

ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

6(1) 2021

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 6, № 1. 2021

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 6, № 1. 2021

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.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Жихарев А.Г.**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, кандидат технических наук, доцент 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)

Корсунев 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, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Zhikharev A.G.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, 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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Ушаков Д.И., Камышникова Л.А., Алейников А.Ю., Павлова Ю.С., Рачинский С.А., Худасова О.Г. Аппаратно-программные технологии в реабилитации постинсультных больных	3	Ushakov D.I., Kamyshnikova L.A., Aleinikov A.Yu., Pavlova Yu.S., Rachinsky S.A., Khudasova O.G. Hardware and software technologies in rehabilitation of post-stroke patients	3
Дьяченко А.В., Подольский Д.А. Реализация алгоритма детектирования активности речи при проведении паралингвистического	13	Diachenko A.V., Podolsky D.A. Implementation of the speech activity detecting algorithm at conducting paralinguistic analysis	13
Васильев Р.А. Применение метода идентификации по голосу, адаптированного к тихому произнесению парольных фраз для противодействия утечки речевой информации	20	Vasiliev R.A. Application of the voice identification method adapted to the quiet presence of password phrases to counter the leakage of speech information	20
Мигаль Л.В., Бондарев В.Г., Бондарева Т.П. Компьютерное моделирование параметров электронной оболочки атома	30	Migal L.V., Bondarev V.G., Bondareva T.P. Computer modeling of parameters of the electronic shell of the atom	30
Наумов Р.К., Железков Н.Э. Сравнительный анализ форматов хранения текстовых данных для дальнейшей обработки методами машинного обучения	40	Naumov R.K., Zhelezkov N.E. Comparative analysis of text data storage formats for further processing by methods of machine learning	40
Нестеренко В.Р., Маслова М.А. Современные вызовы и угрозы информационной безопасности публичных облачных решений и способы работы с ними	48	Nesterenko R.V., Maslova M.A. Modern challenges and threats information security public cloud making and methods of work with them	48

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Самигулин Т.Р., Джурабаев А.Э.У. Анализ тональности текста методами машинного обучения	55	Samigulin T.R., Djurabaev A.E.U. Sentiment analysis of text by machine learning methods	55
---	-----------	--	-----------

CONTENTS

INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 004.588:625.03:616-009.1

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-1

Ушаков Д.И.
Камышникова Л.А.
Алейников А.Ю.
Павлова Ю.С.
Рачинский С.А.
Худасова О.Г.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСТИНСУЛЬТНЫХ БОЛЬНЫХ

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

e-mail: ushakov_d@bsu.edu.ru, kamyshnikova@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru, pavlova_yus@bsu.edu.ru,
rachinskiy@bsu.edu.ru hudasova_og@bsu.edu.ru

Аннотация

Использование аппаратно-программных технологий в медицине получила значительное развитие за последние два десятилетия благодаря таким достижениям, как экзоскелет и биоинженерия. Одним из методов восстановления функции верхних конечностей постинсультных пациентов является двигательная реабилитация при помощи роботизированных устройств, которые стали существенным дополнением к традиционной постинсультной реабилитации. В данном обзоре мы проанализировали современную литературу, посвященную аппаратно-программным комплексам с учетом их конструктивных особенностей для реабилитации верхних конечностей, чтобы в дальнейшем помочь разработчикам сделать верный выбор среди аппаратных компонентов и способствовать разработке и усовершенствованию робототехники для реабилитации рук у пациентов, перенесших инсульт. По нашему мнению, роботизированная реабилитация является одним из самых перспективных направлений реабилитации.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, экзоскелет, роботизированные устройства, реабилитация, инсульт.

Для цитирования: Ушаков Д.И., Камышникова Л.А., Алейников А.Ю., Павлова Ю.С., Рачинский С.А., Худасова О.Г. Аппаратно-программные технологии в реабилитации постинсультных больных // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 3-12. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-1

Ushakov D.I.
Kamyshnikova L.A.
Aleinikov A.Yu.
Pavlova Yu.S.
Rachinsky S.A.
Khudasova O.G.

HARDWARE AND SOFTWARE TECHNOLOGIES IN REHABILITATION OF POST-STROKE PATIENTS

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

e-mail: ushakov_d@bsu.edu.ru, kamyshnikova@bsu.edu.ru, aleinikov@bsu.edu.ru, pavlova_yus@bsu.edu.ru,
rachinskiy@bsu.edu.ru hudasova_og@bsu.edu.ru

Abstract

The use of hardware and software technologies in medicine has developed significantly over the past two decades thanks to such advances as the exoskeleton and bioengineering. One of the

methods for restoring the function of the upper extremities of post-stroke patients is motor rehabilitation with the help of robotic devices, which have become an essential addition to the traditional post-stroke rehabilitation. In this review, we examined the modern literature on hardware and software systems, taking into account their design features for upper limb rehabilitation, in order to further help developers make the right choice among hardware components and contribute to the development and improvement of robotics for hand rehabilitation in patients with stroke. In our opinion, robotic rehabilitation is one of the most promising areas of rehabilitation.

Keywords: hardware and software complex, exoskeleton, robotic devices, rehabilitation, stroke.

For citation: Ushakov D.I., Kamyshnikova L.A., Aleinikov A.Yu., Pavlova Yu.S., Rachinsky S.A., Khudasova O.G. Hardware and software technologies in rehabilitation of post-stroke patients // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 3-12. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-1

ВВЕДЕНИЕ

Аппаратно-программные технологии все чаще используются в медицине. Инсульт может привести к смерти или серьезному повреждению нервной системы и является основным фактором инвалидности [1]. Нарушение двигательных функций конечностей в значительной степени влияет на самообслуживание и качество жизни пациентов, что обеспечивает необходимость принятия всевозможных мер для восстановления моторики поврежденной конечности. Роботизированная терапия получила значительное развитие за последние два десятилетия благодаря достижениям в технологиях биомеханики и мехатроники, таких как экзоскелет и биоинженерия [2, 3, 15, 25]. Например, экзоскелет руки сконструированный А. Веге может технично и многократно двигать пальцами пациента, сопоставимо с действием врача, проводящего реабилитацию [23]. Кроме того, некоторыми роботами можно управлять с помощью собственного намерения пациента, извлеченного из биосигналов: сигналы электромиографии (ЭМГ) и электроэнцефалографии (ЭЭГ), что позволяет сформировать систему реабилитации с помощью роботизированных устройств [5]. Существующие обзоры робототехнических систем и аппаратно-программных комплексов для реабилитации рук при восстановлении моторики после инсульта не в полной мере информативны, для большинства исследований по применению роботизированной терапии. Аппаратная система в совокупности с программным обеспечением составляет основу функций специализированных робототехнических комплексов, однако полное понимание конструктивных особенностей способствует правильному выбору среди аппаратных компонентов и как следствие разработке и усовершенствованию робототехнических систем и аппаратно-программных комплексов для реабилитации рук у пациентов, перенесших инсульт.

Цель: провести анализ литературных источников по аппаратно-программным комплексам с учетом их конструктивных особенностей в реабилитации верхних конечностей у постинсультных больных, чтобы в дальнейшем помочь разработчикам сделать верный выбор среди аппаратных компонентов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

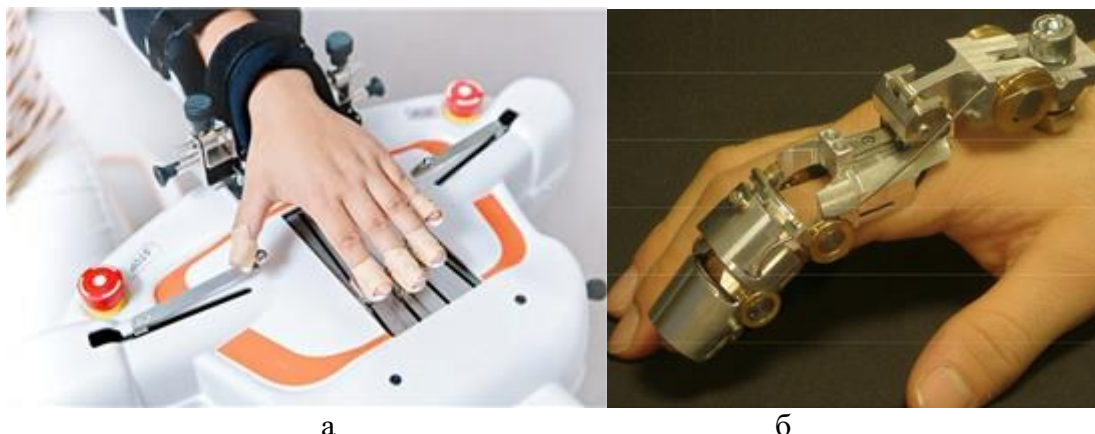
Аппаратная система в своем составе полностью определяет возможные типы движения, которые механическая часть может реализовывать с участием пациента, а также возможные сигналы, которые могут регистрироваться данной системой при взаимодействии с пациентом. Аппаратные системы как правило можно классифицировать по механической классификации: типы роботов, виды привода, типы соединений и виды датчиков (рис. 1).



Рис. 1. Механическая классификация роботов для реабилитации рук
Fig. 1. Mechanical classification of robots for hand rehabilitation

Типы роботов

Существующие роботы для реабилитации рук можно разделить на два основных типа в зависимости от расположения устройства и пользователя: концевой эффектор (находится вне тела пациента (рис.2а)) и экзоскелет (одевается на руку (рис. 2б)).



а б
Рис. 2. Примеры различных типов роботов
Fig. 2. Examples of different types of robots

Концевой эффектор, находясь вне тела пациента, обеспечивает необходимое усилие на конце конечности пользователя, чтобы помочь или противостоять движению. Например, в роботизированной системе AMADEO (рис. 1а), после застегивания аппарат поддерживает кончики пальцев и можно выполнять сгибающие и растягивающие движения с помощью ползунка [16]. HandCARE – это еще один концевой эффектор, разработанный L. Dovat и др., в котором каждый палец прикреплен к инструментальной петле троса, позволяющей контролировать силу и линейное смещение [9]. Концевой эффектор обеспечивает силу без учета движений отдельных суставов пальцев пациента, что приводит к таким недостаткам, как ограниченный диапазон движений и проблемы с появлением мертвой точки. Кроме того, конечный эффектор не является мобильным из-за того, что он находится вне человеческого тела и имеет большой вес, что ограничивает его практическое использование вне медицинских учреждений.

В экзоскелете суставы и звенья робота имеют прямое соответствие с суставами руки человека. Робот для реабилитации рук разработанный X.L. Hu, имеет 2 степени свободы для каждого пальца [10]. А. Chiri с командой разработал экзоскелет HANDEXOS, который имеет малые габариты и легкий вес (рис. 2б) [8]. Такая портативность экзоскелета дает ему преимущество при постинсультной реабилитации, особенно для пациентов в более поздний период, когда они могут тренироваться дома [7]. В данной конструкции есть сложности, такие как оси роботов, которые должны быть выровнены с анатомическими осями руки. Разработка роботов

с мягким основанием решает проблему функциональной степени свободы и способствует широкому применению экзоскелета [17]. Команда Н. In спроектировали свои решения без сложных соединительных элементов. Они обладают сравнительно небольшим весом [11]. Сейчас роботы-экзоскелеты стали трендом в реабилитации рук после инсульта.

Виды приводов

Функция приводов заключается в преобразовании различных видов энергии для приведения в действие подвижных частей изделия. Имеется 5 основных видов приводов: электрический; гидравлический; пневматический; пневматический мускул; собственная мышца, активированная функциональной электрической стимуляцией.

Электродвигатели наиболее широко используемый привод в конструкции роботов для реабилитации рук, поскольку они доступны, надежны, просты в управлении и обладают высокой точностью. Разработанный А. Chiri HANDEXOS, приводится в действие силой, передаваемой от двигателя постоянного тока на тросы Боудена [8]. Робот-экзоскелет, разработанный Х.Л. Ну, приводится в действие линейным микродвигателем [10]. Общая производительность в преобразовании крутящего момента и скорости делают электродвигатель полезным в роботах для реабилитации рук, если требуется изменчивость в стратегиях управления [7]. Возможным недостатком электродвигателя является проблема безопасности в связи с жесткой конструкцией электродвигателя.

Пневматические приводы используются гораздо реже, чем электродвигатели в роботах для реабилитации рук. Примером использования такого привода может быть ASSIST, имеющий ряд преимуществ: низкая потребность в техническом обслуживании и возможность остановки под нагрузкой, не вызывая при этом повреждений [20]. Такие сложности, как шум, можно преодолеть за счет использования накопителя предварительно сжатого воздуха, но пока не решена проблема размера, поскольку необходима камера для накопления воздуха. Таким образом, пневматический привод можно использовать для систем с меньшей портативностью.

Пневматическая мышца, состоящая внутри из резиновой трубки с оболочкой, может надуваться или уменьшаться. Роботизированная система для реабилитации рук, производимая Kinetic Muscles Inc. (США), приводится в действие с помощью пневматического мускульного привода [13]. Недостатком пневматического привода является то, что исполнительные механизмы сложно контролировать из-за изменчивости во времени и нелинейности протекающих в них процессов.

Гидравлические приводы обладают хорошими характеристиками, например, имеется возможность создавать более высокий крутящий момент по сравнению с электрическими или пневматическими приводами, и они могут управляться с высокой точностью и частотой [24]. Но требуется больше пространства для размещения маслопроводящих трубопроводов, что ограничивает их использование.

Мышца человека на поврежденной руке может быть приводом в широком смысле, если она активирована с помощью функциональной электрической стимуляции по средствам робота. Rong W. и соавторы предложили роботизированную руку с электрической стимуляцией через перчатку робота, которые реализует лучшее восстановление функции руки за счет баланса электрической стимуляции и робота [19]. Исследователи часто соединяют электрическую стимуляцию с обработанными сигналами ЭМГ или ЭЭГ, которые сдерживают спонтанную моторику [23].

Существуют роботизированные системы для реабилитации рук, приводимые в действие симметричной конечностью, используемые в стратегии двустороннего обучения. А. Rahman и А. Jumaily разработали двусторонний синхронизированный ручной аппарат, в котором экзоскелет управлял поврежденной рукой по данным от перчатки, надетой на здоровую руку [18].

Типы соединений (трансмиссий)

Соединения в роботизированной системе должны быть легкие, удобные и хорошо управляться по заданной траектории. Проблема совпадения оси вращения может быть решена за счет использования поперечно-шарнирной конструкции или с помощью тросов.

Трос часто используется в качестве трансмиссии в роботах для реабилитации рук, включая трос шкива и трос Боудена. Шкиву требуется постоянное натяжение для поддержания сцепления с остальными шкивами, что ограничивает его использование [12]. Экзоскелет пальца, разработанный L. Dovat использует трос шкива [9]. Это устройство легко управляется силой, но не очень удобно в использовании. Трос Боудена является гибким и лучше для проведения, однако его недостатками являются переменная сила трения при изгибе. Робот, разработанный Wege и Zimmermann, использует трос Боудена для независимого управления движением пальцев [23]. Фактически, этот робот сочетает в себе и трос, и рычажную конструкцию. Тросы подобны мышцам руки, поэтому они могут быть эффективны для роботизированной системы реабилитации рук. Эту концепцию в основе имеет экзоскелет, разработанный командой H. In [11].

Датчики

Участие пациентов в системе реабилитации очень полезно с точки зрения эффективности таких процедур, поэтому роботизированная система реабилитации рук имеет ряд эффектов только в соответствии с концепцией непрерывного пассивного движения, что вызывает необходимость наличия датчиков и является принципиально важным моментом. Датчик считывает информацию от человека по принципу обратной связи или получает управляющие сигналы от человека или робота. По типам полученных сигналов датчики классифицируются на физические и биологические.

Датчики физических сигналов: сила, положение (или движение) наиболее часто используются в роботизированной системе реабилитации рук. Функция сигнала силы или положения характеризует физическое состояние руки, такое как прилагаемая сила движения или угол сгибания пальца. Р. Ben-Tzvi и Z. Ma разработали экзоскелет, с обратной связью и оптическим датчиком положения и тензодатчиками настроенными на получение сигнала силы рук и движения [6].

Датчики биологических сигналов: ЭЭГ или ЭМГ, тоже часто используются в роботизированной системе для реабилитации рук [5, 7]. Их функция состоит в том, чтобы отражать намерение человека двигаться, что может использоваться в качестве управляющих сигналов роботов. Сигналы ЭЭГ и ЭМГ являются наиболее важными сигналами, полученными от мозга или мышц.

Проблема оценивания программных технологий

Темпы разработки прототипов превосходят темпы клинического использования роботов для реабилитации рук, поэтому важно критически оценивать конструкцию тех или иных аппаратных решений для реабилитации рук. В большинстве исследований используется способ, который описывает характеристики конструкции, но совсем не дает клиническую оценку роботов [8, 9, 21]. В ряде исследований используется второй способ оценки конструкции, в котором приводятся несколько тестов по улучшению физических параметров роботов или производительности на определенных этапах. В них варьируются физические параметры: диапазон движения суставов, скорость движения и дополнительная сила, действующая на руки [6, 25]. Ряд исследователей используют третий способ, который дает оценку эффективности дизайна и сочетает в себе клинические методы, в частности улучшение по клинической шкале оценки Фугл-Мейера или журнал двигательной активности [16]. Способы оценивания программных технологий приведены в таблице.

Таблица

Оценивания аппаратно-программных технологий

Table

Assessment of hardware and software technologies

Устройство	Авторы, Исследование	Функциональные тесты	Клиническая шкала
AMADEO	Pinter et al. [16]	+	+
Handsome	Brokaw et al [25]	+	-
Handexos	Chiri et al. [8]	-	-

Устройство	Авторы, Исследование	Функциональные тесты	Клиническая шкала
MRI compatible robot	Tang et al. [21]	-	-
HandCARE	Dovat et al. [9]	-	-
SAFE	Ben-Tzvi et al. [6]	+	-
Hexosys I	Iqbal et al. [25]	-	-
Hexosys II	Iqbal et al. [25]	-	-
Handassist robot	Ueki et al. [25]	+	-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывает классификация, в приведенных исследованиях изучались разные виды конструкции аппаратных систем для реабилитации рук. Функциональные возможности аппаратно-программных технологий можно оценивать по степени их соответствия разработанным требованиям по десятибалльной. Важно критически оценивать конструкцию тех или иных аппаратных решений для реабилитации рук. Для врачей и исследований важна клиническая оценка роботизированных систем. В большинстве исследований используется первый способ, который не дает клиническую оценку роботов, дизайн таких исследований неубедителен для пациентов или врачей. В ряде исследований используется второй способ оценки конструкции, в котором приводится несколько тестов по улучшению физических параметров роботов или производительности на определенных этапах. Немногие исследователи используют третий способ, который дает оценку эффективности дизайна, сочетающего в себе клинические методы, в частности улучшение по клинической шкале. Хотя многие независимые исследования показывают ряд успешных разработок, но в целом большинство реализаций имеют методологические недостатки, такие как отсутствие рандомизированных процедур и анализа всех методов лечения.

Решение методологических недостатков может состоять в том, что следует разработать стандартные рандомизированные контролируемые испытания (РКИ) по оценке существующих роботизированных систем реабилитации рук. Подход с использованием клинической шкалы, которую легко применять для оценки, должен быть популяризирован среди разработчиков роботов для реабилитации рук. С другой стороны, установка других стандартизованных методов оценки, реализуемых с большим количеством целей с помощью роботов, может быть многообещающим, поскольку это преодолевает большой недостаток клинической шкалы – субъективность визуальных оценок теста [21]. Измерения робота, можно использовать как оценку конструкции робота, так и оценку степени реабилитации [21]. Отсутствие индивидуальных настроек – еще один недостаток, поскольку двигательные нарушения у пациентов варьируются в зависимости от сложности последствий инсульта [16].

Функция определенного робота по реабилитации рук часто может быть реализована в нескольких разных комбинациях оборудования. Это повышает эффективность аппаратной системы, по сравнению с отдельным специализированным роботом, поскольку делает выбор оборудования не просто поиском подходящего оборудования, а обменом различными компонентами под конкретную потребность приложения. Роботы-экзоскелеты являются доминирующим выбором, по сравнению с роботами с концевыми эффекторами в соответствии с тенденцией лечения на дому. Хотя у концевых эффекторов есть преимущество, поскольку устраняется проблема несовпадения соединений робота и суставов, это также может быть реализовано с помощью роботов-экзоскелетов без соединений, основанных на понятии функциональной степени свободы. Выбор привода в основном осуществляется между электродвигателем и пневматической искусственной мышцей. Такие достоинства, как простота управления, высокая точность и высокая удельная энергия, делают электродвигатель одним из основных средств активации роботов для реабилитации рук. Портативность и небольшой объем крайне важны для создания гибкой руки робота, поэтому развитие роботов с мягким корпусом, использующие пневматические искусственные мышцы, могут быть компактными и безопасными, по сравнению с традиционными приводами, в то время как применение роботов с мягким телом для реабилитации рук все еще

ограничено дополнительным резервуаром для хранения сжатого воздуха. При выборе действий следует уделять больше внимания мышцам контралатеральной конечности человека. Зеркальная терапия, уже получила хорошие результаты на практике в традиционной терапии и в нескольких приложениях в роботизированной терапии [14]. Текущие исследования роботов для реабилитации рук реализуют зеркальную терапию косвенным методом с помощью приводов, управляемых сигналом от информационной перчатки. Для большей эффективности реабилитации необходимы дальнейшие исследования по изучению новых способов обработки информации от рук и роботов. Хотя конструкция мягкого тела имеет преимущество, в том, что она адаптируется к человеческому телу, сложность системы управления ограничивают ее применение. Следует отметить, что роботы без соединений, разработанные Н. In с использованием троса дает новые возможности использования для решения проблемы движения [20]. Еще одна тенденция при создании аппаратных комплексов для реабилитации рук это широкое использование датчиков биоэлектрического сигнала. Хотя датчик не является необходимым для функционирования устройства, многие исследователи считают важным участие пациента и это требует наличия специализированных датчиков получения сигнала от человека [4, 22]. Даже если пациенты не могут двигать руками, биоэлектрический сигнал можно использовать вместо физического сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная робототехника для реабилитации рук представлена в соответствии с классификацией аппаратной системы. Обзор робототехники дает общее представление о взаимосвязи между роботом и человеком, аппаратными средствами для реабилитации рук и их клинической оценкой. Важно критически оценивать конструкцию тех или иных аппаратных решений для реабилитации рук. Следует разработать стандартные РКИ по оценке существующих роботизированных систем реабилитации рук, с использованием клинических шкал реабилитации для выявления более эффективных роботизированных систем.

По нашему мнению, роботизированная реабилитация является одним из перспективных направлений в области восстановления двигательных функций конечностей после перенесенного пациентом инсульта. Разработка и усовершенствование аппаратно-программных комплексов реабилитации, особенно отечественного производства, позволит повысить качество реабилитации пациентов, уменьшая при этом затраты времени врача на ее проведение.

Список литературы

1. Здравоохранение в России. 2019: Статистический сборник. – М., 2019; URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Zdravoohran-2019.pdf>. (дата обращения: 12.01.2021).
2. Ситникова М.А., Афонин А.Н., Алейников А.Ю., Гладышев А.Р., Попова А.В. Использование мобильного робота для интерактивного обучения счету с помощью числовой линии // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 5; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41510> (дата обращения: 13.06.2017).
3. Фролов А.А., Козловская И.Б., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д. Роботизированные устройства в реабилитации после инсульта // Журнал высшей нервной деятельности им.И.П.Павлова. 2017. – № 4. – С. 394-413. doi:10.7868/s0044446771704-0017.
4. Ушаков Д.И. О возможности повышения устойчивости сигналов с OFDM на воздействие джиттера несущей частоты // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 4(84). – С. 118-125.
5. Barsotti M., Leonardi D., Loconsole C., Solazzi M. A full upper limb robotic exoskeleton for reaching and grasping rehabilitation triggered by MI-BCI // International Conference on Rehabilitation Robotics, Singapore, Singapore, August 2015.
6. Ben-Tzvi P., Ma Z. Sensing and force-feedback exoskeleton (SAFE) robotic glove // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2015. – Vol. 23. – № 6. – P. 992-1002.
7. Bos R.A., Haarman C.J.W., Stortelder T. A structured overview of trends and technologies used in dynamic hand orthoses // Journal of Neuroengineering and Rehabilitation. – 2016. – Vol. 13. – № 1. – P. 1-25.
8. Chiri A., Giovacchini F., Vitiello N. et al. HANDEXOS: towards an exoskeleton device for the rehabilitation of the hand // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2009. – P. 1106-1111.

9. Dovat L., O. Lambercy, R. Gassert et al. HandCare: a cable-actuated rehabilitation system to train hand function after stroke // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2008. – Vol. 16. – № 6. – P. 582.
10. Hu X.L., Tong K.Y., Wei X.J., Rong W., Susanto E.A., Ho S.K. Coordinated upper limb training assisted with an electromyography (EMG)-driven hand robot after stroke // Conference Proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. – 2013. – Vol. 2013 – P. 5903-5906.
11. In H.K, Cho K.J., Kim K., Lee B. Jointless structure and under-actuation mechanism for compact hand exoskeleton // IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. 2011. – Vol. 2011. – Article 5975394.
12. In H.K., Cho K.J. Evaluation of the antagonistic tendon driven system for SNU Exo-Glove // International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence. – 2013. – Vol. 60. – P. 507-509.
13. Kinetic Muscles Inc. Hand physical therapy with the HandMentor™. – 2017. URL: <http://www.kineticmuscles.com/hand-physicaltherapy-hand-mentor.html> (date of access:12.01.2021).
14. Koumpouros Y. A systematic review on existing measures for the subjective assessment of rehabilitation and assistive robot devices // Journal of Healthcare Engineering. – 2016. –Vol. 2016. – №. 4. – P. 171.
15. Narayan J., Kalita B., Dwivedy S.K. Development of Robot-Based Upper Limb Devices for Rehabilitation Purposes: a Systematic Review // Augment Hum Res. 6. – 2021. – 4. URL: <https://doi.org/10.1007/s41133-020-00043-x> (date of access:12.01.2021).
16. Pinter D., Pegritz S., Pargfrieder C. et al. Exploratory study on the effects of a robotic hand rehabilitation device on changes in grip strength and brain activity after stroke // Topics in Stroke Rehabilitation. – 2013. –Vol. 20. – №. 4. – P. 308.
17. Polygerinos P., Wang Z., Galloway K.C., Wood R.J., Walsh C.J. Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation // Robotics and Autonomous Systems. – 2014. – Vol. 73. – P. 135-143.
18. Rahman A., Al-Jumaily A. Design and development of a bilateral therapeutic hand device for stroke rehabilitation // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Vol. 10. – № 12. – P. 405.
19. Rong W., Tong K.Y., Hu X.L., Ho N.S.K. Combined electromyography (EMG)-driven robotic system with functional electrical stimulation (FES) for rehabilitation // Northeast Bioengineering Conference. – 2012. – Vol. 10. –P. 313-314.
20. Sasaki D., Noritsugu T., Takaiwa M. Development of active support splint driven by pneumatic soft actuator (ASSIST) // IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2006. – P. 520–525.
21. Tang Z.J., Sugano S., Iwata H. Design of an MRI compatible robot for finger rehabilitation // International Conference on Mechatronics and Automation. – 2012. – P. 611-616.
22. Ushakov D.I., Starovoit I.A. On a method of formation of signals with high spectral efficiency for cognitive radio communication system // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2015. – Vol. 80. – № 3. – P. 409-418.
23. Wege A., Zimmermann A. Electromyography sensor based control for a hand exoskeleton // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. – 2007. – P. 1470-1475.
24. Whitney J.P., Glisson M.F., Brockmeyer E.L., Hodgins J.K. A low-friction passive fluid transmission and fluid-tendon soft actuator // IEEE/rsj International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2014. – P. 2801-2808.
25. Yue Z., Zhang X., Wang J. Hand Rehabilitation Robotics on Poststroke Motor Recovery // Behavioural Neurology. – 2017. – Vol. 2017. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3908135> (date of access:12.01.2021).

References

1. Health care in Russia 2019: Stat.sb. / Rosstat. – M., 2019. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Zdravooхран-2019.pdf>. (date of access:12.01.2021).
2. Sitnikova M.A., Afonin A.N., Aleinikov A.Yu., Gladyshev A.R., Popova A.V. Using a mobile robot for interactive learning to count using a number line // Fundamental Research. – 2017. – No. 5; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41510> (date of access: 13.06.2017).
3. Frolov A.A., Kozlovskaya I.B., Biryukova E.V., Bobrov P.D. Robotic devices in poststroke rehabilitation // Journal of Higher Nervous Activity I.P. Pavlov. – 2017. – No 4. – P. 394-413.
4. Ushakov D.I. On the possibility of increasing the stability of signals with OFDM on the effect of carrier frequency jitter // Information systems and technologies. – 2014. – No 4(84). – P. 118-125.

5. Barsotti M., Leonardis D., Loconsole C., Solazzi M. A full upper limb robotic exoskeleton for reaching and grasping rehabilitation triggered by MI-BCI // International Conference on Rehabilitation Robotics, Singapore, Singapore, August 2015.
6. Ben-Tzvi P., Ma Z. Sensing and force-feedback exoskeleton (SAFE) robotic glove // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2015. – Vol. 23. – № 6. – P. 992-1002.
7. Bos R.A., Haarman C.J.W., Stortelder T. A structured overview of trends and technologies used in dynamic hand orthoses // Journal of Neuroengineering and Rehabilitation. – 2016. – Vol. 13. – № 1. – P. 1-25.
8. Chiri A., Giovacchini F., Vitiello N. et al. HANDEXOS: towards an exoskeleton device for the rehabilitation of the hand // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2009. – P. 1106-1111.
9. Dovat L., O. Lamercy, R. Gassert et al. HandCare: a cable-actuated rehabilitation system to train hand function after stroke // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2008. – Vol. 16. – No 6. – P. 582.
10. Hu X.L., Tong K.Y., Wei X.J., Rong W., Susanto E.A., Ho S.K. Coordinated upper limb training assisted with an electromyography (EMG)-driven hand robot after stroke // Conference Proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. – 2013. – Vol. 2013 – P. 5903-5906.
11. In H.K., Cho K.J., Kim K., Lee B. Jointless structure and under-actuation mechanism for compact hand exoskeleton // IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. 2011. – Vol. 2011. – Article 5975394.
12. In H.K., Cho K.J. Evaluation of the antagonistic tendon driven system for SNU Exo-Glove // International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence. – 2013. – Vol. 60. – P. 507-509.
13. Kinetic Muscles Inc. Hand physical therapy with the HandMentor™. – 2017. URL: <http://www.kineticmuscles.com/hand-physicaltherapy-hand-mentor.html> (date of access:12.01.2021).
14. Koumpouros Y. A systematic review on existing measures for the subjective assessment of rehabilitation and assistive robot devices // Journal of Healthcare Engineering. – 2016. – Vol. 2016. – No 4. – P. 171.
15. Narayan J., Kalita B., Dwivedy S.K. Development of Robot-Based Upper Limb Devices for Rehabilitation Purposes: a Systematic Review // Augment Hum Res. 6. – 2021. – 4. URL: <https://doi.org/10.1007/s41133-020-00043-x> (date of access:12.01.2021).
16. Pinter D., Pegritz S., Pargfrieder C. et al. Exploratory study on the effects of a robotic hand rehabilitation device on changes in grip strength and brain activity after stroke // Topics in Stroke Rehabilitation. – 2013. – Vol. 20. – № 4. – P. 308.
17. Polygerinos P., Wang Z., Galloway K.C., Wood R.J., Walsh C.J. Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation // Robotics and Autonomous Systems. – 2014. – Vol. 73. – P. 135-143.
18. Rahman A., Al-Jumaily A. Design and development of a bilateral therapeutic hand device for stroke rehabilitation // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Vol. 10. – № 12. – P. 405.
19. Rong W., Tong K.Y., Hu X.L., Ho N.S.K. Combined electromyography (EMG)-driven robotic system with functional electrical stimulation (FES) for rehabilitation // Northeast Bioengineering Conference. – 2012. – Vol. 10. – P. 313-314.
20. Sasaki D., Noritsugu T., Takaiwa M. Development of active support splint driven by pneumatic soft actuator (ASSIST) // IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2006. – P. 520-525.
21. Tang Z.J., Sugano S., Iwata H. Design of an MRI compatible robot for finger rehabilitation // International Conference on Mechatronics and Automation. – 2012. – P. 611-616.
22. Ushakov D.I., Starovoi I.A. On a method of formation of signals with high spectral efficiency for cognitive radio communication system // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2015. – Vol. 80. – No 3. – P. 409-418.
23. Wege A., Zimmermann A. Electromyography sensor based control for a hand exoskeleton // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. – 2007. – P. 1470-1475.
24. Whitney J.P., Glisson M.F., Brockmeyer E.L., Hodgins J.K. A low-friction passive fluid transmission and fluid-tendon soft actuator // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2014. – P. 2801-2808.
25. Yue Z., Zhang X., Wang J. Hand Rehabilitation Robotics on Poststroke Motor Recovery // Behavioural Neurology. – 2017. – Vol. 2017. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3908135> (date of access:12.01.2021).

Ушаков Дмитрий Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Камышникова Людмила Александровна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры факультетской терапии

Алейников Андрей Юрьевич, старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем, руководитель студенческого конструкторского бюро

Павлова Юлия Станиславовна, ассистент кафедры факультетской терапии.

Рачинский Сергей Андреевич, старший преподаватель информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Худасова Ольга Геннадьевна, старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем

Ushakov Dmitry Igorevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

Kamyshnikova Lyudmila Aleksandrovna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Faculty Therapy

Alenikov Andrei Yurievich, Senior Lecturer of Department of Information and Robotic Systems, Head of the Student Design Bureau

Pavlova Yulia Stanislavovna, Assistant, Department of Faculty Therapy

Rachinsky Sergey Andreevich, senior lecturer of information and telecommunication systems and technologies

Khudasova Olga Gennad'yevna, Senior Lecturer of the Department of Information and Robotic Systems

УДК 004.934.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-2

Дьяченко А.В.
Подольский Д.А.

**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АКТИВНОСТИ
РЕЧИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПАРАЛИНГВИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,
механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: ayrimur@mail.ru, podolsky.dmitry94@gmail.com

Аннотация

В настоящее время широко распространены алгоритмы детектирования активности речи. Такие алгоритмы нашли применение в различных задачах: при передаче речевого потока человека, в хранении информации (для компрессии аудиозаписей), для распознавания состояния человека при паралингвистическом анализе и т.д. Задача данной работы заключается в разработке и реализации алгоритма детектирования активности речи человека в программной среде Csound. На сегодняшний день уже существует ряд методов для распознавания речевой активности человека, такие как алгоритм определения скорости, метод адаптивного многоскоростного детектирования речи, метод, основанный на анализе спектральной формы и энергии поддиапазонов и т.д. [13, 16, 17], однако, на данный момент, указанные алгоритмы не были реализованы в среде Csound. В данной статье категоризованы признаки речи, описан реализованный алгоритм детектирования активности речи, а именно определения пауз паралингвистического анализа речевого аудио с использованием преобразования Гильберта, что уменьшает сложность алгоритма, сохраняя его точность. Целью данной работы является модификация и реализация алгоритма обнаружения речевой активности в помещении на основе речевого потока в среде Csound для проведения паралингвистического анализа речевой активности человека.

Ключевые слова: детектор активности речи; Csound; паралингвистический анализ; активность речи.

Для цитирования: Дьяченко А.В., Подольский Д.А. Реализация алгоритма детектирования активности речи при проведении паралингвистического анализа // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 13-19. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-2

Diachenko A.V.
Podolsky D.A.

**IMPLEMENTATION OF THE SPEECH ACTIVITY DETECTING
ALGORITHM AT CONDUCTING PARALINGUISTIC ANALYSIS**

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: ayrimur@mail.ru, podolsky.dmitry94@gmail.com

Abstract

Algorithms for the speech activity detecting are now widely used. Such algorithms are used in various tasks: transmitting a human speech stream, storing information for compressing audio recordings, for recognizing a person's state in the paralinguistic analysis, etc. The goal of this work is to develop and implement an algorithm for detecting human speech activity using the Csound software environment. Recently, there are already a number of methods for human speech activity recognition, such as the speed determination algorithm, the adaptive multi rate speech detection method, the method based on the analysis of the spectral shape and energy of subbands, etc. [13, 16, 17], however, at the moment, these algorithms haven't been implemented in the Csound environment. This article categorizes speech features, describes an implemented algorithm for detecting speech activity, namely, determining pauses in paralinguistic analysis of speech audio using the Hilbert transform, which reduces the complexity of the algorithm, while

maintaining its accuracy. The aim of this work is to modify and implement an algorithm for detecting speech activity in a room based on the speech flow in the Csound environment for conducting paralinguistic analysis of human speech activity.

Keywords: voice activity detection; Csound; paralinguistic analysis; speech activity.

For citation: Diachenko A.V., Podolsky D.A. Implementation of the speech activity detecting algorithm at conducting paralinguistic analysis // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 13-19. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-2

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования по обработке речи направлены на решение вопросов её интерпретации и распознавании средствами компьютерного анализа и машинного обучения. Алгоритмы, разрабатываемые в данной предметной области, могут быть направлены на определение и распознавание отдельных слов и слитной речи (высказываний и фраз), определение эмоционального состояния диктора, диагностику патологий голосового аппарата, автоматический перевод, идентификацию личности по голосу, обучение иноязычной речи и др. [5].

Существующие алгоритмы распознавания эмоций по речевому сигналу не способны определять текущее психофизическое состояние диктора с высокой точностью. Это, в первую очередь, обусловлено сложностью определения эмоций как таковых, а также необходимостью конечного выбора частотно-временных характеристик аудиопотока, в качестве анализируемых параметров алгоритма [7].

Реализуемый в данной работе алгоритм выделяет из речевого потока векторы с невербальной информацией потока, а именно – вектор пауз и активности речи диктора, которые, в свою очередь, планируется передавать в системы определения эмоционального состояния, в том числе и на основе искусственного интеллекта.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В общем случае речевой сигнал можно рассматривать как набор вербальных и невербальных составляющих речи. Для анализа вербальной составляющей потока применяют преимущественно лингвистические методы, а для невербальной – паралингвистические и экстралингвистические [1]. Лингвистические методы обработки речевого сигнала основываются на определении семантических единиц речи, а именно: звуков, букв, слов, которые произносит человек. Паралингвистический и экстралингвистический анализ позволяет судить обо всех звуковых составляющих речи – интонация, темп и мелодика речи, паузы во время коммуникации и др.

Невербальную составляющую речи изучает паралингвистика. С помощью паралингвистического подхода можно выявить эмоции, интонации, психофизиологические состояния, особенности произношения и прочие параметры голоса диктора [6]. Согласно исследованиям [2], информация, передаваемая людьми вербально, составляет лишь около 7% общего объёма передаваемой информации – остальные почти 93% полезной информации передаётся невербальным способом – с помощью мимики, поз, жестов, движений и т.д. При этом не менее трети всей информации приходится на паралингвистическую составляющую речи. Паралингвистическую информацию также обычно отличают от экстралингвистической, с которой ассоциируют не связанные с речью акустические явления, например, атипичные особенности речи: речевые паузы, вздохи, заикание, покашливание и пр. (рис 1). Таким образом, с помощью паралингвистического анализа речевого информационного канала, можно определить состояние человека, его настроение и даже патологии речевого тракта или участков мозга, отвечающих за речевой информационный обмен [3].

В работе [10] подробно описывается, что частотный диапазон сигнала 200-300 Гц несёт в себе информацию преимущественно о вербальной составляющей речи, а диапазон частот свыше 300 Гц – о невербальной составляющей сигнала, т.е. Сигнал в диапазоне ниже 300 Гц не будет нести смысловой информации, однако будет содержать данные об эмоциональном состоянии говорящего.

В рамках данной статьи описан реализованный алгоритм детектирования активности речи, а именно определения пауз паралингвистического анализа речевого аудио.

Речь человека может быть представлена как блоки информации, перемежающиеся блоками пауз – в ней присутствуют характерные паузы между семантическими единицами, в отличие от других сигналов [15].

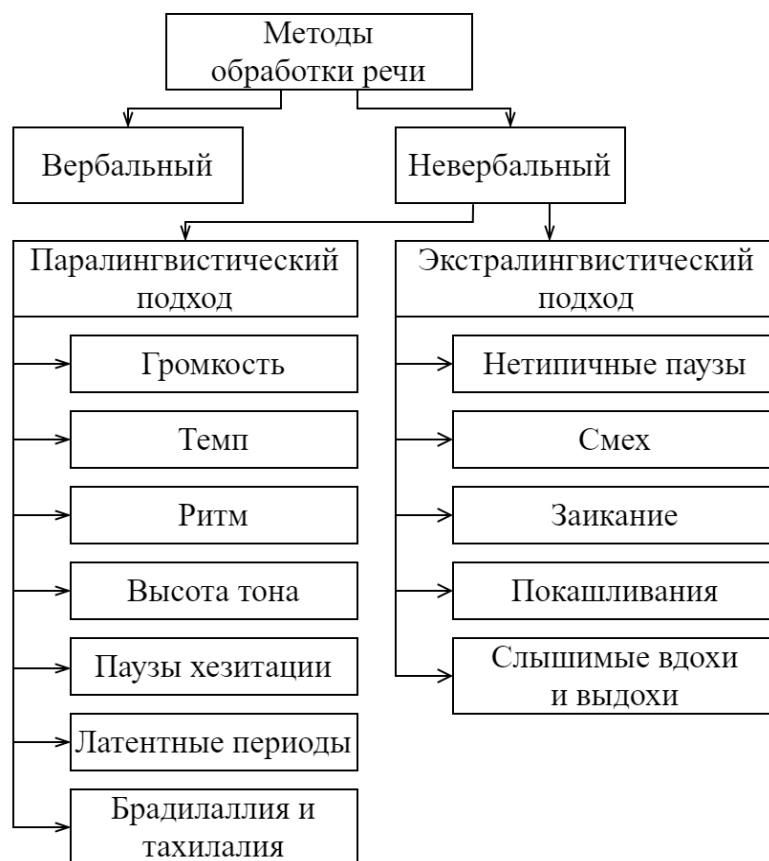


Рис. 1. Категоризация признаков речи

Fig. 1. Categorization of speech features

Определение активности речи уже широко применяется для сжатия сигнала, сокращения объема передаваемой информации в телекоммуникационных системах по каналам с ограниченными пропускными способностями. Но, кроме этого, активность речи – одна из характеристик, несущая информацию об эмоциональном состоянии говорящего человека. Активность определяется посредством обнаружения пауз в речи (рис. 2) – их длительность, частоту. Чем чаще паузы – тем выше активность речи, чем реже – тем ниже.

Так, определив уровень активности речи, можно сделать вывод о возрасте или о темпераменте человека, а, проследив за этой характеристикой в динамике, можно сказать об относительном состоянии человека в данной ситуации (например, взволнованность или возбужденность обычно сопровождаются повышением активности речи, а усталость, плохое самочувствие или неуверенность – снижением таковой) [3].

Для распознавания активности речи аудиопоток делят на участки активной речи и пауз. При этом участками активной речи называют те интервалы, где присутствует голосовая информация, а интервалы между этими участками называют участками пауз.

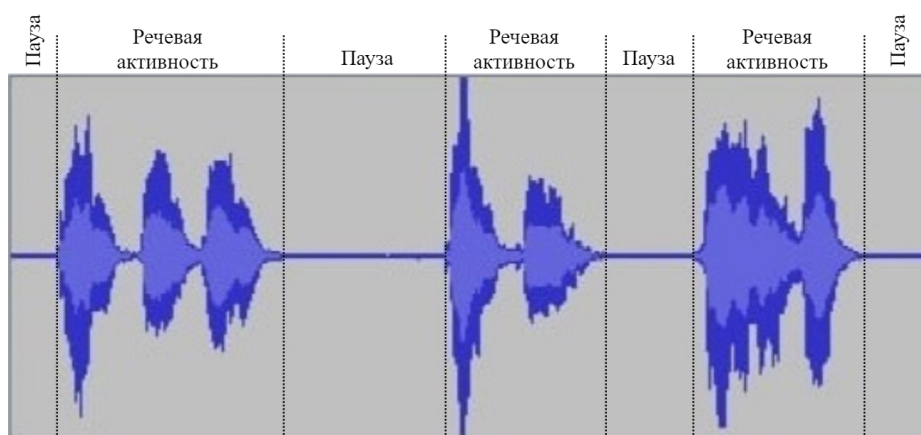


Рис. 2. Осциллограмма с выделенными участками активной речи и пауз

Fig. 2. Oscillogram with highlighted areas of active speech and pauses

Основой любого метода определения пауз служит детектор активности речи (voice activity detector – VAD) – это алгоритм, предназначенный для различения интервалов активной речи и пауз [11]. Чаще всего встречаются детекторы активности речи, алгоритмы которых работают на основе анализа энергии сигнала, обнаружения основного тона, спектрального и кепстрального анализа, измерений числа переходов через нуль, анализе энергии поддиапазонов, статистического моделирования, использования порядковых фильтров и т.д. [13, 16, 17].

Подробное описание взятого за основу для реализации алгоритма приведено в статье [8]. Суть описанного алгоритма сводится к локализации пауз методом цифровой фильтрации в двух спектральных диапазонах, соответствующих локализации максимумов энергии для вокализованных (диапазон частот 150-1000 Гц) и шумных (или невокализованных) звуков (диапазон частот 1500-3500 Гц) полосовыми фильтрами, “взвешивания” кратковременной энергии речевого сигнала в этих диапазонах с использованием прямоугольного окна. Структурная блок-схема реализованного алгоритма представлена на рисунке 3.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма

Fig. 3. The block diagram of the algorithm

Для реализации выбранного алгоритма был использован специализированный язык программирования для синтеза звука и обработки звуковых сигналов Csound. Csound – высокоуровневый компьютерный язык программирования [14, 18], который является кросс-платформенной средой с открытым исходным кодом, поддерживающий все современные операционные системы. Кроме того, он может работать с платформами Raspberry Pi, BeagleBone и Arduino. Csound позволяет синтезировать звуки как в режиме реального времени, так и в автономном режиме, а также обрабатывать аудио в частотной и временной областях. Csound обладает большой библиотекой инструментов для синтеза и работы со звуком, в том числе фильтры и инструменты для спектральной обработки аудиосигналов.

Исходный входной речевой сигнал нормируется для выравнивания громких и тихих участков с целью исключения зависимости результатов от уровня входного сигнала. Нормализация сигнала возможно только для уже записанных (стационарных) или детерминированных (с точки зрения амплитудных характеристик) речевых сигналов. В противном случае операция нормирования сигнала может быть осуществлена на участках относительно локального максимум, при этом необходимо учитывать зависимость конечного результата работы алгоритма.

Из нормализованного сигнала полосовыми фильтрами выделяются два частотных диапазона. В Csound реализован полосовой фильтр второго порядка, который с помощью опкода *resonr* выделяет диапазоны 150-1000 Гц и 1500-3500 Гц.

Выделенные частотные полосы поступают в блок преобразования Гильберта. Последнее традиционно используется для выделения амплитудной огибающей сигнала на основе квадратурной пары сигналов (1):

$$\hat{S}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S(\tau)}{t-\tau} d\tau, \quad (1)$$

где $S(\tau)$ – исходный сигнал.

Огибающей пары сигналов $\{s, \hat{s}\}$ называют неотрицательную функцию времени (2):

$$S(t) = |(s^2 + \hat{s}^2)^{0,5}|, \quad (2)$$

Сигналы огибающих, полученных для каждой полосы, поступают на вход решающего блока, в котором устанавливаются пороговые значения (уровни) срабатывания для определения наличия паузы в исходном сигнале. Пороговые значения $K1$ и $K2$ в рамках описываемой реализации устанавливаются эмпирически, в процессе первоначальной калибровки работы алгоритма.

Реализованный алгоритм детектирования активности речи позволяет определять активные участки речи, а также считать количество пауз в заданном временном интервале. Использование блока преобразования Гильберта позволило избежать реализацию вычисления энергии сигнала в выделенных частотных полосах, а также, за счет преимуществ преобразования, работать со слабо детерминированными речевыми сигналами.

Csound поддерживает редактирование формата выходных векторов с блоков счетчика пауз и детектора тишины. Это позволяет интегрировать реализованный алгоритм в комплексы паралингвистического анализа, которые в том числе используют алгоритмы искусственного интеллекта для минимизации ошибки при калибровке параметров решающего блока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы, был реализован алгоритм для распознавания речевой активности с помощью анализа двух диапазонов частот и преобразования Гильберта в среде Csound. На выходе реализованного алгоритма имеется два вектора – с блоков счетчика пауз и детектора тишины. Это позволяет интегрировать реализованный алгоритм в комплексы паралингвистического анализа, которые в том числе используют алгоритмы искусственного интеллекта для минимизации ошибки при калибровке параметров решающего блока.

Список литературы

1. Айвазян О.О. Вербальная и невербальная коммуникация, как факторы развития речи // Конференция "Стратегические направления устойчивого развития социально-экономической политики южного региона". Майкоп, 2012.
2. Басов О.О., Карпов А.А., Сайтов И.А. Методологические основы синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем государственного управления. Орёл: Академия ФСО России, – 2015. – 271 с.
3. Василик. М.А. Пара- и экстралингвистические особенности невербальной коммуникации // Элитариум, 2018. URL: www.elitarium.ru/neverbalnoe-obshhenie-temp-rech-golos-informacija-kommunikacija-intonacija-vnimanie (дата обращения: 16.12.2020).

4. Величко А.Н., Будков В.Ю., Карпов А.А. Аналитический обзор компьютерных паралингвистических систем для автоматического распознавания лжи в речи человека // Информационно-управляющие системы. – 2017. – №5(90). – С. 30-41.
5. Вердербер, Р., К. Вердербер. Психология общения: Тайны эффектив. Взаимодействия. М.: Прайм-ЕВРОЗНАК: Олма-Пресс, 2003. – 320 с.
6. Карпов А.А., Кайа Х., Салах А.А. Актуальные задачи и достижения систем паралингвистического анализа речи // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 4. – С. 581–592.
7. Потапова Р.К., Бобров Н.В. Основные тренды в развитии междисциплинарной концепции “Анализ-синтез-анализ речи” // Математические методы в технике и технологиях. – 2019. – Т.7. – С. 124-129.
8. Практический алгоритм определения темпа речи для использования в контактцентрах / Никифоров С.Н., Никифоров Д.С., Виторский И.И., Танюкевич М.С. // Речевые технологии. – 2020. – № 1. – С. 6-12.
9. Симончик К.К., Галинина О.С., Капустин А.И. Алгоритм обнаружения речевой активности на основе статистик основного тона в задаче распознавания диктора // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. – 2010. – №4(103). – С. 23-31.
10. Чухрова М.Г. Взаимосвязь психоэмоционального состояния младших школьников и их голосоречевых характеристик // Наука и социум / Мат. Всерос. Науч.- практ. конф. с междунар. участием. 1 марта 2018 г. – Новосибирск: ЧУДПО 2018. – С. 99-104.
11. Шелухин О.И., Лукьянцев В.Г. Цифровая обработка и передача речи. М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.
12. Волченков В.А., Витязев В.В. Методы и алгоритмы использования детектирования активности речи // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – №1. – С. 54-60.
13. Adil Benyassine, H.Y. Eyal Shlomot, Dominique Massaloux Su. Silence compression scheme for use with g. 729 // Digital simultaneous voice and data applications IEEE Commun. Mag., 1997. – №35(9). – P. 64-73.
14. Boulanger R. The Csound Book: Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming. Cambridge: MIT Press, 2000. – 782 p.
15. Kondoz A.M. Digital Speech. Coding for Low Bit Rate Communication Systems. John Wiley & Sons, Ltd. 2004. – 442 p.
16. Prasad R. Comparison of Voice Activity Detection Algorithms for VoIP // In proc. 7th IEEE symp. on Computer science. 2005. – p. 567-576.
17. Sunil Kumar S.B., Sreenivasa Rao K. Voice/non-voice detection using phase of zero frequency filtered speech signal // Speech Communication. – 2016. – №81. – P. 90-103.
18. Vercoe B. Csound: A Manual for the Audio-Processing System. MIT Media Lab, 1995. – 341p.

References

1. Ayvazyan O.O. Verbal and non-verbal communication as factors of speech development // Conference "Strategic directions of sustainable development of socio-economic policy of the southern region". Maykop, 2012.
2. Basov O.O., Karpov A.A., Saitov I.A. Methodological foundations for the synthesis of polymodal infocommunication systems of public administration. Oryol: Academy of the FSO of Russia, 2015. – 271 p.
3. Vasilik. M.A. Para- and extralinguistic features of non-verbal communication // Elitarium. 2018. URL: www.elitarium.ru/neverbalnoe-obshhenie-temp-rech-golos-informacija-kommunikacija-intonacija-vnimanie (date of access: 16.12.2020).
4. Velichko A. N., Budkov V. Yu., Karpov A. A. Analytical review of computer paralinguistic systems for automatic recognition of lies in human speech // Information and control systems. 2017. – No. 5(90). – P. 30-41.
5. Werderber, R., K. Werderber. Psychology of communication: Secrets are effective. Interactions. M.: Prime-EVROZNAK: Olma-Press, 2003. – 320 p.
6. Karpov A.A., Kaya H., Salah A.A. Actual problems and achievements of systems for paralinguistic speech analysis // Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. 2016. – Vol. 16. – No. 4. – PP. 581-592.
7. Potapova R.K., Bobrov N.V. Main trends in the development of the interdisciplinary concept “Analysis-synthesis-analysis of speech” // Mathematical methods in engineering and technology. 2019. – T.7. – P. 124-129.
8. Practical algorithm for determining the rate of speech for use in contact centers / Nikiforov S.N., Nikiforov D.S., Vitorsky I.I., Tanyukevich M.S. // Speech technologies. 2020. – No. 1. – P. 6-12.

9. Simonchik K.K., Galinina O.S., Kapustin A.I. Algorithm for detecting speech activity based on pitch statistics in the problem of speaker recognition // Scientific and technical bulletins of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science, telecommunications and management. 2010. No. 4 (103). P. 23-31.
10. Chukhrova M.G. The relationship between the psychoemotional state of primary schoolchildren and their voice-speech characteristics // Science and society / Mat. Vseros. Scientific – practical. conf. with int. participation. March 1, 2018 – Novosibirsk: CHUDPO 2018. – P. 99-104
11. Shelukhin O.I., Lukyantsev V.G. Digital processing and transmission of speech. M.: Radio and communication, 2000, 456 p.
12. Volchenkov V.A., Vityazev V.V. Methods and algorithms for using speech activity detection // Digital signal processing. – 2013. – No. 1. – P. 54-60.
13. Adil Benyassine, H.Y. Eyal Shlomot, Dominique Massaloux Su. Silence compression scheme for use with g. 729 // Digital simultaneous voice and data applications IEEE Commun. Mag., 1997. – №35(9). – P. 64-73.
14. Boulanger R. The Csound Book: Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming. Cambridge: MIT Press, 2000. – 782 p.
15. Kondoz A.M. Digital Speech. Coding for Low Bit Rate Communication Systems. John Wiley & Sons, Ltd. 2004. – 442 p.
16. Prasad R. Comparison of Voice Activity Detection Algorithms for VoIP // In proc. 7th IEEE symp. on Computer science. 2005. – p. 567-576.
17. Sunil Kumar S.B., Sreenivasa Rao K.. Voice/non-voice detection using phase of zero frequency filtered speech signal // Speech Communication. – 2016. – No 81. – P. 90-103.
18. Vercoe B. Csound: A Manual for the Audio-Processing System. MIT Media Lab, 1995. – 341p.

Дьяченко Анна Витальевна, студент Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики

Подольский Дмитрий Анатольевич, инженер, Национальный центр когнитивных разработок Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики

Diachenko Anna Vitalievna, student, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

Podolsky Dmitry Anatolievich, engineer, ITMO University's National Center for Cognitive Technologies

УДК 621.391: 004.522

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-3

Васильев Р.А.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ГОЛОСУ,
АДАПТИРОВАННОГО К ТИХОМУ ПРОИЗНЕСЕНИЮ
ПАРОЛЬНЫХ ФРАЗ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УТЕЧКИ
РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Гагарина пр., д. 23, г. Нижний Новгород, 603950, Россия

e-mail: romangamma@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются особенности биометрической идентификации по голосу при условии тихого произнесения парольных фраз. Биометрическая идентификация по голосу существенно отличается от стандартных систем идентификации и систем контроля управления доступом, использующих символьные пароли и ключи. Биометрическая идентификация по голосу производится по уникальным и индивидуальным признакам личности и практически исключает вероятность несанкционированных действий, связанных с потерей, кражей или передачей пароля третьим лицам. Широкое применение систем биометрической идентификации по голосу влечет за собой повышенный интерес со стороны злоумышленников. Наиболее частыми являются атаки с применением ранее применяемых биометрических признаков, например, аудиозапись парольной фразы. Для минимизации описанных выше атак, предложен адаптированный к тихому произнесению парольных фраз метод биометрической идентификации по голосу, основанный на применении метода обеляющего фильтра. Описана программная реализация предложенного метода – «Информационная система идентификации дикторов по голосу», позволяющая проводить биометрическую идентификацию по голосу при условии тихого произнесения парольных фраз для противодействия утечки речевой информации по акустическим каналам.

Ключевые слова: биометрическая идентификация по голосу, метод обеляющего фильтра, акустическая речевая разведка.

Для цитирования: Васильев Р.А. Применение метода идентификации по голосу, адаптированного к тихому произнесению парольных фраз для противодействия утечки речевой информации // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 20-29. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-3

Vasiliev R.A.

**APPLICATION OF THE VOICE IDENTIFICATION METHOD
ADAPTED TO THE QUIET PRESENCE OF PASSWORD PHRASES
TO COUNTER THE LEAKAGE OF SPEECH INFORMATION**

Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky,
23 Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia

e-mail: romangamma@mail.ru

Abstract

The article discusses the features of biometric voice identification under the condition of quiet pronunciation of password phrases. Biometric voice identification differs significantly from standard identification systems and access control systems using symbolic passwords and keys. Biometric voice identification is based on unique and individual characteristics of identity and virtually eliminates the possibility of unauthorized actions associated with loss, theft or transfer of the password to third parties. The widespread use of biometric voice identification systems entails increased interest on the part of malefactors. The most frequent are attacks using previously used biometric features, for example, audio recording of a passphrase. To minimize the attacks described above, a biometric voice identification method, based on the whitening filter method,

adapted to the quiet pronunciation of passphrases has been proposed. Described is the software implementation of the proposed method – "Information system for identifying speakers by voice", which allows biometric identification by voice, provided that password phrases are quietly uttered to counteract the leakage of speech information through acoustic channels.

Keywords: biometric voice identification, whitening filter method, acoustic speech intelligence.

For citation: Vasiliev R.A. Application of the voice identification method adapted to the quiet presence of password phrases to counter the leakage of speech information // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 20-29. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-3

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие финансовые операции, идентификация в системах разграничения доступа, запросы конфиденциальной информации по телефону, управление различными устройствами, основывается на применении систем биометрической идентификации по голосу (БИГ) [1, 2].

Системы БИГ необходимо проектировать так, чтобы свести к минимуму атаки, связанные с перехватом акустической речевой информации (парольные фразы), этой теме посвящено множество зарубежных исследований [17 – 20].

В данной статье описан адаптированный к тихому произнесению парольных фраз (ТПФ) метод БИГ, основанный на применении метода обеляющего фильтра (МОФ), реализованный в «Информационной системе идентификации дикторов по голосу» (ИС ИДГ) [3], доработанной для решения задачи защиты речевой информации (парольные фразы) от утечки по акустическим каналам [4].

МЕТОД ОБЕЛЯЮЩЕГО ФИЛЬТРА

Общая формулировка задачи БИГ сводится к тому, что требуется отнести выборку из речи пользователя X к одному из $R > 1$ неопределенных пользователей или отдельных слов (классов) [5]. Каждому классу соответствуют образцы речи конкретного пользователя, обладающие общими признаками, образующими образ голоса пользователя (ОГП). Каждый ОГП обладает определенным набором устойчивых признаков P_r , $r = \overline{1, R}$. В данном случае решение задачи БИГ сводится к установлению соотношения

$$P_X = P_v \quad v \leq R \quad (1)$$

между набором признаков пользователя X и одним из ОГП в базе голосовых данных.

Проще всего поставленная задача решается в параметрическом варианте, когда каждое распределение P_r , $r = \overline{1, R}$, берется из некоторого параметрического семейства. Например, это может быть семейство n -мерных нормальных (гауссовских) законов $P_{0r} = N(K_r)$, определенных на множестве допустимых значений всех элементов $(n \times n)$ – матрицы автоковариаций K_r , $r = \overline{1, R}$ (в данном случае предполагается, что все используемые сигналы заранее центрированы). Восстановление закона $N(K_r)$ по обучающей выборке X_r сводится к элементарной процедуре статистического оценивания его неизвестной автоковариационной матрицы (АКМ) по формуле

$$K_r = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \vec{x}_l \vec{x}_l^T \quad (2)$$

где L – число независимых образцов речи в пределах r -го распределения P_r , а индексом “Т” обозначена операция транспонирования векторов $\vec{x}_l$ – n – вектор-столбец с координатами из R^n). Задача (1) после этого формулируется как проверка R простых гипотез о неизвестном законе распределения:

$$H_r : P_X = N(K_r), \quad r = \overline{1, R} \quad (3)$$

Это стандартная задача статистической классификации. Ее решение обычно основывается на критерии максимального правдоподобия. Применительно к нашей модели речевых сигналов в виде L независимых отрезков (массивов), длиной n отсчетов каждый, такая задача подробно рассматривалась в работе [6]. Было показано, что оптимальный алгоритм принятия решения по выборке $X = \{\vec{x}_l\}, l = \overline{1, L}$, основывается на достаточной статистике общего вида

$$\lambda_r(X) = \text{tr}[K_X K_r^{-1}] + \ln |K_r|, \quad r = \overline{1, R} \quad (4)$$

где K_X – выборочная оценка АКМ наблюдений по формуле (2); символами $\text{tr}(\cdot)$ и $|\cdot|$ обозначены соответственно след и определитель квадратных $(n \times n)$ – матриц. Решение принимается в пользу гипотезы H_v из (1), если соответствующая ей v -я статистика (4) принимает минимальное значение из R ее рассматриваемых альтернатив.

Указанный алгоритм в асимптотическом варианте (при $n \rightarrow \infty$) для несингулярного случая, когда $\lim |K_r| \neq 0$, может быть переписан следующим образом [7]:

$$\lambda_r(X) = \frac{\sigma_r^2(X)}{\sigma_r^2} + \ln \sigma_r^2, \quad r = \overline{1, R} \quad (5a)$$

$$\sigma_r^2(X) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [y_l^{(r)}(X)]^2$$

$$y_l^{(r)}(X) = \overset{\rightarrow T}{\underset{\rightarrow}{a_r}} \overset{\rightarrow T}{\underset{\rightarrow}{x_l}} \quad (5b)$$

$$\overset{\rightarrow}{a_r} = \sigma_r^2 K_r^{-1} \overset{\rightarrow}{\Gamma}$$

$$\sigma_r^2 = \left[\overset{\rightarrow T}{\Gamma} K_r^{-1} \overset{\rightarrow}{\Gamma} \right]^{-1}$$

где $\overset{\rightarrow}{\Gamma} = \text{col}_n(1, 0, \dots, 0)$ – n -вектор-столбец, составленный из нулей, за исключением единицы на первой позиции. Решение здесь принимается в пользу гипотезы H_v при условии минимизации взвешенной с коэффициентом $1/\sigma_v^2$ и смещенной на $\ln \sigma_v^2$ величины выборочной дисперсии $\sigma_v^2(X)$ отклика на сигнал X декоррелятора v -го канала (5б). Структура такого декоррелятора однозначно определяется вектором коэффициентов линейной авторегрессии (АР-коэффициентов) $\vec{a}_v, v \leq R$. Это стандартная формулировка МОФ в задачах распознавания образов [8].

Главная идея метода состоит в существенной (в десятки раз) редукции или сжатии данных за счет того, что в базе априорных данных хранятся не сами отрезки речи длиной $nL = 10^2 \dots 10^3$ отсчетов каждый, а их образы в виде набора из R векторов АР-коэффициентов (их также часто называют коэффициентами линейного предсказания – КЛП), размерность которых $M = 10 \dots 30 < nL$ в реальных условиях ограничивается конечной степенью сложности спектрального состава человеческого голоса. Причем в отличие от известных алгоритмов автоматического распознавания речи на основе КЛП [9] в рассматриваемом МОФ применяется принципиально иной критерий для оценивания рассогласования между различными речевыми образами, уходящий своими корнями в теоретико-информационный подход и информационную метрику Кульбака-Лейблера [10].

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментальных исследований была использована ранее разработанная и проверенная ИС ИДГ [11, 12, 13, 14], адаптированная к ТПФ посредством доработки модуля регулировки чувствительности к уровню речевого сигнала пользователя (диктора) X . Главное окно ИС ИДГ представлено на рисунке 1.

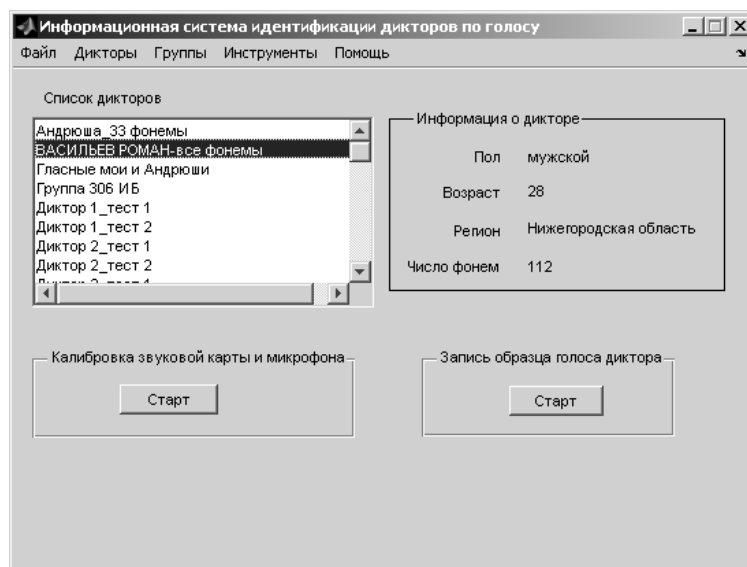


Рис. 1. Главное окно программы ИС ИДГ
Fig. 1. Main window of the IS IDG program

Экспериментальные исследования, состоящие из трех этапов, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Этапы экспериментальных исследований

Table 1

Experimental research stages

Номер эксперимента	Цель эксперимента	Задачи эксперимента
1	Выявление эталонного уровня сигнала речевой идентификации пользователя по голосу, анализ недостатков и преимуществ сигналов разного уровня в системе голосовой идентификации.	Запись в БД эталонного уровня сигнала для дальнейших экспериментов, выявление среднего, низкого и высокого уровня сигнала для голосовой идентификации, определение оптимального уровня сигнала для голосовой идентификации, основываясь на преимуществах и недостатках различного уровня сигнала.
2	Определить вероятность правильной идентификации пользователей по голосу.	Определение вероятности правильной идентификации трех пользователей по голосу при условии разделения уровня сигнала на 3 интервала (до 45дБ, от 45-70дБ, более 70дБ)
3	Определение октавных коэффициентов звукоизоляции в типовом помещении, определить выполняются ли нормы защищенности в данном помещении для работы с конфиденциальной информацией.	Определить назначение объекта контроля, выбрать требуемый уровень защиты от утечки речевой информации по акустическим каналам. Определение контролируемой зоны, определение смежных помещений и ограждающих конструкций, определение контрольных точек для замера уровня акустического сигнала (шума). Проверить – выполняются ли нормы защищенности

В первом эксперименте, для выявления эталонного уровня сигнала U_c для речевой идентификации пользователя, проведено 9 опытов с различным уровнем сигнала (от 35 дБ до 84 дБ). В процессе опытов уровни сигналов разбиты на 3 группы: высокие ($U_c \sim 78-88$ дБ), средние ($U_c \sim 58-65$ дБ) и низкие ($U_c \sim 35-40$ дБ).

Проведен анализ каждой из групп сигналов и определена вероятность идентификации пользователя по голосу (таблица 2).

Таблица 2

Вероятность идентификации пользователя по голосу

Table 2

Probability of user identification by voice

Уровень сигнала	Вероятность идентификации	Вывод
$U_c \sim 78-88$ дБ	Более 90%	Идентификация в 90% проходит успешно, но вероятность утечки информации по акустическому каналу высокая.
$U_c \sim 58-65$ дБ	Более 70%	Идентификация в более 70% проходит успешно, вероятность утечки информации по акустическому каналу в пределах нормы
$U_c \sim 35-40$ дБ	Менее 50%	Идентификация проходит не успешно, вероятность утечки информации по акустическому каналу ничтожно мала.

На рисунке 2 показана успешная идентификация по голосу в ИС ИДГ.

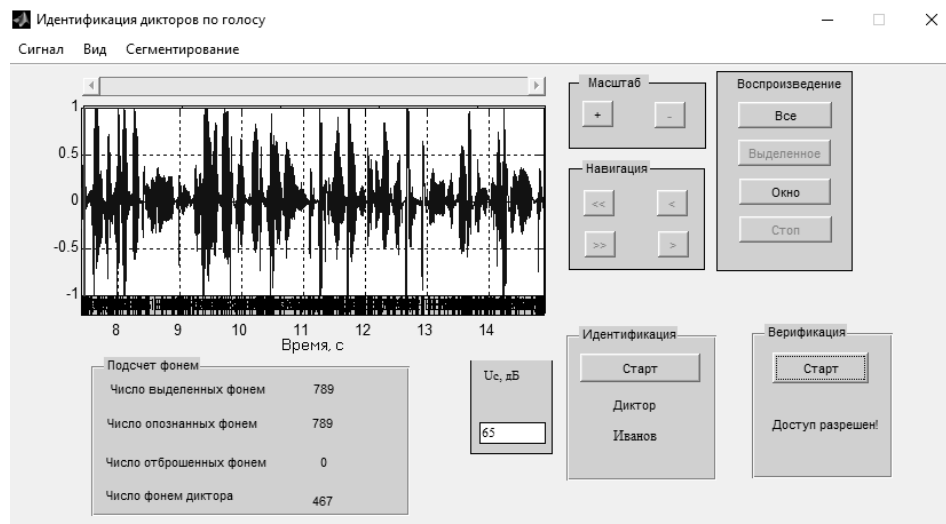


Рис. 2. Успешная идентификация по голосу при $U_c=65$ дБ

Fig. 2. Successful identification by voice at $U_c = 65$ dB

Далее, на рисунке 3 представлен случай с неуспешной идентификацией по голосу в ИС ИДГ.

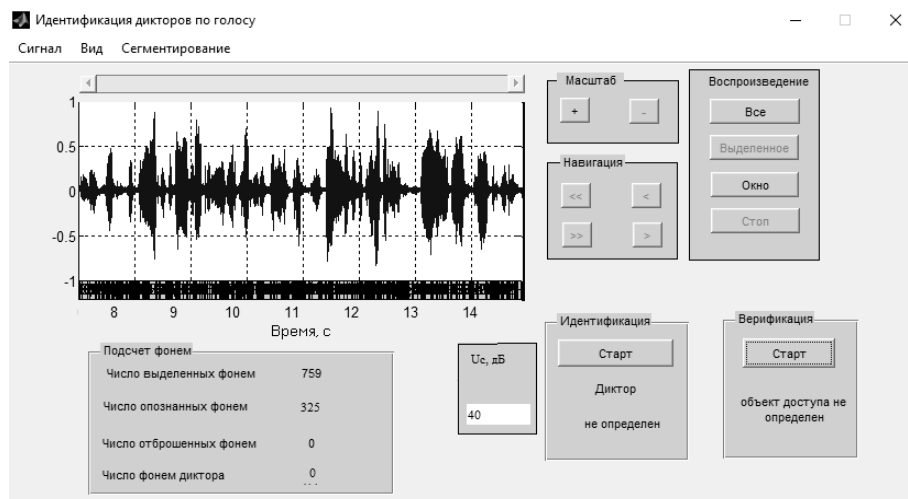


Рис. 3. Неуспешная идентификация по голосу при $U_c=40$ дБ

Fig. 3. Unsuccessful identification by voice at $U_c = 40$ dB

Выводы по первому эксперименту:

- Определен уровень эталонного сигнала речевой идентификации $U_c=60$ дБ;
- Сигналы от 35-40дБ воспринимаются ИС ИДГ гораздо хуже, в связи с чем процент успешной голосовой идентификации очень маленький, но преимуществом тихого воспроизведения парольных фраз является отсутствие акустического канала утечки информации;
- Сигналы от 58-65дБ ИС ИДГ воспринимает гораздо лучше, нежели сигналы от 35-40дБ, и как следствие, процент успешной идентификации выше и достигает более 70%, однако вероятность утечки речевой информации возрастает и необходимо проводить дополнительную оценку защищенности по акустическим каналам.
- Сигналы от 78-88 дБ ИС ИДГ воспринимает лучше, чем сигналы двух других групп, и процент успешной идентификации пользователя по голосу достигает более 90%. Несмотря на высокий процент успешной идентификации, этой группе сигналов присуща высокая вероятность утечки речевой информации по акустическим каналам.

Во **втором эксперименте** определена вероятность правильной идентификации трёх пользователей (Иванов, Петров, Сидоров) по голосу при условии разделения уровня сигнала для каждого из пользователей на 3 интервала: до 45дБ, от 45-70дБ, более 70 дБ (таблица 3).

Таблица 3

Вероятность правильной идентификации трёх пользователей

Table 3

Probability of correct identification of three users

$U_c \sim \text{более } 70 \text{ дБ}$									
ФИО	$U_{c1}, \text{дБ}$	$U_{c2}, \text{дБ}$	$U_{c3}, \text{дБ}$	$U_{c4}, \text{дБ}$	$U_{c \text{ ср}}, \text{дБ}$	Идентификация прошла успешно			
						P1	P2	P3	P4
Иванов	80	83	90	86	84,75	Да	Да	Да	Да
Петров	90	85	93	98	91,5	Да	Да	Да	Да
Сидоров	88	82	84	79	83,25	Да	Да	Да	Да
$U_c \sim 45-70 \text{ дБ}$									
ФИО	$U_{c1}, \text{дБ}$	$U_{c2}, \text{дБ}$	$U_{c3}, \text{дБ}$	$U_{c4}, \text{дБ}$	$U_{c \text{ ср}}, \text{дБ}$	Идентификация прошла успешно			
Иванов	61	65	63	58	61,75	Да	Да	Да	Да
Петров	68	70	69	65	68	Да	Да	Да	Да
Сидоров	48	52	46	49	48,75	Нет	Да	Нет	Да
$U_c \sim \text{до } 45 \text{ дБ}$									
ФИО	$U_{c1}, \text{дБ}$	$U_{c2}, \text{дБ}$	$U_{c3}, \text{дБ}$	$U_{c4}, \text{дБ}$	$U_{c \text{ ср}}, \text{дБ}$	Идентификация прошла успешно			
Иванов	43	45	40	42	42,5	Нет	Нет	Нет	Нет
Петров	44	38	42	41	41,25	Нет	Нет	Нет	Нет
Сидоров	40	38	35	37	37,5	Нет	Нет	Нет	Нет

Рассмотрим каждый из трех диапазонов отдельно. Анализируя 1-й диапазон ($U_c \sim \text{более } 70 \text{ дБ}$), можно сказать, что идентификация пользователей по голосу проходит во всех случаях успешно. Средний уровень сигнала для пользователя Иванов равен 84,75 дБ, идентификация проходит успешно во всех опытах. Средний уровень сигнала для пользователя Петров 91,5 дБ, идентификация проходит успешно во всех опытах. И наконец, пользователь Сидоров имеет средний уровень голосового сигнала 83,25 дБ, для которого идентификация по всем опытам также проходит успешно.

Проводя анализ 2-го диапазона ($U_c \sim 45-70 \text{ дБ}$) средний уровень сигнала для пользователя Иванов равен 61,75 дБ, идентификация в 4-х опытах успешно завершена. Пользователь Петров имеет уровень сигнала 68 дБ, соответственно идентификация во всех опытах прошла успешно. Что касается пользователя Сидорова, то его средний уровень сигнала составляет 48,75 дБ, и как

следствие, из четырех экспериментов – в двух идентификация проходит успешно, в двух программа не может распознать голос.

Рассматривая 3-й диапазон (U_c до 45 дБ) для трех пользователей системы, уровень голосового сигнала каждого из них приблизительно равен 40 дБ. Вероятность идентификации для пользователей с таким низким уровнем сигнала стремиться к нулю.

Выводы ко второму эксперименту:

- Выбрав в 1-м опыте эталонный уровень сигнала $U_{эс}=60$ дБ, определено, что идентификация пользователя по голосу проходит только тогда, когда уровень голосового сигнала пользователя $U_c > 49$ дБ;

- Уровень сигнала более 70 дБ во всех опытах прошел идентификацию, но вероятность утечки информации по акустическим каналам возрастает с увеличением U_c ;

- Оптимальным уровнем сигнала для успешной идентификации пользователя по голосу в ИС ИДГ является $U_c=50$ дБ–60 дБ;

В соответствии с методикой оценки [15], в **третьем эксперименте** проведена оценка защищенности речевой информации (парольные фразы) от утечки по акустическим каналам в типовом офисном помещении (ТОП) с помощью системы оценки защищенности выделенных помещений по виброакустическому каналу «ШЕПОТ» (Сертификат ФСТЭК №643 от 05.07.2002г.).

Границей контролируемой зоны ТОП являются наружные и внутренние стены ТОП, а также перекрытие пола и потолка.

В результате анализа возможных каналов утечки речевой информации, инженерно-строительных и организационно-режимных мер, применяемых в ТОП, произведен расчет значений октавных коэффициентов звукоизоляции ограждающих конструкций Q_i в выбранных контрольных точках (КТ), представленный в таблице 4.

Таблица 4

Оценка защищенности ТОП

Table 4

Top security assessment					
Номер октавной полосы i	Измеренный уровень акустического (вибрационного) шума в контрольной точке $L_{шi}$ ($V_{шi}$), дБ	Уровень измеренного суммарного акустического (вибрационного) сигнала и акустического (вибрационного) шума в КТ $L(c+ш)i$ ($V(c+ш)i$), дБ	Расчетный уровень измеренного акустического (вибрационного) сигнала в контрольной точке $Lc2i$ ($Vc2i$), дБ	Октавные уровни звукоизоляции (виброизоляции) в контрольной точке Q_i (G_i), дБ	Выполнение норм
Контрольная точка №1 – стена с дверным проемом между ТОП и коридором (смежные помещения)					
1	59,90	62,20	-1,70	90,20	Вып.
2	60,30	64,30	2,00	87,40	Вып.
3	61,40	65,70	2,30	91,20	Вып.
4	62,80	66,90	2,10	90,50	Вып.
5	60,70	64,70	2,00	89,70	Вып.
Контрольная точка №2 – стена между ТОП и гардеробом (смежные помещения)					
1	38,70	45,20	5,50	83,10	Вып.
2	37,60	44,90	6,30	82,60	Вып.
3	35,50	39,60	2,10	90,30	Вып.
4	32,30	37,80	3,50	88,10	Вып.
5	30,40	39,40	8,00	82,70	Вып.

Контрольная точка №3 – стена между ТОП и лестничной клеткой (смежные помещения)					
1	53,10	66,70	13,60	76,60	Вып.
2	65,20	67,20	-2,00	123,30	Вып.
3	56,30	65,30	8,00	85,40	Вып.
4	57,20	68,20	11,00	83,20	Вып.
5	54,90	70,30	15,40	75,90	Вып.
Контрольная точка №4 – окно 1 (улица)					
1	60,80	69,40	9,1	82,80	Вып.
2	62,50	71,50	10,25	83,80	Вып.
3	71,80	82,50	13,52	93,80	Вып.
4	65,10	79,60	16,45	88,30	Вып.
5	69,80	85,40	11,5	85,00	Вып.
Контрольная точка №5 – окно 2 (улица)					
1	61,50	71,50	9,00	83,30	Вып.
2	64,40	75,80	11,40	83,10	Вып.
3	63,60	79,00	15,40	75,90	Вып.
4	69,70	82,90	13,20	82,30	Вып.
5	79,40	90,30	10,90	80,30	Вып.
Контрольная точка №6 – подвал (цокольный этаж) (смежные помещения)					
1	34,80	49,10	14,30	74,00	Вып.
2	42,30	51,80	8,50	80,70	Вып.
3	38,70	46,10	6,40	86,60	Вып.
4	34,40	41,00	5,60	86,40	Вып.
5	32,80	50,00	17,20	73,90	Вып.
Контрольная точка №7 – помещение 2-го этажа (смежные помещения)					
1	38,60	49,40	10,80	78,10	Вып.
2	46,90	51,60	2,70	86,80	Вып.
3	43,00	45,30	-1,70	95,10	Вып.
4	38,70	40,20	-5,50	97,60	Вып.
5	38,20	50,20	12,00	80,70	Вып.

Вывод по третьему эксперименту:

В результате проведенных измерений и расчетов установлено, что при уровне сигнала в 60дБ значения октавных коэффициентов звукоизоляции ограждающих конструкций и инженерно-технических систем во всех контрольных точках соответствуют нормативным значениям, что обеспечивает защищенность данного ТОП от утечки речевой конфиденциальной информации по акустическому каналу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье рассмотрены особенности БИГ при условии ТПФ, выявлен оптимальный уровень сигнала $U_{с\sim 60\text{дБ}}$ для адаптации метода идентификации в ИС ИДГ, что позволило получить высокую вероятность правильной БИГ, по сравнению с другим методом БИГ [16]. С учетом эталонного уровня сигнала были сделаны замеры октавных коэффициентах звукоизоляции для ТОП, и установлено, что при уровне сигнала $U_{с\sim 60\text{дБ}}$ утечки речевой информации по акустическим каналам не происходит.

Список литературы

1. Николаев Д.Б., Васильев Р.А. Анализ возможности применения голосовой идентификации в системах разграничения доступа к информации // Научный результат. Информационные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 1. – С. 48-57.
2. Савченко В.В., Васильев Р.А. Анализ эмоционального состояния дикторов по голосу на основе фонетического детектора лжи // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. – 2014. – № 21(192) – С. 186-195.

3. Васильев Р.А. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ №2015663306 Программа идентификации дикторов по голосу // Васильев Р.А. Зарег. 15.12.2015г. – М.: Роспатент, 2015.
4. Бузов Г.А. Защита от утечки информации по техническим каналам. – М., 2005 г.
5. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968.
6. Савченко В.В. Информационная теория восприятия речи // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2007. – Вып. 6. – С. 3–9.
7. Савченко В. В. Теоретико-информационное обоснование гауссовой модели сигналов в задачах автоматического распознавания речи // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2008. – Вып. 1. – С. 24–33.
8. Савченко В. В., Акатьев Д. Ю., Карпов Н. В. Автоматическое распознавание элементарных речевых единиц методом обеляющего фильтра // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2007. – Вып.4. – С. 11-19.
9. Потапова Р.К. Речь: коммуникация, информация, кибернетика: Учеб, пособие. 2-е изд. – М.: Эдитори- ал УРСС, 2001.
10. Кульбак С. Теория информации и статистика. М.: Наука, 1967.
11. Васильев Р.А. Биометрическая идентификация пользователей информационных систем на основе кластерной модели элементарных речевых единиц: Дис. ... к-та тех. наук. М., 2017. – 153 с.
12. Васильев Р.А. Исследование фонетического строя речи и идентификация дикторов по голосу // Безопасность информационных технологий. 2013. – Т. 20. – № 1. – С. 85-86.
13. Васильев Р.А. Исследование особенностей фонетического строя речи и текстонезависимая идентификация дикторов по непрерывной речи // Информационная безопасность регионов. – 2012. – № 2(11). – С. 57-63.
14. Васильев Р.А. Применение методов фонетического анализа речи для выявления эмоционально устойчивых и нестабильных студентов университета // Научный результат. Информационные технологии, 2020. – Т.5. – №2. – С. 9-17.
15. Волобуев С.В. Оценка акустической защищенности с применением инструментальных средств // Системы безопасности связи и телекоммуникаций. – 1999. – № 25. – С. 38-45.
16. Аграновский А.В., Леднов Д.А. Метод текстонезависимой идентификации пользователя на основе индивидуальности произношения гласных звуков // Акустика и прикладная лингвистика: Ежегодник РАО. М.: 2002. – Вып. 3.– С. 103-115.
16. Сонин. В.А. Психодиагностическое познание профессиональной деятельности / В.А. Сонин. – СПб.: Речь, 2004. – 408 с.
17. Garofolo J., Auzanne G., and Voorhees E. The trec spoken document retrieval track: A success story. // In proceedings of the Recherche d'Informations Assistée par Ordinateur: Content Based Multimedia Information Access Conference, 2000. – pp. 1-20.
18. Gray A., Markel J. Distance measures for speech processing. // IEEE Trans. On Acoust., Speech and Lang. processing. oct. 1976. – Vol. 24(5). – p. 291-380.
19. Mamou J., Mass Y., Ramabhadran B., Sznajder B. Combination of multiple speech transcription methods for vocabulary independent search // In proceedings of the ACM SIGIR Workshop `Searching Spontaneous Conversational Speech. Singapore. –2008. – pp. 20-27.
20. Huijbregts M., Ordelman R., Jong F. Annotation of heterogeneous multimedia content using automatic speech recognition // In Proceedings of the second international conference on Semantics And digital Media Technologies (SAMT). Lecture Notes in Computer Science. Berlin. Springer Verlag. December 2007. – pp. 78-90.

References

1. Nikolaev D.B, Vasiliev R.A. Analysis of the possibility of using voice identification in systems for differentiating access to information // Research result. Information technologies. – 2016. – Т. 1. – Issue 1. – P. 48-57.
2. Savchenko V.V., Vasiliev R.A. Analysis of the emotional state of the speakers by voice based on the phonetic lie detector // Scientific Bulletin of Belgorod State University. – 2014. – Issue. – No. 21 (192). – P. 186-195.
3. Vasiliev R.A. Svid. about the state. registration of the computer program No. 2015663306. Program for the identification of speakers by voice // Vasiliev R.A. Registered. 15.12.2015 – М.: Rospatent, 2015.
4. Buzov GA Protection from information leakage through technical channels. – М., 2005.
5. Tsyppin Ya.Z. Adaptation and training in automatic systems. Moscow: Nauka, 1968.
6. Savchenko V.V. Information theory of speech perception. // Izv. universities of Russia. Radio electronics. 2007. – Issue. 6, pp. 3–9.

7. Savchenko V.V. Information-theoretic substantiation of the Gaussian signal model in problems of automatic speech recognition. // Izv. universities of Russia. Radio electronics. 2008. –Issue. 1. – P. 24–33.
8. Savchenko V.V., Akat'ev D.Yu., Karpov N.V. Automatic recognition of elementary speech units by the whitening filter method // Izv. universities of Russia. Radio electronics. 2007. Issue 4. P. 11-19.
9. Potapova RK Speech: communication, information, cybernetics: Textbook, manual. 2nd ed. – M.: Editorial URSS, 2001.
10. Kullback S. Information theory and statistics. Moscow: Nauka, 1967.
11. Vasiliev R.A. Biometric identification of users of information systems based on a cluster model of elementary speech units: Dis. ... to those of those. sciences. M., 2017.153 p.
12. Vasiliev R.A. Investigation of the phonetic structure of speech and identification of speakers by voice // Security of information technologies. 2013. – T. 20. –No. 1. – P. 85-86.
13. Vasiliev R.A. Investigation of the peculiarities of the phonetic structure of speech and text-independent identification of speakers by continuous speech // Information security of regions. – 2012. – No. 2(11). – P. 57-63.
14. Vasiliev R.A. Application of methods of phonetic analysis of speech for identifying emotionally stable and unstable university students // Scientific result // Series: Information technologies. Belgorod State University. 2020. –Vol. 5. – No. 2. – P. 9-17.
15. Volobuev SV Otsenka acoustical security with the use of tools. // Security systems for communications and telecommunications. – 1999. – № 25. – P. 38-45.
16. Agranovsky A.B., Lednov D.A. Method of text-independent user identification based on the individuality of pronunciation of vowel sounds // Acoustics and Applied Linguistics: Yearbook of the Russian Academy of Education. – M.: 2002. – Issue 3. – P. 103-115.
17. Garofolo J., Auzanne G., and Voorhees E. The trec spoken document retrieval track: A success story. // In proceedings of the Recherche d'Informations Assistée par Ordinateur: Content Based Multimedia Information Access Conference, 2000. – pp. 1-20.
18. Gray A., Markel J. Distance measures for speech processing // IEEE Trans. On Acoust., Speech and Lang. processing. oct. 1976. – Vol. 24(5) – p. 291-380.
19. Mamou J., Mass Y., Ramabhadran B., Sznajder B. Combination of multiple speech transcription methods for vocabulary independent search // In proceedings of the ACM SIGIR Workshop `Searching Spontaneous Conversational Speech. Singapore. – 2008. – pp. 20-27.
20. Huijbregts M., Ordelman R., Jong F. Annotation of heterogeneous multimedia content using automatic speech recognition // In Proceedings of the second international conference on Semantics And digital Media Technologies (SAMT). Lecture Notes in Computer Science. Berlin Springer Verlag. December 2007. – pp. 78-90.

Васильев Роман Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность информационных систем» Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Vasiliev Roman Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Security of Information Systems” of Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky

UDC 539.183.3/5

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-4

Migal L.V.
Bondarev V.G.
Bondareva T.P.

COMPUTER MODELING OF PARAMETERS OF THE ELECTRONIC SHELL OF THE ATOM

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

e-mail: Migal@bsu.edu.ru

Abstract

In work results of computer modeling of parameters of an electron shell of atom such as orbital radiuses and constants of shielding are presented. It is shown that for atoms with completely filled electronic subshells, the dependence of the orbital radii from the nuclear charge (atomic number) can be described by application of a computing experiment, and to consider the received equations as a basis for extrapolation of data on orbital radiuses on all range of atomic numbers of elements what gives the chance of creation of the full scheme of dependence of orbital radii on charging number of the nucleus and calculation of the average size of atom.

Keywords: atom; electronic subshell; orbital radius; nuclear charge; constants of shielding.

For citation: Migal L.V., Bondarev V.G., Bondareva T.P. Computer modeling of parameters of the electronic shell of the atom // Research result. Information technologies. – T.6, №1, 2021. – P. 30-39. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-4

Мигаль Л.В.
Бондарев В.Г.
Бондарева Т.П.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМА

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

e-mail: Migal@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе представлены результаты компьютерного моделирования параметров электронной оболочки атома таких как орбитальные радиусы и константы экранирования. Показано, что для атомов с полностью заполненными электронными подоболочками, зависимость орбитальных радиусов от заряда ядра (атомного номера) можно описать путем применения вычислительного эксперимента, а полученные уравнения рассматривать как основу для экстраполяции данных по орбитальным радиусам на весь диапазон атомных номеров элементов, что даёт возможность построения полной схемы зависимости орбитальных радиусов от зарядового числа ядра и расчета среднего размера атома.

Ключевые слова: атом; электронная подоболочка; орбитальный радиус; заряд ядра; константа экранирования.

Для цитирования: Мигаль Л.В., Бондарев В.Г., Бондарева Т.П. Компьютерное моделирование параметров электронной оболочки атома // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 30-39. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-4

INTRODUCTION

The achievements of recent years in the field of quantum physics make it possible to determine with sufficient accuracy the parameters of the electron shells of atoms, such as the orbital radius, the size of the atom, the screening constant, as well as the energy characteristics of atoms [1-4]. The concept of

the orbital radius is the quantum-mechanical distance calculated from the nucleus to the corresponding main maximum of the radial distribution function of the electron density for the ground state of the atom [2]. Initial information about the values of atomic radii was obtained experimentally by studying the spectral lines of chemical elements [3]. So, when determining atomic radii Pauling [5] suggested that the radius of the atom depends on the most probable distance between the nucleus and the outer electrons and is inversely proportional to the effective charge of the nucleus. Later, Slater [6] constructed his system of atomic radii based on experimental data on interatomic distances with subsequent correction of the results obtained by quantum mechanical calculations. On the basis of qualitative considerations, it can be shown that the size of an atom should depend on the charge of the nucleus and the number of electron shells (the principal quantum number of the outer electrons). However, the difficulties of theoretical interpretation of the properties of many-electron atoms led to the need to replace such atoms with a hydrogen-like system consisting of a nucleus surrounded by internal electrons and having one external electron. The form of this dependence, with respect to the orbital radius r_{orb} , for multielectron atoms is reflected in the formula [7]

$$r_{orb} = K_r \frac{a_0 n^2}{Z - S}, \quad (1)$$

where K_r is the proportionality coefficient; a_0 is the radius of the hydrogen atom; n is the principal quantum number; Z is the nuclear charge; S is the constant of shielding.

The proportionality coefficient K_r is usually expressed here in the form

$$K_r = \frac{3}{2} - \frac{l(l+1)}{2n^2}, \quad (1a)$$

where l is the orbital quantum number.

In 1964, Weber and Cromer [8] calculated the orbital radii of the outer electrons of atoms from the wave functions in the Hartree-Fock-Slater self-consistent field approximation with the Dirac relativistic correction. We also note that subsequently, also with the help of quantum mechanical calculations, Boyd's orbital radii were determined [9], but their values for many elements are almost twice the data of Slater and Weber-Cromer.

Another of the parameters of the electronic structure of an atom is the constant of shielding S . The concept of constant of shielding is a generally accepted method for evaluating the electronic interaction in many-electron atoms. By definition, S is a quantity that compensates for the effect of a part of the nuclear charge on the selected electron due to the presence of previously filled electron shells, and in the study of some properties of the atom and electrons of the unfilled subshell, which can also participate in screening.

Since, as mentioned earlier, different electrons of an atom play different roles in different atomic properties, the screening constants will differ slightly depending on how they are determined. Slater [10] formulated a number of rules of thumb for computing S to give good approximations to atomic orbitals of this type. J. Slater's rules, based on a comparison of theoretical and experimental data, determine the procedure for calculating the effective charge of the nucleus of a free atom. These rules were later refined by a number of authors [11]. At the same time, the calculated results are still incomplete today, which requires a more in-depth consideration by using additional methods for processing known data. Approximate correlations between the values of the considered parameters of the atom make it possible to extrapolate their values to the entire range of atomic numbers [12]. One of these methods is statistical analysis. Applying this approach, we can carry out inter- and extrapolation, taking as a basis the known values of the orbital radii of the closed ones, i.e. completely filled electron shells of atoms.

This paper presents the results of modeling the parameters of the electron shell of free neutral atoms. Here, applying a slightly transformed formula (1) to estimate the orbital radius of a many-electron atom, based on the obtained regression equations, followed by an estimate of the extrapolated values of the orbital radii of completely filled subshells of atoms. The main goal of this work is to construct a diagram of the dependence of the orbital radius on the charge number of the nucleus, which makes it possible to trace the dynamics of the change in the size of the subshells of the atom with an increase in the charge of the nucleus.

1. MODELING

First, let us pay attention to the screening constant, which retains its value within a separate subshell. For the same reason, we will restrict ourselves to considering only closed subshells. Expression (1) includes two calculated parameters: the proportionality coefficient K_r and the screening constant. Taking as a basis the known datasets on orbital radii [8], it is possible to carry out computer simulation, using the methods of statistical analysis, the linearized equation $Z = f(a_0/r_{orb})$, in order to estimate the selected parameters for each of the subshells of the electronic structure of the atom

$$Z = K_r n^2 (a_0/r_{orb}) + S, \quad (2)$$

where K_r and S act as constants for each individual electron subshell of the atom. Note that the principal quantum number n included in the equation is also constant within an individual electron subshell.

Based on the above mentioned assumptions, let us formulate the task set. Let there be a set of data on orbital radii, including their values for closed electron subshells, limited by the possibilities of calculating numerical values for each of the subshells under consideration. It is required to determine the constants included in Eq. (2) by conducting a computational experiment to construct regression equations for electronic subshells, with subsequent refinement of specific parameter values by varying the initial data. The obtained equations, in the future, can be used to extrapolate the calculated values of the orbital radii for the entire range of possible charge numbers.

Despite the above reservations regarding the orbital radii, it was decided to proceed with the analysis, provided that the known values of the radii given in the literature have been repeatedly discussed and, therefore, their values can be considered verified information. For the statistical analysis, we used tables of the orbital radii of electrons in the atom by Weber and Cromer [8], which are currently considered the most reliable. The information in these tables is not used fully enough to determine the parameters of the electron shell for all atoms. Most often, the tables give the calculated values of the first ten values of the orbital radii, due to the emergence of significant difficulties in calculating the exact values of the orbital radii in the "heavier" atoms. At the same time, the use of these data for specific subshells makes it possible to carry out a statistical analysis based on the above regularity, which reflects the linearity of the dependence of the reciprocal of the orbital radius on the charge of the atomic nucleus. However, we note that the results of calculating the orbital radii are not entirely complete, which requires a more in-depth consideration by using additional methods for processing known data.

To solve the problem, first the parameter K_r is selected so that it, together with the constant of shielding S , would make it possible to apply statistical analysis to construct a linear regression equation $Y = Ax + B$, in which the coefficients will correspond to the values of these parameters K_r and S . Regression analysis of the initial data the values of the orbital radii were performed separately for each electron subshell of the atom.

In order to have a general judgment about the quality of the resulting model, we found the relative deviations of the values of the parameters under consideration, sharply differing in magnitude from the general population, and at the first stage excluded them from further consideration. This procedure was carried out until the regression coefficient reached a value close to one. There are cases when, when carrying out this procedure, the number of values may turn out to be on the limiting boundary – of the order of four. We considered such subshells according to a special, refined procedure, with the involvement of other methods in the analysis of the initial data.

At the next stage, we already proceeded to varying the parameters of the regression equation. This approach is necessary to possibly take into account a number of previously excluded data. As a result of varying the values of K_r and S in the obtained equation, the orbital radii of the atom were calculated, which coincide, within a certain average error, with their experimentally measured values.

At the final stage, obtained by interpolation regression equations of the relationship between the orbital radii of the atom and the parameters affecting them, their values were extrapolated to the entire range of atomic numbers in order to create a complete scheme for changing the orbital radii of the closed electron subshells of the atom from the charge number of the nucleus.

As an example, consider the relationship between the orbital radius r_{orb} and the nuclear charge of an atom Z for a closed 2s-subshell, built by taking into account the known values [8] and obtained using the proposed technology presented above. The results of the studies are presented in table 1.

Table 1

Comparison of data on orbital radii obtained in [8] with the results of the application of technology based on regression analysis

Таблица 1

Сравнение данных по орбитальным радиусам, полученных в работе [8], с результатами применения технологии, основанной на регрессионном анализе

Z	r_{orb} (acc. to data [8])	r_{orb} (given article)	Percentage error, %
3	1,586	1,416	10,70
4	1,04	0,991	4,71
5	0,769	0,762	0,89
6	0,62	0,619	0,14
7	0,521	0,521	0,06
8	0,45	0,450	0,05
9	0,396	0,396	0,04
10	0,354	0,354	0,09

Comparison of the results of the computational experiment and the data from [8] shows that the values of the relative error for the first four atoms have significantly higher values than for those presented in the rest of Table 1. This fact is associated with the instability of the position of the electrons of the 2s-subshell in the lighter atoms, with the subsequent stabilization of the distances to the nucleus in heavier atoms.

Initially, the first values of r_{orb} , having increased relative errors, were excluded from consideration; however, upon further consideration, it turned out that the value of the orbital radius for an atom with $Z = 6$ can also be taken into account in the study. The use of equation (2) made it possible to control the curvature of the calculated line (Fig. 1) by changing the constant of shielding S , as well as its displacement relative to the vertical axis, determined by the value of the coefficient K_r .

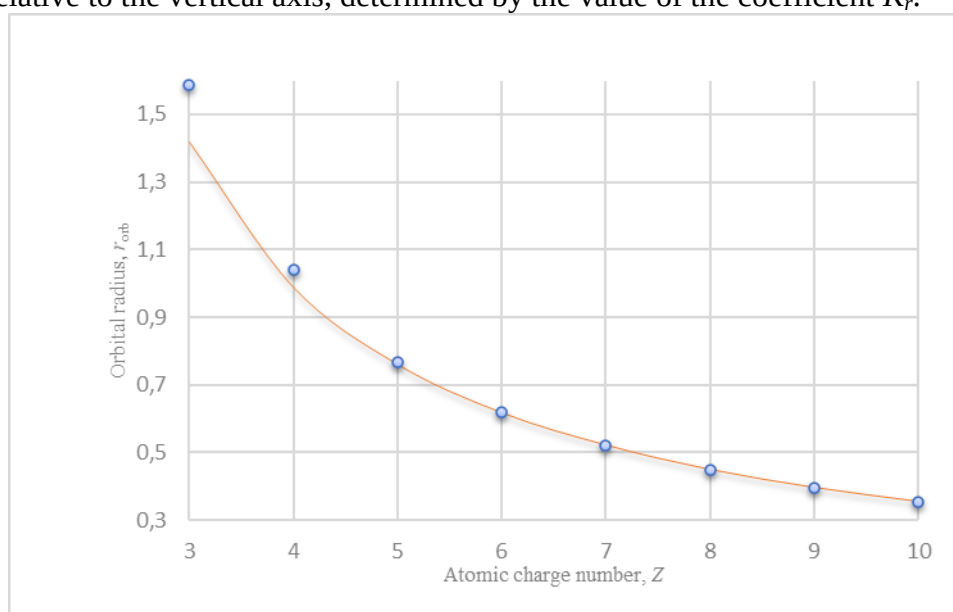


Fig. 1. The graph of the dependence of the orbital radius r_{orb} on the nuclear charge of an atom Z for a closed 2s-subshell: ● – according to the data of [8]; red line – according to the values obtained in this work

Рис. 1. График зависимости орбитального радиуса $r_{\text{орб}}$ от ядерного заряда атома Z для закрытой 2s-подоболочки: ● – по данным работы [8]; красная линия – по значениям, полученным в данной работе

Varying these constants, using the program we developed, allowed us to determine the smallest value for the average relative error, which in our case takes a value equal to 0.7. This average error corresponded to the value of the coefficient $K_r=1,56$ at $S=0,67$.

2. RESULTS AND DISCUSSION

Knowing the value of the orbital radius r_{orb} allows using equation (2) to calculate the values of the parameters for the selected subshells of many-electron atoms. The calculation results are presented in table. 2.

Table 2

Calculated values of the parameters of the electron shell of an atom

Таблица 2

Расчетные значения параметров электронной оболочки атома

Subshell No., N_p	Electronic configuration	Coefficient, K_r		Constant of shielding, S		
		Acc to eq. (1a)	In the article	Acc to Slater	In the article	Reference mean error, %
1	$1s^2$	1,5	1,00	0,3	0,178	0,24
2	$2s^2$	1,5	1,56	2,05	0,67	0,07
3	$2p^6$	1,25	1,00	4,15	3,49	0,13
4	$3s^2$	1,5	1,57	9,15	5,68	0,11
5	$3p^6$	1,39	1,41	11,25	8,40	0,05
6	$3d^{10}$	1,17	1,00	21,15	13,70	0,22
7	$4s^2$	1,5	1,50	25,65	17,65	0,04
8	$4p^6$	1,44	1,48	27,75	19,85	0,04
9	$4d^{10}$	1,31	1,21	39,15	27,60	0,18
10	$4f^{14}$	1,13	1,17	50,55	30,46	0,06
11	$5s^2$	1,5	1,38	43,65	32,11	0,06
12	$5p^6$	1,46	1,43	45,75	41,93	0,08
13	$5d^{10}$	1,38	1,17	71,15	53,95	0,08
14	$5f^{14}$	1,26	1,39	62,55	57,05	0,10
15	$6s^2$	1,5	1,13	75,65	60,67	0,04
16	$6p^6$	1,47	1,03	77,75	67,77	0,16
17	$6d^{10}$	1,42	1,00	79,15	73,99	0,03
18	$7s^2$	1,5	1,18	84,8	73,02	0,04

Note: the reference mean error is given for the constant of shielding S calculated in this work.

The analysis of the performed calculation revealed a number of important features. First, we note that the value of the coefficient K_r has a well-defined individual value for each electron subshell. For example, for kinosymmetrics, it takes on a value equal to one. An exception is the $4f$ -subshell, for which the K_r coefficient has a slightly higher value of 1.13. For the subshells following the kinosymmetrics, the value of the coefficient has the largest and almost identical values, numerically close to 1.5.

Second, when considering the screening constants, the obtained values for the $1s$ - and $2s$ -subshells, are striking, which are much smaller than those obtained when calculating according to Slater's rules [10]. If the first case can somehow be compared with the constant of shielding obtained by Pauling ($S = 0.188$) [5], then the authors have not found a possible explanation for the $2s$ -subshell at the moment. At the same time, all subsequent S values have a fairly satisfactory correlation with the Slater data, which is clearly seen in the graph below (Fig. 3).

Thus, the calculation of the orbital radii in many-electron atoms according to Eq. (1) for the indicated values of the K_r coefficient and the constant of shielding S gives satisfactory agreement with the available experimental data. The average error in the deviation of the calculated values of the constant of shielding here does not exceed 0.24%.

Figure 2 shows in the form of a diagram the curves of the dependence of the orbital radii r_{orb} of the closed electron subshells of the atom on the charge number of the nucleus Z .

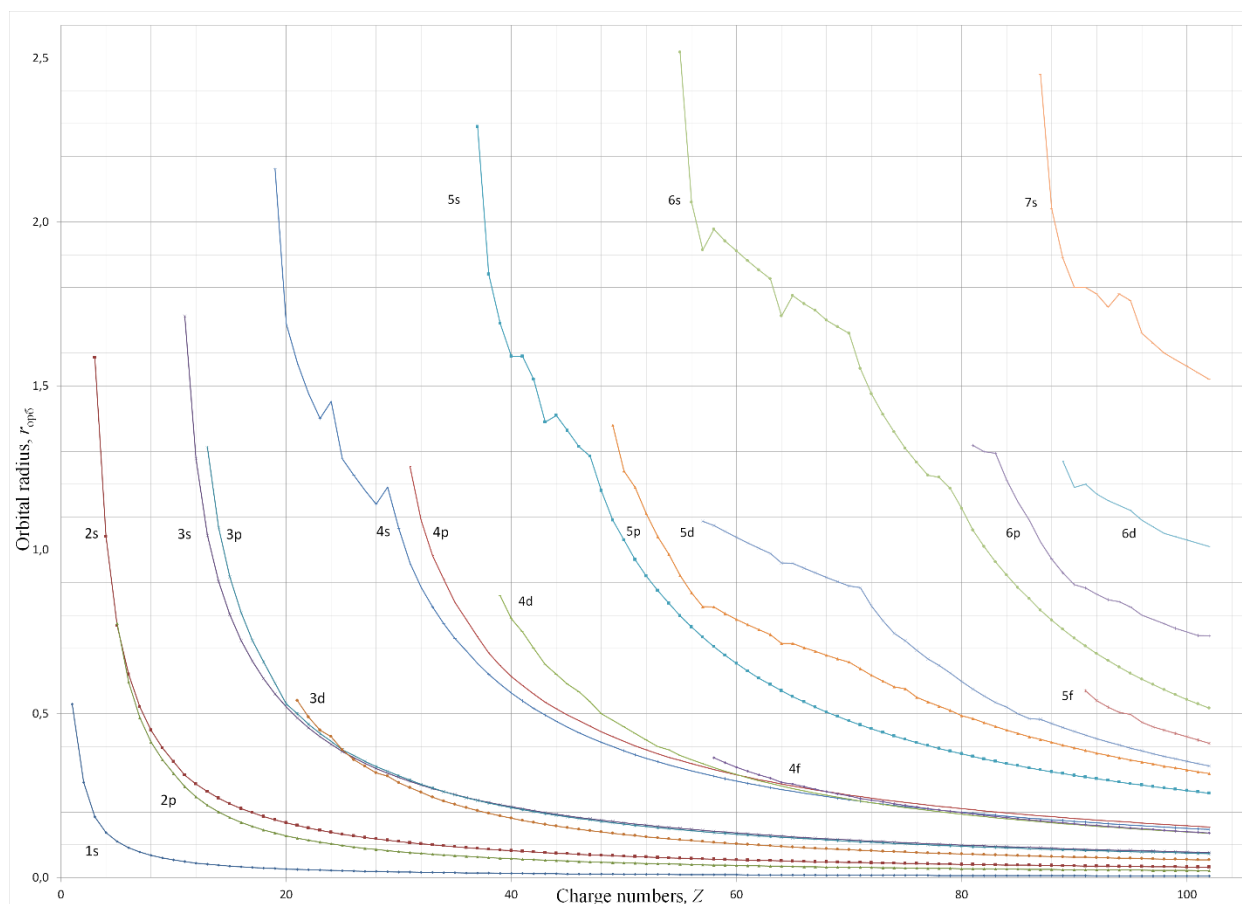


Fig. 2. Scheme of variation of the orbital radii r_{orb} (in angstroms) of closed electron subshells of an atom from the charge number of the nucleus Z

Рис. 2. Схема изменения орбитальных радиусов r_{orb} (в ангстремах) закрытых электронных подболочек атома от зарядового числа ядра Z

As can be seen in the presented graphs of the dependence “orbital radius – nuclear charge”, in addition to the known data on orbital radii [8], also on the continuation of the curves of dependences, the values obtained by calculating by regression equations are located. In addition, we note that here, at large values of the nuclear charge (from $Z = 60$ and above), the curves are clearly grouped in accordance with the shell model of the atomic structure.

Figure 3 shows the dependence of the parameter S on the number of the electron subshell N_p . As you can see, the values of the parameter S agree fairly well with the values obtained based on the Slater rules. At the same time, you can also see that the calculated values of the screening constants according to Slater's rules have values slightly higher than those obtained by statistical analysis.

Analysis of the consideration of the concept of the serial number of the subshell N_p showed that this parameter, in turn, depends on the principal and orbital quantum numbers, which allows us to represent this dependence as follows

$$N_p = 1 + \frac{n(n-1)}{2} + l \quad (3)$$

In addition, statistical processing of the data on the dependence of the constant of shielding on the serial number of the subshell allowed us to propose for this dependence the following semi empirical equation

$$S = (N_p - b)^{\pi/2}, \quad (4)$$

where b – is a constant taking values $1/2$ – for Slater data, and $2/3$ – according to the data of this work. When constructing equation (3), it was also taken into account that the obtained numerical value of the power equal to 1.571 is quite close to the value $11/7$, which can be compared with the value equal to $\pi/2$.

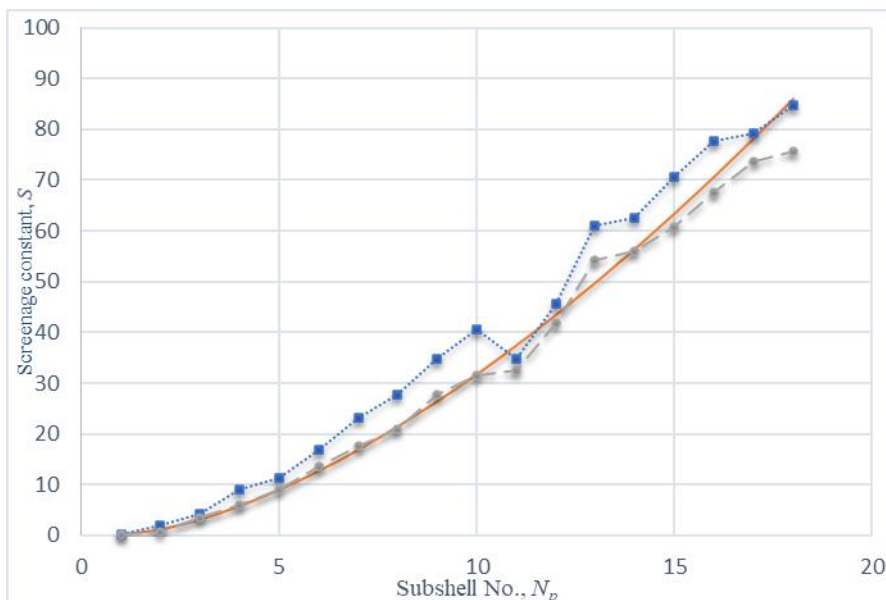


Fig. 3. Dependence of the constant of shielding S on the serial number of the subshell N_p .

● – in this article; ■ – acc. to Slater; red line – according to equation (4) at $b=2/3$

Рис. 3. Зависимость константы экранирования S от порядкового номера подоболочки N_p .

● – в данной работе; ■ – по Слейтеру; красная линия – по уравнению (4) при $b=2/3$

When considering the dependence of the coefficient K_r on the subshell sequential number N_p , shown in Fig. 4, it can be unambiguously asserted that the changes in the values of the K_r parameter are periodic in nature, repeating for atoms, starting from the filled subshells with kinosymmetric electrons. In addition, there is almost complete agreement of the calculated data with the theoretical model in the initial part of the graph. The emerging discrepancy in the regions further down the $4f$ -subshell is most likely associated with the effects of lanthanide and actinoid compression.

In the case of subdividing electronic configurations into separate subgroups, at the head of which are kinosymmetrics, then introducing a new quantum number k , for these subgroups, which we call a symmetric quantum number, the coefficient K_r can be written in the form

$$K_r = 1 + \frac{k}{k^2 + 1}. \quad (5)$$

Therefore, the symmetric quantum number k is a quantity that shows the position of the selected subshell in the row of subshells following the kinosymmetrics, and this quantum number can take the following values: 0 (for a subshell with a kinosymmetrics), 1, 2, 3, etc. – for subsequent subshells.

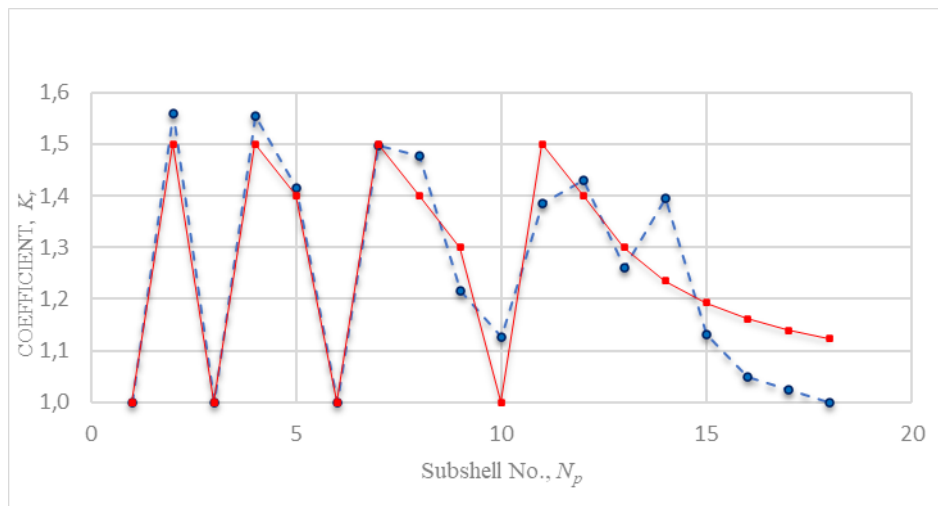


Fig. 4. Dependence of the coefficient K_r on the sequential number of the subshell N_p :

● – calculated data, ■ – according to equation (5)

Рис. 4. Зависимость коэффициента K_r от порядкового номера подболочки N_p :

● – расчетные данные, ■ – по уравнению (5)

At the end of our study, having included expressions (4) and (5) in formula (1), we finally obtain the equation for calculating the orbital radii of closed subshells that determine the average size of an atom in the following form

$$r_{orb} = \left(1 + \frac{k}{k^2 + 1}\right) \frac{a_0 n^2}{Z - (N_p - b)^{\pi/2}}. \quad (6)$$

Knowing the quantum numbers n and k , the nuclear charge Z , and the numbers of the subshells N_p under consideration (at $b=2/3$) allows one to calculate the orbital radii r_{orb} for closed subshells of a many-electron atom using Eq. (6). The calculation results are presented in the form of a graph in Figure 5.

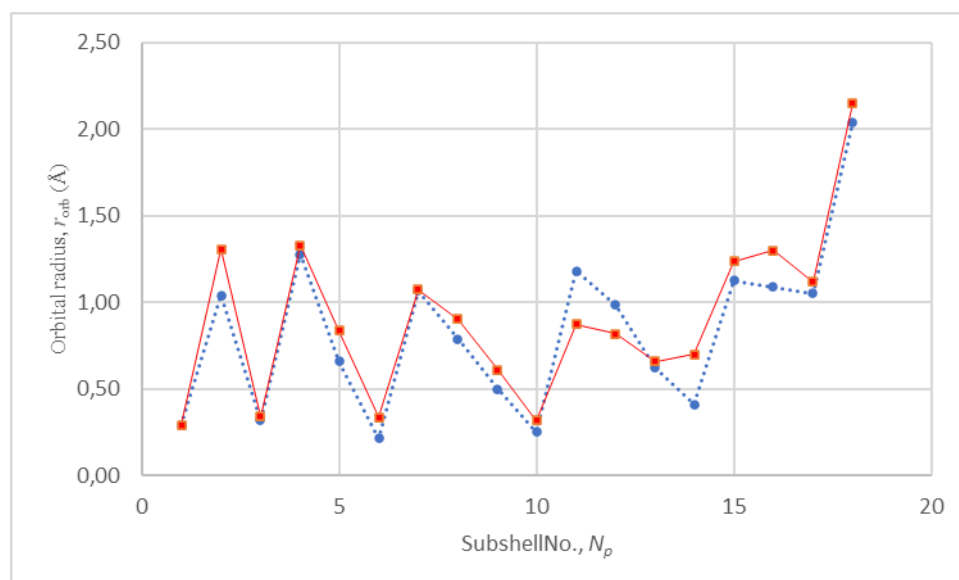


Fig. 5. Dependence of the orbital radius r_{orb} of an atom on the serial number of the closed subshell N_p :

● – data from work [8], ■ – according to the equation (6)

Рис. 5. Зависимость орбитального радиуса r_{orb} атома от порядкового номера закрытой подболочки N_p :

● – данные из работы [8], ■ – по уравнению (6)

Note that when considering the dependence of r_{orb} on the subshell sequential number N_p , it is necessary to pay special attention to s-subshell, the filling of which takes place in several stages. In this

case, it is desirable to take as a basis only those values of the orbital radii at which the electrons already have a fixed position, that is, they cannot shift in the region of other subshells.

CONCLUSION

As a result of the analysis of the data on the parameters of multielectron atoms, a number of regularities have been revealed that make it possible to make significant adjustments to the traditional concepts of the structure and sequence of formation of the electronic shells of atoms. The essence of the results presented in this work is as follows. By means of computer simulation, a computational experiment was carried out to form regression equations describing the dependence of the orbital radius r_{orb} on the charge number of the nucleus Z , on the basis of which a diagram of the arrangement of the curves $r_{\text{orb}}=f(Z)$ was constructed for each of the closed subshells separately. A semi empirical equation is proposed for the dependence of the constant of shielding S on the number of subshells in an atom N_p . The concept of a symmetric quantum number k is introduced, which determines the secondary periodicity of the arrangement of subshells having kinosymmetries as the main criterion. The form of the dependence of the coefficient K_r on the symmetric quantum number k is determined. An equation is obtained to estimate the average size of an atom.

Thus, the calculation of the average size of closed subshells of atoms according to equation (6) gives satisfactory agreement with the available experimental data.

References

1. Slater J.C. The self-consistent field method for molecules and solids // New York: McGraw Hill, 1974, Vol. 4. 583 p.
2. Godovikov A.A. Orbital radiuses and properties of elements. Novosibirsk: Science, 1977. 156 p. (in Russian)
3. Batsanov S.S., Batsanov A.S. Introduction to Structural Chemistry. London: Springer, 2012. 547 p.
4. Radtsig A.A., Smirnov B.M. Parameters of atoms and atomic ions. M.: Energoatomizdat, 1986. 344 p. (in Russian)
5. Pauling L. The sizes of ions and the structure of ionic crystals // J. Am. Chem. Soc., 1927, Vol. 49. P. 765-790.
6. Slater J.C. Quantum theory of molecules and solids // New York: McGraw Hill, 1965. 563 p.
7. Ibragimov I.M., Kovshov A.N., Nazarov Yu.F. Bases of computer modeling of nanosystems. SPb.: Lan publishing house, 2010. 384 p. (in Russian)
8. Waber J.T., Cromer D.T. Orbital radii of atoms and ions // J. Chem. Phys., 1965, Vol. 42, No.12. P. 4116-4123.
9. Boyd R.J. The relative sizes of atoms // J. Phys. B, 1977, Vol. 10, No.2. P. 2223-2228.
10. Slater J.C. Atomic shielding constants // Physical Review, 1930, Vol. 36. P. 57-64.
11. Robinett R.W. Quantum mechanics classical results, modern systems, and visualized examples. New York: Oxford University Press, 2006. 503 p.
12. Ghosh D.C. Biswas R. Theoretical calculation of absolute radii of atoms and ions. Part 1. The atomic radii // Int. J. Mol. Sci., 2002, Vol. 3, No.2. P. 87-113.

Список литературы

1. Slater J.C. The self-consistent field method for molecules and solids // New York: McGraw Hill, 1974, Vol. 4. 583 p.
2. Годовиков А.А. Орбитальные радиусы и свойства элементов. Новосибирск: Наука, 1977. 156 с.
3. Batsanov S.S., Batsanov A.S. Introduction to Structural Chemistry. London: Springer, 2012. 547 p.
4. Радциг А.А., Смирнов Б.М. Параметры атомов и атомных ионов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 344 с.
5. Pauling L. The sizes of ions and the structure of ionic crystals // J. Am. Chem. Soc., 1927, Vol. 49. P. 765-790.
6. Slater J.C. Quantum theory of molecules and solids // New York: McGraw Hill, 1965. 563 p.
7. Ибрагимов И.М., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. Основы компьютерного моделирования наносистем. СПб.: Издательство «Лань», 2010. 384 с.
8. Waber J.T., Cromer D.T. Orbital radii of atoms and ions // J. Chem. Phys., 1965, Vol. 42, No.12. P. 4116-4123.

9. Boyd R.J. The relative sizes of atoms // J. Phys. B, 1977, Vol. 10, No.2. P. 2223-2228.
10. Slater J.C. Atomic shielding constants // Physical Review, 1930, Vol. 36. P. 57-64.
11. Robinett R.W. Quantum mechanics classical results, modern systems, and visualized examples. New York: Oxford University Press, 2006. 503 p.
12. Ghosh D.C. Biswas R. Theoretical calculation of absolute radii of atoms and ions. Part 1. The atomic radii // Int. J. Mol. Sci., 2002, Vol. 3, No.2. P. 87-113.

Migal Larisa Vladimirovna, associate professor of information and robotic systems, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

Bondarev Vladimir Georgiyevich, teacher of the CEC of general education disciplines, Candidate of Technical Sciences, associate professor

Bondareva Tatyana Pavlovna, senior teacher of department of pediatrics

Мигаль Лариса Владимировна, доцент кафедры информационных и робототехнических систем, кандидат физико-математических наук, доцент

Бондарев Владимир Георгиевич, преподаватель ЦИК общеобразовательных дисциплин, кандидат технических наук, доцент

Бондарева Татьяна Павловна, старший преподаватель кафедры педиатрии

УДК 004.62

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-5

Наумов Р.К.
Железков Н.Э.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМАТОВ ХРАНЕНИЯ
ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ОБРАБОТКИ
МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,
механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: ruslan.naumow.dake@gmail.com, nikita.e.zhelezkov@gmail.com

Аннотация

На сегодняшний день одним из перспективных направлений в области информационных технологий является машинное обучение. Оно используется во многих сферах деятельности, в том числе и в анализе текстовых данных. Между этапами сбора данных и их анализом располагается этап хранения данных. Одним из вопросов, требующих тщательного рассмотрения, является выбор формата хранения этих данных. Настоящая статья представляет собой обзор наиболее популярных форматов хранения текстовых данных, используемых в машинном обучении. Определены критерии, по которым произведено сравнение. Результатом работы является сравнительная таблица анализируемых форматов. Исходя из результатов, сделан вывод о наиболее эффективном способе хранения текстовых данных.

Ключевые слова: машинное обучение, текстовые данные, текстовые форматы, сериализация данных.

Для цитирования: Наумов Р.К., Железков Н.Э. Сравнительный анализ форматов хранения текстовых данных для дальнейшей обработки методами машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 40-47. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-5

Naumov R.K.
Zhelezkov N.E.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF TEXT DATA STORAGE FORMATS
FOR FURTHER PROCESSING BY METHODS OF MACHINE
LEARNING**

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: ruslan.naumow.dake@gmail.com, nikita.e.zhelezkov@gmail.com

Abstract

Today, one of the most promising areas in the field of information technology is machine learning. It is used in many areas of activity, including text data analysis. Between the data collection and analysis stages, there is a data storage stage. One of the issues that requires careful consideration is the choice of storage format for this data. This article provides an overview of the most popular text data storage formats used in machine learning. The criteria for the comparison are determined. The result of the work is a comparative table of the analyzed formats. Based on the results, a conclusion is made about the most efficient way to store text data.

Keywords: machine learning, text data, text formats, data serialization.

For citation: Naumov R.K., Zhelezkov N.E. Comparative analysis of text data storage formats for further processing by methods of machine learning // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 40-47. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-5

ВВЕДЕНИЕ

Текстовый канал коммуникаций – это способ обеспечения коммуникации в цифровой среде. К нему относят социальные сети, мессенджеры, чаты, электронные письма. Текстовый

канал является основным способом сбора текстовых данных [19], которые в зависимости от цели их получения в дальнейшем либо хранятся и обрабатываются для извлечения необходимой информации [1]. Стоит отметить, что цель получения данных также играет роль в способе их хранения. [12, 13, 14]

Помимо выбора системы хранения данных (СХД) [18] важным фактором в хранении, обработке и передаче данных является формат хранения этих данных. Именно от формата зависит скорость работы с данными, объем хранимых файлов, их взаимодействие с различными системами. В отличие от привычных нам структурированных данных, методы извлечения информации из которых хорошо известны [2], текстовые данные в большинстве случаев являются неструктурированными или слабоструктурированными, то есть не имеют заранее определенной структуры и не организованы в установленном порядке. Несмотря на то, что некоторые авторы описывают подходы к обработке таких данных [3, 4], данный факт приводит к трудностям анализа, особенно в случае использования традиционных программ, предназначенных для работы со структурированными данными. Именно поэтому для машинного обучения [15, 16] текстовые данные переводятся в специализированные форматы.

На сегодняшний день в области машинного обучения наиболее часто встречаются следующие форматы хранения текстовых данных:

- CSV – текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных. Строка таблицы соответствует строке текста, которая содержит одно или несколько полей, разделенных запятыми. [5]
- JSON – текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript. Как и многие другие текстовые форматы, JSON легко читается человеком. [6]
- XML – простой, очень гибкий текстовый формат, являющийся подмножеством SGML (ISO 8879) [8], который позволяет определять собственные теги и атрибуты. [9]

Целью статьи является исследование наиболее популярных форматов хранения данных для их последующего анализа методами машинного обучения. Под текстовыми данными в работе рассматриваются выгруженные чаты видеоконференций на платформе Zoom.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для успешного анализа приведенных форматов необходимо определить ряд критериев, которым формат должен соответствовать в той или иной степени. Авторы статьи [9] для сравнительного анализа форматов обмена данными используют следующие критерии:

1. Размер файла. Файл должен быть небольшим для быстрой загрузки файла в базу данных, а также быстрой передачи по сети.;
2. Скорость парсинга (сериализации/десериализации). Формат должен минимизировать расходы на парсинг текста, тем самым увеличивать скорость обработки;
3. Поддержка библиотеками Python. Превосходная гибкость и простота использования Python делают его одним из самых популярных языков программирования. [20] Именно поэтому обучать системы принято на данном языке, а значит данный критерий является неотъемлемым;
4. Удобство к чтению и редактированию. Текст, хранящийся в формате, должен быть прост к восприятию и внесению изменений, то есть формат должен быть «человекочитаемым».

Определив основные критерии, перейдем к подробному рассмотрению каждого из представленных форматов.

Данные в CSV. В этом формате каждая строка файла — это строка таблицы. Несмотря на название формата (Comma-Separated Values – значения, разделённые запятыми), разделителем может быть не только запятая. И хотя у форматов с другим разделителем может быть и собственное название, например, TSV (tab separated values), тем не менее, под форматом CSV понимают, как правило, любые разделители.

Автор [7] в своей книге приводит следующий пример файла в формате CSV:

```
hostname,vendor,model,location
sw1,Cisco,3750,London
sw2,Cisco,3850,Liverpool
```

Рис. 1. Пример файла CSV

Fig. 1. CSV file example

Как видно из рисунка 1 данный формат прост к восприятию. Понятно, что первая строка – это названия столбцов, а последующие – строки. Файл содержит несколько строк, а его объем составит 81 байт.

В стандартной библиотеке Python есть модуль csv, который позволяет работать с файлами в CSV формате. Также для работы с данным форматом доступен класс DictReader.

Данные в JSON. Формат JSON часто используется в API. Кроме того, этот формат позволит сохранить такие структуры данных как словари или списки в структурированном формате и затем прочитать их из файла в формате JSON и получить те же структуры данных в Python.[7]

После преобразования файла из рисунка 1 в формат JSON получится следующий файл:

```
{
  "hostname": "sw1",
  "vendor": "Cisco",
  "model": 3750,
  "location": "London"
},
{
  "hostname": "sw2",
  "vendor": "Cisco",
  "model": 3850,
  "location": "Liverpool"
}
```

Рис. 2. Пример файла JSON

Fig. 2. JSON file example

Из рисунка 2 видно, что те же самые текстовые данные, рассмотренные ранее принимают более громоздкий формат. Строк и специальных обозначений становится больше, следовательно растет объем хранимого файла. Теперь объем текстовых данных равен 203 байта. Однако, структурированность данных устраняет сложности в обработке информации.

Как и в случае с CSV, в Python есть модуль, который позволяет легко записывать и читать данные в формате JSON.

Данные в XML. XML – это самодокументируемый формат, который описывает структуру и имена полей так же, как и значения полей.

Первоначальные текстовые данные в формате XML выглядит следующим образом:


```
<Records>
  <Record>
    <Row
      A="hostname"
      B="vendor"
      C="model"
      D="location"
    />
  </Record>
  <Record>
    <Row
      A="sw1"
      B="Cisco"
      C="3750"
      D="London"
    />
  </Record>
  <Record>
    <Row
      A="sw2"
      B="Cisco"
      C="3850"
      D="Liverpool"
    />
  </Record>
```

Рис. 3. Пример файла XML
Fig. 3. XML file example

Из рисунка 3 можно сделать вывод, что файл XML среди трех рассматриваемых форматов является самым «тяжелым». Он содержит больше всего строк и специальных символов, а его вес равен 455 байт. Понимание текстовых данных, хранимых в XML файле, по сравнению с предыдущими форматами становится более затрудненным.

В Python документы XML могут быть обработаны несколькими способами. Язык имеет традиционные парсеры DOM и SAX, но автор работы [10] сфокусировался на другой библиотеке под названием ElementTree. Модуль ElementTree входит в стандартную библиотеку Python и находится в xml.etree.ElementTree.

Авторы статьи [5] подробно провели анализ эффективности скорости сериализации-десериализации файла в форматах XML и JSON. Парсером JSON был выбран FastJSON, его преимущества подробно рассмотрел другой автор [17]. Парсером XML авторы статьи выбрали стандартный механизм от Майкрософт – Microsoft XML Parser. Для определения скорости они использовали файл конфигурации базы данных PDM системы в формате XML. Результаты приведены в таблице:

Сравнение форматов сериализации-десериализации

Таблица 1

Comparison of serialization-deserialization formats

Table 1

Метод и средства сериализации-десериализации	Время операции сериализации, миллисекунды	Время операции десериализации, миллисекунды
JSON (FastJSON)	279	644
XML (Microsoft XML Parser)	773	461

Разница времен десериализации обусловлена эффективностью алгоритма сжатия данных. При обработке небольших объемов данных JSON будет более компактным, однако при работе с более сложными структурами эффективность сжатия XML будет выше, чем у JSON. [5]

Авторы статьи [11] провели исследование, в котором определяли, эффективный способ хранения данных. За исходные данные в работе выбраны текстовые файлы, документы, не прошедшие обработку для последующего анализа. Авторы отмечают, что данные могут содержать пробелы или дубликаты, ошибочные значения, противоречия. Такие данные требуют преобразования к виду, удобному для применения аналитических алгоритмов, то есть применения процедур и методов, позволяющих извлечь данные из разнообразных источников, преобразовать их в единый формат, нормировать данные, избавиться от пробелов, дубликатов, ошибок данных. В результате исследования они получили следующее:

Таблица 2

Анализ эффективности CSV формата

Table 2

CSV format performance analysis

Способ хранения	Время добавления 10 000 записей, сек	Время получения 100 000 записей, сек	Время обновления 10 000 записей, сек
CSV файл	4,6	1,576	9

Исследователи выяснили, что самым эффективным способом хранения таких данных является CSV файл. Исходя из таблицы 2, можно отметить очень высокую скорость работы CSV формата с текстовыми данными.

РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам анализа трех форматов хранения текстовых данных построена сравнительная таблица (Таблица 3), включающая критерии, описанные ранее.

Таблица 3

Сравнительная таблица форматов

Table 3

Format Comparison Table

Критерий	CSV	JSON	XML
Размер файла, байт	81	203	455
Среднее время операции над данными, мс	45	461,5	617
Поддержка библиотеками Python	Да	Да	Да
Человекочитаемость	5	4	3

По результатам проведенного исследования, отраженным в таблице 3, видно, что формат CSV для одинаковых данных по сравнению с форматами JSON и XML занимает меньший объем памяти компьютера. Авторы статей [9, 11] объясняют это тем, что форматы JSON и XML поддерживает иерархичность структур, то есть упрощает хранение связанных данных. В свою очередь CSV-файлы изначально не могут представлять иерархические или реляционные данные. Связи между данными обычно обрабатываются с использованием нескольких CSV-файлов. Однако, сообщения, получаемые из текстового канала связи можно организовать в простую плоскую таблицу.

Файлы в формате JSON чаще используются в решениях обмена горячими данными. Документы JSON часто отправляются с веб- и мобильных устройств, выполняющих онлайн-транзакции, устройств Интернета вещей. [21]

Одной из основных проблем XML-файлов является крайняя детализация, тем самым данные из таких файлов обрабатываются дольше. Необходимость такой детализации обусловлена расширяемостью формата. Таким образом, разработчики используют XML для хранения динамичных данных.

На примере представленных работ можно заметить зависимость эффективности форматов – чем больше формат требует объема, тем медленнее происходит работа с данными. Отметим, что рассматриваемые форматы достаточно популярны, так как каждый имеет модуль в последних версиях ЯП Python.

Из результатов, полученных в исследовании, можно сделать вывод, что для хранения текстовых данных, полученных из чата видеоконференции Zoom, целесообразно использование формата CSV. Получаемые данные не имеют сложной структуры, поэтому хранение их в CSV-файлах приведет к меньшим потерям в объемах занимаемой памяти и более эффективной обработке информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассматривались три формата хранения текстовых данных: CSV, JSON и XML. Были заданы критерии для определения наиболее подходящего формата для дальнейшей обработки методами машинного обучения. Исследование проводилось на основе работ разных авторов. Оценка объема файла и «человекочитаемости» в конкретном формате на основе работы одного из авторов [7] показала преимущества формата CSV. Авторами других статей [5, 11] оценен критерий скорости работы с данными, в котором наилучшим образом показали себя CSV и JSON форматы. Также исследование показало, что рассматриваемые форматы довольно популярны среди разработчиков Python. Сделан вывод по зависимости эффективности форматов от требуемого объема для одинакового набора текстовых данных.

В настоящей работе, собрана лишь начальная информация для комплексного и доказательного рассмотрения вопроса эффективности различных форматов хранения текстовых данных. Отметим, что работа может быть дополнена более подробным рассмотрением критериев форматов, а также внедрением новых критериев оценки эффективности. Результаты данного исследования могут быть использованы в дальнейшем определении структуры и системы хранения данных, сериализации и передачи данных.

Список литературы

1. Извлечение информации из разнотипных данных и её приведение к целевой схеме / Брюхов Д.О., Ступников С.А., Калиниченко Л.А., Вовченко А.Е. // Selected Papers of the XVII International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. 2015. С. 81–90.
2. Бедарев Н.В., Войнов А.А. Тексты на естественном языке и методы извлечения структурированных данных // Международная научно-технологическая конференция студентов и молодых ученых «Молодёжь. Наука. Технологии». 2018. №2. С. 37–42.
3. Борисов А.В. Современные решения и подходы к обработке массивов неструктурированной текстовой информации в области больших данных // Проблемы современной науки и образования. 2017. С. 49–52.
4. Петрова И.Ю., Горянин С.В. Информационно-аналитическая система EcoHealth для хранения и анализа структурированных и неструктурированных больших данных // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал 2017. № 3 (21). С. 66–71.
5. Погодин Г.В., Фиго Д.М., Васильев Э. Н. Сериализации структур данных для хранения и передачи в информационных системах. Методы и средства // «Молодежь в науке». Сборник докладов 16-й научно-технической конференции. 2017. №2. С. 231–236.
6. CSV URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV> (дата обращения: 11.12.2020).
7. Самойленко Н. Python для сетевых инженеров Выпуск 3.0. URL: https://pyneng.readthedocs.io/_/downloads/ru/latest/pdf/ (дата обращения: 12.12.2020)
8. Extensible Markup Language (XML) URL: <https://www.w3.org/XML/> (дата обращения: 12.12.2020).
9. Канаев К.А., Фалеева Е.В., Пономарчук Ю.В. Сравнительный анализ форматов обмена данными, используемых в приложениях с клиент-серверной архитектурой // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-25. – С. 5569–5572.
10. Пилигрим М. Погружение в Python 3. 2010.
11. Сучкова Е.А., Николаева Ю.В. Разработка оптимальной структуры хранения данных для систем поддержки принятия решений // Кибернетика и программирование. – 2016. № 4. С. 58–64.

12. Романов А.С. Модель базы данных для хранения текстов и их характеристик // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2008. №1. С. 70-73.
13. Шевелев О.Г. Представление набора текстов в реляционной базе данных для целей лингвистического анализа. 2004.
14. Довбенко А.В. Хранение данных в NoSQL системах на примере MongoDB. 2015.
15. Коротеев М.В., Коротеев К.М. Обзор некоторых современных тенденций в технологии машинного обучения // E-Management. 2018. С. 26-35.
16. Руйчева А.П. Развитие машинного обучения // Современные технологии в образовании: материалы международной научно-практической конференции. 2017. Ч. 1. С. 232-237.
17. Mison: A Fast JSON Parser for Data Analytics / Li, Yinan, Katsipoulakis N., Chandramouli, B., Goldstein J., Kossman D. 2017.
18. Савин И.В. Анализ систем хранения данных // Известия Тульского государственного университета Технические науки. 2019. С. 193-196.
19. Басов О.О., Саитов И.А. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы // Труды СПИИРАН. (7), С. 122–140.
20. Растет популярность Python открытые системы. М.: Открытые системы, 2019. С. 5-11.
21. Langdale G., Lemire D. Parsing gigabytes of JSON per second // The VLDB Journal: The International Journal on Very Large Data Bases. 2019. 28(6). pp. 941.

Reference

1. Information Extraction from Multistructured Data and its Transformation into a Target Schema / Briukhov D.O., Stupnikov S.A., Kalinichenko L.A., Vovchenko A.E. // Selected Papers of the XVII International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. 2015. pp. 81–90.
2. Bedarev N.V., Voinov A.A. Natural Language Texts and Methods of Structured Data Extraction // International scientific and technological conference of students and young scientists "Youth. The science. Technologies". 2018. No. 2. pp. 37-42.
3. Borisov A.V. Modern solutions and approaches to processing arrays of unstructured textual information in the field of big data // Problems of modern science and education. 2017. pp. 49-52.
4. Petrova I. Y., Goryanin S.V. Information and analytical system EcoHealth for storage and analysis of structured and unstructured big data // Engineering and construction bulletin of the Caspian Sea region: scientific and technical journal 2017. No. 3 (21). pp. 66–71.
5. Pogodin G.V., Figo D.M., Vasiliev E.N. Serialization of data structures for storage and transmission in information systems. Methods and means // "Youth in Science". Collection of reports of the 16th scientific and technical conference. 2017. No. 2. P. 231-236.
6. CSV URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV> (date of the request: 11.12.2020).
7. Samoylenko N. Python for Network Engineers Release 3.0 URL: https://pyneng.readthedocs.io/_/downloads/ru/latest/pdf/ (date of the request: 12.12.2020).
8. Extensible Markup Language (XML) URL: <https://www.w3.org/XML/> (date of the request: 12.12.2020).
9. Kanaev K.A., Faleeva E.V., Ponomarchuk Y.V. Comparative Analysis of Data Exchange Formats for Applications with Client-Server Architecture // Basic research. – 2015. – No. 2-25. – p. 5569-5572.
10. Pilgrim M. Dive into Python 3. 2010
11. Suchkova E.A., Nikolaeva Yu.V. Development of an optimal data storage structure for decision support systems // Cybernetics and programming. – 2016. No. 4. pp. 58-64.
12. Romanov A.C. Database model for storing texts and their characteristics // Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2008. No. 1. pp. 70-73.
13. Shevelev O.G. Representation of a set of texts in a relational database for the purpose of linguistic analysis. 2004.
14. Dovbenko A.V. Data storage in NoSQL systems on the example of MongoDB. 2015.
15. Koroteev M.V., Koroteev K. Review of Some Contemporary Trends in Machine Learning Technology // E-Management. 2018. pp. 26-35.
16. Ruycheva, A.P. Development of machine learning // Modern technologies in education: materials of an international scientific and practical conference. 2017. Part 1. pp. 232-237.
17. Mison: A Fast JSON Parser for Data Analytics / Li, Yinan, Katsipoulakis N., Chandramouli, B., Goldstein J., Kossman D. 2017.

18. Savin I.V. Analysis of data storage systems // Bulletin of the Tula State University Technical Sciences. 2019. pp. 193-196.
19. Basov O.O., Saitov I.A. Main channels of interpersonal communication and their projection onto infocommunication systems // Proceedings of SPIIRAS. (7), pp. 122–140.
20. The popularity of Python open-source systems is growing. Moscow: Open Systems, 2019.S. 5-11.
21. Langdale G., Lemire D. Parsing gigabytes of JSON per second // The VLDB Journal: The International Journal on Very Large Data Bases. 2019. 28(6). pp. 941.

Наумов Руслан Кириллович, инженер, студент, мегафакультет трансляционных информационных технологий
Железков Никита Эдуардович, инженер, студент, мегафакультет трансляционных информационных технологий

Naumov Ruslan Kirillovich, engineer, student, Faculty of Translational Information Technologies
Zhelezkov Nikita Eduardovich, engineer, student, Faculty of Translational Information Technologies

УДК 004.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-6

Нестеренко В.Р.
Маслова М.А.

**СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И УГРОЗЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПУБЛИЧНЫХ ОБЛАЧНЫХ РЕШЕНИЙ
И СПОСОБЫ РАБОТЫ С НИМИ**

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

e-mail: vladimir.nesterenko.workmail@gmail.com, mashechka-81@mail.ru

Аннотация

Некоторые организации используют облачные сервисы для хранения служебной информации, иные организации выстраивают свои бизнес-процессы с использованием облачных решений. По данным Check Point Software Technologies Ltd. (NASDAQ: CHKP), поставщика решений в области кибербезопасности по всему миру, за 2020 год, 39% респондентов отметили важность защиты облачной инфраструктуры компаний, и 52% выделили защиту публичных и гибридных облаков. Разработка методов и средств противодействия угрозам безопасности облачных сервисов – одна из приоритетных задач индустрии. В условиях карантина особенно остро стоят вопросы безопасности облачных сервисов, так как все больше и больше пользователей и организаций хранят важную информацию в облаке, ведут рабочий процесс в облаке, переносят или ассоциируют свои бизнес-процессы с облачными технологиями. Большая часть проблем информационной безопасности облачных сервисов могут быть решены с внедрением криптографической защиты, грамотных административных мер со стороны поставщика и провайдера услуг. Данные меры должны учитывать индивидуальные требования клиента.

Ключевые слова: облачные сервисы, безопасность облачных сервисов, облако, информационная безопасность.

Для цитирования: Нестеренко В.Р., Маслова М.А. Современные вызовы и угрозы информационной безопасности публичных облачных решений и способы работы с ними // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 48-54. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-6

Nesterenko R.V.
Maslova M.A

**MODERN CHALLENGES AND THREATS INFORMATION SECURITY
PUBLIC CLOUD MAKING AND METHODS OF WORK WITH THEM**

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

e-mail: vladimir.nesterenko.workmail@gmail.com, mashechka-81@mail.ru

Abstract

Some organizations use cloud services to store service information, while other organizations build their business processes using cloud solutions. According to Check Point Software Technologies Ltd. (NASDAQ: CHKP), a global cybersecurity solutions provider, for 2020, 39% of respondents noted the importance of protecting their cloud infrastructure, and 52% emphasized protecting public and hybrid clouds. The development of methods and means to counter threats to the security of cloud services is one of the priority tasks of the industry. In a quarantine environment, the security issues of cloud services are especially acute, as more and more users and organizations store important information in the cloud, conduct workflow in the cloud, and migrate or associate their business processes with cloud technologies. Most of the problems of information security of cloud services can be solved with the introduction of cryptographic protection, competent administrative measures on the part of the provider and service provider. These measures should take into account the individual requirements of the client.

Keywords: cloud services, cloud services security, cloud, information security.

For citation: Nesterenko R.V., Maslova M.A. Modern challenges and threats information security public cloud making and methods of work with them // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 48-54. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-6

ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет облачные технологии и сервисы начали широко применяться в работе многих компаний. Некоторые организации используют облачные сервисы для хранения служебной информации, иные организации выстраивают свои бизнес-процессы с использованием облачных решений, как незаменимых систем по информационному обеспечению бизнеса. Кроме выгоды, которую получит организация при внедрении облака, также присутствуют и угрозы.

По данным Check Point Software Technologies Ltd. (NASDAQ: CHKP), поставщика решений в области кибербезопасности по всему миру, за 2020 год, 39% респондентов отметили важность защиты облачной инфраструктуры компаний, и 52% выделили защиту публичных и гибридных облаков одной из приоритетных задач информационной безопасности на следующие два года, наряду с обеспечением безопасности удаленной работы и снижением процента утечек информации с мобильных устройств [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Виды облачных сервисов. Прежде чем рассматривать конкретные угрозы для облачных сервисов, необходимо рассмотреть виды и архитектуры облачных сервисов, а также их интеграцию в бизнес-процессы компаний.

По статистике, более 66% компаний используют облачные технологии, находящиеся на продвинутой -33% или промежуточной – 33% стадии их внедрения, остальные же еще остались на: отстающей – 7%, наблюдающей-13%, начинающей – 14% стадиях (см. рис.1) [8].



Рис. 1. Стадии внедрения облачных технологий
Fig. 1. Stages of implementation of cloud technologies

Облачный сервис, облачное решение – веб-приложение, реализующее повсеместный доступ сотрудников к ресурсам посредством сети. В [2] дается четкое разделение облачных сервисов по виду предоставляемых услуг и по типу развертывания сервиса на разных инфраструктурах.

По типу предоставляемых услуг облачные сервисы можно разделить на следующие типы:

- приложение, как сервис,
- платформа, как сервис,
- инфраструктура, как сервис.

Приложение как сервис (SaaS) – конечному пользователю предоставляется доступ к приложению, размещенному на серверах провайдера услуги. Возможность конфигурировать инфраструктуру, операционную систему и возможности облачной платформы, провайдер оставляет за собой. Пользователю предоставляется “тонкий” веб-интерфейс, который возможно использовать практически на всех платформах, имеющих браузер за редким исключением. Примером может служить система взаимодействия с клиентами, Битрикс24, а также развернутая на публичных серверах Atlassian инфраструктура для разработчиков (jira + confluence + bitbucket)

Платформа, как сервис (PaaS) – конечному пользователю предоставляется возможность размещать на платформе свои приложения, конфигурировать их, обеспечивать поддержку необходимых языков программирования и библиотек в пределах, устанавливаемых провайдером услуги. Примером может служить хостинг для веб приложений или хостинг для распределенных приложений.

Инфраструктура, как сервис (IaaS) – поставщик не контролирует конечного потребителя. Потребителю предоставляются контроль над вычислительными мощностями, конфигурацией облачной платформы, конфигурацией и установкой операционной системы, а также необходимых приложений.

По доступности облачные сервисы подразделяют на:

- частное облако,
- общественное облако,
- публичное облако,
- гибридное облако.

Частное облако принадлежит одной компании. За все аспекты безопасности облака отвечает данная компания: инфраструктуру облака, доступность и инциденты информационной безопасности несет ответственность только организация. Отсутствует необходимость в доверии к какому-либо провайдеру облачных услуг, доступ к облаку обычно предоставляется только сотрудникам компании, обычно через virtual private network.

Общественное облако (community cloud) – облачная инфраструктура предназначена для использования специфическим сообществом из организаций, которые имеют общие проблемы и задачи. Облачная инфраструктура может принадлежать одной или более организации из данного сообщества. Обеспечение безопасности, доступности и ответственность за сохранность данных несут владельцы облачной инфраструктуры. Между организациями, которые поддерживают облако должно быть доверие.

Публичное облако – облачная инфраструктура, доступная для открытого использования, за безопасность и доступность отвечает провайдер услуг.

Гибридное облако – облачная инфраструктура, являющаяся композицией из описанных выше типов облачных сервисов. Компоненты такого объединения облачных сервисов являются самостоятельными платформами. Для обеспечения доставки запросов к нужному компоненту облака обычно используют стандартизированные или частные технологии, например, балансировщик запросов [3].

На рис. 2 представлена статистика российского рынка облачных технологий и существующим требованиям закона – «Закон о персональных данных» их использования [8].

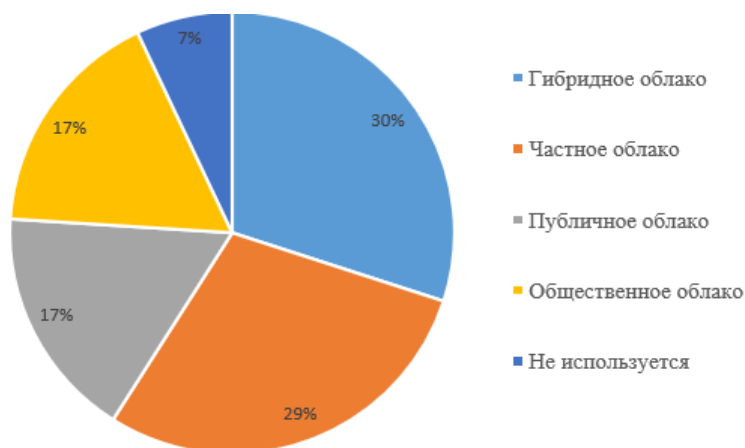


Рис. 2. Доступность облачных сервисов
Fig. 2. Availability of cloud services

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Угрозы безопасности публичных платформ и сервисов. В своем докладе [3] директор компании Huawei по развитию облачных технологий в России, Артур Пярн, выделил следующие основные угрозы:

- утечки данных,
- недостаточное управление доступом, учетными записями пользователей и авторизацией,
- небезопасное использование портов и API,
- эксплойты и уязвимости используемого ПО,
- взлом аккаунтов,
- инсайдеры злоумышленники,
- АРТ-угрозы,
- невозполнимая потеря данных,
- недостаточное due diligence провайдера,
- использование облачных сервисов в преступных целях,
- DoS и DDoS проблемы,
- Риски использования совместных ресурсов.

Данные угрозы характерны как для частных, так и для публичных облачных сервисов.

Причиной утечки данных может стать множество факторов, наиболее опасные из которых – деятельность инсайдеров и неправильная конфигурация облачного сервиса или приложений, расположенных на нем. Также неверная конфигурация веб-интерфейса и ошибки в коде, могут открыть злоумышленнику множество способов получения информации, которая хранится в публичном облаке.

Современные облачные решения реализованы как набор легковесных микросервисов, которые принимают запросы по протоколу http. Архитектура таких микросервисов основана на REST API, что привносит в список угроз все характерные угрозы для данного типа архитектуры, например, не криптостойкие генераторы токенов для пользователей, уязвимость “человек в середине” и передача по открытым каналам данных. Для купирования данной угрозы необходимо разрабатывать микросервисы с учетом безопасности при обмене данными. Передавать запросы к REST API микросервиса необходимо только используя зашифрованный канал передачи (SSL/TLS последней стабильной версии).

Множество пользователей постоянно совершают в облаке некоторые действия, среди которых могут быть и действия злоумышленника. Решением данной проблемы должно стать полное описание свойств приложения, которое размещено в облаке, а также логирование всех запросов.

Риски использования совместных ресурсов заключаются в модификации или уничтожении злоумышленником важных ресурсов. Потери от данной угрозы будут особенно велики, так как информация могла принести коммерческую выгоду не одной, а нескольким организациям. Или являлась результатом работы нескольких организаций, что неминуемо повлечет за собой репутационные потери.

АРТ-угроза – угроза постепенного внедрения, сбора информации и атак по нескольким векторам злоумышленника в облачном сервисе компании почти не отличается от обычных АРТ-атак. Для предотвращения таких атак необходимо реализовать комплекс мер и средств по обеспечению безопасности: административные, технические, программные. Однако, как следует из доклада ведущих специалистов по организации безопасности [5], не бывает идеальной защиты, а все предпринятые меры по защите облачных сервисов не могут считаться достаточно надежными, если в процесс взлома включен злоумышленник, имеющий средства, знания, а главное – время для исследования структуры сервиса и поиска его слабых мест. Существуют решения для предотвращения таких атак, но и они не могут считаться достаточно надежными

ввиду того, что все чаще и чаще исследователи уязвимостей находят ту или иную уязвимость в протоколе или в самом веб-приложении. Невозможно учесть все слабые стороны сложной архитектуры облачного сервиса.

В случае с данным видом угроз, основным способом обезопасить себя будет своевременное реагирование на действия злоумышленника, а также принятие концепции “никто не доверяет никому без необходимости, и ничего не разрешено по умолчанию” при проектировании облачных решений.

Максимальная защита от данной угрозы может быть достигнута при организации следующих мер и в системном применении следующих средств [6]: организация мониторинга дисков, логов, памяти, кода; применение средств обнаружения аномалий в системе, например средств, основанных на нейронных сетях и подходах, предполагающих машинное обучение [7].

Недостаточное due diligence провайдера – недостаточно детальный анализ провайдера, его вычислительных мощностей и услуг. Данная угроза может стать причиной отказа в обслуживании пользователей и потери информации.

В среднем защита данных в облаке распределяется следующим образом: 48% - подключение к облаку через защищенные каналы связи; 39% с помощью служб безопасности, предлагаемые облачным провайдером; 41% шифрование и токенизация (рис. 3) [8].

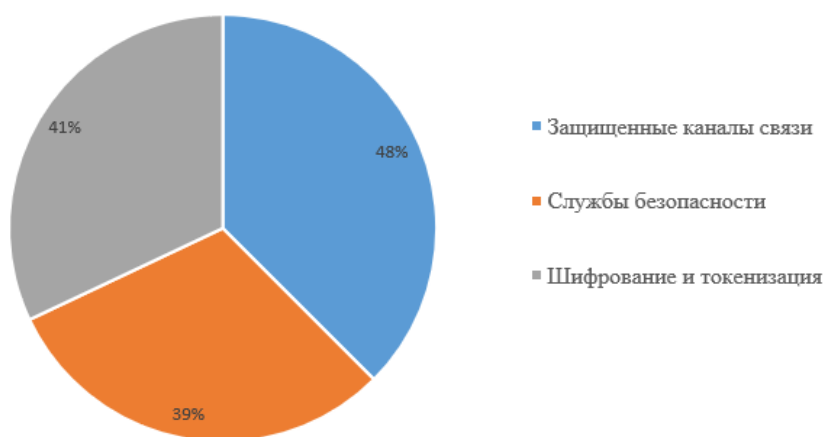


Рис. 3. Защита данных в облаке
Fig. 3. Data protection in the cloud

Большинство проблем защиты информации пользователя в облаке может быть решено на основе использования существующих методов криптографической защиты информации, административных мер со стороны как поставщика облачных услуг, так и пользователя, заключение договоров на предоставление услуг, учитывающих индивидуальные потребности клиентов, принятие международных стандартов в отрасли, введение контроля со стороны государства и создания независимых экспертов в этой отрасли [3].

Для обеспечения целостности и конфиденциальности хранимой в облаке информации необходимо использовать современные алгоритмы шифрования из международных стандартов, а также алгоритмы цифровой подписи. Проблема с получением доступа к аккаунтам пользователей может быть решена с введением двухфакторной аутентификации. Для обеспечения приемлемого уровня безопасности аутентификации можно использовать google authenticator как на стороне сервисов и веб приложений провайдера, так и на стороне пользователя. Данное решение будет являться оптимальным, так как поддерживается и обновляется большой компанией, а также предоставляет пользователям удобный интерфейс и возможность использовать мобильное приложение для генерации кода, как второго фактора аутентификации.

В настоящее время большинство поставщиков имеют свой собственный, иногда даже хорошо документированный интерфейс для программирования, но это приводит к невозможности перехода пользователей от одного поставщика услуг к другому. Практика в таких вопросах

показывает, что лишь разработка открытого единственного международного стандарта может решить этот вопрос.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка методов и средств противодействия угрозам безопасности облачных сервисов – одна из приоритетных задач индустрии. В условиях карантина особенно остро стоят вопросы безопасности облачных сервисов, так как все больше и больше пользователей и организаций хранят важную информацию в облаке, ведут рабочий процесс в облаке, переносят или ассоциируют свои бизнес-процессы с облачными технологиями.

Большая часть проблем информационной безопасности облачных сервисов могут быть решены с внедрением криптографической защиты, грамотных административных мер со стороны поставщика и провайдера услуг. Данные меры должны учитывать индивидуальные требования клиента. Также важно вводить международные стандарты безопасности облачных сервисов, контролировать то, как данные стандарты выполняются клиентами и провайдерами услуг.

Из программных средств и методов можно выделить полное описание и учет всех функций, создание защищенного REST API для своих микросервисов, размещенных в облаке.

Угроза инсайдерской утечки информации – наиболее серьезная угроза может быть если не предотвращена, то разрешена впоследствии, если облачные сервисы клиента или сам провайдер предоставляет логирование всех действий пользователя в системе.

Список литературы

1. Информационная безопасность в компаниях, https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8
2. NIST SP 800-145, The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special publications
3. Довгаль Виталий Анатольевич Облачные вычисления и анализ вопросов информационной безопасности в облаке // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2015. №2 (161). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-vychisleniya-i-analiz-voprosov-informatsionnoy-bezopasnosti-v-oblake> (дата обращения: 23.01.2021).
4. https://ict.moscow/static/pdf/files/10_%D0%9F%D1%8F%D1%80%D0%BD.pdf
5. <https://lib.itsec.ru/articles2/cloud-security/oblachnye-vychisleniya-v-rossii-vozmozhnosti-vyzovy-i-riski>
6. Alshamrani, Adel & Myneni, Sowmya & Chowdhary, Ankur & Huang, Dijiang. (2019). A Survey on Advanced Persistent Threats: Techniques, Solutions, Challenges, and Research Opportunities. IEEE Communications Surveys & Tutorials. PP. 1-1. 10.1109/COMST.2019.2891891.
7. Большев А.К., Яновский В.В. Применение нейронных сетей для обнаружения вторжений в компьютерные сети // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyronnyh-setey-dlya-obnaruzheniya-vtorzheniy-v-kompyuternye-seti> (дата обращения: 06.02.2021).
8. Исследование PwC «Страх облаков» Аналитическое исследование, октябрь 2020 [pwc-cloud-fear-survey.pdf](https://www.pwc.com/cloud-fear-survey)

References

1. Information security in companies, https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B2_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8
2. NIST SP 800-145, The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special publications

3. Dovgal Vitaly Anatolyevich Cloud computing and analysis of information security issues in the cloud // Bulletin of the Adygeya State University. Series
4. https://ict.moscow/static/pdf/files/10_%D0%9F%D1%8F%D1%80%D0%BD.pdf
5. <https://lib.itsec.ru/articles2/cloud-security/oblastnye-vychisleniya-v-rossii-vozmozhnosti-vyzovy-i-riski>
6. Alshamrani, Adel & Myneni, Sowmya & Chowdhary, Ankur & Huang, Dijiang. (2019). A Survey on Advanced Persistent Threats: Techniques, Solutions, Challenges, and Research Opportunities. IEEE Communications Surveys & Tutorials. PP. 1-1. 10.1109/COMST.2019.2891891.
7. Bolshev Alexander Konstantinovich, Yanovsky Vladislav Vasilyevich Application of neural networks for detecting intrusions into computer networks // Bulletin of St. Petersburg State University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Management processes. 2010. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-neyronnyh-setey-dlya-obnaruzheniya-vtorzheniy-v-kompyuternye-seti> (accessed: 06.02.2021).
8. PwC "Fear of the Clouds" Analytical study, October 2020 [pwc-cloud-fear-survey. pdf](https://www.pwc.com/cloud-fear-survey)

Нестеренко Владимир Романович, студент второго курса магистратуры кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

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

Nesterenko Vladimir Romanovich, second-year master's student of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

Maslova Maria Alexandrovna, post-graduate student, senior lecturer of the Department «Information security», Institute of Radioelectronics and Information security

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

УДК 004.838.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-7

Самигулин Т.Р.
Джурабаев А.Э.У.

**АНАЛИЗ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА МЕТОДАМИ МАШИННОГО
ОБУЧЕНИЯ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: timursamigulin98@gmail.com, anvar19971403@gmail.com

Аннотация

В современном мире накоплено гигантское количество информации. Одной из наиболее распространенных форм хранения информации являются тексты на естественном языке. Из-за необходимости анализа больших массивов текстовых данных получило развитие направление обработки текста на естественном языке (NLP – Natural Language Processing). Анализ тональности в тексте является одним из основных направлений раздела обработки текста на естественном языке. В статье рассматриваются основные методы и подходы к задаче анализа тональности текста на естественном языке. Дается краткая характеристика используемым на практике методам традиционного машинного обучения, а также методам глубокого обучения. По результатам данной статьи определены наиболее результативные методы анализа тональности.

Ключевые слова: анализ текста на естественном языке, анализ тональности, машинное обучение, глубокое обучение, искусственные нейронные сети.

Для цитирования: Самигулин Т.Р., Джурабаев А.Э.У. Анализ тональности текста методами машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 55-62. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-7

Samigulin T.R.
Djurabaev A.E.U.

**SENTIMENT ANALYSIS OF TEXT BY MACHINE LEARNING
METHODS**

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: timursamigulin98@gmail.com, anvar19971403@gmail.com

Abstract

There is a gigantic amount of information in the world. One of the most common forms of information storage is natural language texts. For the analysis of gigantic arrays of text data, the direction of natural language processing has been developed. Sentiment analysis in text is one of the main areas of the natural language processing section. The article discusses the main methods and approaches to the problem of analyzing the sentiment of a text in a natural language. A brief description of the traditional machine learning methods and deep learning methods used in practice is given. Based on the results of this article, the most effective methods of sentiment analysis have been identified.

Keywords: natural language texts analysis, sentiment analysis, machine learning, deep learning, artificial neural networks.

For citation: Samigulin T.R., Djurabaev A.E.U. Sentiment analysis of text by machine learning methods // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 55-62.
DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-7

ВВЕДЕНИЕ

Анализ тональности текста – это подраздел обработки естественного языка (NLP) целью которого является классификация текста по тональности. Тональность — это мнение, отношение и эмоции автора по отношению к объекту, о котором говорится в тексте. В качестве объектов могут выступать объекты реального мира, люди, события или процессы. Обычно используется бинарная классификация, выявление в тексте положительных и отрицательных оттенков. Но также может добавляться нейтральный класс или стоять более сложная задача, допустим выявление оценок, которые поставит пользователь: «Отлично», «Хорошо», «Плохо» и другие.

Анализ тональности текста имеет широкий спектр применений в современном мире. С его помощью можно выявлять отношение пользователей к продукту [8], применять данный анализ для политических [9], социологических [10], экономических [11], маркетинговых исследований, строить рекомендательные и обучающие системы [1].

В настоящее время в основном используются следующие подходы для выявления эмоциональной окраски текста:

1) Лингвистический подход или анализ, основанный на правилах и словарях. Данный подход основан на использовании словарей с заранее подготовленными вручную шаблонами эмоционально важных слов и словосочетаний с их эмоциональными оценками. При использовании данного подхода в тексте ищутся пересечения со словарем. Затем по сумме оценок найденных пересечений определяется тональность заданного текста. Данный подход показывает хорошие результаты для некоторых областей. Основной недостаток данного подхода в большой сложности подготовки словарей, надо хорошо знать предметную область, для которой составляется словарь. Второй недостаток — это плохая масштабируемость, нельзя использовать один и тот же словарь для разных предметных областей. Одинаковые термины в различных областях могут вносить разный вес в степень эмоциональной окраски [2].

2) Подход, основанный на использовании методов машинного обучения. Суть данного подхода в том, что вначале на заранее размеченных данных обучается классификатор, который потом используется для классификации новых текстов. В нашей статье мы подробнее рассмотрим методы именно данного подхода [5].

3) Гибридный подход, сочетающий в себе подходы как на основе правил и словарей, так и на основе машинного обучения. Ряд исследований показывает, что с помощью данного подхода можно добиться улучшения качества классификации, но такой подход является самым трудоемким и затратным по времени [12].

Цель данной статьи – исследовать современные методы машинного обучения для задачи определения тональности в тексте на естественном языке на основе публикаций за последние несколько лет. Будут рассматриваться, как и традиционные методы машинного обучения, так и популярные сейчас методы глубокого обучения. Результаты данного исследования планируется использовать для дальнейших исследований в области определения тональности текста.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Далее будут представлены основные методы традиционного машинного обучения, а также методы глубокого обучения, в частности, искусственные нейронные сети, которые в последние годы очень популярны и вытесняют более традиционные методы. Дана их краткая характеристика и проанализирована их эффективность для задачи анализа тональности.

Наивный байесовский классификатор – является вероятностным классификатором. Наивная байесовская модель вычисляет условную вероятность класса на основе распределения слов в документе. Один из самых простых используемых классификаторов. Основан на теореме Байеса с предположением о том, что все признаки являются независимыми, благодаря чему и

получил название наивный байесовский классификатор [13]. Но обычно в текстовых документах, предположение о независимости не подтверждается, что делает его слабоэффективным. Тем не менее несмотря на всю простоту и ограничение на независимость, байесовский классификатор может показывать хорошие результаты при классификации текста. В данном исследовании с помощью наивного байесовского классификатора на различных данных получают точность от 55% до 79% [21]. Одним из преимуществ является малое количество данных необходимых для обучения и простота реализации [3].

Метод максимума энтропии – также как и наивный байесовский классификатор является вероятностным классификатором. Данный метод основан на принципе максимальной энтропии, что наиболее характерным распределением вероятностей неопределенной среды, являются распределения, которые максимизируют выбранную меру неопределенности при заданной информации о поведении среды. В отличие от наивного байесовского классификатора метод максимума энтропии не делает предположения о независимости признаков, что позволяет добиться лучших результатов. Также как и у наивного байесовского классификатора преимуществами являются простота реализации и малое количество данных необходимых для обучения [14].

Деревья решений – представляют из себя древовидную структуру, где на ветках записаны атрибуты, от которых зависит распределение вероятностей классов, а на листьях значения вероятностей классов. Данный метод просто в интерпретации и требует минимальной предобработки данных. Но сами по себе деревья решений используются редко, так как они легко переобучаемы и слишком зависимы от обучающих данных. При небольших изменениях в обучающей выборке мы получаем кардинально разные результаты на тестовых данных. Чаще применяются ансамбли решающих деревьев, которые решают данные проблемы. Примеры таких ансамблей: случайный лес или градиентный бустинг [15].

Случайный лес – ансамбль решающих деревьев. В данном методе строиться очень много решающих деревьев большой глубины на разных обучающих данных. Деревья строятся до тех пор, пока в каждом листе не окажется очень мало объектов, то есть они сильно переобучены. Затем все деревья объединяются, и мы получаем эффективный классификатор, у которого отсутствуют недостатки решающих деревьев. Но это вызывает некоторые проблемы, если признаков очень много, то этот подход работает не очень хорошо: деревья будут очень глубокими, на их построение будет уходить слишком много времени.

Градиентный бустинг – метод машинного обучения для классификации и регрессии. Этот метод строит модель поэтапно, улучшая на каждом следующем этапе модель, которая получилась на прошлом этапе. В качестве базовых алгоритмов используются очень простые модели, например неглубокие решающие деревья. При использовании градиентного бустинга решающие деревья, в отличие от случайного леса, имеют очень небольшую глубину. Но это тоже проблема. Каждое дерево может учесть лишь небольшое подмножество признаков, в то время как зачастую ответ зависит от комбинации большого количества слов в тексте. Поэтому для хорошей работы градиентного бустинга нужно будет использовать очень много деревьев, но даже в этом случае нет гарантии, что полученное качество будет приемлемым.

Логическая регрессия – является методом линейного классификатора, оценивающий вероятность принадлежности объектов к классу путем сравнения с логической кривой по значениям множества признаков. Используется как для задач регрессии, так и для классификации. На практике часто рассматривается логическая регрессия с регуляризацией. Регуляризация заключается в том, что модель начинает штрафовать за очень большие веса, что не дает модели переобучиться. Логическая регрессия один из самых популярных методов классификации и обученная модель показывает очень хорошие результаты. Из недостатков можно выделить, что необходима качественная предобработка признаков и их отбор [14].

Метод опорных векторов (SVM) – набор линейных алгоритмов машинного обучения для задач регрессии и классификации. Цель метода заключается в нахождении среди всех возможных гиперплоскостей пространства, отделяющих два класса обучающих примеров друг от друга, такой

гиперплоскости, расстояния от которой до ближайших векторов обоих классов равны (оптимальная разделяющая гиперплоскость) [16]. Является одним из наиболее эффективных методов классификации. Данный метод часто применяется в задачах классификации текстов и показывает хорошие результаты [17]. Линейные модели хорошо масштабируются, могут работать с большим количеством признаков, на очень больших выборках.

В исследовании методов машинного обучения в задаче автоматического определения тональности текстов на естественном языке применялись основные традиционные методы машинного обучения [4]. В качестве входных данных использовались следующие англоязычные корпуса текстов:

- 1) Корпус отзывов о фильмах, входящий в состав библиотеке NLTK, 2000 текстов, в среднем 3500 символов в тексте.
- 2) Корпус из лексического семантического тезауруса SentiWordNet, 2000 текстов, в среднем 150 символов в тексте.

В качестве метрики эффективности метода использовалась AUC – площадь под ROC-кривой (кривой ошибок). Авторы обучили несколько моделей, подбирая разные параметры, чтобы добиться лучших результатов. Перед этим была произведена предобработка данных и отбор признаки. Ниже представлены наилучшие результаты для различных методов традиционного машинного обучения.

- Логическая регрессия: обучающая выборка – 0.93445, тестовая выборка – 0.93445.
- Дерево принятий решений: обучающая выборка – 0.68204, тестовая выборка – 0.6500.
- Случайный лес: обучающая выборка – 0.90799, тестовая выборка – 0.84000.
- Метод опорных векторов: обучающая выборка – 0.89416, тестовая выборка – 0.86167.

Еще одно исследование в качестве входных данных использует наборы данных содержащие отзывы о товарах с интернет-магазина [22]. Метрики оценивания ассигасу (точность) – соотношение правильно предсказанных объектов к общему количеству объектов в наборе данных. В данном исследовании получились следующие результаты:

- Метод максимума энтропии – точность 72.60%
- Случайный лес – точность 88.39%
- Наивный байесовский классификатор – точность 75.50%
- Метод опорных векторов – точность 91.15%

Как можно заметить среди методов традиционного машинного обучения наилучшие результаты показывают линейные модели: логическая регрессия и метод опорных векторов. Также неплохо себя показывает случайных лес. Но эффективность работы традиционных методов сильно зависит от объема и качества обучающих данных. Кроме того, точность во многом зависит от выбора признаков, что достаточно трудоемкая задача. Качество анализа тональности текста, в которых не соблюдаются правила и грамматика языка, например сообщения в социальных сетях, зачастую оказывается довольно низким. В связи с этим, можно сделать вывод, что необходима предобработка данных и тщательный отбор признаков.

В последние годы методы глубокого обучения все более популярны. Глубокое обучение представляет собой набор алгоритмов машинного обучения, которые моделируют высокоуровневые абстракции в данных, используя архитектуры, состоящие из множества нелинейных трансформаций и выделяя из данных «скрытые признаки» [18].

Мы рассмотрим несколько искусственных нейронных сетей, которые являются алгоритмами глубокого обучения. Искусственная нейронная сеть – это математическая модель, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Искусственные нейронные сети широко используются при автоматической обработке текстов на естественном языке, в том числе и для определения тональности текстов. Основная трудность использования искусственных нейронных сетей заключается в необходимости их настройки: определении количества используемых скрытых слоев, функции активации для каждого узла, пороговой ошибки. Также для обучения качественной модели необходимо большое количество

обучающих данных, ресурсов и времени. Одно из ключевых преимуществ искусственных нейронных сетей над традиционными методами машинного обучения, нейронные сети способны отбирать признаки в данных без участия человека. В процессе обучения искусственная нейронная сеть выявляет сложные зависимости между входными данными и выходными. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных. Еще одним преимуществом искусственной нейронной сети является ее способность адаптироваться к разным вариантам постановки задачи с небольшими изменениями в системе, выполняющей анализ тональности [5]. Наиболее зарекомендовавшими себя в области анализа тональности текстов методами глубокого обучения являются сверточные и рекуррентные нейронные сети.

Сверточные нейронные сети (CNN). Изначально сверточные сети начали использовать для распознавания изображений, но после большого успеха в области компьютерного зрения, их стали пробовать применять и в других областях. В частности, их стали использовать для решения задач классификации текстов. В сверточных нейронных сетях используется операция свертки, когда каждый фрагмент данных умножается на матрицу (ядро) свертки поэлементно, после чего результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходных данных. Поскольку свертки происходят на соседних словах, модель может уловить отрицания или n-граммы, которые несут новую информацию о настроении. В данном исследовании показано, что сверточные сети могут демонстрировать высокие результаты при анализе тональности текста, превосходя другие алгоритмы на некоторых тестах [19].

Рекуррентные нейронные сети (RNN) широко распространены в задачах обработки текста, в том числе и для анализа тональности. Особенности рекуррентных нейронных сетей — это наличие обратных связей, связь от более удаленного элемента к менее удаленному. Это позволяет запоминать и воспроизводить последовательности реакций на один стимул. Значение весов сети зависит как от текущих, так и от предыдущих входных данных, благодаря чему вес каждого слова влияет на веса остальных слоев в предложении [6].

GRU (Gated Recurrent Unit – управляемые рекуррентные нейроны) и LSTM (Long Short-Term Memory – длительная кратковременная память) являются модификациями рекуррентных нейронных сетей. Они решают проблему исчезающего градиента, которой подвержена рекуррентная нейронная сеть.

Рекуррентные нейронные сети показывают наилучшие результаты во многих задачах, но процедура их обучения достаточно трудоемка [7].

Как уже было сказано выше, среди традиционных методов машинного обучения лучшие результаты показывают линейные модели. В этом исследовании проводят сравнение сверточных нейронных сетей и логической регрессии по определению тональности в сообщениях из твитера [20]. В качестве метрики использовалась ассигасу, соотношение правильно классифицированных объектов к общему количеству объектов в наборе данных. Получились следующие результаты:

- Логическая регрессия: обучающие данные – 84.7%, тестовые данные – 76.7%.
- Сверточная нейронная сети: обучающие данные – 82.9%, тестовые данные – 79.5%.

Как видно сверточная нейронная сеть показывает лучшие результаты. Но у линейных моделей есть преимущество над сверточными нейронными сетями в скорости обучения 45 секунд против 6 часов. Так что если время обучения не приоритет и в распоряжении есть большое количество обучающих данных, то лучше отдать предпочтение искусственным нейронным сетям.

Еще одно исследование, которое сравнивает уже рекуррентные нейронные сети с линейными моделями [7]. В качестве входных данных используется набор данных отзывов о машинах. В качестве метрики – ассигасу (точность).

- Логическая регрессия: точность 70.1%.
- RNN: точность 76%.
- LSTM: точность 77%

Сравнение различных архитектур рекуррентных и сверточных нейронных сетей. Оценка производится на наборе данных, содержащий обзоры фильмов, а в качестве метрики используется точность.

- Сверточная нейронная сеть: точность – 86.8%.
- Рекуррентная нейронная сеть: точность – 87.5%.

Среди методов глубокого обучения в задаче анализа тональности текста больше зарекомендовали себя рекуррентные нейронные сети. Но в некоторых задачах сверточные нейронные сети также могут показывать хорошие результаты, которые превосходят рекуррентные нейронные сети. Допустим исследование, где производится анализ тональности в коротких сообщениях [19]. В данном исследовании сравниваются различные архитектуры сверточных и рекуррентных нейронных сетей. Получились следующие результаты:

- Сверточная нейронная сеть: точность – 88.1%.
- Рекуррентная нейронная сеть: точность – 85.4%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной обзорной статье описаны основные методы используемые для анализа тональности текста. Представлены методы традиционного машинного обучения, используемые для анализа тональности. А также описаны методы глубокого обучения.

Результаты данного исследования будут использованы для другого исследования «Разработка программного модуля для распознавания психоэмоционального состояния на основе текстовых сообщений чата проводимого занятия». Следующей задачей стоит проверить на экспериментальных данных эффективность методов глубокого обучения и подобрать оптимальную архитектуру для задачи определения тональности текста. Также в качестве будущего исследования можно сделать сравнительный анализ различных методов традиционного машинного обучения и методов глубокого обучения на разных наборах данных.

Список литературы

1. Трофимова Е.В., Туральчук К.А. Разработка рекомендательной системы на основе анализа тональности текста // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №1. – С. 93-94.
2. Пазельская А.Г., Соловьев А.Н. Метод определения эмоций в текстах на русском языке // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: сб. научных статей. Вып. 10 (17). – М.: Изд-во РГГУ, 2011. – С. 510–522.
3. Котельников Е.В., Клековкина М.В. Автоматический анализ тональности текстов на основе методов машинного обучения // Программный комитет конференции выражает искреннюю благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку, грант № 12-06-06045-г. – 2012. – С. 27.
4. Ермаков П.Д., Федянин Р.В. Исследование методов машинного обучения в задаче автоматического определения тональности текстов на естественном языке // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2015. – №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-mashinnogo-obucheniya-v-zadache-avtomaticheskogo-opredeleniya-tonalnosti-tekstov-na-estestvennom-yazyke>
5. Пескишева Т.А. Методы анализа тональности текстов на естественном языке // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017). – 2017. – С. 1730-1742.
6. Кудинов М.С. Статистическое моделирование русского языка с помощью нейронных сетей: Дис. д-ра тех. наук. М., – 2016. – 106 с.
7. Тарасов Д. Глубокие рекуррентные нейронные сети для аспектно-ориентированного анализа тональности отзывов пользователей на различных языках // По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». – 2015. – №. 14. – С. 21.
8. Shelke N., Deshpande S., and Thakare V. “Domain independent approach for aspect-oriented sentiment analysis for product reviews” in Proc. 5th Int. Conf. Frontiers Intell. Comput., Theory Appl., Singapore, Mar. 2017, pp. 651–659.

9. Sharma U., Datta R.K., and Pabreja K. “Sentiment analysis and prediction of election results 2018” in Social Networking and Computational Intelligence, R.K. Shukla, J. Agrawal, S. Sharma, N.S. Chaudhari, and K.K. Shukla, Eds. Singapore: Springer, 2020, pp. 727–739.
10. Iacus S., Porro G., Salini S., and Siletti E., “An Italian composite subjective well-being index: The voice of Twitter users from 2012 to 2017,” Social Indicators Res., vol. 149, pp. 1–19, 2020.
11. Carosia A.E.O., Coelho G.P., and Silva A.E.A. “Analyzing the Brazilian financial market through portuguese sentiment analysis in social media” Appl. Artif. Intell., Vol. – 34. – No. 1. – Pp. 1–19. Jan. 2020.
12. Kumar A., Srinivasan K., Cheng W.-H., and Zomaya A.Y. “Hybrid context enriched deep learning model for fine-grained sentiment analysis in textual and visual semiotic modality social data” Inf. Process. Manage., vol. 57, no. 1, Jan. 2020, Art. no. 102141. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306457319306934>
13. Schütze H., Manning C.D., and Raghavan P., Introduction to Information Retrieval, vol. 39. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2008.
14. Medhat W., Hassan A., Korashy H. Sentiment analysis algorithms and applications: A survey // Ain Shams engineering journal. – 2014. – Т. 5. – №. 4. – P. 1093-1113.
15. Quinlan J.R. “Induction of decision trees” Mach. Learn., vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.
16. Chin Chen Chien, Tseng You-De. Quality evaluation of product reviews using an information quality framework. Decis Support Syst 2011; 50: 755–68.
17. Vapnik V. Statistical learning theory. New York: Wiley, 1998.
18. Bengio Y. Learning deep architectures for AI // Foundations and Trends in Machine Learning, 2009.
19. Kim Y. Convolutional neural networks for sentence classification. // In Proceedings of the 2014 Conference on EMNLP. – 2014.
20. Zvonarev A. A Comparison of Machine Learning Methods of Sentiment Analysis Based on Russian Language Twitter Data. – 2019.
21. Hasan A. et al. Machine learning-based sentiment analysis for twitter accounts //Mathematical and Computational Applications. – 2018. – Т. 23. – №. 1. – P. 11.
22. Ahmad M. et al. Machine learning techniques for sentiment analysis: A review //Int. J. Multidiscip. Sci. Eng. – 2017. – Т. 8. – №. 3. – P. 27.
23. Wang X., Jiang W., Luo Z. Combination of convolutional and recurrent neural network for sentiment analysis of short texts //Proceedings of COLING 2016, the 26th international conference on computational linguistics: Technical papers. – 2016. – P. 2428-2437.

Reference

1. Trofimova E.V., Turalchuk K.A. Development of a recommendation system based on text sentiment analysis // Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2015. №1. P. 93-94.
2. Pazel'skaja A. G., Solov'ev A. N. Method for determining emotions in texts in Russian // Computational Linguistics and Intelligent Technologies: collection of scientific articles. Ed. 10 (17).: Publisher RGGU, 2011. P. 510–522.
3. Kotelnikov E. V., Klekovkina M. V. Automatic sentiment analysis based on machine learning methods // Programmnyj komitet konferencii vyrazhaet iskrennjuju blagodarnost' Rossijskomu fondu fundamental'nykh issledovanij za finansovuju podderzhku, grant № 12-06-06045-y. – 2012. – P. 27.
4. Ermakov P. D., Fedjanin R. V. Research of machine learning methods in the problem of automatic sentiment determination of natural language texts // Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannykh sistemah. 2015. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-mashinnogo-obucheniya-v-zadache-avtomaticheskogo-opredeleniya-tonalnosti-tekstov-na-estestvennom-yazyke>
5. Peskischeva T.A. Methods for Sentiment Analysis of Natural Language Texts. // Obshchestvo. Nauka. Innovacii (NPK-2017). 2017. P. 1730-1742.
6. Kudinov M.S. Statistical modeling of the Russian language using neural networks: dis. Dr. tech. sciences. 2016. 106 p.
7. Tarasov D. Deep recurrent neural networks for aspect-oriented analysis of the sentiment of user reviews in various languages // Po materialam ezhegodnoj Mezhdunarodnoj konferencii «Dialog. – 2015. – №. 14. – P. 21.
8. Shelke N., Deshpande S., and Thakare V. “Domain independent approach for aspect-oriented sentiment analysis for product reviews” in Proc. 5th Int. Conf. Frontiers Intell. Comput., Theory Appl., Singapore, Mar. 2017, pp. 651–659.

9. Sharma U., Datta R.K., and Pabreja K. “Sentiment analysis and prediction of election results 2018” in Social Networking and Computational Intelligence, R.K. Shukla, J. Agrawal, S. Sharma, N.S. Chaudhari, and K.K. Shukla, Eds. Singapore: Springer, 2020, pp. 727–739.
10. Iacus S., Porro G., Salini S., and Siletti E., “An Italian composite subjective well-being index: The voice of Twitter users from 2012 to 2017,” Social Indicators Res., vol. 149, pp. 1–19, 2020.
11. Carosia A.E.O., Coelho G.P., and Silva A.E.A. “Analyzing the Brazilian financial market through portuguese sentiment analysis in social media” Appl. Artif. Intell., Vol. – 34. – No. 1. – Pp. 1–19. Jan. 2020.
12. Kumar A., Srinivasan K., Cheng W.-H., and Zomaya A.Y. “Hybrid context enriched deep learning model for fine-grained sentiment analysis in textual and visual semiotic modality social data” Inf. Process. Manage., vol. 57, no. 1, Jan. 2020, Art. no. 102141. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306457319306934>
13. Schütze H., Manning C.D., and Raghavan P., Introduction to Information Retrieval, vol. 39. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2008.
14. Medhat W., Hassan A., Korashy H. Sentiment analysis algorithms and applications: A survey // Ain Shams engineering journal. – 2014. – Т. 5. – №. 4. – P. 1093-1113.
15. Quinlan J.R. “Induction of decision trees” Mach. Learn., vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.
16. Chin Chen Chien, Tseng You-De. Quality evaluation of product reviews using an information quality framework. Decis Support Syst 2011; 50: 755–68.
17. Vapnik V. Statistical learning theory. New York: Wiley, 1998.
18. Bengio Y. Learning deep architectures for AI // Foundations and Trends in Machine Learning, 2009.
19. Kim Y. Convolutional neural networks for sentence classification. // In Proceedings of the 2014 Conference on EMNLP. – 2014.
20. Zvonarev A. A Comparison of Machine Learning Methods of Sentiment Analysis Based on Russian Language Twitter Data. – 2019.
21. Hasan A. et al. Machine learning-based sentiment analysis for twitter accounts //Mathematical and Computational Applications. – 2018. – Т. 23. – №. 1. – P. 11.
22. Ahmad M. et al. Machine learning techniques for sentiment analysis: A review //Int. J. Multidiscip. Sci. Eng. – 2017. – Т. 8. – №. 3. – P. 27.
23. Wang X., Jiang W., Luo Z. Combination of convolutional and recurrent neural network for sentiment analysis of short texts //Proceedings of COLING 2016, the 26th international conference on computational linguistics: Technical papers. – 2016. – P. 2428-2437.

Самигулин Тимур Русланович, инженер, магистрант 1 курса программы Финансовых технологий больших данных Факультета цифровых трансформаций
Джурабаев Анвар Эркин угли, магистрант 1 курса

Samigulin Timur Ruslanovich, engineer, 1st year undergraduate student of the Big Data Financial Technologies program of the Faculty of Digital Transformation
Djurabaev Anvar Erkin ugli, 1st year undergraduate student