В. Чихачев // Сборник трудов научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». – СПб.: ВАС, 2016. – С. 205–208.

References

1. GOST 19919-74. Automated control of the technical condition of aircraft products. Terms and definitions. – Moscow, 1975. – 12 p.
2. Snityuk V.E. Forecasting. Models, methods, and algorithms. Textbook. – K.: "MacLeod", 2008. – 364 p.
3. Himmelblau D. Analysis of processes by statistical methods. – M.: Mir, 1973. – 957 p.
4. Karlin S., Stadden V. Chebyshev systems and their application in analysis and statistics / Trans. from English under the editorship of S.M. Ermakova. – M.: Nauka, 1976. – 586 p.
5. Klyachkin, V.N. Forecasting the state of an object using time series systems / V.N. Klyachkin, Y.E. Kuliskova, D.S. Bubyr // Radiotechnics. – 2015. – No. 6. – Pp. 45-47.
6. Kubickova, J.E. A method of structural-parametric identification of the system time series / Y.E. Kuliskova // proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences. – 2013. – Vol. 15, No. 4-4. – Pp. 914-918.
7. Vinogradenko A.M. Method for monitoring the pre-accident state of controlled objects / A.M. Vinogradenko, P.A. Budko, A.S. Yurov, A.I. Litvinov // Sensors and systems – 2014. – №9. – Pp. 8-14.
8. Doroshenko G.P. Analysis of the state and prospects of development of the system of technical support of communications and automation / G.P. Doroshenko, E.B. Kharchenko, A.V. Chikhachev // Proceedings of the scientific and practical conference "Problems of technical support of troops in modern conditions". – SPb.: VAZ, 2016. – Pp. 205-208.

Сансевич Валерий Константинович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Безручко Валерий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Sansevich Valery Konstantinovich, candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Bezruchko Valery Vladimirovich, candidate of technical sciences, Associate Professor, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

УДК 681.5.013

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-2

Дылевский А.В.

**СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАТОРОВ
С ПОМОЩЬЮ ПОЛИНОМОВ БАТТЕРВОРТА**

Воронежский государственный университет, Университетская площадь, д.1, г. Воронеж, 394018, Россия

e-mail: nefta@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается метод построения автоматических дифференциаторов с помощью полиномов Баттерворта. Синтез дифференциаторов сводится к построению следящей системы для объекта, представляющего собой последовательное соединение интеграторов. Полюсы дифференциаторов являются корнями многочленов Баттерворта. Корни многочлена Баттерворта расположены на круге некоторого радиуса равноудалённо друг от друга в левой полуплоскости комплексной плоскости. Радиус круга определяется частотой среза. Построенные автоматические дифференциаторы осуществляют асимптотически точное дифференцирование сигналов из достаточно широкого класса. Класс дифференцируемых сигналов определяется множеством непрерывно-дифференцируемых функций с ограниченной старшей производной. Класс сигналов включает логарифмические, экспоненциальные и тригонометрические функции, алгебраические многочлены. Модальные дифференциаторы являются помехозащищенными по отношению к высокочастотным помехам. В статье проводится сравнительный анализ модальных дифференциаторов, построенных с помощью многочленов Баттерворта и дифференциаторов, полюсы которых образуют геометрическую последовательность. Для анализа дифференциаторов используются амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики. Приводится пример построения дифференциатора первого порядка. Во временной области рассматривается результат дифференцирования низкочастотного гармонического сигнала. Предлагаемые в статье дифференциаторы могут быть использованы для синтеза систем автоматического управления.

Ключевые слова: модальный дифференциатор; многочлены Баттерворта; класс сигналов; точность дифференцирования; помехозащищенность.

UDC 681.5.013

Dylevsky A.V.

**DESIGN OF AUTOMATIC DIFFERENTIATORS USING
BUTTERWORTH POLYNOMIALS**

Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia

e-mail: nefta@yandex.ru

Abstract

The article considers a method for constructing of automatic differentiators using Butterworth polynomials. The synthesis of differentiators is reduced to the construction of a tracking system for a plant that is a serial connection of integrators. The poles of differentiators are the roots of Butterworth polynomials. The roots of the Butterworth polynomial are located on a circle of a certain radius equidistant from each other in the left half-plane of the complex plane. The radius of the circle is determined by the cutoff frequency. The constructed automatic differentiators perform asymptotically accurate differentiation of signals from a fairly wide class. The class of differentiable signals is defined by a set of continuously differentiable functions with a bounded high derivative. The class of signals includes logarithmic, exponential, and trigonometric functions, and algebraic polynomials. Differentiators are noise-proof against high-frequency

interference. The article provides a comparative analysis of differentiators constructed using Butterworth polynomials and differentiators whose poles form a geometric sequence. Amplitude-frequency and phase-frequency characteristics are used to analyze differentiators. An example of constructing a first-order differentiator is given. In the time domain, the result of differentiating a low-frequency harmonic signal is considered. The differentiators proposed in this article can be used for the synthesis of automatic control systems.

Keywords: modal differentiator; Butterworth polynomials; signal class; differentiation accuracy; noise protection.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач синтеза систем автоматического управления является получение информации о производных полезного сигнала [1-5]. В системах автоматического управления полезный сигнал, представляющий собой входное воздействие или выход объекта управления, заранее неизвестен, а выделен лишь класс таких сигналов [6]. Поэтому представляется вполне очевидной необходимость в использовании дифференцирующих устройств, осуществляющих многократное дифференцирование сигналов из некоторого класса.

Сложность решения задачи многократного дифференцирования объясняется принципиальной неосуществимостью точного дифференцирования из-за физической нереализуемости идеального дифференцирующего устройства с передаточной функцией $W(p) = p$, $p \in C$, а также присутствия высокочастотных аддитивных помех измерения полезного сигнала [6-8].

В [6] был предложен метод синтеза дифференциаторов, с помощью которых можно осуществлять многократное дифференцирование широкого класса сигналов в присутствии высокочастотных помех измерения. Основная идея метода заключается в том, что синтез дифференциаторов сводится к построению следящей системы, где в качестве объекта выступает цепочка интеграторов. Показано, что дифференциатор, полюсы передаточной функции которого расположены в левой полуплоскости комплексной плоскости, осуществляет асимптотически точное помехозащищенное дифференцирование сигналов достаточно широкого класса. Однако поведение ошибки дифференцирование во многом зависит от распределения этих полюсов на комплексной плоскости. В данной статье полюсы дифференциатора рассматривается как корни нормированных многочленов Баттерворта, определяющие одноимённые фильтры [9, 10].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обозначим через F_m множество всех функций $f \in C^m[0, +\infty)$, удовлетворяющих $\forall M > 0$ дифференциальному неравенству

$$|f^{(m)}(t)| \leq M \quad \forall t \geq 0. \quad (1)$$

Класс сигналов F_m является достаточно широким. Например, логарифмические, экспоненциальные и тригонометрические функции, алгебраические многочлены удовлетворяют требуемым условиям.

В [6] показано, что устройство с передаточной функцией

$$W_k(p) = \frac{p^k L(p)}{D(p)}, \quad k = \overline{0, m-1}, \quad (2)$$

является дифференциатором k -го порядка сигналов из класса F_m . Здесь $D(p)$ – желаемый многочлен,

$$D(p) = \sum_{i=0}^n d_i p^{n-i}, \quad d_0 = 1, \quad n \geq 2s, \quad \forall s \geq m, \quad (3)$$

$$L(p) = \sum_{i=s}^n d_i p^{n-i}. \quad (4)$$

Выберем желаемый многочлен $D(p)$ следующим образом:

$$D(p) = \prod_{j=1}^n (p + \lambda_j), \quad \operatorname{Re} \lambda_j > 0; \lambda_j \neq \lambda_i, j \neq i, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Было показано [6], что устройство с передаточной функцией (2) при условиях (3)-(5) является асимптотическим (по n и t) дифференциатором сигналов класса F_m , если значения λ_j являются членами геометрической прогрессии

$$\lambda_j = \beta q^{j-1}, \quad \beta > 0, q > 1. \quad (6)$$

Таким образом, предлагаемый метод построения модальных дифференциаторов позволяет получать за счёт увеличения порядка передаточной функции дифференциатора, т.е. за счёт усложнения структуры дифференциатора, асимптотически точное значение производных любого сигнала из класса F_m . Кроме того, дифференциаторы, синтезированные на основе предлагаемого подхода, являются помехоустойчивыми по отношению к высокочастотным помехам, так как относительный порядок передаточной функции дифференциатора равен $s - k$ ($k = \overline{0, m-1}$).

Следует отметить, что выбор корней желаемого многочлена $D(p)$ в виде геометрической прогрессии (6) не является единственно возможным. Например, в [6, 8] показано, что корни многочлена $D(p)$ могут являться членами арифметической прогрессии или быть кратными. Однако в этом случае доказать асимптотическую точность дифференцирования по n , вообще говоря, не удаётся. Поэтому вызывают интерес другие возможные распределения корней желаемого многочлена. В теории фильтрации особое внимание уделяется фильтрам Баттерворта [11-15]. Это связано с тем, что амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта максимально гладкая на частотах полосы пропускания и снижается практически до нуля на частотах полосы подавления, т.е. амплитудная характеристика фильтра Баттерворта близка по форме к прямоугольной характеристике идеального фильтра.

МНОГОЧЛЕНЫ БАТТЕРВОРТА

Рассмотрим передаточную функцию фильтра Баттерворта [9, 10]

$$H(p) = \frac{G_0}{\prod_{k=1}^n (p - p_k) / \omega_c} = \frac{G_0}{B_n(p)}. \quad (7)$$

Полюсы p_k , $k = \overline{1, n}$, передаточной функции фильтра Баттерворта расположены на круге радиуса ω_c (ω_c – частота среза) равноудалённо друг от друга в левой полуплоскости p -плоскости. Полюс p_k определяется из следующего выражения:

$$p_k = \omega_c e^{\frac{j(2k+n-1)\pi}{2n}} = \omega_c s_k, \quad k = \overline{1, n}. \quad (8)$$

В формуле (7) $G_0 = const$ – коэффициент усиления на постоянной составляющей (коэффициент усиления на нулевой частоте). Действительно,

$$H(0) = \frac{G_0}{\prod_{k=1}^n (-p_k) / \omega_c} = \frac{(-\omega_c)^n G_0}{\prod_{k=1}^n p_k}. \quad (9)$$

В силу формулы (8) имеем

$$\begin{aligned} \prod_{k=1}^n p_k &= \prod_{k=1}^n \omega_c \exp\left(\frac{j(2k+n-1)\pi}{2n}\right) = \\ &= \omega_c^n \exp\left(\frac{j\pi}{2n} \sum_{k=1}^n (2k+n-1)\right) = \omega_c^n \exp(j\pi n) = (-\omega_c)^n. \end{aligned}$$

Таким образом, из равенства (9) получаем

$$H(0) = G_0.$$

Поэтому в дальнейшем без ограничения общности будем рассматривать случай

$$G_0 = 1.$$

Знаменатель $B_n(p)$ передаточной функции фильтра Баттерворта называется полиномом Баттерворта. Как правило, полиномы Баттерворта $B_n(p)$ нормируются на частоте среза ω_c и рассматриваются нормированные полиномы Баттерворта $B_n^*(s)$

$$B_n(p) = \prod_{k=1}^n (p - p_k) / \omega_c = \prod_{k=1}^n (p / \omega_c - p_k / \omega_c) = \prod_{k=1}^n (s - s_k) = B_n^*(s), \quad (10)$$

где

$$s = p / \omega_c. \quad (11)$$

Полиномы Баттерворта $B_n^*(s)$ могут записываться в комплексной форме, как показано выше. Однако обычно полиномы Баттерворта записываются в виде соотношений с вещественными коэффициентами, т.е. комплексно-сопряжённые пары объединяются с помощью умножения. Нетрудно проверить, что нормированные полиномы Баттерворта $B_n^*(s)$ имеют следующую каноническую форму:

$$B_n^*(s) = \prod_{i=1}^{n/2} \left(s^2 + 2s \sin \frac{(2i-1)\pi}{2n} + 1 \right), \quad n - \text{чётное}, \quad (12)$$

$$B_n^*(s) = (s+1) \prod_{i=1}^{n/2-1} \left(s^2 + 2s \sin \frac{(2i-1)\pi}{2n} + 1 \right), \quad n - \text{нечётное}. \quad (13)$$

Как было отмечено выше, амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта на частотах полосы пропускания близка по форме к прямоугольной характеристике идеального фильтра и снижается практически до нуля на частотах полосы подавления (см. рис. 1 при $\omega_c = 1$ для $n = 4$ и $n = 9$).

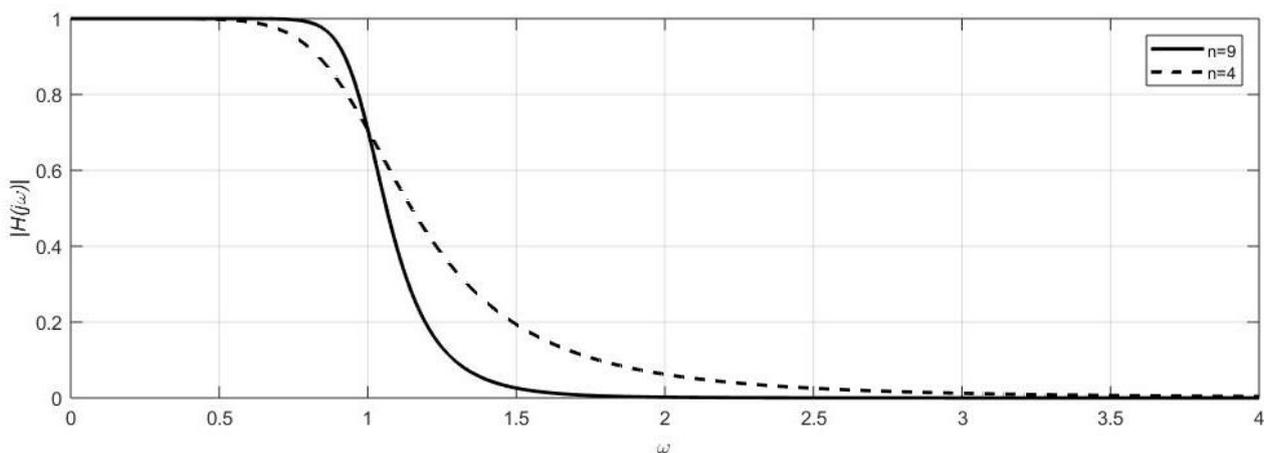


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта

Fig. 1. Amplitude-frequency response of the Butterworth filter

Фазо-частотная характеристика фильтра Баттерворта на частотах полосы пропускания имеет линейный характер, что свидетельствует о запаздывающих свойствах таких фильтров. На рис. 2 представлены фазо-частотные характеристики фильтра (2) при $k = 0$, $s = m = 2$, $n = 4$, $\beta = 1$, $q = 1,1$ (кривая а) и фильтра Баттерворта (кривая б) при $n = 4$.

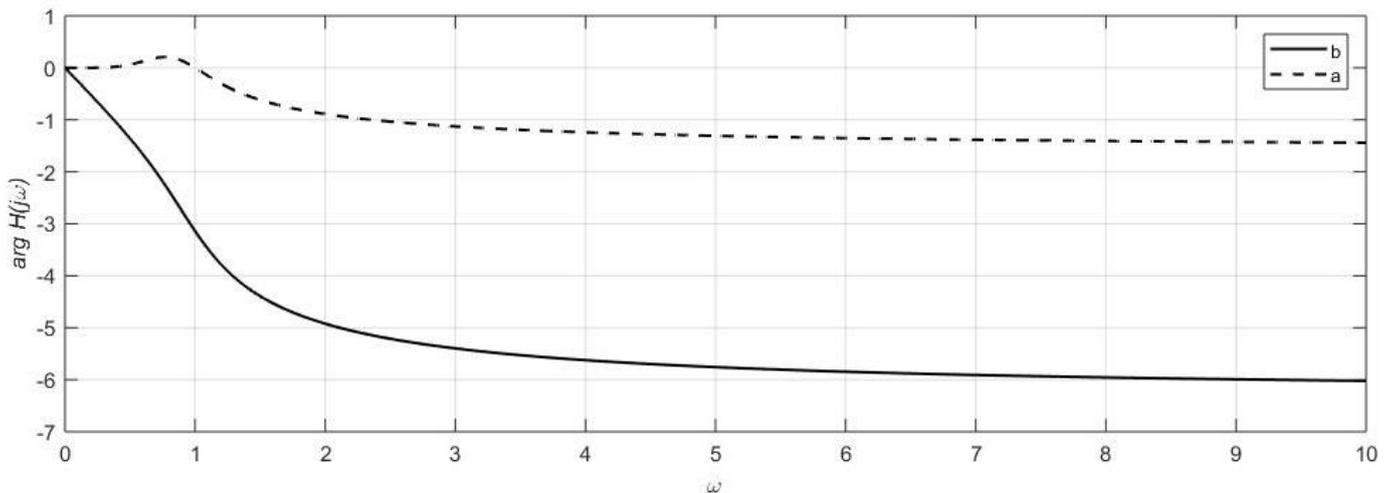


Рис. 2. Фазо-частотная характеристика фильтра Баттерворта
Fig. 2. Phase-frequency response of the Butterworth filter

ПОСТРОЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАТОРА

В передаточной функции дифференциатора (2) определим желаемый характеристический полином $D(p)$ как многочлен Баттерворта, т.е. положим

$$D(p) = B_n(p). \quad (14)$$

Следует отметить, что многочлен $B_n(p)$ является устойчивым. В самом деле, согласно (8) имеем

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} p_k &= \omega_c \operatorname{Re} \exp\left(\frac{j(2k+n-1)\pi}{2n}\right) = \omega_c \cos \frac{(2k+n-1)\pi}{2n} = \\ &= -\omega_c \sin \frac{(2k-1)\pi}{2n}, \quad k = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

В силу условия $k = \overline{1, n}$ выполняется неравенство $\frac{1}{2} < 1 \leq k \leq n < n + \frac{1}{2}$. Поэтому $0 < \frac{(2k-1)\pi}{2n} < \pi$ и $\sin \frac{(2k-1)\pi}{2n} > 0$. Так как по построению $\omega_c > 0$, то $\operatorname{Re} p_k < 0$, $k = \overline{1, n}$.

В формуле (2) при условиях (3), (4) положим $s = m = 2$, $k = 1$ и $n = 5$. Тогда передаточная функция дифференциатора имеет вид

$$W_{B,1}(p) = \frac{pL_B(p)}{B_5(p)}, \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} B_5(p) &= p^5 + 3,23607p^4 + 5,23607p^3 + 5,23607p^2 + 3,23607p + 1, \\ p_1 &= -1, p_{2,3} = -0,8090 \pm 0,5878j, p_{4,5} = -0,3090 \pm 0,9511j, \\ L_B(p) &= 5,23607p^3 + 5,23607p^2 + 3,23607p + 1. \end{aligned}$$

Передаточную функцию модального дифференциатора определим при $s = m = 2$, $k = 1$, $n = 5$, $\beta = 1.2$, $q = 1.1$. В этом случае имеем

$$W_1(p) = \frac{pL(p)}{D(p)}, \quad (16)$$

где

$$\begin{aligned} D(p) &= p^5 + 7,32612p^4 + 21,37175p^3 + 31,03179p^2 + 22,42714p + 6,45406, \\ \lambda_1 &= 1,2, \lambda_2 = 1,32, \lambda_3 = 1,452, \lambda_4 = 1,5972, \lambda_5 = 1,75692, \end{aligned}$$

$$L(p) = 21,37175p^3 + 31,03179p^2 + 22,42714p + 6,45406.$$

На рис. 3 и рис. 4 изображены соответственно амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики модального дифференциатора (16) (кривая а) и дифференциатора (15), построенного с помощью многочлена Баттерворта (кривая б).

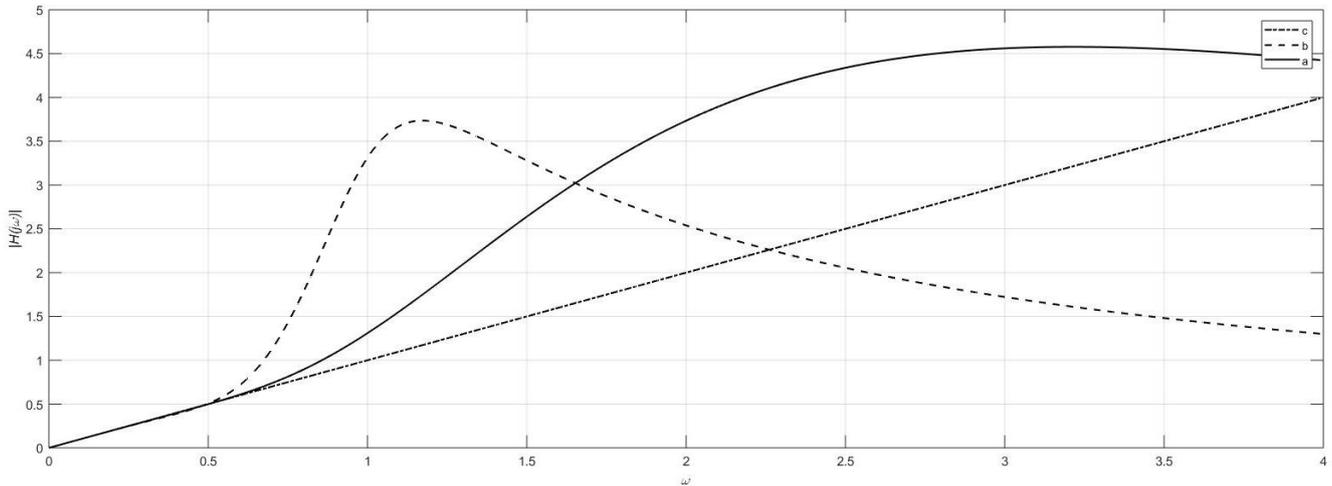


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики дифференциаторов
Fig. 3. Amplitude-frequency characteristics of differentiators

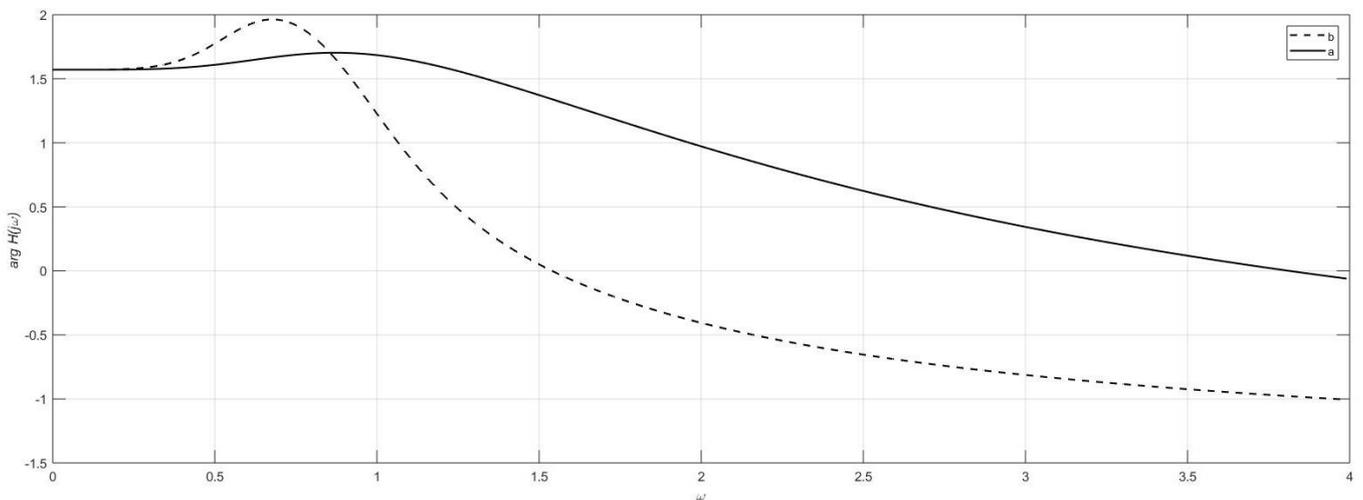


Рис. 4. Фазо-частотные характеристики дифференциаторов
Fig. 4. Phase-frequency characteristics of the differentiators

Результат дифференцирования сигнала $f(t) = \sin 0,3t$ представлен на рис. 5. Кривая а соответствует производной $f'(t) = 0,3 \cos 0,3t$, кривая б – результат дифференцирование с помощью модального дифференциатора (16), кривая с – результат дифференцирование дифференциатора (15), построенного с помощью полинома Баттерворта.

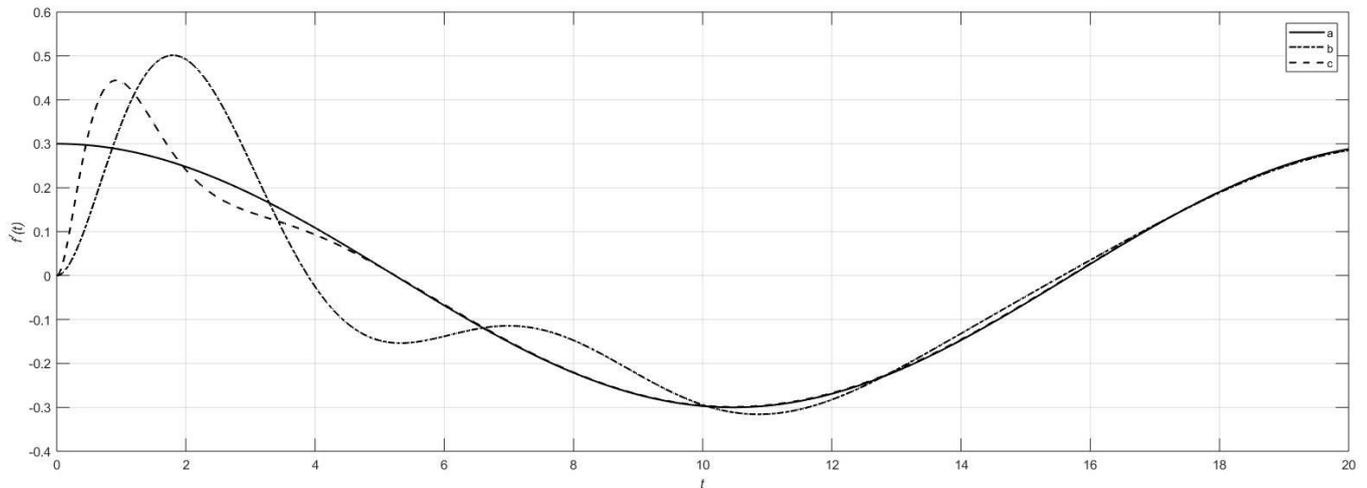


Рис. 5. Результат дифференцирования с помощью дифференциатора
Fig. 5. Result of differentiation using a differentiator

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрен метод построения дифференциаторов с помощью нормированных многочленов Баттерворта. Несмотря на то, что фильтры Баттерворта обладают близкой к идеальной амплитудно-частотной характеристикой, линейность фазо-частотной характеристики в полосе пропускания и наличие комплексно-сопряженных полюсов значительно ухудшают качество дифференцирования сигналов: наблюдаются эффекты запаздывания и колебательность. При этом выбор полюсов модального дифференциатора в виде геометрической прогрессии позволяет устранить эти недостатки.

Следует добавить, что предложенный в статье подход к синтезу дифференциаторов может быть применен для автоматического дифференцирования в задачах оптимизации [16-20].

Список литературы

1. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). М.: Физматлит, 2018. 360 с.
2. Подчукаев В.А. Теория автоматического управления (аналитические методы). М.: Физматлит, 2015. 392 с.
3. Robust Adaptive Model Predictive Building Climate Control / Tanaskovic M., Sturzenegger D., Smith R., Morari M. // Proc. 20 World Congr. Int. Federat. Autom. Control (Toulouse, France, July 9–14, 2017). Toulouse, 2017. P. 1907–1912.
4. Sanz R. Enhanced Disturbance Rejection for a Predictor-Based Control of LTI Systems with Input Delay // Automatica. 2016. Vol. 72. P. 205–208.
5. Furtat I. Disturbance Compensation with Finite Spectrum Assignment for Plants with Input Delay // IEEE Trans. Autom. Control. 2018. Vol. 63, No 1. P. 298–305.
6. Лозгачев Г.И., Дылевский А.В. Автоматические дифференциаторы: построение и применение в задачах управления. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. 144 с.
7. Дылевский А.В. Лозгачев Г.И. Применение метода пространства состояний для синтеза дифференциаторов // Автоматика и телемеханика. 1999. № 9. С. 13–20.
8. Dylevskij A.V., Lozgagev G.I. Modal differentiator design // Comput. Math. Model. 2000. Vol. 11, No 2. P. 109–118.
9. Smith S.W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. San Diego: California Technical Publishing, 1997. 626 p.
10. Лукас В.А. Теория автоматического управления. М.: Недра, 1990. 416 с.
11. Bianchi G.R. Sorrentino Electronic Filter: Simulation & Design. New York: McGraw Hill, 2007. 606 p.
12. Full-wave design of canonical waveguide filters by optimization / Shen T., Hsu H.-T., Zaki K.A., Atia A.E., Dolan T.G. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2003. Vol. 51, No 2. p. 504–511.

13. Lutovac M.D., Tomic D.V., Evans B.L. Filter Design for Signal Processing using MATLAB and Mathematica. New Jersey, USA.: Prentice Hall, 2001. 756 p.
14. Rorabaugh B.C. Approximation Methods for Electronic Filter Design. New York: McGraw-Hill, 1999. 518 p.
15. Haykin S. Adaptive Filter Theory. Paramus, NJ: Prentice-Hall, 2001. 936 p.
16. Айда-Заде К.Р., Евтушенко Ю.Г. Быстрое автоматическое дифференцирование на ЭВМ // Математическое Моделирование. 1989. Т. 1. С. 121–139.
17. Эффективный алгоритм для дифференцирования и задачи экстремали / Ким К., Нестеров Ю., Скоков В., Черкасский Б. // Экономика и математические методы, 1984. Т. 20. С. 309–318.
18. Birgin E.G., Evtushenko Y.G. Automatic differentiation and spectral projected gradient methods for optimal control problem // Optimization methods and software. 1998. V. 10. P. 125–146.
19. Evtushenko Y.G., Zasuhina E.S., Zubov V.I. FAD Method to Compute Second Order Derivatives / Automatic Differentiation of Algorithms. From Simulation to Optimization. Springer-Verlag, New York, Inc., 2002. P. 327–333.
20. Griewank A. On automatic differentiation / In: M. Iri and K. Tanabe (Eds.) Mathematical Programming: Recent Developments and Applications. Kluwer Academic Publishers, 1989. P. 83–108.

References

1. Gajduk A.R. Theory and methods of analytical synthesis of automatic control systems (polynomial approach). M.: Fizmatlit, 2018. 360 p.
2. Podchukaev V.A. Automatic control theory (analytical methods). M.: Fizmatlit, 2015. 392 p.
3. Robust Adaptive Model Predictive Building Climate Control / Tanaskovic M., Sturzenegger D., Smith R., Morari M. // Proc. 20 World Congr. Int. Federat. Autom. Control (Toulouse, France, July 9–14, 2017). Toulouse, 2017. P. 1907–1912.
4. Sanz R. Enhanced Disturbance Rejection for a Predictor-Based Control of LTI Systems with Input Delay // Automatica. Vol. 72 (2016): 205–208.
5. Furtat I. Disturbance Compensation with Finite Spectrum Assignment for Plants with Input Delay // IEEE Trans. Autom. Control. Vol. 63, No 1 (2018): 298–305.
6. Lozgachev G.I., Dylevskij A.V. Automatic differentiators: design and application in control tasks. Voronezh: Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 2000. 144 p.
7. Dylevskij A.V., Lozgachev G.I. Application of the state space method for the synthesis of differentiators // Avtomatika i telemekhanika. № 9 (1999): 13–20.
8. Dylevskij A.V., Lozgachev G. I. Modal differentiator design // Comput. Math. Model. Vol. 11, No 2 (2000): 109–118.
9. Smith S.W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. San Diego: California Technical Publishing, 1997. 626 p.
10. Lukas V.A. Automatic control theory. M.: Nedra, 1990. 416 p.
11. Bianchi G.R. Sorrentino Electronic Filter: Simulation & Design. New York: McGraw Hill, 2007. 606 p.
12. Full-wave design of canonical waveguide filters by optimization / Shen T., Hsu H.-T., Zaki K.A., Atia A.E., Dolan T.G. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 51, No 2 (2003): 504–511.
13. Lutovac M.D., Tomic D.V., Evans B.L. Filter Design for Signal Processing using MATLAB and Mathematica. New Jersey, USA.: Prentice Hall, 2001. 756 p.
14. Rorabaugh B.C. Approximation Methods for Electronic Filter Design. New York: McGraw-Hill, 1999. 518 p.
15. Haykin S. Adaptive Filter Theory. Paramus, NJ: Prentice-Hall, 2001. 936 p.
16. Ajda-Zade K.R., Evtushenko Yu.G. Fast automatic differentiation on a computer // Matematicheskoe Modelirovanie. Vol. 1 (1989): 121–139.
17. An efficient algorithm for the differentiation and the problem of extremal / Kim K., Nesterov Yu., Skokov V., Cherkasskij B. // Ekonomika i matematicheskie metody. Vol. 20 (1984): 309–318.
18. Birgin E.G., Evtushenko Y.G. Automatic differentiation and spectral projected gradient methods for optimal control problem // Optimization methods and software. V. 10 (1998): 125–146.
19. Evtushenko Y.G., Zasuhina E.S., Zubov V.I. FAD Method to Compute Second Order Derivatives / Automatic Differentiation of Algorithms. From Simulation to Optimization. Springer-Verlag, New York, Inc., 2002. P. 327–333.
20. Griewank A. On automatic differentiation / In: M. Iri and K. Tanabe (Eds.) Mathematical Programming: Recent Developments and Applications. Kluwer Academic Publishers, 1989. P. 83–108.

Дылевский Александр Вячеславович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры ERP-систем и бизнес-процессов факультета прикладной математики, информатики и механики Воронежского государственного университета,

Dylevsky Alexander Vyacheslavovich, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department of ERP-systems and business processes, the Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University

УДК 004.032.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-3

Выгоняйло В.Р.¹
Михелев В.М.²

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ
РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДООБУЧЕНИЯ СОСТАВНОЙ НЕЙРОСЕТИ**

¹) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

²) Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46,
г. Белгород, 308012, Россия

e-mail: 1078978@bsu.edu.ru, vm-mikhelev@ya.ru

Аннотация

Данная статья посвящена решению задачи классификации рентгеновских снимков грудной клетки при помощи приема дообучения предобученной сверточной нейронной сети, обученной на малых наборах данных. Используется обучаемый бинарный классификатор для выявления наличия или отсутствия патологии нижних дыхательных путей. В работе приведены результаты вычислительного эксперимента и показано улучшение точности при решении задачи классификации. Исследование направлено на выявление качественного улучшения показателя точности при применении составной нейронной сети.

Ключевые слова: классификация изображений, рентгеновские снимки грудной клетки, составные нейронные сети, нейронные сети, сверточные нейронные сети, keras, tensorflow.

UDC 004.032.2

Vygoniailo V.R.¹
Mikhelev V.M.²

**INCREASING ACCURACY CLASSIFICATION OF X-RAY IMAGES
USING TRAINING OF COMPOSITE NEURAL NETWORK**

¹) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

²) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod,
308012, Russia

e-mail: 1078978@bsu.edu.ru, vm-mikhelev@ya.ru

Abstract

This article is devoted to solving the problem of classifying chest x-ray images by using the retraining of a pre-trained convolutional neural network trained on small data sets. A trained binary classifier is used to detect the presence or absence of lower respiratory tract pathology. The paper presents the results of a computational experiment and shows an improvement in accuracy in solving the classification problem. The study aims to identify a qualitative improvement in the accuracy index when using a composite neural network.

Keywords: image classification, chest x-rays, composite neural networks, neural networks, convolutional neural networks, keras, tensorflow.

ВВЕДЕНИЕ

Туберкулез — это инфекционное заболевание, вызываемое бактерией *Mycobacterium tuberculosis*. Туберкулез является основной причиной смерти от инфекционных заболеваний во всем мире, наряду с синдромом приобретенного вируса иммунодефицита человека (известным как ВИЧ). В 2014 году примерно 9600000 человек заболели туберкулезом, что привело к 1500000 смертей [1].

Хотя следует избегать неизбирательного массового скрининга на туберкулез, Всемирная Организация Здравоохранения рекомендует более широко использовать скрининг с помощью рентгенографии грудной клетки и быстрой молекулярной диагностики для отдельных групп высокого риска [1]. Рентгенография грудной клетки является важной частью многих алгоритмов скрининга на туберкулез во всем мире [1-2]. Кроме того, визуализация также играет важную роль в обследовании пациентов с подозрением на туберкулез легких [2-3].

Известно [4-5], что во многих местах с преобладанием туберкулеза наблюдается относительный недостаток опыта в интерпретации результатов рентгенографии, что может отрицательно сказаться на эффективности скрининга и обследования. Эффективный автоматизированный и экономически эффективный метод может помочь улучшить результаты обследований в развивающихся странах и облегчить раннее выявление заболеваний. Однако исследование не всегда располагает большим набором входных данных или большим объемом вычислительных мощностей [4, 7].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Описание датасета

Датасет Pulmonary Chest X-Ray Abnormalities содержит рентгеновские снимки грудной клетки человека в формате изображения *.png, имеет обучающую и тестовую выборки. Этот набор данных содержит более 500 рентгеновских снимков с клиническими метками, собранными рентгенологами.

Перед началом вычислительного эксперимента необходимо подготовить входной набор данных:

1. Создать общий каталог, который будет подаваться, как входные данные.
2. В общем каталоге разместить еще два: каталог данных для обучения и каталог данных для проверки.
3. В каталогах для обучения и проверки разделить медицинские снимки еще на два каталога: с патологией и без.
4. Привести каждое изображение к размеру 299 x 299 px.

Составная нейронная сеть на основе Inception V3

Существует несколько моделей сверточных нейронных сетей для классификации изображений: LeNet, AlexNet, VGG, Inception и ResNet. Из вышеперечисленных только две архитектуры отличаются наличием глубоких слоев: Inception (22 слоя) и ResNet (152 слоя), что, несомненно, влияет на стоимость вычислений. Несмотря на то, что Inception (рис. 1) имеет меньше слоев, чем ResNet, в ней имеются параллельные сверточные слои с фильтрами различного размера (например, 1x1, 3x3, 5x5). Также, использование обратной связи по ошибкам в нескольких точках сети дает оптимальные количественные и качественные показатели точности и скорости вычисления для вычислительного эксперимента в данном исследовании.

Для создания составной сети необходимо подключить все необходимые модули из keras в составе tensorflow. Далее задается размер входных изображений (299), потому что именно на изображениях такого размера обучена модель inception v3. Устанавливается размер мини выборки – 32.

Загружаем данные из ранее подготовленной директории. Так как данных в данном датасете не очень много, то используем дополнение данных с помощью генераторов keras: каждый пиксель изображения будет разделен на 255, изображения будут поворачиваться на угол до 10 градусов, будут выполняться сдвиги по осям до 10% и размер изображения будет изменяться в пределах 10% (рис. 2).

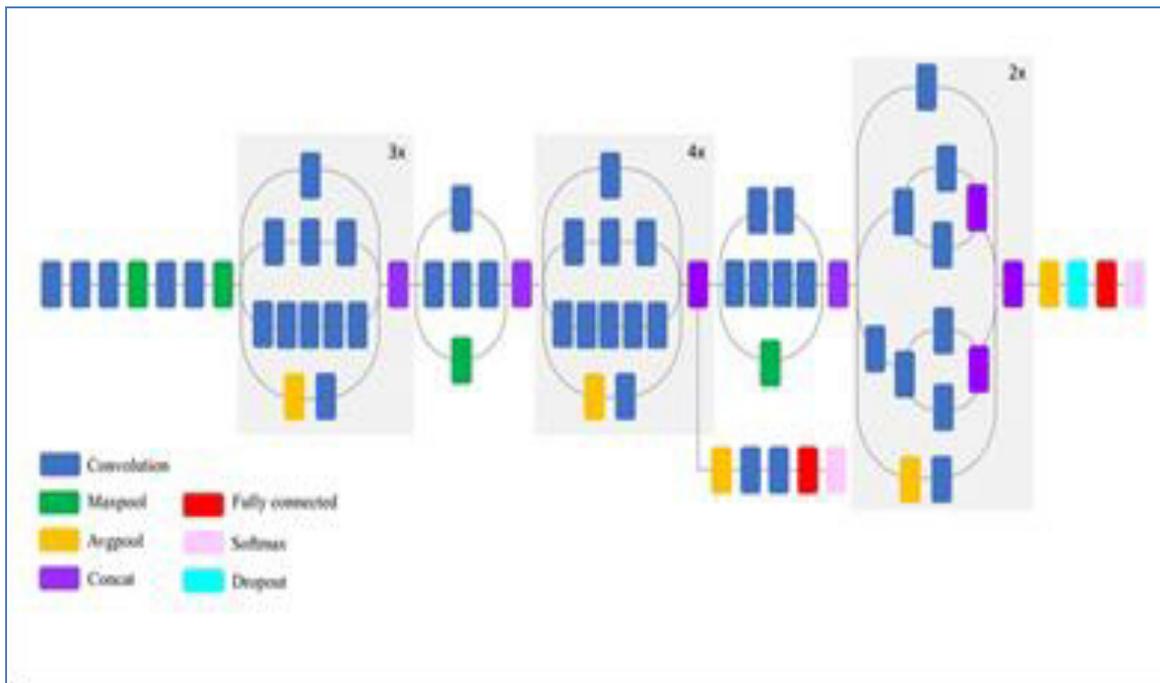


Рис. 1. Иллюстрация архитектуры сети Inception
Fig. 1. Illustration of Inception Network Architecture

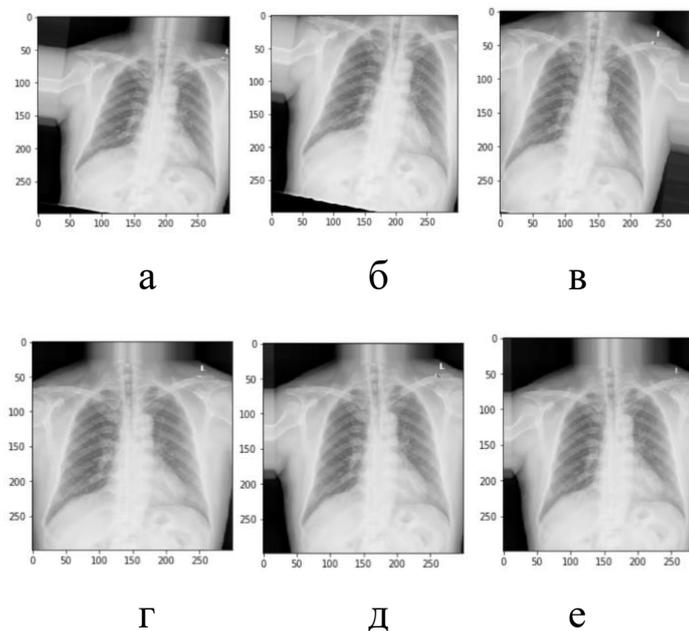


Рис. 2. Изображения, созданные генератором keras:

а – изображение повернуто вправо, б – изображение повернуто вправо и сдвинуто вверх,
в – изображение сдвинуто влево, г – изменен размер изображения, д – изображение сдвинуто вправо,
е – изображение сдвинуто вниз

Fig. 2. Images created by keras generator:

a – the image is rotated to the right, b – the image is rotated to the right and shifted up,
c - the image is shifted to the left, d – the image is resized, e – the image is shifted to the right, e – the image is shifted down

Далее загружаем предварительно обученную сеть Inception и “замораживаем” веса предварительно обученной сети.

Создаем составную нейронную сеть на основе загруженной, добавляем к сети новый классификатор: добавляем слой GlobalAveragePooling2D, один полносвязный слой с 512

нейронами, выбираем полулинейную активацию и используем пакетную нормализацию, слой dropout с показателем 0,5 и выходной слой с одним нейроном и функцией активации sigmoid.

Sigmoid изменяется от 0 до 1 и хорошо подходит для бинарной классификации.

В результате получаем составную модель, которая в начальной части содержит слои inception, а в конце – добавленный полносвязный слой.

Компилируем модель, в качестве функции ошибки используем бинарную перекрёстную энтропию, оптимизатор RMSprop, так как используем предварительно обученную модель, то используем низкий параметр скорости обучения ($1e-4$) и метрику качества обучения – ассигасу (доля правильных ответов).

Сохраняем модель, только если доля правильных ответов на проверочном наборе данных лучше, чем на предыдущих этапах. Уменьшаем параметр скорости обучения, если в течение 3 эпох не изменяется доля правильных ответов на проверочном наборе данных.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Обучаем нейронную сеть с помощью метода fit_generator в течение 20 эпох (рис. 3).

```
4/4 [.....] - 1s 238ms/step - loss: 0.5237 - acc: 0.8500
Epoch 00017: val_acc improved from 0.76667 to 0.85000, saving model to inceptionv3
- 18s - loss: 0.0531 - acc: 0.9794 - val_loss: 0.5237 - val_acc: 0.8500
Epoch 18/20
4/4 [.....] - 1s 211ms/step - loss: 0.5649 - acc: 0.8583
Epoch 00018: val_acc improved from 0.85000 to 0.85833, saving model to inceptionv3
- 18s - loss: 0.0160 - acc: 0.9956 - val_loss: 0.5649 - val_acc: 0.8583
Epoch 19/20
4/4 [.....] - 1s 212ms/step - loss: 0.5229 - acc: 0.8833
Epoch 00019: val_acc improved from 0.85833 to 0.88333, saving model to inceptionv3
- 17s - loss: 0.0166 - acc: 0.9956 - val_loss: 0.5229 - val_acc: 0.8833
Epoch 20/20
4/4 [.....] - 1s 210ms/step - loss: 0.5804 - acc: 0.8833
Epoch 00020: val_acc did not improve from 0.88333
- 16s - loss: 0.0317 - acc: 0.9897 - val_loss: 0.5804 - val_acc: 0.8833
```

Рис. 3. Результат по завершению обучения, доля правильных ответов на проверочном наборе данных 0.8833

Fig. 3. The result of the completion of training, the proportion of correct answers on the test data set 0.8833

Для улучшения точности “размораживаем” два последних блока Inception и дообучаем модель на новом наборе данных.

Загружаем лучшие веса, которые были получены в ходе обучения, “размораживаем” слои Inception, начиная от слоя 249 и далее компилируем сеть с теми же параметрами. Запускаем процесс дообучения еще на 5 эпох (рис. 4).

```
Epoch 00001: val_acc improved from -inf to 0.90000, saving model to inceptionv3_fine
- 19s - loss: 0.0770 - acc: 0.9882 - val_loss: 0.5316 - val_acc: 0.9000
Epoch 2/5
4/4 [*****] - 1s 207ms/step - loss: 0.5466 - acc: 0.8917

Epoch 00002: val_acc did not improve from 0.90000
- 10s - loss: 0.0154 - acc: 0.9971 - val_loss: 0.5466 - val_acc: 0.8917
Epoch 3/5
4/4 [*****] - 1s 234ms/step - loss: 0.5259 - acc: 0.8833

Epoch 00003: val_acc did not improve from 0.90000
- 14s - loss: 0.1290 - acc: 0.9809 - val_loss: 0.5259 - val_acc: 0.8833
Epoch 4/5
4/4 [*****] - 1s 204ms/step - loss: 0.5758 - acc: 0.8833

Epoch 00004: val_acc did not improve from 0.90000

Epoch 00004: ReduceLROnPlateau reducing learning rate to 4.999999873689376e-05.
- 19s - loss: 0.0163 - acc: 0.9941 - val_loss: 0.5758 - val_acc: 0.8833
Epoch 5/5
4/4 [*****] - 1s 213ms/step - loss: 0.6435 - acc: 0.8750

Epoch 00005: val_acc did not improve from 0.90000
- 11s - loss: 0.0174 - acc: 0.9926 - val_loss: 0.6435 - val_acc: 0.8750
```

Рис. 4. Результат по завершению обучения, доля правильных ответов на проверочном наборе данных 0.9000

Fig. 4. The result of the completion of training, the proportion of correct answers on the test data set 0.9000

Лучшая доля правильных ответов получилась уже на первой же эпохе (0.9). Далее доля правильных ответов начала падать, а на обучающем наборе данных увеличиваться, это означает, что началось переобучение. Сравнение значений результатов обучения приведены в таблице.

Таблица

Доля правильных ответов на проверочном наборе

Table

The proportion of correct answers on the test set

обучение		дообучение	
эпоха	доля правильных ответов	эпоха	доля правильных ответов
17	0.8500	1	0.9000
18	0.8583	2	0.8917
19	0.8833	3	0.8833
20	0.8833	4	0.8750

Из таблицы видно, что при дообучении доля правильных ответов повысилась на первой эпохе, а затем начала падать, это означает что наступило избыточное обучение.

Важно отметить, что временные затраты на обучения зависят от аппаратного обеспечения. Параметры стенда: NVIDIA gforce 940m + Intel Core i5 6300 HQ + 16GB RAM.

Также для использования tensorflow-gpu необходимо установить следующее программное обеспечение:

- NVIDIA GPU drivers —CUDA 10;
- CUDA Toolkit;
- CUPTI;
- cuDNN SDK (>= 7.4.1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе вычислительного эксперимента было выявлено, что дообучения составной нейронной сети, может повысить точность обученной ранее обученной модели. Однако стоит отметить, что данный способ стоит использовать только при малом количестве входных данных или же при отсутствии больших вычислительных мощностей, которые будут не в состоянии обработать большой объем данных или за приемлемое время.

Если же имеются достаточные входные данные и вычислительные мощности, то следует обучать новую модель. Предварительное обучение по тангенциально связанным наборам данных, таким как ImageNet, помогает в ситуациях, когда данные обучения ограничены, но может привести к непреднамеренным искажениям, которые нежелательны в клинических условиях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-07-00133А «Разработка интеллектуальных высокопроизводительных методов распознавания медицинских изображений и создание компьютерной системы поддержки принятия решений в виде облачного сервиса для прогнозирования и диагностики в персональной медицине».

Список литературы

1. World Health Organization. Global tuberculosis report 2015 [Electronic resource]. Access mode: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/191102/1/9789241565059_eng.pdf
2. World Health Organization. Systematic screening for active tuberculosis: Principles and recommendations [Electronic resource]. Access mode: http://www.who.int/tb/publications/Final_TB_Screening_guidelines.pdf
3. Chest tuberculosis: Radiological review and imaging recommendations. / Bhalla A.S [et al.] // Indian J Radiol Imaging – 2015. – №25(3). – P. 213-225.
4. An automated tuberculosis screening strategy combining X-ray-based computer-aided detection and clinical information. / Melendez J, [et al.] // Sci Rep – 2016. – №6.
5. High sensitivity of chest radiograph reading by clinical officers in a tuberculosis prevalence survey. / Hoog A.H [et al.] // Int J Tuberc Lung Dis – 2011. – №15(10). – P. 1308-1314.
6. Antani S. Automated Detection of Lung Diseases in Chest X-Rays. A Report to the Board of Scientific Counselors. US National Library of Medicine [Electronic resource]. Access mode: <https://lhncbc.nlm.nih.gov/system/files/pub9126.pdf>
7. Jaeger S. Automatic screening for tuberculosis in chest radiographs: a survey. / Jaeger S., Karargyris A., Candemir S. // Quant Imaging Med Surg – 2013. – №3(2). P. 89-99.

References

1. World Health Organization. Global tuberculosis report 2015 [Electronic resource]. Access mode: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/191102/1/9789241565059_eng.pdf
2. World Health Organization. Systematic screening for active tuberculosis: Principles and recommendations [Electronic resource]. Access mode: http://www.who.int/tb/publications/Final_TB_Screening_guidelines.pdf
3. Chest tuberculosis: Radiological review and imaging recommendations. / Bhalla A.S [et al.] // Indian J Radiol Imaging – 2015. - №25(3). – P. 213-225.
4. An automated tuberculosis screening strategy combining X-ray-based computer-aided detection and clinical information. / Melendez J, [et al.] // Sci Rep – 2016. – №6.
5. High sensitivity of chest radiograph reading by clinical officers in a tuberculosis prevalence survey. / Hoog A.H [et al.] // Int J Tuberc Lung Dis – 2011. – №15(10). – P. 1308–1314.
6. Antani S. Automated Detection of Lung Diseases in Chest X-Rays. A Report to the Board of Scientific Counselors. US National Library of Medicine [Electronic resource]. Access mode: <https://lhncbc.nlm.nih.gov/system/files/pub9126.pdf>
7. Jaeger S. Automatic screening for tuberculosis in chest radiographs: a survey. / Jaeger S., Karargyris A., Candemir S. // Quant Imaging Med Surg – 2013. – №3(2). P. 89-99.

Выгоняйло Виктор Романович, магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, НИУ «БелГУ»

Михелев Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, БГТУ им. В.Г. Шухова

Vygoniailo Victor Romanovich, master student, Department of Mathematical and Software Information Systems, Belgorod State National Research University

Mikhelev Vladimir Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Software and Automated Systems, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

УДК 004.23

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-4

Какаев Д.В.
Маслова М.А.**ОБЗОР ВИРУСОВ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА
ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, д. 33, г. Севастополь, 299053, Россия

*e-mail: 619deniss61999@gmail.com, mashechka-81@mail.ru***Аннотация**

Современный уровень распространенности мобильных устройств делает их доступными каждому. На смартфонах хранятся многие важные файлы и с помощью смартфонов осуществляют финансовые операции и операции авторизации. В связи с этим возросло количество мошенников, желающих получить, хранящиеся на телефоне данные. Но защиты мобильных устройств не позволяет быть спокойным за безопасность информации. Создание вредоносного программного обеспечения не составляет труда и по силам любому энтузиасту. Для этого не нужно обладать навыками программирования, разбираться в уязвимостях операционных систем или обладать каким-то труднодоступным софтом. Достаточно воспользоваться одной из многих программ, находящихся в открытом доступе и доступным всем желающим. В статье рассмотрены варианты распространения вирусов удаленного доступа на примере операционной системы Android, как самой популярной, алгоритм создания простейшего вируса, с помощью программы AhMyth, и некоторые рекомендации по защите своего устройства.

Ключевые слова: Вирус удаленного доступа; RAT; Remote Access Trojan; Android; AhMyth; безопасность; уязвимость.

UDC 004.23

Kakaev D.V.
Maslova M.A.**OVERVIEW OF REMOTE ACCESS VIRUSES FOR MOBILE DEVICES**

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia

*e-mail: 619deniss61999@gmail.com, mashechka-81@mail.ru***Abstract**

The current level of prevalence of mobile devices makes them available to everyone. Many important files are stored on smartphones and financial transactions and authorization operations are performed using smartphones. In this regard, the number of scammers who want to get the data stored on the phone has increased. But the protection of mobile devices does not allow you to be calm about the security of information. Creating malicious software is not difficult and can be done by any enthusiast. To do this, you do not need to have programming skills, understand operating system vulnerabilities, or have some hard-to-access software. It is enough to use one of the many programs that are in the public domain and available to everyone. The article discusses options for the distribution of remote access viruses on the example of the Android operating system, as the most popular, the algorithm for creating a simple virus using the program AhMyth, and some recommendations for protecting your device.

Keywords: remote access Virus; RAT; Remote Access Trojan; Android; AhMyth; security; vulnerability.

ВВЕДЕНИЕ

Смартфон является одним из самых популярных гаджетов в современном мире. Практически у каждого человека имеется хотя бы один смартфон или планшет. По данным NICE LAB на 2019 год в мире используется 5.6млрд. смартфонов, а на 100 человек населения приходится примерно 74 смартфона. [1] В России этот показатель на 10 сентября 2019 года по

данным Inventive Retail Group составляет 88.1млн. смартфонов, что составляет 60 смартфонов на сто человек населения. [2] Но помимо колоссального удобства и постоянной мобильности, смартфоны несут и угрозы. Одними из самых распространенных пользователей, подвергающихся угрозам, являются дети и пожилые люди, которые могут плохо разбираться в работе гаджетов и не знать основных действий, предотвращающих угрозам, что может повлечь за собой определенные проблемы. Ведь правилам безопасного использования «гаджетами», к сожалению, не обучают ни при покупке их, ни в школах или где-то еще. Следовательно, неумелые пользователи – это большая угроза безопасности, чем какие-либо ошибки в программном обеспечении устройства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сейчас на смартфонах хранится большое количество личной информации: фотографии в памяти телефона и облачных хранилищах, аккаунты в социальных сетях и иных ресурсах, телефонные номера и другие файлы. Социальные сети, интернет-банкинг и интернет ресурсы обеспечивают защиту данных с помощью криптографии и защищенных протоколов от попыток взлома алгоритма защиты или перехвата данных. Но вся эта защита бессмысленна, если злоумышленник имеет удаленный доступ к смартфону «жертвы».

По данным Statcounter Global на июнь 2019 года доля смартфонов под управлением операционной системы Android на мировом рынке составляет 76.03%, под управлением iOS – 22.04%, на другие операционные системы приходится 1.93%. (рис. 1) [3].

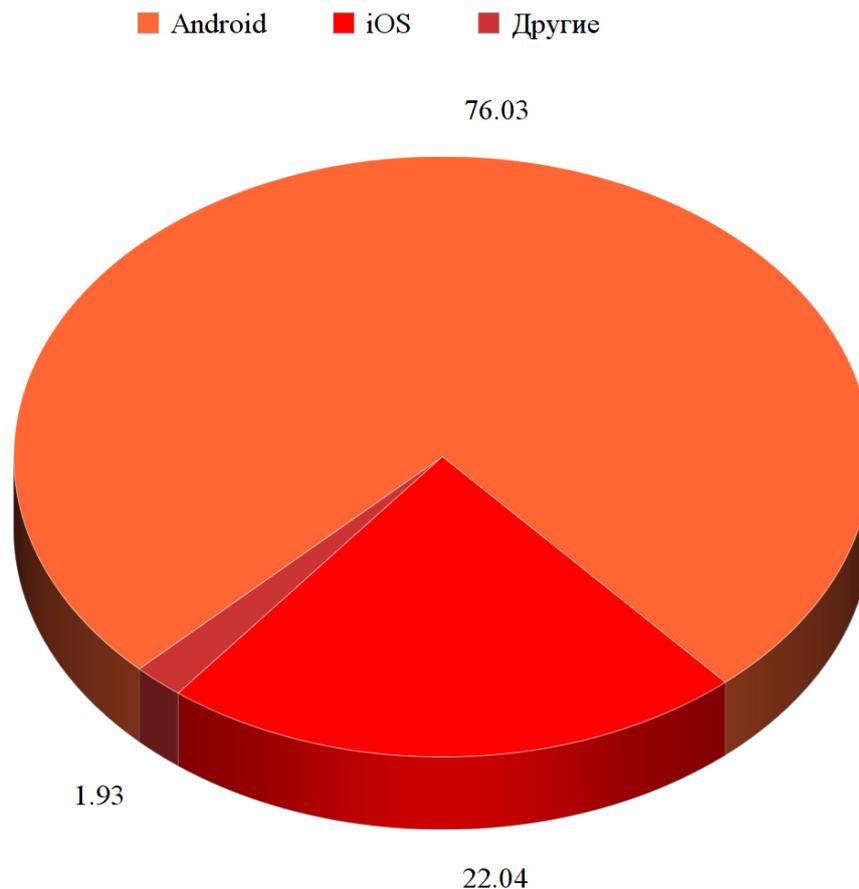


Рис. 1. Доля смартфонов на мировом рынке
Fig. 1. Share of smartphones in the global market

При этом Android смартфоны являются более уязвимыми из-за своей популярности, а также открытости исходного кода системы. У злоумышленников имеется больше возможностей для создания вирусов из-за доступности системы для подробного исследования и выявления

уязвимостей. Так же возможностей распространения «зараженных» приложений больше, чем в iOS смартфонах.

Помимо официального магазина приложений Play Маркет, приложения могут распространяться на сторонних интернет ресурсах в виде APK-файлов. APK (англ. Android Package) – формат архивных исполняемых файлов-приложений для Android. Стоит уточнить, что скачивание приложений из Play Маркета тоже происходит с помощью APK-файлов, только после установки файл автоматически удаляется. Аналогично с компьютерными вирусами, зловредный код вшивается в APK-файл и начинает работу после установки. Существует множество способов создания приложений с замаскированным вирусом удаленного доступа (RAT) и возможности этих приложений так же разнятся. RAT – аббревиатура англ. Remote Access Trojan, в переводе – «Троян удаленного доступа» или «средство удалённого управления». Популярными программы для создания RAT из общедоступных являются: SpyNote, SpyMax, DroidJack, AhMyth, AndroRat [4]. Эти программы уже появились в открытом доступе и каждый желающий может ими воспользоваться. Размещение программ в открытом доступе обусловлено тем, что они уже были замечены крупными компаниями, занимающимися безопасностью, и были созданы какие-либо решения по выявлению этих RAT на устройствах. Соответственно злоумышленник потерял возможность продавать данный софт, но тем не менее множество устройств подвержены воздействию данных вирусов из-за старых версий операционной системы или ошибок пользователя. У программ по созданию RAT могут быть такие возможности:

- «склеивание» вирусов и готовых приложений;
- создание зараженных приложений с невидимыми иконками;
- маскировка вируса под иконкой готового приложения;
- запуск вируса в текущей сессии или после перезагрузки устройства [5].

Эти возможности предназначены для лучшей маскировки вирусов. К примеру, вирусы «вшитые» в уже известные приложения подавляют бдительность неопытного пользователя, и он подсознательно уверен, что с хорошо ему известным приложением все в порядке. Вирусы с невидимыми иконками предназначены для скрытия самого факта установки вируса.

Зараженные таким образом приложения могут иметь такие возможности:

- полная информация о телефоне (модель, версия ОС, IMEI, MAC-адрес);
- читать и писать смс сообщения;
- доступ к памяти телефона (просмотр, удаление, модификация, отправление на сервер злоумышленнику);
- доступ к контактам, возможность совершать и прослушивать звонки;
- запись звука с микрофона;
- кейлоггер (считывание нажатых клавиш, предназначенный для кражи паролей);
- устанавливать новые приложения на смартфон;
- скрытый доступ к камерам смартфона;
- отправление скриншотов с экрана злоумышленнику;
- получить местонахождение через GPS;
- другие возможности, по желанию злоумышленника [6].

Имея такой функционал, злоумышленник может нанести большой ущерб «жертве». При этом создать такой вирус может любой пользователь, ведь для этого не требуются навыки написания вирусов.

Разберем алгоритм создания RAT с помощью AhMyth. После запуска программы открывается вкладка APK Bilder (рис. 2), где и будет происходить создание APK-файла.

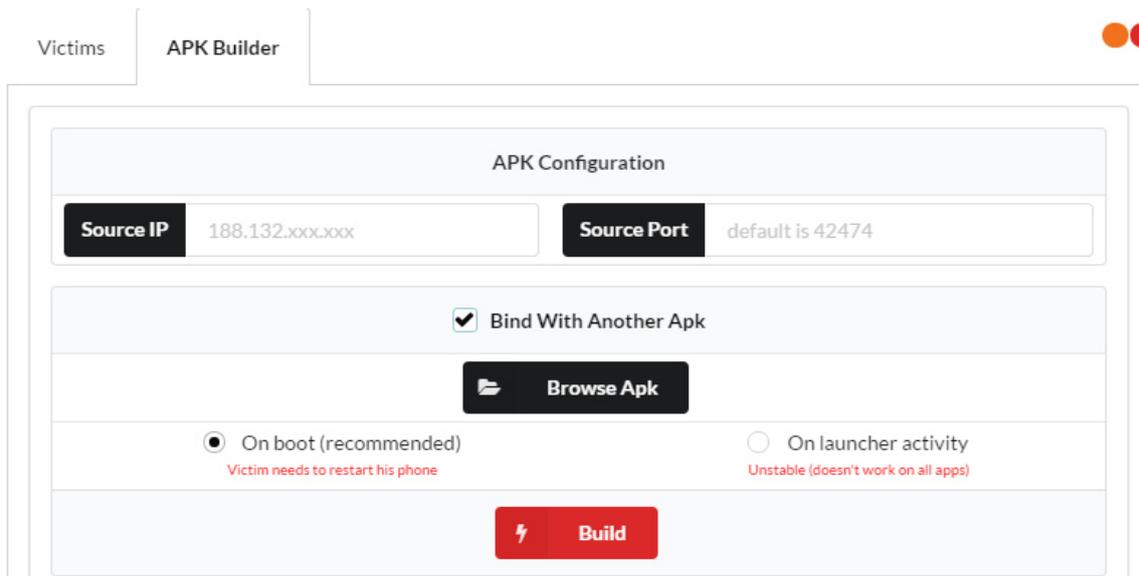


Рис. 2. Вкладка APK Builder

Fig. 2. APK Builder Tab

В поле Source IP указывается IP адрес, с которого будет происходить управление устройством. В поле Source Port указывается номер свободного порта на устройстве злоумышленника. Перед этим действием может понадобиться предварительное открытие портов. В меню Bind With Another Apk имеется возможность выбрать вшить вирус в другое приложение или создать собственное приложение. Собственное приложение, созданное программой, будет иметь стандартную иконку приложения андроид и после установки не появится на рабочих столах устройства. Далее необходимо выбрать момент активации вируса: после перезагрузки устройства или сразу же после установки. Рекомендуется выбирать активацию после перезагрузки, в ином случае могут быть проблемы с получением отклика от приложения. После выполнения всех вышеперечисленных пунктов запускаем Build для создания APK. При успешном создании APK размещается в корневой папке AhMyth и злоумышленнику остается только каким-либо образом вынудить «жертву» установить его.

После того как приложение каким-либо образом было установлено на телефон «жертвы» и телефон был перезагружен (если на момент создания была выбрана активация после перезагрузки) злоумышленник переходит во вкладку Victims (рис. 3).

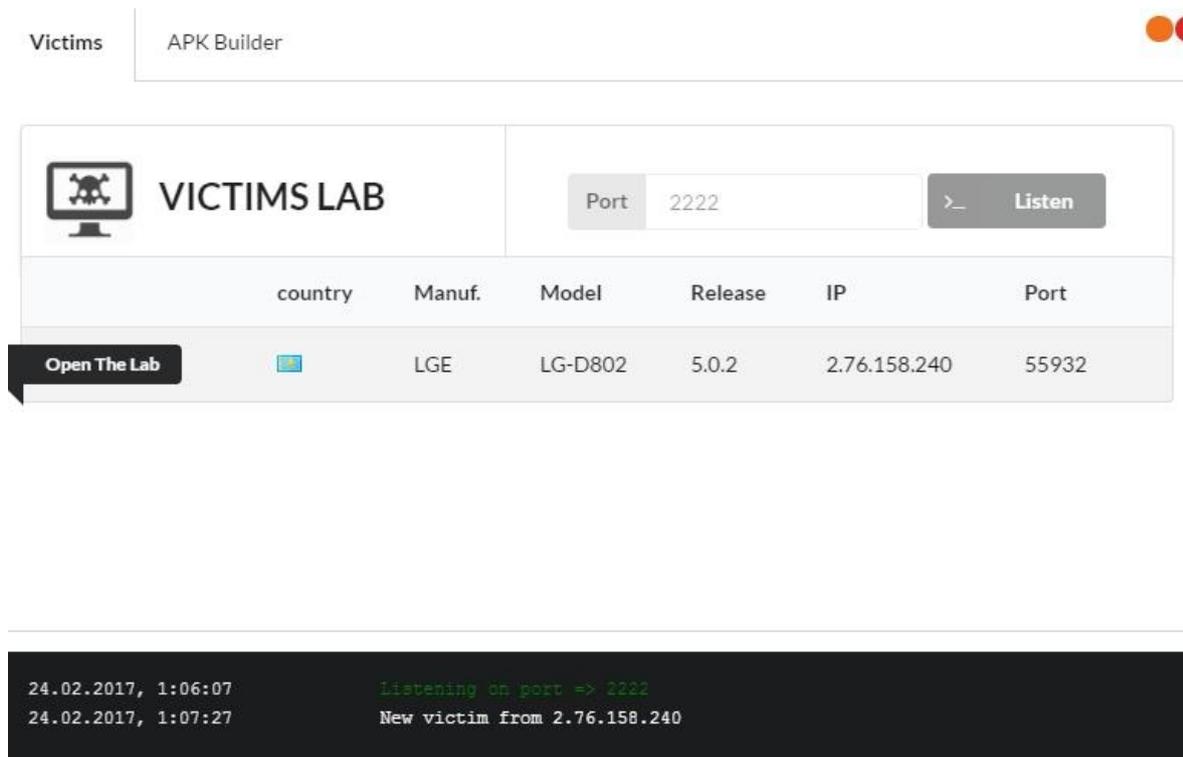


Рис. 3. Вкладка
Fig. 3. Victims

В этой вкладке указывается порт, который был выбран при создании APK, и нажимается Listen. Через какое-то время появляется «жертва», при условии, что телефон подключен к интернету. После установления соединения с «жертвой» появляется меню (рис. 4) для дальнейших манипуляций.

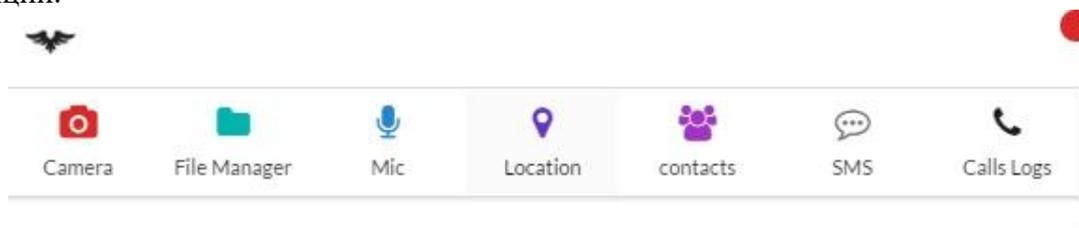


Рис. 4. Функционал программы
Fig. 4. The functionality of the program

«Жертва» скачивает зараженный файл и начинает установку. Перед началом установки всплывает обычное окно (рис. 5), где указаны необходимые приложению разрешения.

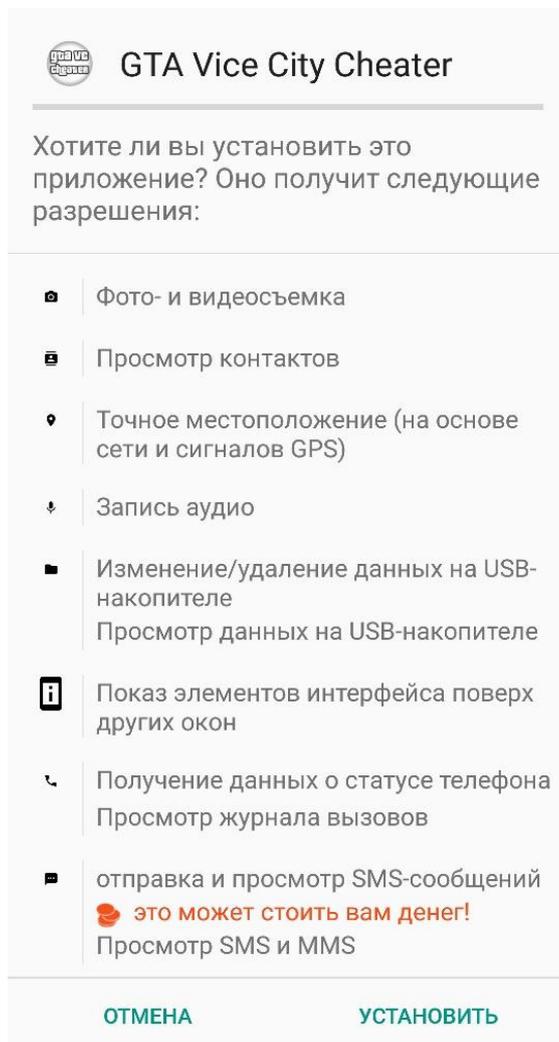


Рис. 5. Окно установки программы

Fig. 5. Program installation window

Список разрешений – один из вариантов определения вшитого в приложение вируса. Но об этом речь пойдет в способах защиты от таких вирусов. Другие программы по созданию RAT работают почти так же, с небольшими индивидуальными отличиями. [6]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом видно, что создание подобных вирусов не требует каких-то профессиональных знаний и умений. Любой желающий сможет с легкостью создать и распространить зараженное приложение. Самый популярный способы распространения таких вирусов – это сайты с пиратскими приложениями. Под видом какого-нибудь платного приложения, которое предлагают скачать бесплатно, или приложения, у которого еще не было релиза, злоумышленник выставляет вирус. Реже зараженные приложения могут распространяться с помощью Play Маркета, т.к. приложения перед выпуском в продажу на площадке, проходят обязательную проверку Google Play App Security Improvement [7]. Эта проверка способна выявить RAT, описанные выше и подобные им, поскольку они уже известны. Но более продвинутые вирусы могут пройти проверку и быть допущены для размещения на площадке Play Маркета. Такие вирусы более опасные, поскольку их создают профессионалы и сами вирусы могут оставаться на устройстве после удаления зараженного приложения. А для пользователя такие приложения автоматически кажутся безопасными, ведь они скачаны из официального магазина. Но в данной статье рассматриваются более слабые вирусы. Как уже говорилось ранее андроид является слабо защищенной системой, до пятой версии системы разработчики уделяли этому мало

внимания. И тем не менее приложения, созданные с помощью AhMyth, не были помечены опасными всеми версиями ОС до седьмого. По данным на 2018 год пользователей андроид младше 7-ой версии – 70.4%, а старше всего 29.6%. 2/3 всех пользователей андроид не защищены от установки зараженных приложений [8].

Отсюда можно сделать вывод и выделить некоторые рекомендации для повышения защищенности своих данных:

1. Оперативно обновлять версию операционной системы или прошивки телефона до последней. Почти во всех, даже мелких, обновлениях проводится работа над повышением безопасности.

2. Избегать скачивания из неизвестных источников, а тем более из СМС рассылок. При необходимости скачать приложения из неизвестных источников стоит проявлять особую бдительность. Перед установкой приложения необходимо проанализировать запрашиваемые разрешения. Например, необходимо скачать ридер для книг, а в разрешениях требуется доступ к файлам, телефонной книге и камере. Доступ к файлам необходим для получения доступа к сохраненным на устройстве книгам. Но доступ к телефонной книге и камере ридеру совсем ни к чему. Ненужные для функционала приложения разрешения сразу должны насторожить и стоит отказаться от их установки [9].

3. Установка антивируса. Многие пользователи полагают, что не существует вирусов на андроид, поэтому пренебрегают антивирусом. Но это далеко не так, каждый год обнаруживается десятки тысяч новых мобильных вирусов. И абсолютное большинство из них на андроид. Для обнаружения таких слабых вирусов, как созданный с помощью AhMyth, достаточного самого простого бесплатного антивируса.

4. Регулярное обновление антивируса. По мере выявления в антивирусную базу добавляются новые зловредные программы. Если была скачана программа с еще не известным вирусом, которая смогла пройти проверку Play Маркета, то антивирус сразу проинформирует пользователя, как только будет создан алгоритм определения и удаления вируса. Таким образом, пользователь быстрее сможет избавиться от зараженной программы и избежать лишнего ущерба [10].

Список литературы

1. Development of power converter system for mobile systems, URL: http://nice.kaist.ac.kr/index.php?mid=Research03_2 (дата обращения 05.08.2019)
2. Tadviser. Смартфоны (рынок России), URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_\(рынок_России\)#.2A_Inventive_Retail_Group](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_(рынок_России)#.2A_Inventive_Retail_Group) (дата обращения 05.08.2019)
3. Statcounter Global. Mobile Operating System Market Share Worldwide, URL: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide> (дата обращения 05.08.2019)
4. Codeby. Android RAT. URL: <https://codeby.net/threads/android-rat.60456/> (дата обращения 05.08.2019)
5. Spy-soft. Что такое RAT? Всё про шпионские RAT-трояны, URL: <http://www.spy-soft.net/chto-takoe-rat/> (дата обращения 05.08.2019)
6. Dedicatet RAT вирус, URL: <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fdedicatet.com%2Fthreads%2Frat-virus.918%2F> (дата обращения 05.08.2019)
7. Github. AhMyth-Android-RAT, URL: <https://github.com/AhMyth/AhMyth-Android-RAT> (дата обращения 05.08.2019)
8. Xda-developers. Google's App Security Improvement Program has helped catch vulnerabilities in over 1,000,000 apps <https://www.xda-developers.com/google-application-security-improvement-program-recap/> (дата обращения 05.08.2019)
9. Itsecforu. Трояны удаленного доступа (RAT) – что это такое и как защитить от них, URL: <https://itsecforu.ru> (дата обращения 05.08.2019)
10. Kumaser. Защита от скрытого удалённого доступа, URL: <https://www.kumaser.com/ns25.html> (дата обращения 05.08.2019)

References

1. Development of power converter system for mobile systems, URL: http://nice.kaist.ac.kr/index.php?mid=Research03_2 (accessed 05.08.2019)
2. Tadviser. Smartphones (Russian market), URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_\(market_russia\)#. 2A_Inventive_Retail_Group](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_(market_russia)#.2A_Inventive_Retail_Group) (accessed 05.08.2019)
3. Statcounter Global. Mobile Operating System Market Share Worldwide, URL: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide> (accessed 05.08.2019)
4. Codeby. Android RAT. URL: <https://codeby.net/threads/android-rat.60456/> (accessed 05.08.2019)
5. Spy-soft. What is a RAT? All about spyware RAT Trojans, URL: <http://www.spy-soft.net/что-такое-рат/> (accessed 05.08.2019)
6. Dedicatet RAT virus, URL: <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fdedicatet.com%2Fthreads%2Frat-virus.918%2F> (accessed 05.08.2019)
7. Github. AhMyth-Android-RAT, URL: <https://github.com/AhMyth/AhMyth-Android-RAT> (accessed 05.08.2019)
8. Xda-developers. Google's App Security Improvement Program has helped catch vulnerabilities in over 1,000,000 apps <https://www.xda-developers.com/google-application-security-improvement-program-recap/> (accessed 05.08.2019)
9. Itsecforu. Remote access Trojans (RAT) – what they are and how to protect them, URL: <https://itsecforu.ru> (accessed 05.08.2019)
10. Kumaser. Protection from hidden remote access, URL: <https://www.kumaser.com/ns25.html> (accessed 05.08.2019)

Какаев Денис Валерьевич, студент 4 курса кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

Маслова Мария Александровна, аспирант, старший преподаватель кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

Kakaev Denis Valerievich, 4th year student of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and information security

Maslova Maria Aleksandrovna, postgraduate student, senior lecturer of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and information security

УДК 621.316.824

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-5

Нестеров Е.В.
Кондратенко Т.В.
Кузнецов А.В.**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА КАБЕЛИ СВЯЗИ
В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ**

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

e-mail: kvaa77@mail.ru, 1997egorocho@mail.ru

Аннотация

Сети IP активно используются государственными службами и в настоящее время обеспечивают передачу информации, в которую входят различные услуги, такие как IP-телефония, видеосвязь, обмен данными и другие. Такие услуги наиболее чувствительны к задержкам и ошибкам, при воспроизведении на приемном устройстве, по сравнению с телефонными разговорами. Поэтому возникает необходимость в исследовании различных факторов, отрицательно влияющих на качество и своевременность связи. Одним из главных факторов являются внешние влияния на электрический кабель связи, которые будут рассмотрены наиболее подробно [1].

Внешние влияния (помехи) в линиях передачи данных могут привести к ошибкам в аппаратуре связи на приемной стороне или даже к поломкам оборудования. О риске, который связан со скачками электропитания знают все, но при этом недооценивают последствия таких процессов в линиях передачи данных. Тем более в век информационных технологий, когда подразделения специальной связи переходят на новую, более продвинутую технику и одновременно с этим менее ремонтпригодную, в случае возникновения неисправностей, данная тема становится наиболее актуальной [5].

Ключевые слова: помехи; внешние влияния; ошибки; сети IP.

UDC 621.316.824

Nesterov E.V.
Kondratenko T.V.
Kuznetsov A.V.**THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE IMPULSIVE DISTURBANCE
ON CABLES IN PACKET COMMUNICATION**

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: kvaa77@mail.ru, 1997egorocho@mail.ru

Abstract

IP networks are actively used by public services and now provide information transfer which includes different services, such as IP telephony, video conference, data exchange and others. Such services are most sensitive to delays and errors, at reproduction on the receiving device, in comparison with telephone conversations. Therefore, there is a need for a research of the different factors which are negatively affecting quality and timeliness of communication. One of the main factors are external influences on an electric cable of communication which will be considered most in detail.

External influences (noises) in data transmission lines can lead to errors in signal equipment on a receiving end or even to breakdowns of the equipment. All know about risk, which is connected with jumps of power supply, but at the same time underestimate effects of such processes in data transmission lines. Especially in a century of information technologies when divisions of special communication pass to new, more advanced equipment and along with it less maintainable, in case of faults, this subject becomes the most relevant.

Keywords: noises; external influences; errors; IP networks.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всех государственных организациях и ведомствах, в том числе органах государственной охраны, идет глобальный переход техники связи старого парка на современную, стремительно развиваются новые технологии доступа, растут потребности в новых услугах связи таких как видеосвязь, высокоскоростной доступ в интернет, IP-телефония, IP-TV и другие, которые становятся необходимой составляющей всех звеньев управления. И поэтому возникает острая необходимость в том, чтобы специалисты связи не только могли изучить технику и научиться ее эксплуатировать, но и быть готовыми к возможным нештатным ситуациям, связанных с аппаратурой, и впоследствии, своевременно выявить и устранить причину в максимально короткие сроки.

Возможным решением данной проблемы является изучение тех возможных негативных факторов, которые влияют на передачу данных, непосредственно воздействуя на кабель связи. При наличии определенных знаний о той или иной помехе, а также её влиянии на направляющие среды в различных условиях обстановки, у специалистов формируется структура возможного выхода из сложившейся ситуации в процессе эксплуатации сети связи с коммутацией пакетов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Негативные влияния на линии связи

Борьба с помехами является одной из основных задач при обеспечении связи, поэтому и рассмотрение данной проблемы стоит с учетом того, что в линейном тракте наряду с полезным сигналом существуют также и помехи.



*Рис. 1. Общая классификация помех
Fig. 1. General interference classification*

Среди всех видов помех, возникающих в кабеле связи, наиболее существенное влияние на передачу информации оказывают импульсные помехи.

Импульсные помехи относят к сосредоточенным по времени помехам, представляющие собой одиночные импульсы или группы импульсов, которые следуют друг за другом через некие отрезки времени, такие что переходные процессы от предыдущего импульса успевают угаснуть к моменту прихода следующего в приемнике.

Число импульсов, которые случайно появляются в канале связи в течение любого интервала времени, подчиняется пуассоновскому распределению:

$$P(n) = (yT)^n e^{-yT} / n!$$

где $P(n)$ – вероятность появления n импульсов за время T ;

y – среднее число импульсов в единицу времени.

О создании помех в цепях питания намного больше известно, чем об импульсных помехах, создание которых кроется в индуктивных связях в линиях передачи данных. Электромагнитное поле создается при прохождении электрического тока через токопроводящий материал. В случае помещения второго проводника в магнитное поле, а само поле не стационарно, тогда во втором проводнике будет наводиться ток. Для создания тока и разности потенциалов без физического подключения к другим проводникам используют трансформаторы [3].

Трансформатор создает магнитное поле, которое выходит из проволочной спирали первичной обмотки, индуцируя напряжение в проволочной спирали вторичной обмотки. По аналогичному принципу можно представить процесс, когда провода, проходящие недалеко друг от друга внутри здания, вполне способны магнетическим способом вызывать импульсные помехи. Такое индуктивное воздействие может быть вызвано как линией электропитания, которое индуцирует напряжение в расположенной рядом линии передачи данных, так и возможно воздействие взаимных линий передачи данных, которую называют перекрестной помехой.

Сделанные из токопроводящего материала линии данных в основном переносят только низковольтные сигналы, но в них могут возникать такие же выбросы при импульсных помехах и всплески, как и в других проводящих линиях. Отклонение от требуемого уровня напряжения может вызвать как сбой, так поломку электронного устройства. Если напряжение поднимется выше требуемых значений, то оборудование, применяемое для коммуникаций по линиям данных и работающее только с очень низким порогом напряжения, может быть повреждено. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что никакая аппаратура связи полностью не защищена от импульсных помех, так как они имеют слишком большое число источников [2].

Влияние импульсных помех на современное оборудование и аппаратуру связи

Импульсные помехи в основном проявляются как ошибки передачи, и как следствие могут стать причиной перерывов в линии *Ethernet*, требующих её повторного запуска. Видеоизображения являются наиболее чувствительными к импульсным помехам, так как вызывают потерю синхронизации и пикселизацию изображения, которые сильно влияют на восприятие пользователя [9].

Ранее, одним из основных источников импульсных помех были электромеханические АТС, поэтому импульсные помехи являлись существенными рядом с АТС. В современном мире с появлением разнообразных видов офисного оборудования и бытовых приборов, основным источником становится само помещение, в котором размещено данное оборудование.

На данный момент почти все электронное оборудование создано на основе интегральных схем и микропроцессоров, наиболее чувствительных к перепадам напряжения, которые вызваны импульсными помехами. К таким устройствам относятся компьютеры и их периферийные устройства, компьютерные и информационные сети, телекоммуникационное оборудование, радиооборудование, медицинское диагностическое оборудование, телевизоры, производственное оборудование с ЧПУ, оборудование для спутникового телевидения, факсы и т.д. Почти все это оборудование в целях коммуникации и обмена данными подключено к сетям передачи данных.

Тремя основными факторами, влияющими на чувствительность устройств на основе интегральных схем к импульсным помехам, являются:

- промежутки между ИС и дорожками монтажной платы;

- действующее ограничение рабочего напряжения;
- использование синхронизирующих импульсов для синхронизации определенных операций (например, в компьютерах и аппаратуре связи).

Фактором, влияющим на чувствительность оборудования на основе интегральных схем к импульсным помехам, является чрезвычайно маленькое пространство между компонентами интегральной схемы. В определенных случаях, появляющиеся при неправильной эксплуатации оборудования связи, микротрещины не приводят к мгновенным повреждениям, но увеличиваясь в размерах может привести к тому, что устройство выйдет из строя [10].

Также важным фактором, влияющий на чувствительность ИС, является то, что сейчас наблюдается тенденция снижения рабочего напряжения, которое необходимо при эксплуатации оборудования на основе ИС. Это значит, что порог напряжения, с которым может работать система на основе ИС, также был снижен. Если ИП вызовет увеличение напряжения до 5 В в системе, рассчитанной на 3,3 В, то это легко может привести к выходу из строя оборудования связи [4].

Использование СИ для согласования во времени операций внутренних компонентов является еще одним фактором, который может повлиять на чувствительность устройств на основе ИС. Большинство компьютерных операций согласовывается во времени с помощью синхронизирующих импульсов, которые зависят от напряжения, подаваемого с определенной частотой и ИП может «имитировать» СИ аппаратуры связи на заданной частоте, что может привести к неправильному реагированию аппаратуры связи на ложные команды, и поэтому возможны ошибки, задержки и т.д.

Большинство сбоев, которые возникают при ИП в электронных устройствах, вызывают повреждение, рассеивание мощности и разрушение этих устройств [6].

Эффекты повреждения – обычно возникают, когда импульсная помеха попадает в оборудование в результате индуктивного взаимодействия (либо в линиях питания, либо в линиях передачи данных). После этого электронные компоненты пытаются обработать импульсную помеху как действительную логическую команду. В результате происходит блокирование системы, возникают сбои, выдаются ошибочные данные на выходе, теряются или повреждаются файлы, а также возникают другие нежелательные эффекты.

Эффекты рассеяния – связаны с повторяющимися нагрузками на компоненты ИС, которые влекут за собой распад компонентов и приведет к выходу аппаратуры из строя.

Эффекты разрушения – в эту категорию входят все случаи, когда импульсные помехи с высокими уровнями энергии вызывают немедленный отказ оборудования [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать вывод о том насколько важно противодействовать помехам, в данной статье акцент был сделан именно на импульсных помехах, т.к. современная техника в основном подвержена именно этому негативному влиянию.

Импульсные помехи могут возникать в токопроводящих материалах, поэтому они могут оказывать влияния не только на то оборудование, которое подключено к линиям энергоснабжения, но также на устройства, непосредственно подключенные к телефонным линиям, Ethernet, коаксиальным и предназначенным для последовательной связи кабелям [7].

Также стоит отметить, что рассмотренные в данной статье проблемы не только охватывают негативное влияние, но и задают вектор развития для создания устройств имитации данных помех, с целью их практического изучения, а также более тщательной подготовки специалистов, способных устранять неисправности, вызванные ИП.

Список литературы

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л., 2011. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния. – 7-е изд., перераб. И доп. – М.: Горячая линия – Телеком. 424 с.

2. Безручко В.В., Ожигов В.А., Подрябкин Л.И., Ковальский С.П. Направляющие среды в телекоммуникациях. – Орел: Академия ФСО России, 2013. – 281 с.
3. ГОСТ Р 51700-2000 Технические средства, подключаемые к симметричным линиям.
4. ГОСТ 2990-80 Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением.
5. ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. М., 2009 – 21 с
6. Гурвич И.С. Защита ЭВМ от внешних помех 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с. Журнал «Системы безопасности» № 3, 2007 г.
7. Ионов А.Д., Попов Б.В., 1990. Линии связи. – М.: Радио и связь. 82 с.
8. Ксенофонтов А.А., Портнов Э.Л., 2009. Направляющие системы в электросвязи: задачник. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком. 267 с.
9. Лопаткин А.В. Проектирование печатных плат в системе P-CAD 2001. Учебное пособие для практических занятий. – Нижний Новгород, 2002. – 190 с.
10. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи».

References

1. Andreev V.A., Portnov E.L., 2011. Guiding telecommunication systems: textbook for universities. In 2 volumes. Volume 1 – Theory of transmission and influence. – 7th ed., Rev. And extra – М.: Hot line – Telecom. 424 PP.
2. Bezruchko V.V., Ozhygov V.A., Podryabkin L.I., Kovalsky S.P. Guiding media in telecommunications. – Орел: FSO Academy of Russia, 2013. – 281 p.
3. GOST R 51700-2000 Technical means connected to symmetrical lines.
4. GOST 2990-80 Cables, wires and cords. Voltage test methods.
5. GOST R 53111-2008 Stability of functioning of communication networks of General use. Requirements and verification methods: Moscow: 2009 – 21 p.
6. Gurvich I.S. protection of computers from external interference 2nd edition, revised and supplemented. - Moscow: Energoatomizdat, 1984. – 224 p. 2. Journal "security Systems" No. 3, 2007.
7. Ionov D.A., Popov B.V., 1990. Communication line. – М.: Radio and communication. 82 p.
8. Ksenofontov A.A., Portnov E.L., 2009. Guiding systems in telecommunications: a problem book. – 2nd ed., stereotype. – М.: Hotline-Telecom. 267 p.
9. Lopatkin A.V. Designing printed circuit boards in the P-CAD system 2001. Tutorial for practical training. – Nizhny Novgorod, 2002. – 190 p.
10. Federal law No. 126-FZ dated 07.07.2003 "On communications".

Нестеров Егор Викторович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кондратенко Тимур Владимирович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Nesterov Egor Viktorovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kondratenko Timur Vladimirovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

УДК 004.42

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-6

Михелев В.М.¹
Коняева Е.С.²

**КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ
МРТ СНИМКОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: vm-mikhelev@ya.ru

Аннотация

Одним из наиболее распространенных методов диагностики головного мозга является использование магнитно-резонансной томографии (МРТ). Сегментация снимков МРТ головного мозга с помощью компьютерной системы предварительной обработки является важным этапом в работе приложений, направленных на проведение планирования хирургических операций, исследования активности мозга или детекцию злокачественных опухолей. Первостепенной задачей такой системы является улучшение качества изображения. В данной работе рассмотрены основные методы и алгоритмы предварительной обработки МРТ изображений. Проведенный анализ по способам и методам подавления шумов на МРТ-изображениях показал, что для решения данной задачи в настоящее время наиболее часто используются такие фильтры, как усредняющий, Гаусса, Винера, медианный и вейвлет Хаара. Методы предобработки изображений позволяют преобразовывать изображения для улучшения их визуального восприятия, а также решать задачи изменения представления изображений для обеспечения их хранения, передачи, визуализации в электронном виде и дальнейшего анализа заложенной в них информации.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, головной мозг, сегментация снимков, подавление шумов, предобработки изображений, фильтры, вейвлет Хаара.

UDC 004.42

Mikhelev V.M.¹
Konyayeva E.S.²

**COMPUTER SYSTEM OF PRELIMINARY PROCESSING MRI IMAGES
OF THE BRAIN**

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

² Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: vm-mikhelev@ya.ru

Abstract

One of the most common methods for diagnosing the brain is using magnetic resonance imaging (MRI). The segmentation of brain MRI images using a computer pre-processing system is an important step in the work of applications aimed at planning surgical operations, studying brain activity or detecting malignant tumors. The primary goal of such a system is to improve image quality. In this paper, the main methods and algorithms for preliminary processing of MRI images are considered. The analysis of the methods and methods of noise suppression in MRI images showed that to solve this problem, such filters as averaging, Gauss, Wiener, median and Haar wavelet are most often used. Image preprocessing methods allow you to convert images to improve their visual perception, as well as solve problems of changing the presentation of images to ensure their storage, transmission, visualization in electronic form and further analysis of the information embedded in them.

Keywords: magnetic resonance imaging, brain, image segmentation, noise reduction, image preprocessing, filters, Haar wavelet.

ВВЕДЕНИЕ

Магниторезонансная томография является общепризнанным методом обнаружения различных опухолей головного мозга (ОГМ), так как позволяет получить детальное изображение различных тканей. МРТ является одним из наиболее информативных методов визуализации в медицине. К явным преимуществам этого метода можно отнести инвазивность исследований (естественная контрастность тканей обычно не требует дополнительного контрастирования) и отсутствие влияния ионизирующего излучения, как это наблюдается при компьютерной (рентгеновской) томографии [1-3, 7].

Несмотря на ряд преимуществ и возможность получения изображения частей тела в любой плоскости, заданная интерпретация получения данных, а именно установление соответствия пикселей изображений анатомическим участкам тела, остается актуальной.

Проблема сегментации магнитно-резонансным томографом осложняется тем, что функциональные структуры с одинаковой рентгеновской плотностью могут иметь различный диапазон значений интенсивности в зависимости от параметров проведенного МРТ-исследования. Следовательно, опираться на значения интенсивности пикселей, как это делается в большинстве алгоритмов сегментации, становится невозможным.

Проблема шумоподавления является одной из самых актуальных и распространенных проблем в области обработки изображений. Уже есть программные решения, которые справляются с данными проблемами и предоставляют доктору возможность оперативно диагностировать опухоль на снимке. Однако, большая часть из них отсутствуют в открытом доступе или ограничено доступны другими пользователями, кроме того, многие программные решения не русифицированы. Не все программные решения могут поддерживать сторонние плагины, которые написаны с минимальным порогом вхождения и имеют встроенные инструменты сегментации опухоли. Такие решения часто не имеют механизмов удаленного доступа к базе МРТ, а также средств администрирования. Исходя из этого, создание легко расширяемой компьютерной системы для повышения точности диагностики патологий на сегодняшний день является актуальной задачей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

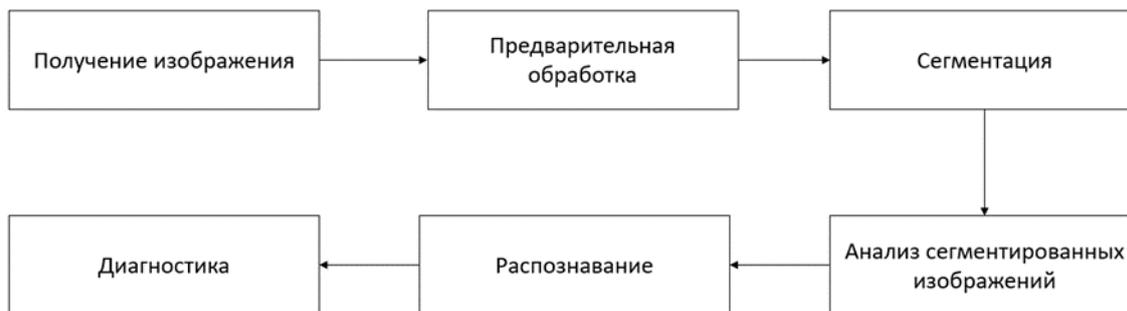
Одним из наиболее распространенных методов диагностики головного мозга является использование магнитно-резонансной томографии (МРТ) [5,6]. МРТ использует свойство ядерного магнитного резонанса (ЯМР) изображение ядра атомов внутри тела. МРТ может создать более детальные изображения частей человеческого тела, чем при использовании рентгеновских лучей.

МРТ обеспечивает хороший контраст между различными мягкими тканями тела, что делает его особенно полезным в визуализации головного мозга, мышц, сердца по сравнению с другими методами медицинской визуализации, такие как компьютерная томография (КТ) или рентгеновские лучи, так как не использует ионизирующие излучения.

Для диагностики различных опухолей необходима высокая точность при анализе изображений МРТ. Методы предобработки изображений позволяют преобразовывать изображения для улучшения их визуального восприятия, а также решать задачи изменения представления изображений для обеспечения их хранения, передачи, визуализации в электронном виде и дальнейшего анализа заложенной в них информации.

Структурная схема системы обработки МРТ-изображений

Стандартная процедура обработки и анализа МРТ-изображений включает в себя этапы, представленные на рисунке 1.



*Рис. 1. Этапы обработки МРТ-изображений
Fig. 1. Stages of processing MRI images*

Следует обратить внимание на то, что анализируемые МРТ – изображения нельзя подвергать большому количеству операций предварительной обработки (уменьшение шумов, выделение границ объектов). Данный процесс может привести к значительному снижению точности работы метода в целом. Перераспределение интенсивностей сигналов, в процессе сегментации может привести к ложному принятию решения, например, метод эквализации неприменим, т.к. основан на изменении яркости на гистограммах изображения.

Вышесказанное подтверждает, что снимки МРТ являются очень сложными объектами анализа, т.к. они получены с использованием специальных процедур и аппаратной части для визуализации реальных биологических объектов, обладающие определенными свойствами, которые затрудняют анализ:

- различные шумы;
- нечеткие границы;
- неравномерное распределение интенсивностей сигнала.

Вышеупомянутые проблемы приводят к необходимости использования процедур предварительной обработки изображений с целью удаления шума и повышению четкости снимков.

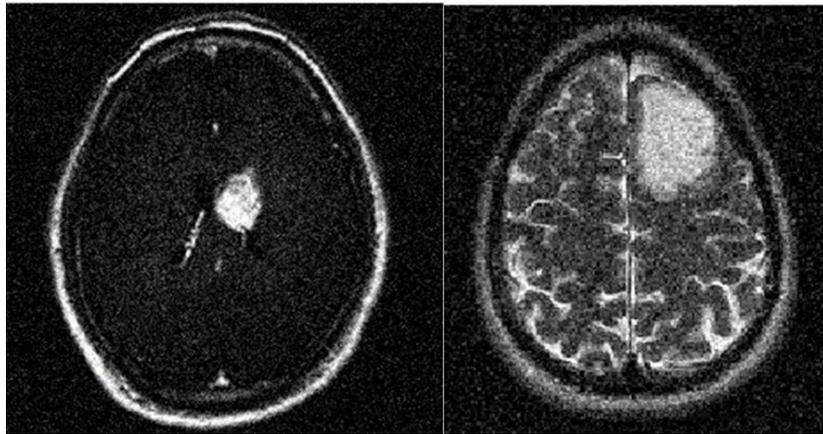
Проблемы сегментации на этапе предварительной обработки МРТ изображений

Сегментация считается одним из этапов обработки изображений, который связан с разбиением изображения на интересующие области либо составляющие [8,9]. Основной принцип сегментации содержится в делении изображения на различные регионы в согласовании с интенсивностью МР сигнала, которая, в свою очередь, зависит от вида ткани. Выделенные регионы характеризуются общими свойствами и, как правило, соединены физическими и анатомическими характеристиками. В согласовании с поставленной перед исследователем задачей осуществляется деление изображения на регионы. В некоторых случаях сегментация применяется в качестве завершающего шага интерпретации исследования, к примеру, для уточнения границ и объема патологического процесса.

Для сегментации мозга могут использоваться следующие подходы:

- Интерактивная сегментация;
- Сегментация с использованием атласов;

Задача автоматической сегментации изображений МРТ головного мозга осложняется такими техническими ограничениями, когда исходные изображения содержат шумы (см. рис. 2), влияющие на интенсивность сигнала отдельных вокселей;



*Рис. 2. Шум на МРТ-изображениях
Fig. 2. Noise on MRI images*

Методы предварительной обработки МРТ снимков зависят от задач исследований и могут включать следующие виды работ:

- фильтрация зашумленных изображений;
- коррекция яркости и контраста.

В данной работе будут рассмотрены основные методы и алгоритмы предварительной обработки МРТ изображений. Будут приведены достоинства и недостатки методов, а также приведено математическое и алгоритмическое описание алгоритмов.

Несмотря на то, что МРТ позволяет доктору увидеть те области органов, которые часто недоступны при применении остальных способов таких, как КТ и рентген, но случайные артефакты и шум имеют все шансы усугубить читаемость и качество снимка. Более того, некоторые подробности на снимке подлежат удалению, так как они препятствуют анализу методами для сегментации опухоли. В частности, при выявлении опухоли в головном мозге нужно произвести удаление черепной ткани. Также в некоторых вариантах потребуется удаление ярких краев таких, как сосуды в головном мозге и т.п. После удаление шума и ненужных деталей, нужно произвести выравнивание гистограммы или контрастности.

Удаление шума

Изображения в процессе формирования, ввода в компьютер и преобразования в цифровую форму подвергаются различным внешним воздействиям и помехам, проявляющимся в виде информационного шума (ИШ), присутствующего на цифровом изображении. Поэтому к ним нужно применять операции, которые позволяют улучшить и реставрировать (восстановить) эти изображения. Основными операциями в данном случае является коррекция яркости по всему полю изображения, удаление шумов и различные преобразования, которые определяются конкретной задачей по обработке изображений. Удаление шумов осуществляется методами линейной и нелинейной фильтрации изображений. Методы фильтрации основаны на применении некоторых фильтров и свертке изображения с данным фильтром.

Проведенный анализ по способам и методам подавления шумов на МРТ-изображениях показал, что для решения данной задачи в настоящее время наиболее часто используются такие фильтры, как усредняющий, Гаусса, Винера, медианный и вейвлет Хаара.

Усредняющий фильтр

Усредняющий фильтр (УФ) часто используется для удаления зернистости изображения, вызванной шумами [18]. Однако он уменьшает величину градиента перепадов яркости, что негативно влияет на четкость контуров изображения (размывание) [9]. УФ заменяет значение яркости текущей точки изображения на среднюю яркость, исчисленную на основе значений яркости 8 соседних точек и начальной яркости данной точки (рис. 3).

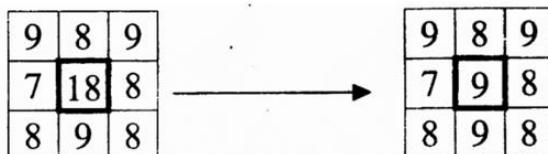


Рис. 3. Диаграмма вариантов использования

Fig. 3. Use case diagram

Принцип работы УФ заключается в замене исходных значений элементов изображения на средние значения по маске фильтра. В результате отфильтрованное изображение может быть представлено в виде [14] заданном формулой 1

$$gg(i, j) = \frac{1}{M} \sum_{k=i-1}^{i+1} * \sum_{l=j-1}^{j+1} f(k, l), \quad (1)$$

где i, j – количество строк и столбцов;

$g(i, j)$ – отфильтрованное изображение;

M – количество пикселей в окрестности;

k, l – номер строк и столбцов в окрестности;

$f(k, l)$ – входное изображение.

Степень размывания изображения и степень подавления шума находятся в зависимости от размера маски. При больших размерах, к примеру 9×9 , шум подавляется в большой степени, однако в тоже время, возрастает и размытие контуров изображения. Но, важными элементами в задачах сегментации медицинских изображений считаются контуры. Потому для изучения в данной работе используется маска размером 3×3 .

Проведенный анализ литературы показал, что в случае применения УФ наиболее эффективной для подавления шума считается маска, показанная на рис. 4.а [9, 15]. Для уменьшения вычислительных затрат, связанных с исполнением операции деления 1 на 9 во всех элементах матрицы, в [9] предложено сменить операцию деления на операцию умножения. Во взаимосвязи с этим, предложена маска (см. рис. 4б), которая используется в данной работе.

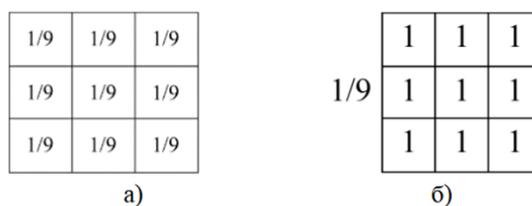


Рис. 4. Маска усредняющего фильтра

Fig. 4. Averaging filter mask

Усредняющий фильтр является самым простым фильтром и не требует выполнения большого объема вычислений. Недостатками данного фильтра является сглаживание ступенчатых перепадов яркости, соответствующие контурам объектов. Кроме того, точки, по яркости значительно отличаются от других, будут вносить существенный вклад в результат фильтрации. Поэтому усредняющий фильтр удаляет значительную часть шумов с видеоизображения, но при этом снижается четкость видеоизображения, сглаживаются контуры объектов и могут потеряться мелкие детали видеоизображения.

Медианный фильтр

Для удаления ИШ более эффективным является применение нелинейных фильтров. Медианный фильтр является одним из вариантов нелинейного рангового фильтра.

Принцип его работы заключается в сортировке амплитуд всех пикселей возрастающем или убывающем порядке и выборе значения центрального пикселя, если количество пикселей нечетное. В том случае, если количество пикселей четное, то берется среднее от значения двух центральных пикселей [9]. Математически это представляется следующей формулой 2 [16,18]:

$$y(n, m) = \text{median}\{x(n - n_1, m - m_1) | (n_1, m_1) \in N\}, \quad (2)$$

где N – окрестность размером $n \times m$ вокруг центрального пикселя с координатами (n_1, m_1) .

К плюсам МФ относится не плохое подавление ИШ при сохранении пределов и пространственного разрешения изображения. К недочетам данного фильтра относится невысокая отдача в случае широкополосного шума и способность видоизменять пиксели, которые никак не нарушались шумом. Это свойство называется инвариантностью [11]

Медианный фильтр обеспечивает удаление шума, но в отдельных случаях может вызвать нежелательное снижение уровня сигнала. МФ не влияет на степенные функции, является его полезным свойством, однако он не пропускает импульсные сигналы, продолжительность которых составляет менее половины ширины окна фильтра. Медианный фильтр более эффективно удаляет импульсные помехи, чем шумы типа "белого" шума с нормальным законом распределения.

Фильтр Гаусса

Для удаления ИШ может использоваться фильтр Гаусса. Это тоже фильтр нижних частот, но по сравнению с усредняющим фильтром он меньше размывает изображения. Центральный элемент маски фильтра Гаусса имеет максимальное значение, а форма фильтра соответствует кривой распределения Гаусса. Маска фильтра задается формулой 3:

$$h(i, j) = \frac{h_g(i, j)}{\sum_{r=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{c=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} h_g(r, c)}, \quad (3)$$

где i, j – текущие координаты элементов маски,

$h_g(i, j) = \exp\{- (i^2 + j^2) / (2\sigma^2)\}$ – определяет одномерный распределение Гаусса.

В данной работе используется маска ФГ размером 3×3 со стандартным отклонением 0,5 (см. рис. 5).

0,0113	0,6193	0,0113
0,6193	0,0838	0,6193
0,0113	0,6193	0,0113

Рис. 5. Маска фильтра Гаусса
Fig. 5. Gauss filter mask

Маска фильтра основывается таким образом, чтобы основной пиксел маски имел наибольшее значение яркости, соответствующее пику распределения Гаусса [17]. Степень сглаживания ФГ контролируется значением σ : чем больше значение σ , тем более разглаживается изображение, и наоборот. В тоже время, большое значение σ , приводит к наибольшему размытию контуров изображения, что оказывает негативное воздействие на последующие процедуры обработки, в том числе сегментации.

Фильтр Винера

Фильтр Винера реализуется на основе инверсной фильтрации, который объединяет в себе учета свойств функции искажения и статистических свойств шумов. Метод основан на учете изображений и шума как случайных процессов.

Задачей фильтра является нахождение определенной оценки для неискаженного изображения, чтобы среднее квадратическое отклонение этих величин было минимальным. Этот фильтр также называют фильтром минимального среднее квадратическое отклонением. Он относится к линейному типу адаптивных фильтров. Если значением среднее квадратическое отклонение интенсивности пикселей в определенной области больше, фильтр выполняет сглаживание. Этот подход является более эффективным, чем обычная линейная фильтрация.

Особенностью и преимуществом среди других базовых является то, что он сохраняет границы частей объектов изображения. Недостатком является то, что он требует больше времени для обработки изображения.

Известно, что фильтр Винера (ФВ) хорошо подавляет ГШ сохраняя при этом высокоинтенсивные границы и объекты на изображении. Адаптивность фильтра Винера заключается в изменении степени сглаживания в зависимости от измеряемой локальной дисперсии изображения: при большой дисперсии фильтр обеспечивает малое сглаживание, а при малой – большое сглаживание [18]. Считается [12], что для удаления ГШ наилучшим является ФВ, поскольку его коэффициенты вычисляются из условия минимизации ошибок фильтрации в результате решения уравнения Винера–Хопфа. Маска ФВ задается формулой 4 [18]:

$$h(i, j) = \mu + \frac{\sigma^2 + v^2}{2} (f(i, j) - \mu), \quad (4)$$

где v – дисперсия шума; $h(i, j)$ – ядро ФВ; $f(i, j)$ – исходное изображение [15]. σ – дисперсия в окрестности и определяется по формуле 5:

$$\sigma = \frac{1}{NM} \sum_{i,j \in \eta} f^2(i, j) - \mu^2 \quad (5)$$

μ – среднее значение в окрестности маски и определяемое по формуле 6:

$$\mu = \frac{1}{NM} \sum_{i,j \in \eta} f(i, j) \quad (6)$$

где N, M – количество строк и столбцов в окрестности. Одним из недостатков фильтра является недостаточная эффективность при подавлении ИШ [19].

Адаптивная фильтрация применяет фильтр Винера, который является типом линейного фильтра к изображению адаптивно, адаптируя себя к локальной дисперсии изображения. Где дисперсия большая, wiener2 выполняет небольшое сглаживание. Где дисперсия мала, wiener2 выполняет большее сглаживание. Такой подход часто дает лучший результат, чем линейная фильтрация.

Адаптивный фильтр является более избирательным, чем сопоставимый линейный фильтр, сохраняя края и другие высокочастотные части изображения. Кроме того, отсутствуют задачи проектирования; функция wiener2 обрабатывает все предварительные вычисления и реализует фильтр для входного изображения. Однако Wiener2 требует больше времени вычислений, чем линейная фильтрация. Wiener2 работает лучше всего, когда шум является постоянным (“белым”) аддитивным шумом, таким как гауссовский шум.

Алгоритмы удаления ярких краев

На МРТ снимках, в особенности на снимках головного мозга, есть области с яркими краями, которые так или иначе значительно воздействуют на конечный результат сегментации. В частности, при нахождении области раковой опухоли в результирующий сегмент могут попасть границы, на каких интенсивность будет совпадать с яркостью области опухоли. Чтобы избежать этого, нужно отметить края на снимке с большим значением интенсивности и удалить из исходного снимка.

Края предполагают собой те области на изображениях, при которых резко изменяется значение яркости (интенсивности). Для определения, какие из пикселей относятся к краям, используются три главных метода нахождения краев: фильтр Лапласа, оператор Собеля и оператор Кэнни. В нашей программе мы используем оператор Собеля, так как он дает более

выраженные и отчетливые края, чем фильтра Лапласа, и быстрее работает, чем оператор Кэнни. В операторе Собеля используется две матрицы для вычисления градиентов относительно оси абсцисс (см. рис. 6) и оси ординат [13]:

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Рис. 6. Градиент по оси абсцисс GX

Fig. 6. The gradient along the abscissa axis GX

Ниже на рис. 7 представлена матрица для вычисления градиентов относительно оси ординат:

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Рис. 7. Градиент по оси абсцисс GY

Fig. 7. The abscissa gradient of the GY

Мы проходим по всем пикселям с заранее заданным окном и для каждого из них находим всех соседей. Все найденные соседи и текущий пиксель образуют активный регион. Каждый пиксель из региона умножаем на значение из матрицы Собеля. Вычисленные произведения суммируем. Полученные суммы для оси абсцисс и ординат считаются градиентами для текущего пикселя. После того, как были посчитаны градиенты для отдельных осей, мы должны найти значение градиента, которая может быть вычислена формулой 7 [10]:

$$G = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad (7)$$

Если величина градиента больше некоторого заранее заданного порога, то будем считать пиксель граничащим, иначе – пиксель не является краевым. После нахождения краев мы применяем операцию дилатация для расширения краев с помощью пороговой фильтрации. После этого мы вычитаем края из исходного изображения. Результат применения метода представлена на рис. 8:

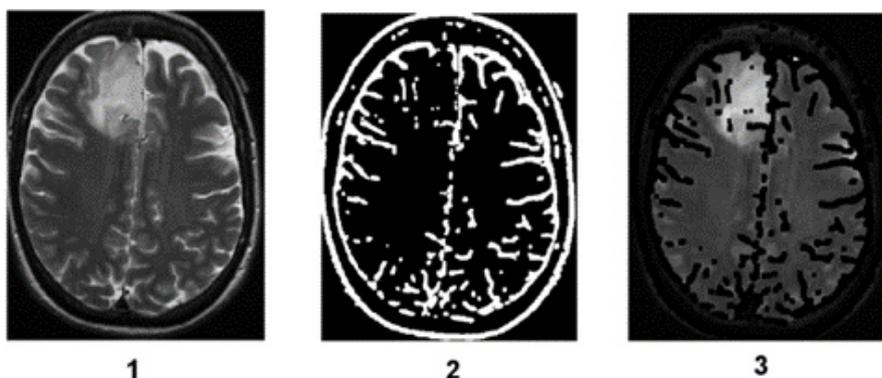


Рис. 8. (1) – исходное изображение, (2) – обнаруженные края оператором Собеля, (3) – удаленные края из исходного изображения

Fig. 8. (1) – the original image, (2) – the detected edges by the Sobel operator, (3) – the deleted edges from the original image

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 9 показан внешний вид интерфейса программного продукта, при этом в систему загружен три зашумленных изображения МРТ.

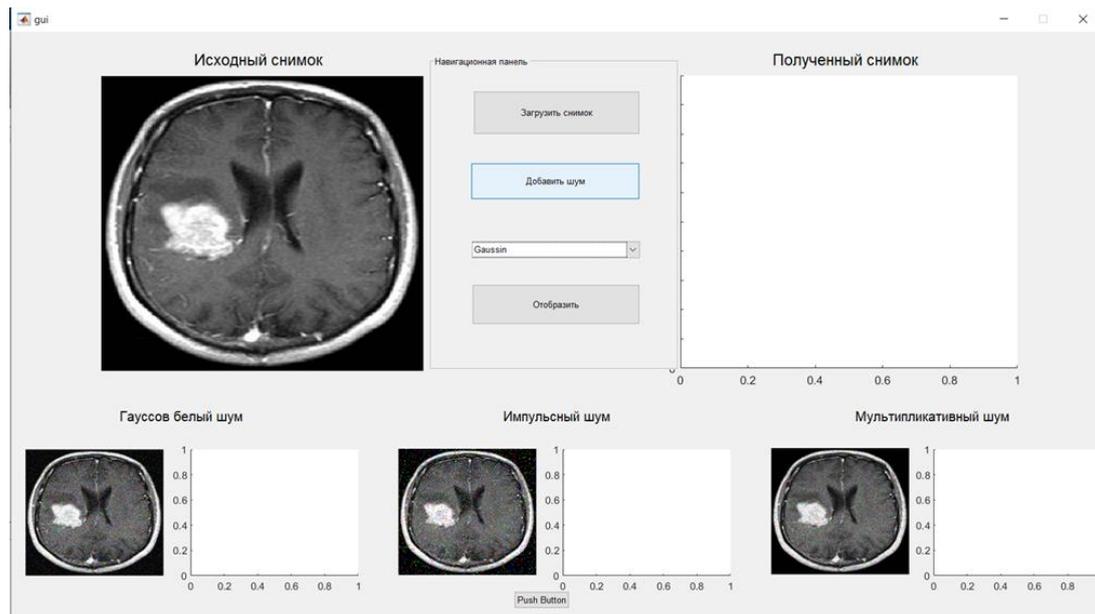


Рис. 9. Интерфейс программы с добавлением шума
Fig. 9. The program interface with the addition of noise

На рис. 10 приведено, в качестве примера, исходное МРТ-изображение с ОГМ аксиального среза (а) и полученные изображения при добавлении искусственных шумов (б, в, г).

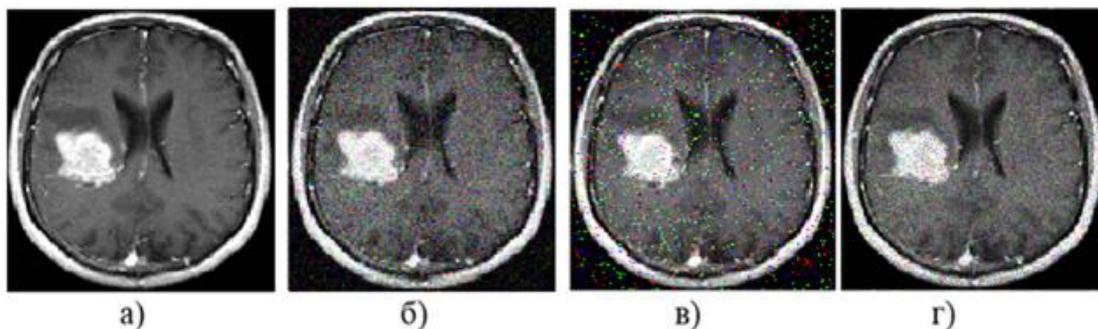


Рис. 10. Добавление шума к исходному МРТ-изображению: исходное изображение (а); исходное изображение после добавления искусственных шумов: ГШ (б); МШ (в); «соль и перец» (г)
Fig. 10. Adding noise to the original MRI image: the original image (a); the original image after adding artificial noise: GSH (b); MSH (c); "Salt and pepper" (g)

На следующем этапе для проверки работоспособности функции фильтрации снимков необходимо выбрать интересующий фильтр. Результат выполнения этих действий показан на рис. 11. Здесь мы видим Гауссову фильтрацию.

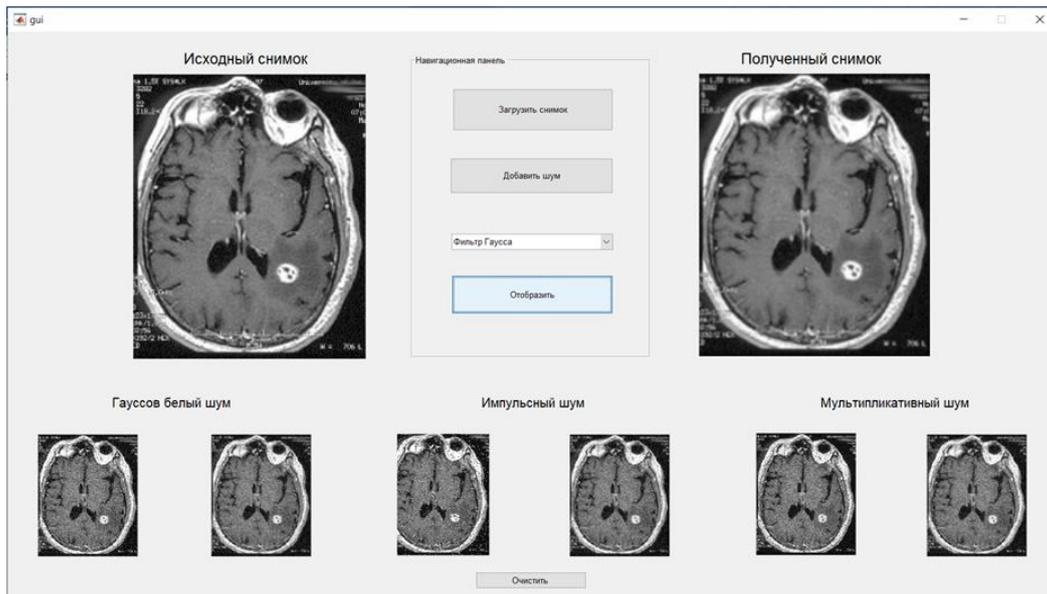


Рис. 11. Гауссова фильтрация
Fig. 11. Gaussian filtering

Результаты медианной фильтрации приведены на (см. рис. 12).

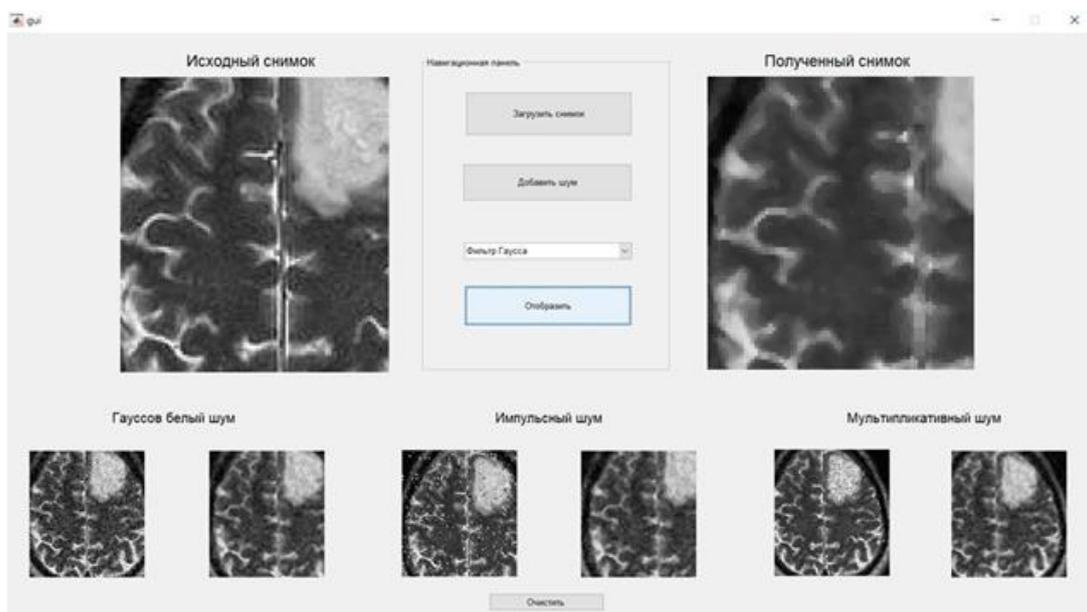


Рис. 12. Медианная фильтрация
Fig. 12. Median filtering

На рис результат рис. 13 приведены результаты применения фильтра Винера.

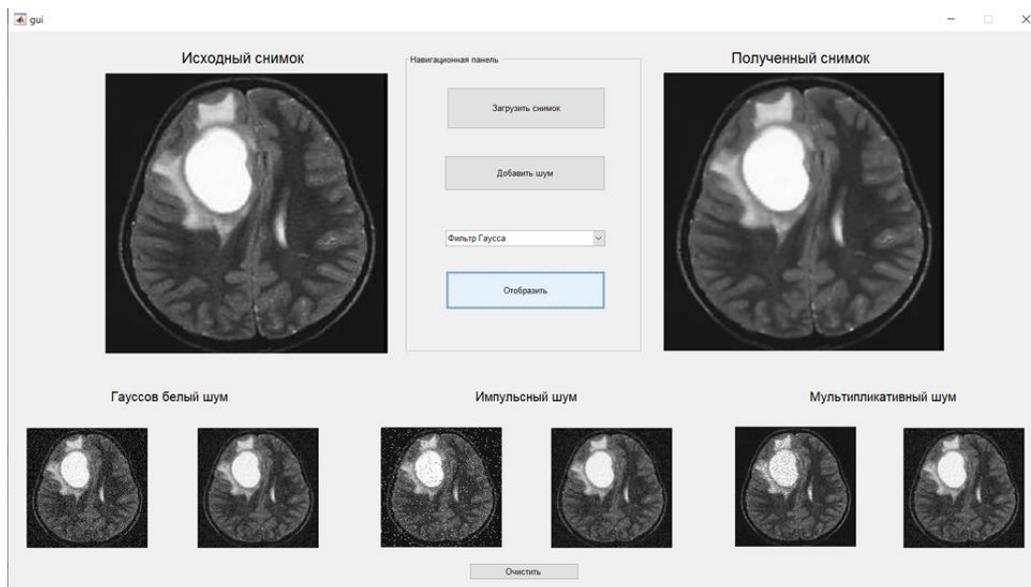


Рис. 13. Фильтр Винера
Fig. 13. Wiener filter

Следующий этап тестирования – фильтрация Собеля (см. рис. 14), для выделения края на снимке с наибольшим значением интенсивности для последующего удаления из снимка.

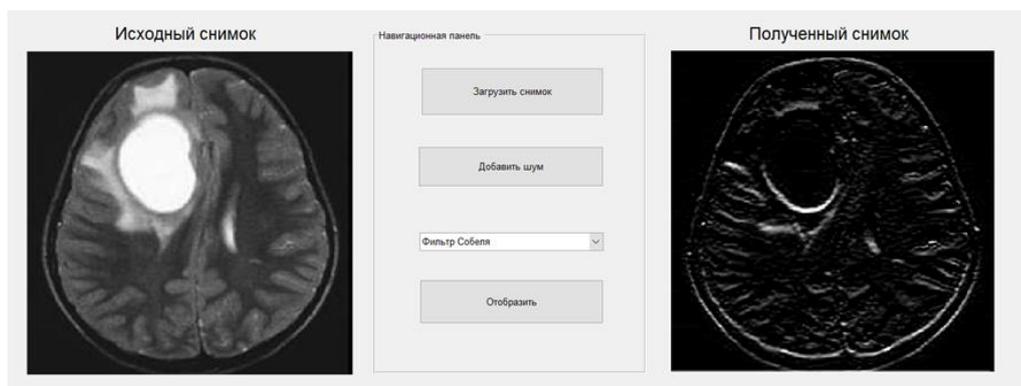


Рис. 14. Фильтр Собеля
Fig. 14. Sobel filter

В таблице 1 приведены результаты сопоставительного анализа исследуемых фильтров по критерию ПОСШ для МРТ изображений ОГМ с шумом и без шума соответственно.

Характеристики значений ПОСШ для МРТ изображений с ОГМ

Таблица 1

Table 1

Characteristics of the NSS values for MRI images with OGM

Тип шума	Фильтры	Среднее		Стандартное отклонение	
		1 БД	2 БД	1 БД	2 БД
Исходные изображения	Усредняющий	34,42	37,71	1,09	2,33
	Гаусс	43,35	46,69	1,18	2,33
	Винер	39,5	43,71	1,28	2,17
	Медианный	36,93	40,08	1,33	2,46
	Хаар	31,44	25,86	0,95	6,55
Гауссовский шум	Усредняющий	27,64	28,24	0,26	0,36

Тип шума	Фильтры	Среднее		Стандартное отклонение	
		1 БД	2 БД	1 БД	2 БД
	Гаусс	24,17	24,25	0,091	0,14
	Винер	26,46	26,66	0,13	0,2
	Медианный	27,48	27,86	0,27	0,28
	Хаар	24,95	22,22	0,23	3,45
	Усредняющий	26,13	26,16	0,27	0,34
Шум Соль и перец	Гаусс	21,5	21,21	0,21	0,31
	Винер	20,15	19,49	0,33	0,45
	Медианный	35,79	39,05	1,15	2,38
	Хаар	22,91	20,74	0,32	1,93
	Усредняющий	28,86	32,6	0,82	2,18
Мультипликативный шум	Гаусс	24,77	28,64	0,94	2,28
	Винер	26,59	29,85	0,66	2,56
	Медианный	26,14	29,94	0,88	2,22
	Хаар	25,59	24,99	0,79	4,33
	Усредняющий	28,86	32,6	0,82	2,18

В таблице 1 и 2 приведены статистические характеристики ПОСШ рассматриваемых фильтров при применении на исходных изображениях для первой и второй БД МРТ-изображений с ОГМ соответственно, а именно: диапазон изменения; среднее значение и среднее значение стандартной отклонение; доверительный интервал, полученный с уровнем значимости 5%.

Таблица 2

Характеристики значений ПОСШ для первой БД МРТ-изображений с ОГМ

Table 2

Characteristics of the NSS values for the first DB of MRI images with OGM

Фильтры	Диапазон изменения ПОСШ	Среднее ± станд. откл	Доверительный интервал 95%
Усредняющий	31,6-36,4	34,42 ± 1,09	34,14-34,7
Гаусс	40,33-45,34	43,35 ± 1,18	43,04-43,64
Винер	36,51-42,1	39,50 ± 1,28	39,18-39,82
Медианный	33,791-39,384	36,93 ± 1,33	36,61-37,25
Хаар	28,45-33,34	31,44 ± 0,95	31,2-31,68

Анализ таблицы 2 показывает, что ФГ является лучшим фильтром для удаления шума на исходных изображениях, так как у него наибольшее значение ПОСШ ($43,35 \pm 1,18$ с доверительным интервалом (ДИ) 43,04-43,64), вторым по эффективности снижения уровня шума является ФВ ($39,50 \pm 1,28$), а третьим – МФ $36,93 \pm 1,33$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегментация злокачественной опухоли является одной из самых важных и в то же время сложных задач в области диагностики рака. Точное и быстрое выявление очагов опухоли на серии изображений МРТ осложняется трудоемкостью ручной сегментации. Более того, качество изображения может оказать отрицательное влияние на конечный результат из-за высокого уровня шума и случайных артефактов. Поэтому в данной работе было проведено исследование по использованию различных подходов к удалению трех основных видов шума (гауссовый, импульсный и комбинированный шум). Разработанная компьютерная система показала, что применение фильтров сглаживания и шумоподавления показывает, что фильтры обеспечивают наилучшие результаты и наиболее подходит для исследуемых МРТ изображений. Кроме этого,

проведенное исследование показало, что методы предварительной обработки изображений являются необходимыми для получения хороших результатов на следующем этапе сегментации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-07-00133А.

Список литературы

1. Верещагин Н.В., Борисенко В.В., Власенко А.Г. Мозговое кровообращение. Современные методы исследования в клинической неврологии М.: Интер-Весы. 1993. С. 87-143
2. Галайдин П.А., Замятин А.И., Иванов В.А. Основы магниторезонансной томографии. Учебное пособие. – СПб: СпбГИТМО (ТУ), 1998. – 24 с.
3. Коновалов А.Н., Корниенко В.Н., Пронин И.Н. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии. – М.: Видар, 1997. – 472 с.: ил.
4. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.
5. Ринкк П.А. Магнитный резонанс в медицине. Основной учебник Европейского Форума по магнитному резонансу. – М.: Геотар-Мед, 2003.
6. Тютин Л.А., Рохлин Г.Д., Неронов Ю.И. «Протонная Магнитно-Резонансная Спектроскопия головного мозга», Сб. «Магнитно-Резонансная томография в клинической практике» // Изд. ЦНИРРИ. С-Петербург, 1996. – С. 67-71.
7. MRI: Magnetic Resonance Imaging. Режим доступа: [http://focus.ti.com/docs/solution/folders/print/275.html]
8. Swe, Z.O. Brain tumor detection and segmentation using watershed segmentation and morphological operation / Z.O. Swe, S.K. Aung // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3. – Issue 03. – PP. 367-374.
9. Гонсалес, Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
10. Balafar, M.A. Review of noise reducing algorithms for brain MRI images/ M.A. Balafar // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). – 2012. – Vol. 4. – Issue 13. – PP. 54-59.
11. Pavithra, R. Wavelet Based Non Local Means Algorithm for Efficient Denoising of MRI Images / R. Pavithra, R. Ramya, G. Alaiyarasi // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. —2015. – Vol. 4. – Issue 2. – PP. 388-392.
12. Бондина, Н.Н. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Э. Кривенцов // Вестник НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38. – С. 14-26.
13. Piekar, E. Application of region growing method to brain tumor segmentation– preliminary results / E. Piekar, P. Szwarc, A. Sobotnicki, M. Momot // Journal of medical informatics & technologies. – 2013. – Vol. 22. – PP. 153-160.
14. Ramesh, Jain. Machine vision/ Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck. – McGraw-Hill. Inc. 1995. – 572 p.
15. 2-D adaptive noise-removal filtering, [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mathworks.com/help/images/ref/wiener2.html (дата обращения: 15.12.2019).
16. Aggelos К.К. Основы обработки цифровых видео и изображений. [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.coursera.org/course/digital.
17. MATLAB Exponenta. Фильтрация изображений. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book3/11/fspecial.php.
18. Стругайло, В.В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений / В.В. Стругайло // Наука и образование. – 2012. – №5. – 270-281 с
19. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие. И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2002. – 352 с.

References

1. Vereshchagin N.V., Borisenko V.V., Vlasenko A.G. Cerebral circulation. Modern research methods in clinical neurology M.: Inter-Libra. 1993. P. 87-143
2. Galaydin P.A., Zamyatin A.I., Ivanov V.A. Fundamentals of magnetic resonance imaging. Tutorial. – SPb: SpbGITMO (TU), 1998. – 24 p.
3. Konovalov A.N., Kornienko V.N., Pronin I.N. Magnetic resonance imaging in neurosurgery. – M.: Vidar, 1997. – 472 p.: Ill.

4. Marusina M.Ya., Kaznacheeva A.O. Modern types of tomography. Tutorial. – St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2006. – 132 p.
5. Rinkk P.A. Magnetic resonance in medicine. The main textbook of the European Forum on magnetic resonance. – M.: Geotar-Med, 2003.
6. Tyutin LA, Rokhlin GD, Neronov Yu.I. "Proton Magnetic Resonance Spectroscopy of the brain", Sat. "Magnetic Resonance Imaging in Clinical Practice" // Ed. ZNIRRI. St. Petersburg, 1996. – P. 67-71.
7. MRI: Magnetic Resonance Imaging. Access mode: [http://focus.ti.com/docs/solution/folders/print/275.html]
8. Swe, Z.O. Brain tumor detection and segmentation using watershed segmentation and morphological operation/ Z.O. Swe, S.K. Aung // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3. – Issue 03. – PP. 367-374.
9. Gonzalez, R.S. Digital image processing / R.S. Gonzalez, R.E. Woods. – M.: Technosphere, 2005. – 1072 p.
10. Balafar, M.A. Review of noise reducing algorithms for brain MRI images / M.A. Balafar // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). – 2012. – Vol. 4. – Issue 13. – PP. 54-59.
11. Pavithra, R. Wavelet Based Non Local Means Algorithm for Efficient Denoising of MRI Images / R. Pavithra, R. Ramya, G. Alaiyarasi // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. —2015. – Vol. 4. – Issue 2. – PP. 388-392.
12. Bondina, N.N. Comparative analysis of filtering algorithms for medical images / N.N. Bondina, A.S. Kalmychkov, V.E. Kriventsov // Bulletin of NTU "KhPI". 2012. – No. 38. – PP. 14-26.
13. Piekar, E. Application of region growing method to brain tumor segmentation– preliminary results / E. Piekar, P. Szwarc, A. Sobotnicki, M. Momot // Journal of medical informatics & technologies. – 2013. – Vol. 22. – PP. 153-160.
14. Ramesh, Jain. Machine vision/ Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck. – McGraw-Hill. Inc. 1995. – 572 p.
15. 2-D adaptive noise-removal filtering, [electronic resource]. – Access mode: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/wiener2.html> (date of the application: 15.12.2019).
16. Aggelos K.K. Basics of Digital Video and Image Processing. [electronic resource]. – Access mode: <https://www.coursera.org/course/digital>.
17. MATLAB Exponenta. Image filtering. [electronic resource]. – Access mode: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book3/11/fspecial.php>.
18. Strugailo, V.V. Overview of methods of filtering and segmentation of digital images / V.V. Strugailo // Science and Education. – 2012. – No. 5. – 270-281 p.
19. Digital image processing in information systems: Textbook. allowance. I.S. Gruzman, V.S. Kirichuk, V.P. Kosykh, G.I. Peretyagin, A.A. Spector. – Novosibirsk: Publishing House of NSTU. – 2002. – 352 p.

Михелев Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, БГТУ им. В.Г. Шухова

Коняева Екатерина Сергеевна, магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, НИУ «БелГУ»

Mikhelev Vladimir Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Software and Automated Systems, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Konyaeva Ekaterina Sergeevna master student, Department of Mathematical and Software Information Systems, Belgorod State National Research University

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL**

УДК 629.113

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-7

Бражников А.М.
Бражникова А.М.
Забержинский Б.Э.**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ИЗМЕРЕНИЯ
ИЗНОШЕННОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ**

Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, д. 244, г. Самара, 443100, Россия

*e-mail: brazhnikova_98@mail.ru, zab.borislav@gmail.com***Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы мониторинга степени износа дорожного покрытия. Приводится краткое описание существующих методов контроля состояния дорог, анализируются их преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется способу мониторинга износа дороги при помощи программно-аппаратных комплексов, размещаемых непосредственно на участке трассы, особенностям их применения и обработки результатов измерений. Статья содержит описание разработанного авторами миниатюрного стенда для изучения методов контроля степени износа дорожного покрытия с применением стационарных комплексов датчиков. Показано, каким образом можно осуществлять измерение транспортного потока на участке дороги, а также массу автомобилей.

Ключевые слова: износ дорог; дорожное покрытие; динамическое взвешивание транспортных средств; автомобильный поток; поосное взвешивание автомобилей.

UDC 629.113

Brazhnikov A.M.
Brazhnikova A.M.
Zaberzhinsky B.E.**DEVELOPMENT OF A STAND TO STUDY THE PRINCIPLES
OF MEASURING ROAD SURFACE WEAR**

Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St., 443100, Samara, Russia

*e-mail: brazhnikova_98@mail.ru, zab.borislav@gmail.com***Abstract**

The article deals with the issues of monitoring the wear and tear of road surface. A brief description of the existing methods of monitoring the condition of roads is given, their advantages and disadvantages are analyzed. Special attention is paid to the method of monitoring the wear of the road by means of software-hardware complexes placed directly on the section of the route, peculiarities of their application and processing of the results of measurements. The article contains a description of a miniature stand developed by the authors to study methods of controlling the wear of road surface using stationary sensor complexes. It is shown how it is possible to measure the traffic flow on the road section as well as the mass of cars.

Keywords: road wear; road surface; dynamic weighing of vehicles; road flow; car axial weighing.

Автомобильные дороги играют важную роль в развитии экономики, социальной сферы государства, обеспечении его обороноспособности. В России протяжённость дорог с твёрдым (асфальтированным) покрытием составляет более 980 тыс. километров (по данным Росстата на 2013 год). С развитием промышленности, с увеличением численности населения возрастает

интенсивность движения по дорогам, это означает, что за единицу времени (например, за сутки) через поперечное сечение участка дороги проезжает всё больше и больше автомобилей. Непрерывный транспортный поток неизбежно оказывает нагрузку на дорожное покрытие, что приводит к его износу, истиранию, образованию различных механических повреждений. Разрушение верхнего слоя дорог ведёт к снижению среднесуточной скорости движения автомобилей, образованию заторов, кроме того, существенные дефекты полотна создают опасность для участников движения, повышается количество дорожно-транспортных происшествий. Вот почему очень важно следить за состоянием дорожного покрытия и своевременно производить его ремонт.

Дорога, как инженерное сооружение имеет довольно сложную структуру, состоит из нескольких слоёв (количество которых может варьироваться). Задача дороги – воспринимать нагрузку от проезжающих автомобилей и передавать её на грунт. Эту нагрузку, в первую очередь, принимает на себя именно верхний слой – так называемое дорожное покрытие (дорожная одежда). Наиболее распространённые сегодня виды дорожного покрытия – асфальтобетонное и цементобетонные. В первом случае связующим веществом служит битум, во втором – цемент [1]. В России подавляющее большинство дорог (более 97%) выполнено с асфальтобетонным покрытием.

В настоящее время степень изношенности дорожного покрытия измеряют несколькими способами:

- перед строительством дороги происходит расчет её ресурса, в зависимости от предполагаемого трафика, климатических условий, на основании этих данных можно предположить в какое время потребуется капитальный ремонт. Такой способ не является точным, кроме того, не позволяет выявить участки, где необходимо устранить незначительные дефекты.

- Закладывания реперов в толщу асфальта или бетона, такие метки (флажки) изготавливаются из мягкого материала (известняка). Этот метод является более точным, однако требует установки множества меток, и последующее периодическое их измерение. К достоинствам такого способа следует отнести возможность выявлять участки, где требуется местный ремонт или восстановление покрытия [2].

- Контроль потока автомобилей на основе данных систем глобального позиционирования. Такой способ позволяет учитывать количество автомобилей, проезжающих по определённому участку дороги, определять их скорость и на основе этих данных вычислять нагрузку на дорожное полотно. Данные о скорости движения автомобилей позволяют локализовать различные дефекты асфальта (например, водителям приходится объезжать выбоины, вследствие чего средняя скорость автомобилей уменьшается). Единственный недостаток данного метода – требуется собирать и обрабатывать большие объёмы данных с использованием специальных алгоритмов [3].

- Использование комплексов приборов, устанавливаемых на участках дорог. Такой метод позволяет получать данные о скорости автомобилей, их массе, количестве транспортных средств и быстро вносить коррективы в модель износа дорожного полотна на конкретном участке [4].

Подробнее следует рассмотреть последний способ мониторинга, проанализировать проблемы, которые возникают при применении такого подхода. Необходимо отметить, что данный метод является наиболее затратным с точки зрения подготовки и обслуживания. Требуется установка аппаратных комплексов на участках дорог, обеспечивать их электроэнергией и с определённой периодичностью производить их обслуживание и ремонт. Однако, такая система позволяет получать наиболее объективную и точную информацию о транспортном потоке и о нагрузке, которую оказывают автомобили на дорожное покрытие.

Для решения задач определения трафика отлично справляются камеры и различные бесконтактные датчики, для определения веса автомобилей применяются специализированные автомобильные весы, которые существуют двух видов: одновременного и последовательного поосного взвешивания. В первом случае автомобиль заезжает всеми колёсами на специальную платформу (или ряд платформ), в этот момент происходит фиксирование его массы. Итоговое значение будет определяться суммой показаний, полученных каждой платформы. В случае

последовательного взвешивания используется всего одна платформа с весами, которая одновременно может измерять показатели только для одной оси автомобиля. В процессе его движения колёса на каждой из осей по очереди наезжают на платформу и происходит фиксация результата. Однако, итоговая масса автомобиля не может определяться суммированием показаний каждой оси. Это связано с конструкцией подвески транспортного средства: в процессе разгона, торможения, поворотов, наезда на препятствия, специальные элементы подвески (реактивные тяги) перераспределяют нагрузку на колёса [5]. Особенно сильно это заметно при определении массы автомобилей с тремя (и более) осями. В результате, после взвешивания передней оси, нагрузка может перераспределиться и исказить результаты взвешивания задних осей.

Необходимо отметить, что оборудование для последовательного взвешивания имеет гораздо меньшую стоимость, чем для одновременного, обладает большими габаритами.

С помощью таких весов имеется возможность определять количество автомобилей, проезжающих по участку дороги, что позволяет отказаться от камер видеонаблюдения и прочих датчиков, значительно упростить инфраструктуру объекта.

Для изучения методов измерения скорости и массы автомобилей с применением встроенных в дорожное покрытие тензодатчиков, был разработан и сконструирован миниатюрный стенд (рис. 1).



Рис. 1. Стенд для изучения методов измерения скорости и массы автомобилей на дорогах
Fig. 1. Stand for learning how to measure the speed and mass of cars on roads

Основным элементом стенда является модель дорожного полотна (выполненная из органического стекла), которая состоит из трёх секций (рис. 2).

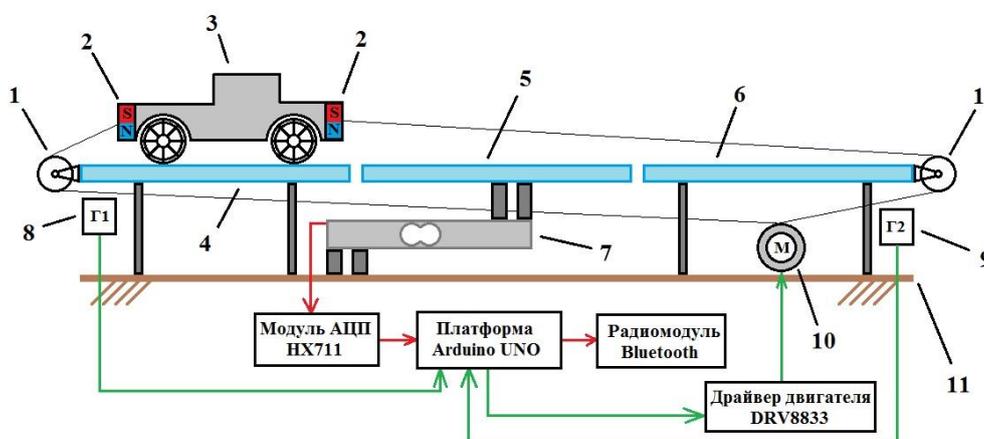


Рис. 2. Структурная схема стенда для изучения методов измерения скорости и массы автомобилей на дорогах

Fig. 2. Structural schematic of the stand for the study of methods of measuring the speed and mass of cars on the roads

Секции 4 и 6 прочно связаны с основанием (11) стенда и имитируют стандартные участки дорог. Центральная секция (5) прикреплена к тензодатчику (7), который также связан с основанием. В случае, если на центральной секции появляется дополнительная масса, усилие передаётся на тензодатчик, который регистрирует это изменение. В качестве чувствительного элемента датчика выступают тензорезисторы (полупроводниковые резисторы, сопротивление которых зависит от деформации), включённые по мостовой схеме (мост Уитстона). Поскольку изменение сопротивления тензорезистора очень мало (составляет десятые доли ома), следовательно мало и изменение напряжения на выходе моста, составляет порядка нескольких десятков микровольт. Для регистрации столь малых изменений напряжения используется модуль 24-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на микросхеме НХ711. Эта микросхема специально разработана для использования совместно с мостовыми тензодатчиками, имеет встроенный программируемый усилитель, полосовой фильтр с частотой среза 50Гц и цифровой интерфейс (аналогичен I2C) для связи с микроконтроллером [6].

В качестве системы сбора и обработки данных используется аппаратная платформа ArduinoUNOR3 на базе микроконтроллера ATmega328p, работающего на частоте 16МГц. Применение данной платформы обусловлено наличием на ней всей необходимых элементов, обеспечивающих работу стенда (стабилизатор напряжения, преобразователь USB-UART, кварцевый резонатор для микроконтроллера). Информация с модуля АЦП считывается микроконтроллером отправляется на персональный компьютер (ПК) при помощи радиомодуля Bluetooth. Считывание и отправка данных осуществляется с частотой 60Гц, основное ограничение на количество измерений в секунду накладывает скорость сбора и обработки данных модулем АЦП, ввиду того что он разрабатывался для использования в бытовых электронных весах, где низкая скорость работы вполне приемлема.

Для имитации непрерывного потока машин на дороге использовалась модель автомобиля (3), размер которой подбирался таким образом, чтобы её колёсная база полностью помещалась на каждой секции дороги. Для перемещения автомобиля по макету дороги использовался мотор-редуктор (10) на выходном валу которого крепился блок, на котором в несколько витков наматывалась швейная нить, получался аналог «канатной дороги» для автомобиля. Для контроля начальной и конечной точки движения использовались концевые выключатели (8,9) на основе герметичных контактов (герконов), которые замыкались магнитами (2), расположенными на модели машины. Управление движением автомобиля также осуществлялась при помощи микроконтроллера, при этом имелась возможность варьировать скорость движения.

Информация, поступавшая на ПК, не проходила никакой первичной обработки, потому даже когда на центральную секцию дороги не оказывалось никакого воздействия происходило изменение показаний (незначительной амплитуды) - высокочастотная помеха, вызванная разного рода наводками. Для борьбы с этим шумом применялся фильтр скользящего среднего [7]:

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(n-i), \quad (1)$$

где $y(n)$ – выходное значение фильтра, $x(n)$ – входное значение фильтра, N – количество точек, по которым производится усреднение.

Выбор окна фильтра осуществлялся экспериментально, наиболее оптимальное соотношение степени усреднения и быстродействия оказалось равным 15. После фильтрации график зависимости массы, оказывающей воздействие на центральную секцию, от времени имеет вид, представленный на рисунке 3.



Рис.3. График зависимости давления на секцию модели дороги от времени
Fig. 3. The pressure on the section of the road to time ratio model

На графике представлен полный цикл движения автомобиля по дороге, от начальной точки до конечной (от 0 до линии А) и обратно (от линии А до линии В). При этом участки, где график функции совпадает с осью абсцисс, соответствуют моментам, когда машина съехала с центральной секции.

Если подробнее рассмотреть движение автомобиля в прямом направлении (рис. 4), то можно увидеть, что наезд на секцию происходит в несколько этапов, которые можно легко фрагментировать и анализировать.

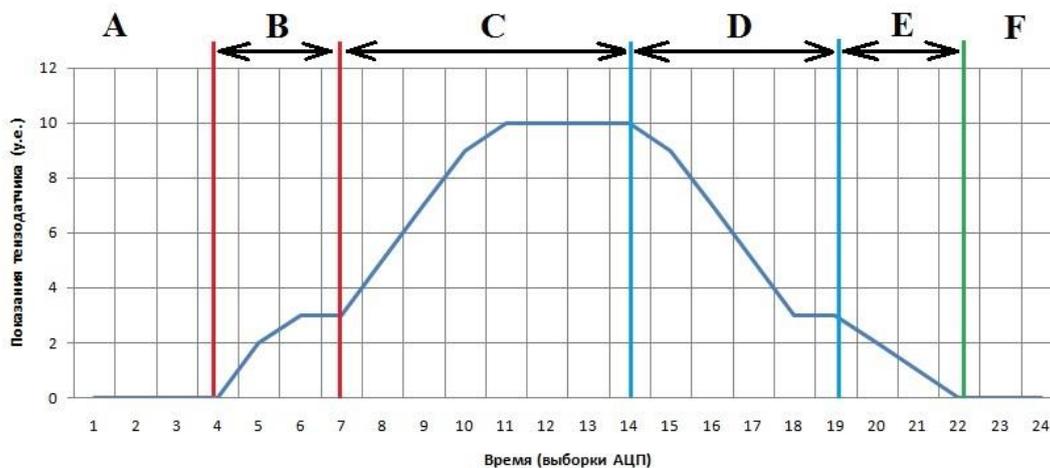


Рис.4. График зависимости давления на секцию модели дороги от времени для движения автомобиля в прямом направлении

Fig.4. The schedule of pressure dependence on the section of the road model from time to time for driving in a direct direction

Участок А соответствует состоянию, когда автомобиль только приближается к чувствительной секции дороги. Участок В начинается, когда передняя ось автомобиля начинает оказывать давление на тензодатчик и заканчивается, когда такое же воздействие начинает оказывать задняя ось. При этом необходимо обратить внимание, что этот участок состоит из зоны возрастания функции и «плоской» зоны. Первая возникает из-за того, что колёса автомобиля не могут мгновенно переместить его вес с одной секции дороги на другую, т.е. возникает ситуация, когда он поровну распределён между крайней и средней секцией дороги. Чем больше скорость движения автомобиля, тем более трудно становится уловить этот переход. Кроме того, значительное влияние оказывает быстродействие АЦП и скорость работы фильтра (вносит наиболее значительную составляющую в кривизну зоны возрастания). Зона, параллельная оси

абсцисс соответствует завершению всех переходных процессов, передние колёса движется по участку дороги и оказывают измеримое воздействие.

Участок С начинается, когда задняя ось автомобиля начинает оказывать давление на тензодатчик и заканчивается в тот момент, когда передние колёса начинают съезжать со средней секции дороги. Зона возрастания соответствует аналогичным, описанным выше, переходным процессам (инертностью механики, АЦП и фильтра). «Плоский» участок означает, что автомобиль всеми четырьмя колёсами опирается на платформу и в этот момент имеется возможность с высокой степенью точности измерить его вес.

Участок D – период, в течение которого передние колёса съезжают с чувствительной секции дороги. На участке E таким же образом действуют и задние колёса. Зона убывания нагрузки формируется по вышеописанным причинам. Кроме того, необходимо обратить внимание, что «плоская» зона на участках В и D может находиться на разной высоте (рис. 3), это объясняется тем, что распределение массы между осями может быть неравномерным.

Поскольку график функции движения машины по платформе с датчиком имеет ярко выраженную зону возрастания и зону убывания, которые в общем случае не содержат локальных экстремумов, то анализируя поток входящих данных с такого участка дороги не сложно подсчитать количество автомобилей, которые проехали по нему за определённое количество времени. При этом, масса автомобиля и количество его осей не имеет никакого значения. Зная количество транспортных средств,двигающихся по участку дороги, и их массу можно вывести интегральную характеристику (в сочетании с другими факторами), описывающую процесс износа дорожного покрытия.

Таким образом, можно сделать вывод, что метод измерения нагрузки на дорожное покрытие при помощи стационарного комплекса датчиков, встроенных в дорожное покрытие (или участок дороги) является работоспособной альтернативой другим методам. В тоже время, использование его в сочетании с системами глобального позиционирования (определяют транспортный поток) позволяет повысить точность измерения текущей нагрузки на участки дороги, а также осуществить прогноз дальнейшего износа дорожного покрытия, что в свою очередь позволит проводить точечный ремонт, стоимость которого значительно меньше капитального. Использование систем беспроводной связи, а также альтернативной энергетики даёт возможность размещать такие комплексы практически на любых дорогах России.

Список литературы

1. Варенько В.А., Занкович В.В., Макаревич А.А. Влияние параметров транспортной нагрузки на развитие деформации дорожных покрытий. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/> - Дата обращения: 1.04.2019.
2. Под ред. Васильева А.П. Справочник. Справочная энциклопедия дорожника. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/> – Дата обращения: 3.04.2019.
3. Замеры интенсивности транспортных потоков. Официальный сайт компании ПРОМТЕРРА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prom-terra.ru/articles/> – Дата обращения: 2.04.2019.
4. Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Интеллектуальное облако управления движением, Радиоэлектроника и информатика 2013. Электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/> – Дата обращения: 1.04.2019.
5. Метрологические особенности поосного взвешивания автомобилей. Официальный сайт компании ТЕНЗОМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tenso-m.ru/publications/390/> – Дата обращения: 1.04.2019.
6. Техническая документация на модуль АЦП НХ711 (AviaSemiconductor).
7. Фильтр скользящего среднего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electrono.ru/> – Дата обращения: 2.04.2019.

References

1. Varenko V.A., Zankovich V.V., Makarevich A.A. Influence of transport load parameters on the development of pavement deformation. Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University. Electronic library [Electronic resource]. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/> – Date of access: 1.04.2019.
2. Ed. Vasilieva A.P. Directory. Reference encyclopedia of the road builder. Repair and maintenance of roads [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.gosthelp.ru/text/> – Date of access: 3.04.2019.
3. Measurements of the intensity of traffic flows. The official website of the company PROMTERRA [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.prom-terra.ru/articles/> – Date of access: 2.04.2019.
4. Khakhanov V.I., Litvinova E.I. Intelligent Cloud Motion Control, Electronics and Informatics 2013. Digital Library [Electronic Resource]. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/> – Date of access: 1.04.2019.
5. Metrological features of car axle weighting. Official site of the company TENZOM [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.tenso-m.ru/publications/390/> – Date of access: 1.04.2019.
6. Technical documentation for the X711 ADC module (AviaSemiconductor).
7. Moving average filter [Electronic resource]. – Access mode: <http://electrono.ru/> – Date of access: 2.04.2019.

Бражников Артём Максимович, студент магистратуры Самарского государственного технического университета
Бражникова Александра Максимовна, студент магистратуры Самарского государственного технического университета
Забержинский Борислав Эдуардович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий

Brazhnikov Artem Maximovich, Graduate student of Samara State Technical University
Brazhnikova Aleksandra Maximovna, Graduate student of Samara State Technical University
Zaberzhinsky Borislav Eduardovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology

УДК 004

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-8

Гончаренко Ю.Ю.
Кушнарев А.А.
Лагуткина Т.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ УСИЛЕННЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЕРВИСОВ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, д. 33, г. Севастополь, 299053, Россия

e-mail: iuliay1985@mail.ru, sahsa14.95@yandex.ru, lagutkina.tatiana@mail.ru

Аннотация

Многие фирмы и корпорации обеспокоены защитой персональных данных своих сотрудников или родственников. Потеря такой информации может повлечь финансовые проблемы или проблемы с клиентами. Однако проблемы защиты данных несовершеннолетних, волнуют немногих. Сейчас ограничивают возможность регистрации на игровых платформах для не достигших 14 или 18 лет, киносервисах, различных форумах, социальных сетях, но при этом при регистрации на образовательных платформах персональные данные могут быть обязательными для заполнения, и не защищенными от посторонних. Объем персональных данных, обрабатываемый одним государственным бюджетным учреждением, охватывает личные контактные данные минимум 700-800 учащихся, и для каждого из них одного или двух законных представителей. То есть получив доступ к одной из цифровых платформ для обучения или родительского контроля успеваемости (Дневник.ру), можно получить огромную базу данных контактов несовершеннолетних и их законных представителей для различных целей, самыми безобидными из которых является спам или реклама.

Ключевые слова: информация безопасность; персональные данные; образование; интернет; несовершеннолетние.

UDC 004

Goncharenko J.J.
Kushnaryov A.A.
Lagutkina T.V.

THE USE OF MANDATORY METHODS OF ENHANCED SOFTWARE PROTECTION IN DIGITAL EDUCATION SERVICES

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia

e-mail: iuliay1985@mail.ru, sahsa14.95@yandex.ru, lagutkina.tatiana@mail.ru

Abstract

Many firms and corporations are concerned about the protection of the personal data of their employees or relatives. Loss of such information may result in financial or customer problems. However, few are concerned about data protection issues for minors. Now they limit the possibility of registration on gaming platforms for those under the age of 14 or 18, cinema services, various forums, social networks, but at the same time, when registering on educational platforms, personal data can be required and not protected from strangers. The amount of personal data processed by one state budget institution covers personal contact information of at least 700-800 students, and for each of them one or two legal representatives. That is, by gaining access to one of the digital platforms for learning or parental performance monitoring (diary.ru), you can get a huge database of contacts of minors and their legal representatives for various purposes, the most harmless of which is spam or advertising.

Keywords: information; security; personal data; education; Internet; minors.

ВВЕДЕНИЕ

Персональные данные являются тем видом информации, утечка которых может привести к проблемам различного характера, при этом в большинстве случаев, очень сложно предугадать утечка какой именно информации повлечет за собой те или иные последствия [1]. Многие пользователи сети интернет не задумываясь пользуются различными сервисами, требующие при регистрации общие данные (фамилию, имя, отчество, фото, род занятий, номер телефона и т.д.), что приводит к нежелательным звонкам (реклама), увеличенному спаму на электронную почту и иное воздействие. Однако если ошибку совершил совершеннолетний гражданин, то восстановить документы, изменить номер телефона, почту, обратиться в суд он может без посторонней помощи, то при возникновении таких проблем у несовершеннолетних граждан, таким образом выйти из сложившейся ситуации не получится [2].

Целью работы является доказательство необходимости использования усиленных средств программной защиты при авторизации пользователя и обезличивания информации несовершеннолетних в процессе использования различных сервисов цифрового образования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сегодня многие образовательные учреждения используют сервисы сети интернет для выдачи домашнего задания, публикации новостей, информирования родителей и законных представителей об успеваемости, но немногие сервисы обладают нужной защитой, доступ к той или иной платформе возможен только при использовании стандартного логина и пароля, что не предполагает защиту сведений содержащихся на том или ином аккаунте [3].

Утечка таких данных, как имя и фамилия, номер телефона, почта, ребенка и родителя может вызвать различные последствия, такие как звонки с угрозами, вымогательство, шантаж или иные преступные деяния.

Государственные системы, такие как автоматизированная информационная система «Зачисление», «Контингент», «Комплектование», «ЕГИССО», подразумевают подконтрольный вход в систему. В «ЕГИССО» можно получить доступ имея аккаунт руководителя государственного учреждения, а внести изменения или загрузить новые данные только имея электронно-цифровую подпись. В другие системы доступ разрешен с подготовленных и лицензируемых ФСБ персональных компьютеров, расположенных в пределах учреждения, с настроенными на них антивирусом и DLP-системой [5].

Однако, для более используемых гражданами сервисами таких требований нет, что может привести к утечке, потере, подмене информации конфиденциального характера.

Сервис «Дневник.ру» не предусматривает в своей конфигурации выбор двухфакторной авторизации (рисунок), при этом при первом входе на данный сайт нужно заполнить форму электронной почты, номера телефона, предполагает вставку фотографии, реальной даты рождения, в некоторых случаях можно заполнить поле для СНИЛСа.

The screenshot shows the 'Безопасность' (Security) tab of a user profile on 'Dnevnik.ru'. It includes sections for 'Восстановление доступа' (Recovery) and 'Подтверждение изменений' (Confirm changes). The recovery section has fields for a mobile phone number, an email address (with a confirmation message), a security question, and an answer. The confirmation section has a field for the current password. A 'Сохранить' (Save) button is located at the bottom left.

Рис. «Безопасность» профиля «Дневник.ру»
Fig. "Security" profile "Dnevnik.ru"

Если утекут данные одного-пяти пользователей образовательной организации, то решить проблему восстановления доступа и усилить пароль учащиеся смогут при помощи родителей или администрации учреждения, но если ошибку в своей работе допустит пользователь с правами Администратора, то персональные данные всех пользователей, которые заполнили формы реальными данными, будут под угрозой.

Такие платформы как «Якласс» и «Московская электронная школа» обладают более серьезной защитой.

ЯКласс – образовательная онлайн-программа для преподавателей, учеников и их родителей. Она позволяет быстро подготовиться к экзаменам и контрольным благодаря доступу к более чем 6 миллионам заданий по основным предметам средней школы. Ресурс автоматически генерирует уникальные задачи в соответствии с запросами клиента [4].

Сервис позволяет учителям создавать и проводить тесты в электронном виде, задавать домашние задания и делать процесс обучения максимально интересным и разнообразным. Ученики могут использовать систему как тренажёр для повышения знаний во всех необходимых областях, а их родители получают возможность дополнительной мотивации детей без необходимости нанимать репетитора. Разработчики указывают, что в среднем использование ресурса повышает показатель успеваемости школьников на 15%, а учителя экономят около 30% рабочего времени.

На сайте предложена обширная база бесплатных предметов, в том числе: русский язык, алгебра, геометрия и математика, физика, информатика, английский, биология, география, природоведение, химия и раздел подготовки к ЕГЭ. Учителям доступны автоматическая проверка домашних и контрольных заданий, геймификация уроков и сертификация компетенции по ИКТ. Родители могут использовать подписку «Я+», в которой отключена реклама на сайте, а также подробно написаны шаги решения задач. Также доступна статистика ребёнка в онлайн-режиме,

можно просмотреть количество сделанных заданий и общее время, которое дети провели в системе. Раздел «Переменка» содержит шуточные тесты, задачи на смекалку, логику и «вопросы замечательных людей». Кроме того, ресурс предлагает список школ с рейтингом по регионам, населённым пунктам и странам [5].

При пользовании платформой «Якласс» можно включить авторизацию, доступную при входе на почтовый сервис «Яндекс», то есть подтверждение пользователя со смартфона, ввод кода, присланного по смс или считывание QR-кода. Однако данные функции не являются обязательными, получить доступ от незащищенного аккаунта можно с помощью простого логина и пароля. А также само использование некоторых функций данной платформы является платной услугой, что ограничит использование таких функций [6].

«Московская электронная школа» является самой ограниченной по использованию платформой сетевого образования, так как доступ ко всем функциям имеют только учащиеся, педагоги и родители, имеющие отношение к московским школам. Пользователи других регионов получают доступ только к библиотеке уроков и презентаций. Доступ к платформе возможен при авторизации через почтовые сервисы, сервис «Госуслуги» и электронно-цифровую подпись. Однако данные виды доступа являются дополнительными и при получении логина и пароля пользователя остальные методы авторизации не нужны.

Основная проблема безопасности данных систем состоит в том, что подключение к этой системе в большинстве случаев, является обязательным, а также обязательным является размещение персональных данных учащихся и их законных представителей. При этом часть информации публикуется без ведома владельцев информации (это является обработкой персональных данных, согласие на которое подписывается каждым учащимся в образовательном учреждении или его законным представителем). Некоторые дополнительные данные вводят сами пользователи (для возможности восстановления доступа, для удобного использования дополнительных опций). Так, на «Дневник.ру» оформлен целый раздел, похожий на социальную сеть, где учитель или руководство школы могут публиковать новости. И дети не контролируют объем информации, который они там могут оставить, и не знают, как это может отразиться в будущем.

При этом хранение самой информации на сервере сервиса, так же необходимо настроить должным образом. Такие данные необходимо обезличивать или разделять, для того чтобы при получении доступа к серверу, нельзя было определить принадлежность данных к определенному лицу [7].

Обезличивание данных возможно несколькими способами. Можно сформировать набор персональных данных недостаточным или избыточным – убрать часть данных или добавить лишние, но убранное нельзя уничтожить – нужно его поместить в другое место, которое не будет доступно одновременно (ни на каком рабочем месте) с оставшимся набором данных. Если же информация добавлена, то в недоступное место должна быть спрятана информация об этой разнице.

В стандарте NIST SP 800-122 этот способ указан, как «разделение баз данных с использованием перекрестных ссылок». Такое разделение используется повсеместно при работе с любыми базами данных, но там не стоит задача обезличивания, поэтому базы хоть и разделены в разные хранилища, но имеют логическую связь и потому обрабатываются одновременно.

При разделении данных радикально – в одну базу выделяются все идентифицирующие реквизиты (ФИО, дата и место рождения, адрес и телефон, паспорт и т.п.) – это будет справочник физических лиц (по классификации – 3-й класс), в другой базе будет все остальное (обезличенные ПД – 4-й класс). При этом обезличенная база будет общедоступной (в т.ч. через Интернет), а база-справочник должна быть защищена от несанкционированного доступа. Утечка информации произойдет, только если злоумышленник получит базу-справочник и сможет состыковать ее с обезличенной базой. Необходимо эту возможность исключить. Но такая же стыковка нужна оператору ИСПДн для обработки ПД.

Стыковка (сопоставление) этих баз для реализации обратимости должна производиться по некому коду (идентификатору) – уникальному, но абсолютно абстрактному (нельзя использовать номера документов человека – эти реквизиты будут в справочнике). Суть стыковки состоит в сравнении идентификатора из одной базы с идентификатором другой базы – когда они одинаковы, значит, информация двух баз состыкована. Если сравнение производится на рабочем месте справочной ИСПДн, то здесь обезличенная база может быть доступна (доступность будет односторонняя, и при этом класс ИСПДн будет выше 3-го), но если сравнение производится на рабочем месте обезличенной ИСПДн, то база-справочник на этом месте недоступна, и в этом случае идентификатор из справочника может попасть в обезличенную базу только через внешний носитель. При этом внешний носитель не должен иметь реальных реквизитов того человека, код которого в нем записан. Хотя может иметь абстрактные признаки (цвет, рисунок и т.п.).

Для того, чтобы человека можно было обслуживать в рамках обезличенной базы, он должен каждый раз предъявлять этот самый внешний носитель, т.е. постоянно носить его с собой. При этом внешний носитель может иметь любую природу (бумажный, пластиковый, металлический), а абстрактные признаки носителя будут понятны только хозяину и позволят легко отличить свой носитель от чужих [8].

Таким образом, необходимо ввести обязательный модуль аутентификации, при использовании платформ, которыми пользуются несовершеннолетние граждане, так как их персональные данные не защищены должным образом. Утечка таких данных может повлечь за собой последствия для ребенка, его законных представителей, образовательного учреждения (юридическое лицо, штрафы за утечку информации в несколько раз выше, чем для гражданского лица). Предложенный способ разделения баз персональных данных позволяет обезличивать хранимую информацию с целью усиления ее безопасности.

Список литературы

1. Обработка и защита персональных данных: инструкция для владельцев сайтов URL: <https://www.uplab.ru/blog/processing-and-protection-of-personal-data/> (дата обращения: 15.01.2020).
2. Персональные данные несовершеннолетних URL: <https://nskdeti.nso.ru/page/1122> (дата обращения: 15.01.2020).
3. Правовая консультация: как защитить персональные данные ребенка и кто несет за это ответственность URL: <https://nskdeti.nso.ru/news/1120> (дата обращения: 20.01.2020).
4. Обзор ЯКласс URL: <https://coba.tools/yaklass> (дата обращения: 25.01.2020).
5. Никто (почти) не знает, что такое авторизация URL: <https://habr.com/ru/company/avanpost/blog/480576/> (дата обращения: 25.01.2020).
6. Введите пароль: обзор форм авторизации и альтернативных способов идентификации пользователей URL: <https://vc.ru/flood/17468-authentication-state> (дата обращения: 02.02.2020).
7. Двухэтапная аутентификация при использовании интернет-сервисов URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/bezmaly/345514.php> (дата обращения: 02.02.2020).
8. Обезличивание персональных данных URL: <http://www.schel.ru/personalnye-dannye/obezlichivanie-personalnykh-dannykh> (дата обращения: 04.02.2020).

References

1. Processing and protection of personal data: instructions for site owners URL: <https://www.uplab.ru/blog/processing-and-protection-of-personal-data/>
2. Personal data of minors URL: <https://nskdeti.nso.ru/page/1122>
3. Legal advice: how to protect the personal data of the child and who is responsible for it URL:
4. Review YaKlass URL: <https://coba.tools/yaklass>
5. No one (almost) knows what authorization is URL: <https://habr.com/en/company/avanpost/blog/480576/>
6. Enter your password: an overview of authorization forms and alternative methods of user identification URL: <https://vc.ru/flood/17468-authentication-state>
7. Two-step authentication when using the Internet services URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/bezmaly/345514.php>

8. Depersonalization of personal data URL: <http://www.sbchel.ru/personalnye-dannye/obezlichivanie-personalnykh-dannykh>

Гончаренко Юлия Юрьевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационная безопасность»

Кушнарев Александр Александрович, студент второго курса магистратуры кафедры «Информационная безопасность»

Лагуткина Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры «Информационные системы»

Goncharenko Julia Yurievna, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Information security"

Kushnaryov Aleksandr Alexandrovich, Second-Year Master's Student of the Department "Information security"

Lagutkina Tatiana Vladimirovna, Senior Lecturer of the Department "Information systems»