

ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

6(4) 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, № 4. 2021

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 6, № 4. 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)

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

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

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

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

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)

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Джумаев А.Б. Методы оценивания качества синтезированной речи	3	Jumaev A.B. Methods for evaluating of the synthesized speech quality	3
Кузьминых Е.С., Маслова М.А. Анализ и сравнение биометрических способов идентификации личности человека	13	Kuzminykh E.S., Maslova M.A. Analysis and comparison of biometric methods of identification of a person	13
Дылевский А.В., Хрипушин Д.А. Автоматическое прогнозирование детерминированных сигналов	20	Dylevsky A.V., Khripushin D.A. Automatic prediction of deterministic signals	20
Костиков В.А., Маслова М.А. Сжатие зашифрованных и скрытых данных. Фиксирование среднего времени при проведении алгоритма кодирования Хаффмана	27	Kostikov V.A., Maslova M.A. Compression of encrypted and hidden data. Fixing the average time when performing the huffman coding algorithm	27

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Жихарев А.Г., Баскакова В.В., Лукинова О.Ю. Имитационное моделирование организационно-деловых процессов	34	Zhikharev A.G., Baskakova V.V., Lukinova O.Y. Simulation of organizational and business processes	34
--	-----------	--	-----------

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Урсол Д.В., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А. Структура интеллектуальной информационной технологии субинтервального скрытного внедрения информации в изображения	41	Ursol D.V., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Chernomorets D.A. The structure of intellectual information technology of subinterval hidden embedding information into images	41
Рослякова С.В., Брагина Т.В., Землянова Е.И., Короткова Д.В., Меркулова П.А., Лаушкина А.А., Филиппов И.М. О возможностях применения машинного обучения в системах управления освещением	48	Roslyakova S.V., Bragina T.V., Zemlyanova E.I., Korotkova D.V., Merkulova P.A., Laushkina A.A., Filippov I.M. On the possibilities of applying machine learning in lighting control systems	48
Скрипина И.И., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Скрипин А.А. Интеллектуальные информационные технологии в управлении прогнозирования промышленными предприятиями	64	Skripina I.I., Zaitseva T.V., Putivtseva N.P., Skripin A.A. Information technologies in the management of industrial enterprises	64

CONTENTS

INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

AUTOMATION AND CONTROL

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 004.934.2

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

Джумаев А.Б.^{1,2}

МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СИНТЕЗИРОВАННОЙ РЕЧИ

¹⁾ ООО «ЛЕРУА МЕРЛЕН ВОСТОК», Осташковское шоссе, д.1, г. Мытищи, 141031 Россия

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

e-mail: art2371@yadex.ru

Аннотация

Синтезирование речи на основе заданного текста является актуальной задачей современности, так как синтезированная речь используется в различных сферах деятельности человека, к примеру, в системах голосового самообслуживания, при автоматизации процессов телефонных опросов, создании озвучки интерактивных обучающих материалов и т.д. Поэтому задача оценивания качества синтезированной речи и сравнения систем синтеза между собой является актуальной задачей. В данной области существует значительное количество исследований, но для большинства из них характерна субъективность оценок. В данной статье проведён краткий анализ существующих подходов получения объективной оценки качества речи и дана оценка возможности применения рассмотренных подходов для оценивания качества синтезированной речи.

Ключевые слова: методы оценки качества речи; синтез речи; речевые технологии; формантные методы оценки; модуляционные методы оценки.

Для цитирования: Джумаев А.Б. Методы оценивания качества синтезированной речи // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021. – С. 3-12. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-1

Jumaev A.B.^{1,2}

METHODS FOR EVALUATING OF THE SYNTHESIZED SPEECH QUALITY

¹⁾ LLC «LEROY MERLIN VOSTOK», Ostashkovskoe highway, 1, Mytishchi, 141031 Russia

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

e-mail: art2371@yadex.ru

Abstract

Synthesizing speech based on a given text is an urgent task of our time, since synthesized speech is used in various fields of human activity, for example, in voice self-service systems, when automating telephone survey processes, creating voice-over interactive training materials, etc. Therefore, the task of evaluating the quality of synthesized speech and comparing synthesis systems with each other is an urgent task. There is a significant amount of research in this area, but most of them are characterized by subjectivity of assessments. This article provides a brief analysis of existing approaches to obtaining an objective assessment of the quality of speech and assesses the possibility of using the considered approaches to assess the quality of synthesized speech.

Keywords: methods of speech quality assessment; text-to-speech synthesis, voice technology; formant evaluation methods; modulative evaluation methods.

For citation: Jumaev A.B. Methods for evaluating of the synthesized speech quality // Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – P. 3-12. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-1

ВВЕДЕНИЕ

С момента появления в 90-х годах XX века синтезаторов речи 3 поколения технологии синтеза речи стали развиваться быстрыми темпами. Благодаря развитию конкатенативного синтеза появилась возможность озвучивать заранее не подготовленные тексты и получать на выходе речь близкую по качеству звучания к естественной речи человека. В реалиях современного мира технология синтеза речи является перспективной и является частью повседневной жизни человека, в связи с этим проблема оценки качества синтезированной речи для систем синтеза речи, основанных на селективном синтезе, является актуальной.

Согласно «ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости» выделяются два критерия оценивания синтезированной речи — разборчивость речи и качество речи [1].

«Разборчивость речи — относительное количество (в процентах) правильно принятых элементов (слов, слов, фраз) артикуляционных таблиц» [1]. В зависимости от размерности речевых отрезков, формируются основные виды оценивания речи.

«Качество речи – величина, характеризующая субъективную оценку звучания речи в испытуемом тракте» [1].:

- по сравнению со звучанием в контрольном тракте (принятом за пять баллов);
- по сравнению со звучанием речи в другом тракте (в процентах предпочтения).

Для первой половины XX века основным критерием качества синтезированной речи являлся показатель её разборчивости. Начиная с конца восьмидесятых годов произошло повышение уровня разборчивости и более актуальной проблемой стало определение показателя естественности речи. Исследования в области психоакустики подтверждают, что «роботизированность» синтезированной речи является фактором, влияющим на сложность её восприятия. По этой причине полностью разборчивая синтезированная речь не может по умолчанию определяться, как высококачественная [2].

В настоящее время известно значительное количество методов оценки и измерения разборчивости речи [3]. В рамках данной работы рассмотрены одни из наиболее распространённых методов оценки и измерения разборчивости речи, с позиций возможности их применения для оценки разборчивости синтезированной речи. Рассматриваемые в работе методы можно разбить на две группы (рис. 1).

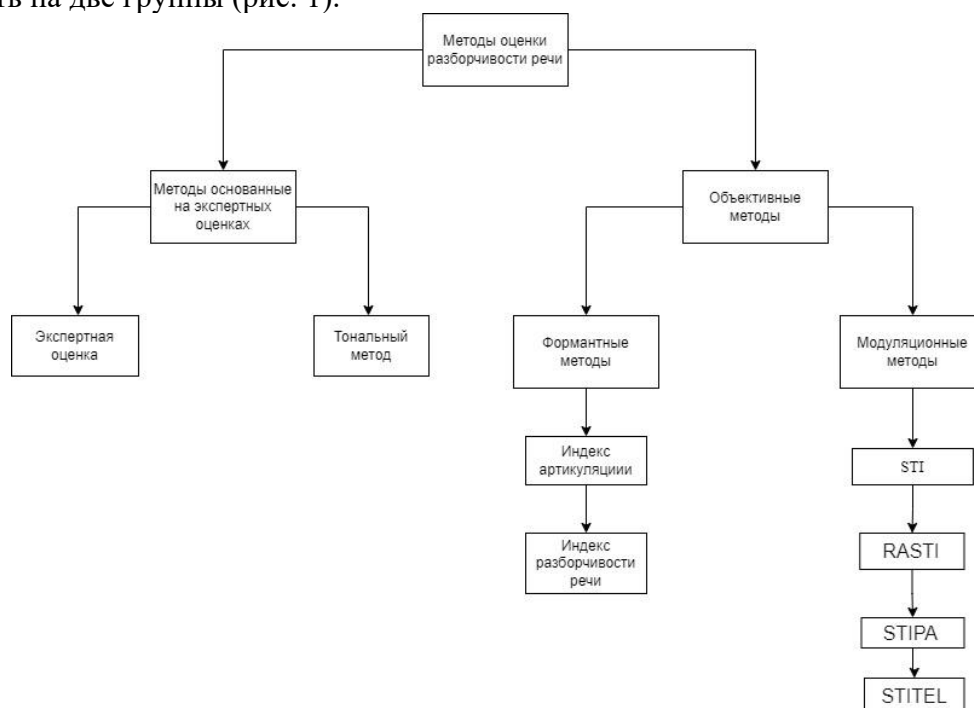


Рис. 1. Методы оценки разборчивости речи
Fig. 1. Methods of speech intelligibility assessment

Метод оценивания разборчивости речи при помощи эксперта

Одним из методов является эксперимент, в котором участвуют два участника – аудитор и диктор. Примером данного метода является «Тестирование радиостанции по рекомендациям Международного Консультативного Комитета по Радиосвязи (МККР)» [4].

Эксперимент состоит из взаимодействия диктора и аудитора. На одном конце передающего тракта (передающая сторона) диктором зачитывается текст, а с другой стороны передающего тракта (принимающая сторона) аудитор выставляет оценку данного тракта по шкале значений от 1 до 5.

Несмотря на то, что данный эксперимент в изначальном варианте направлен на прохождение двумя людьми, роль диктора может выполняться программой для синтеза речи. Явным недостатком данного подхода является то, что финальный результат исследования зависит от физиологических особенностей тестирующих, чем лучше дикция диктора, тем легче аудитору разобрать текст и наоборот.

Альтернативой данному методу может являться проведение теста оценки среднего мнения (mean opinion score (MOS)) [2]. Данный вид оценки часто используется для оценки качества и разборчивости синтезированной речи. В рамках эксперимента группа аудиторов слушает заранее записанные отрывки речи, в зависимости от типа и цели тестирования могут подаваться, как целые предложения, так и несвязный набор слов или слогов [5]. MOS – оценка выражается числовым значением в промежутке значений от 1 до 5, где 1 – низкое качество (низкая оценка) и 5 – высокое качество (высокая оценка). Минусом данного подхода является то, что он основан на восприятии качества голоса людьми и из-за этого не может считаться объективным. Для устранения этого недостатка в настоящее время существует ряд программных средств, которые позволяют проводить автоматическую MOS оценку синтезированной речи, примерами данных программ являются AppareNet Voice, Brix VoIP Measurement Suite.

Тональный метод оценивания

Тональный метод является разновидностью метода артикуляции. Роль диктора в данном методе исполняет генератор чистых тонов. Основная цель генератора чистых тонов является формирования звуковых давлений на частотах (рис. 2), соответствующих спектру формант. В тональном методе аудитор оценивает наличие сигнала на заданных частотах [6].

Частоты, на которых проводятся измерения									
250	500	650	800	990	1125	1300	1500	1700	1875
2050	2225	2425	2725	3100	3500	3850	4550	6150	8600

Рис. 2. Пример частот генерации сигнала в тональном методе оценивания
Fig. 2. Example of signal generation frequencies in the tonal method

Для определения наличия сигнала на заданных частотах осуществляется плавное снижение его слышимости (затухание звука) до уровня исчезновения звука, затем производится усиление уровня сигнала до появления его слышимости. На основании полученных двух величин уровня слышимости сигнала вычисляется их среднее значение, которое принимается в качестве результата измерения.

На рисунке 3 приведена таблица, по которой определяется формантная разборчивость речи в зависимости от полученного уровня сигнала.

дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%
1	0.04	10	0.65	19	1.92	28	3.22	37	4.28	46	4.75
2	0.09	11	0.76	20	2.07	29	3.37	38	4.37	47	4.78
3	0.14	12	0.89	21	2.2	30	3.51	39	4.46	48	4.8
4	0.19	13	1.03	22	2.36	31	3.64	40	4.52	49	4.82
5	0.24	14	1.18	23	2.5	32	3.75	41	4.57	50	4.85
6	0.3	15	1.32	24	2.65	33	3.87	42	4.62	51	4.88
7	0.37	16	1.47	25	2.79	34	3.97	43	4.66	52	4.95
8	0.46	17	1.62	26	2.93	35	4.08	44	4.69		
9	0.55	18	1.77	27	3.08	36	4.18	45	4.72		
дБ — уровень ощущения тона; % — формантная разборчивость речи											

Рис. 3. Соответствие формантной разборчивости речи и уровня слышимости сигнала
Fig. 3. Correspondence of the formant intelligibility of speech and the level of audibility of the signal

Общая формантная разборчивость определяется как сумма составляющих на основании следующего выражения [6]:

$$A_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n A_i \quad (1)$$

Для определения разборчивости речи прибегают к определению слоговой разборчивости (рис. 4). Она рассчитывается на основе значений форматной разборчивости, полученной для каждой частоты по таблице соответствия форматной и слоговой разборчивости:

A	S	A	S	A	S	A	S	A	S
5	5	25	46.2	45	75	65	90	85	98
10	15	30	55	50	80	70	92.5	90	99
15	26	35	62.5	55	81	75	95.2	95	99.5
20	36	40	69	60	87.2	80	96.2	100	100
A — формантная разборчивость речи; S — слоговая разборчивость речи									

Рис. 4. Таблица слоговой разборчивости
Fig. 4. Syllabic intelligibility table

Основными достоинствами тонального метода являются:

- отсутствует потребность в дикторах;
- высокая скорость измерения в сравнении с другими методами;
- для оценки не требуются артикуляционные таблицы.

К недостаткам данного метода относятся:

- высокий уровень требований образованности измеряющего персонала;

– невозможность автоматизации процесса.

Формантные методы оценивания разборчивости речи

Индекс артикуляции (Articulation Index (AI)) является одной из разновидностей формантных методов оценивания разборчивости речи. Впервые данный метод был предложен Г. Флетчером в 1940 году [7]. При оценивании методом AI весь частотный диапазон разделяется на некоторое количество полос, самыми распространёнными делениями являются деление речевого сигнала на 20 равноартикуляционных полос, 6 октавных полос или 15 1/3-октавных полос [8]. В пределах выбранного диапазона определяется отношения сигнала к шуму.

Рассмотрим использование данного метода. Разборчивость речи определяется на основании следующих соотношений [3]:

$$A = \sum_{k=1}^K p_k * P(E'_k) \quad (2)$$

$$p_k = F_1(f_{bk}) - F_1(f_{hk}) \quad (3)$$

где K – количество частотных полос; p_k – вероятность нахождения форманты в k -ой частотной полосе; $F_1(f)$ – функция распределения вероятностей нахождения формант на указанной частоте; f_{bk} – минимальная частота k -ой частотной полосы; f_{hk} – максимальная частота k -ой частотной полосы; $P(E'_k)$ – вероятность отсутствия маскировки речи шумом в k -ой частотной полосе (коэффициент восприятия речи).

На основании метода «Индекс артикуляции» разборчивость речи пропорциональна вероятностям нахождения форманты в заданных частотных полосах и вероятностям отсутствия маскировки речи шумом в заданных частотных полосах.

Метод оценивания разборчивости речи «Индекс артикуляции» имеет отечественный аналог, разработанный Н.Б. Покровским. В отличие от метода «Индекс артикуляции» в методе Н.Б. Покровского в качестве коэффициента восприятия речи применяется следующая функция [9]:

$$P_{AI}(\Delta L) = \begin{cases} 0, \Delta L \leq 0 \text{ дБ} \\ \frac{\Delta L}{30}, 0 < \Delta L \leq 30 \text{ дБ} \\ 1, \Delta L > 30 \text{ дБ} \end{cases} \quad (4)$$

При вычислении разборчивости для первого случая (двадцати равноартикуляционных полос) используется следующее выражение [10]:

$$AI = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} P(\Delta L_i), \quad (5)$$

где (ΔL_i) – разность между пиковым значением уровня речи и эффективным показателем маскирующего шума.

Таким образом, после аппроксимации коэффициентов получаем следующее выражение:

$$AI = \frac{1}{600} \sum_{k=1}^{20} \Delta L_i. \quad (6)$$

Для пересчёта индекса артикуляции в словесную и фразовую разборчивость используется график зависимостей слоговой и фразовой разборчивости от индекса артикуляции речи (рис. 5).

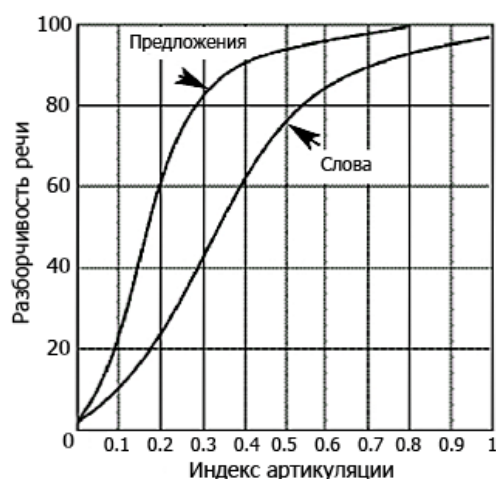


Рис. 5. Зависимость слоговой и фразовой разборчивости от индекса артикуляции речи
Fig. 5. Dependence of syllabic and phrasal intelligibility on the articulation index

На рисунке 6 приведены примеры получения различных оценок на основании различных значений индекса артикуляции и требований эксперимента.



Рис. 6. Пример оценки по индексу артикуляции
Fig. 6. Example of evaluation by articulation index

Метод AI хорошо применим для расчёта и проектирования акустики помещений, однако, он не лишён недостатков, основными недостатками являются невозможность применения метода при наличии нескольких типов шума, а также при комбинировании сигнала диктора и громкоговорителя.

Схема индекса артикуляции на протяжении долгого времени видоизменялась и совершенствовалась. Результатом проведённых исследований стало формирование стандарта названным индекс разборчивости речи (Speech Intelligibility Index – SII) [11].

Модуляционные методы

Индекс передачи речи (Speech transmission index – STI) – это показатель качества передачи речи. Данный метод направлен на измерение физических показателей канала передачи и выражает способность канала транслировать свойства речевого сигнала. STI является хорошо зарекомендовавшим себя объективным средством прогнозирования того, как характеристики

канала передачи влияют на разборчивость речи [12]. Влияние канала передачи на разборчивость речи зависит от:

- громкость речи;
- частотная характеристика канала;
- нелинейные искажения;
- значение фоновых шума;
- качество генератора звукового сигнала;
- эхо (отражения с задержкой > 100 мс);
- время реверберации;
- психоакустические эффекты (маскирующие эффекты).

Для оценки разборчивости речи используется следующее соотношение

$$SNR = \frac{m}{1-m}. \quad (7)$$

Определение значения оценки разборчивости речи выполняется на основании заранее вычисленного значения отношения сигнал – шум (m) в точке фиксирования сигнала. На рисунке 7 приведен график, позволяющий определить значения индекса передачи речи в зависимости от значения отношения сигнал-шум (SNR).

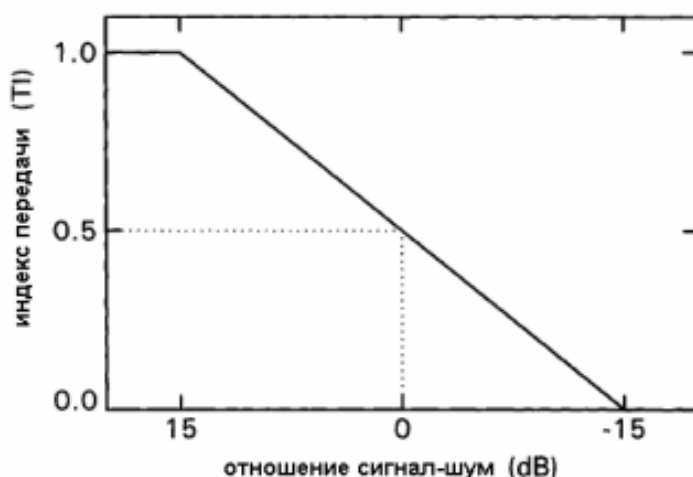


Рис 7. Взаимосвязь значений отношения сигнал-шум (SNR) и индекса передачи речи

Fig 7. The association between the values of the signal-to-noise ratio (SNR) and the speech transmission index

Числовая мера оценки качества канала связи варьируется согласно шкале в промежутке от 0 (полная неразборчивость) до 1 (отличная разборчивость) (таблица 1).

Таблица 1

Таблица оценки качества тестируемого канала передачи речи

Table 1

Table of evaluation of the quality of the tested speech transmission channel

Значение STI, RASTI, STITEL, STIPA	0...0,3	0,3...0,45	0,45...0,6	0,6...0,75	0,75...1
Оценка разборчивости	очень плохая	плохая	посредств.	хорошая	отличная

Точность метода STI зависит от дискретных значений сигнал-шум, чаще всего определяются 98 значений коэффициента. Вычисленные 98 значений индекса STI усредняют по специальной методике.

Методы RASTI, STIPA, STITEL [13,14]

Метод быстрого индекса передачи речи — Room Acoustics Speech transmission index (RASTI) является сокращённой версией метода STI. Метод RASTI позволяет учитывать реверберационную помеху. Отличительной чертой данного метода является исследование сигнала в двух 1/1 октавных полосах, центральные частоты которых имеют значения 500 Гц и 2 кГц соответственно. При применении данного метода полоса пропускания ограничена, что не позволяет достаточно корректно учитывать показатели нелинейных искажений, а также наличие шума, имеющего нерегулярный спектр. Несмотря на указанный недостаток, метод RASTI зачастую применяют для оценивания необходимости экранирования помещений, но не может быть использован для оценки синтезированной речи.

Для систем звукоусиления разработана модификация метода STI – метод определения индекса передачи речи в системах звукоусиления (Speech Transmission Index for Public Address Systems, STIPA. Отличительной чертой метода STIPA является то, что он позволяет анализировать разборчивость речи в помещениях, учитывая показатели реверберации и нелинейные искажения речи в них, в отличие от метода STI и RASTI. При этом в исследованиях применяется упрощённый сигнал – для его формирования применяется не более двух частот модуляции в каждой из семи используемых октавных полос. Подходы, применяемые для реализации метода STIPA, аналогичны подходам, применяемым при реализации метода STI.

Индекс передачи речи для телекоммуникационных систем — Speech transmission index Telecommunications (STITEL). Данный метод так же является сокращённой версией метода STI и направлен на отображение искажений в системах связи. В отличие от метода STI вместо 14 частот модуляции, использующихся во всех семи 1/1 полосах, применяется только 7 частот модуляции по одной в каждой из 1/1 октавных полос. Исследуемый сигнал содержит все 7 модулируемых полос, а анализ производится одновременно. Метод STITEL не позволяет учитывать реверберационную помеху и нелинейные искажения.

Использование методов для оценивания синтезированных голосов

Стоит отметить, что описанные методы, основанные на вычислительных экспериментах (форматные и модуляционные), могут использоваться, когда синтезированная речь проходит через канал связи, и не подходят для оценки синтеза речи в целом. Это связано с тем, что не существует уникального или лучшего эталона речи, а для системы синтеза речи важны не только акустические характеристики, но и реализация верхнеуровневой составляющей, которая определяет окончательное качество.

Для оценки субъективными методами прибегают к экспертной оценке, которая состоит из проведения тестирований и заполнения опросников. Все существующие опросники для оценивания уровня разборчивости речи составляются на основе рекомендации «Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union)» [15]. Данный подход позволяет оценить синтезированную речь не только со стороны её разборчивости, но и качества речи. В рамках проводимых исследований оцениваются такие показатели, как общее впечатление, естественность, слуховое усилие, разборчивость, темп и иные характеристики речи.

Однако, данный вид исследования на основании экспертного оценивания является трудоёмкой задачей. С целью сокращения времени получения требуемых оценок разработаны инструментальные методы оценивания качества синтезированных голосов [16]. В основе данных методов используются процедуры автоматизированного сравнения результатов синтеза речи с голосом диктора, являющимся эталонным в рамках проводимого исследования. Для оценки адекватности инструментальных методов их необходимо сравнивать с результатами оценивания субъективными методами.

Таким образом, перспективным подходом оценивания качества синтезированной речи является комбинирование экспертных и математических подходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены методы оценивания качества синтезированной речи. Для успешного применения рассмотренных методов и получения более достоверных результатов оценивания качества синтезированной речи, целесообразно использовать комбинирование подходов к оценке. Исследование в данном направлении является актуальной задачей.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50840-95 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости.
2. Соломенник А.И. Особенности оценки качества селективного синтеза речи. Актуальные вопросы теоретической и прикладной фонетики. Сборник статей к юбилею О. Ф. Кривновой / Под ред. А.В. Архипова, И. М. Кобозевой, Кс. П. Семёновой. — М.: ООО «Буки-Веди», 2013. — С. 336–341.
3. Рашевский Я.И., Каргашин В.Л. Обзор зарубежных методов определения разборчивости речи. — Специальная техника, №№ 3-6 за 2002 год, № 1 за 2003 год.
4. ГОСТ 16600-72 Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений.
5. Method for Subjective Performance Assessment of the Quality of Speech Voice Output Devices, ITU-T Rec. Int. Telecom. Union. 1994. 85 p.
6. ГОСТ 8031-78 Аппараты телефонные. Тональный метод измерения разборчивости речи.
7. French N., Steinberg J. Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds // J. Acoust. Soc. Am. — 1947. — Vol. 19, No 1.
8. Fletcher H., Galt F. Perception of Speech and its Relation to Telephony // J. Acoust Soc. Am. — 1950. — Vol. 22, No 2.
9. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. — М.: Связьиздат, 1962. — 390 с.
10. Kryter K.D. Methods for the calculation and use of the articulation index // J. Acoust Soc. Am. — 1962. — Vol. 34. — P. 1689–1697.
11. ANSI S3.5-1997, American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index - American National Standards Institute, New York. — 1997.
12. Беранек Л. Расчет речевых систем связи // Proceedings of the IRE. — 1947. — September. — P. 880-890.
13. Steeneken H.J.M., Houtgast T. RASTI: A Tool for Evaluating Auditoria // Bruel & Kjaer Technical Review No 3 — 1985. — P. 13-39.
14. Steeneken H.J.M., Houtgast T. RASTI: The Modulation Transfer Function in Room Acoustics // Bruel & Kjaer Technical Review No 3 — 1985. — P.1-12..
15. P.85 ITU-T «Метод субъективной оценки качества речи устройств речевого вывода». 1994.
16. Джумаев А.Б. Методы оценки качества синтезированной речи для систем генерации голоса на основе селективного синтеза / Научно-технический задел — основа эффективного инновационного развития сборник Международной научно-практической конференции. Уфа, 15 апреля 2021 г., С. 13-15.
17. Гавриленко О.В., Дидковский В.С., Продеус А.Н. Расчет и измерение разборчивости речи при малых отношениях сигнал-шум. Часть 2. Коррекция коэффициентов восприятия // Электроника и связь, Тематический выпуск «Проблемы электроники», ч. 1. — 2007. — С. 142-147.
18. Жиялков Е.Г., Трубицына Д.И., Прохоренко Е.И., Болдышев А.В. Об использовании субполосного анализа и синтеза сигналов в области определения косинус-преобразования при решении задач сжатия речевых сигналов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. — 2019. — 46(4). С. 700–709. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-700-709.
19. Савченко В.В., Соловьева Т.А. Экспериментальное исследование фонетических свойств речевого сигнала на основе его теоретико-информационной модели. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. — 2018. — 45(1). С. 168-176. DOI:10.18413/2411-3808-2018-45-1-168-175.
20. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография / Дидковский В. С., Дидковская М. В., Продеус А. Н. — Киев, 2008. 420 с.

References

1. GOST R 50840-95 Voice transmission over communication paths. Methods for assessing quality, intelligibility and recognition.
2. Solomennik A.I. Features of assessing the quality of selective speech synthesis. Topical issues of theoretical and applied phonetics. Collection of articles for the anniversary of O. F. Krivnova / Ed. A.V. Arkhipova, I. M. Kobozeva, Ks. P. Semyonova. – M.: LLC "Buki-Vedi", 2013. – P. 336–341.
3. Rashevsky Ya.I., Kargashin V.L. Review of foreign methods for determining speech intelligibility. – Special equipment, No. 3-6 for 2002, No. 1 for 2003.
4. GOST 16600-72 Voice transmission through radiotelephone communication paths. Speech intelligibility requirements and articulation measurement techniques.
5. Method for Subjective Performance Assessment of the Quality of Speech Voice Output Devices, ITU-T Rec. Int. Telecom. Union. 1994. 85 p.
6. GOST 8031-78 Telephone devices. Tonal method for measuring speech intelligibility.
7. French N., Steinberg J. Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds // J. Acoust. Soc. Am. – 1947. – Vol. 19, No 1.
8. Fletcher H., Galt F. Perception of Speech and its Relation to Telephony // J. Acoust Soc. Am. - 1950. - Vol. 22, No 2.
9. Pokrovsky N.B. Calculation and measurement of speech intelligibility. – M.: Svyazizdat, 1962. – 390 p.
10. Kryter K.D. Methods for the calculation and use of the articulation index // J. Acoust Soc. Am. – 1962. – Vol. 34. – P. 1689-1697.
11. ANSI S3.5-1997, American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index – American National Standards Institute, New York. – 1997.
12. Beranek L. Calculation of speech communication systems // Proceedings of the IRE. – 1947. – September. – P. 880-890.
13. Steeneken H.J.M., Houtgast T. RASTI: A Tool for Evaluating Auditoria // Bruel & Kjaer Technical Review No 3 – 1985. – P. 13-39.
14. Steeneken H.J.M., Houtgast T. RASTI: The Modulation Transfer Function in Room Acoustics // Bruel & Kjaer Technical Review No 3 – 1985. – P. 1-12.
15. P.85 ITU-T "Method of subjective assessment of the speech quality of speech output devices". 1994.
16. Dzhumaev A.B. Methods for assessing the quality of synthesized speech for voice generation systems based on selective synthesis / Scientific and technical groundwork – the basis for effective innovative development collection of the International Scientific and Practical Conference. Ufa, April 15, 2021, pp. 13-15.
17. Gavrilenko O.V., Didkovsky V.S., Prodeus A.N. Calculation and measurement of speech intelligibility at low signal-to-noise ratios. Part 2. Correction of the coefficients of perception // Electronics and Communications, Thematic issue "Problems of Electronics", Part 1. – 2007. – P. 142-147.
18. Zhilyakov E.G., Trubitsyna D.I., Prokhorenko E.I., Boldyshev A.V. On the use of subband analysis and signal synthesis in the field of determining the cosine transform in solving problems of speech signal compression. Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2019. – 46(4). P. 700–709. DOI 10.18413 / 2411-3808-2019-46-4-700-709.
19. Savchenko V.V., Solovyova T.A. Experimental study of phonetic properties of the speech signal on the basis of its information-theoretic model. Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2018. – 45(1). P. 168-176. DOI: 10.18413 / 2411-3808-2018-45-1-168-175
20. Acoustic examination of speech communication channels. Monograph / Didkovsky V.S., Didkovskaya M.V., Prodeus A.N. – Kiev, 2008. 420 p.

Джумаев Артём Бахтиёрович, специалист технической поддержки отдела поддержки пользователей ООО «Леруа Мерлен Восток», аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий НИУ «БелГУ»

Jumaev Artem Bakhtierovich, Technical Support Specialist of the User Support Department of Leroy Merlin Vostok LLC, post-graduate Student, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University

УДК 004.056

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-2

Кузьминых Е.С.
Маслова М.А.

**АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СПОСОБОВ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

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

e-mail: egor2014ru@mail.ru, mashechka-81@mail.ru

Аннотация

На мировом рынке последнее десятилетие активно стали развиваться биометрические методы идентификации личности. Данные методы становятся все доступнее, а их внедрение происходит все чаще в повседневной жизни людей и становятся неотъемлемой частью общества. В данной статье будут рассмотрены существующие методы идентификации личности биометрическими методами; их преимущества и недостатки; основные причины использования биометрии, как идентификации личности; сравнены различные методы как на мировом рынке, так и российском.

Ключевые слова: биометрия; идентификация личности; биометрия лица; безопасность; уязвимости; риски; биометрия глаза; отпечатки пальца; сетчатка глаза; радужная оболочка глаза.

Для цитирования: Кузьминых Е.С., Маслова М.А. Анализ и сравнение биометрических способов идентификации личности человека // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021 – С. 13-19. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-2

Kuzminykh E.S.
Maslova M.A.

**ANALYSIS AND COMPARISON OF BIOMETRIC METHODS
OF IDENTIFICATION OF A PERSON**

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

e-mail: egor2014ru@mail.ru, mashechka-81@mail.ru

Abstract

Biometric methods of identity identification have been actively developing in the world market over the past decade. These methods are becoming more accessible, and their implementation is happening more and more often in people's daily lives and are becoming an integral part of society. This article will consider the existing methods of identification of a person by biometric methods; their advantages and disadvantages; the main reasons for using biometrics as identification of a person; various methods are compared both on the world market and in Russia.

Keywords: biometrics; identity identification; facial biometrics; security; vulnerabilities; risks; eye biometrics; fingerprints; retina; iris.

For citation: Kuzminykh E.S., Maslova M.A. Analysis and comparison of biometric methods of identification of a person // Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – P. 13-19. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-2

ВВЕДЕНИЕ

С развитием информационных технологий появляется острая необходимость отслеживать деятельность населения страны, особенно это необходимо силовым структурам, для своевременного пресечения любых незаконных действий нарушителей закона, таких как террор, преступления и т.д. Благодаря постоянному увеличению камер видеонаблюдения по всей стране, силовым структурам становится все более проще находить людей и раскрывать преступления. Происходит это благодаря биометрии лица, отпечатков пальцев, ДНК, сетчатке глаза и т.д. Рассмотрим существующие виды биометрии, функции, достоинства и недостатки, статистику использования биометрии на мировом рынке и российском [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Биометрия — это система распознавания людей по одной или более физическим, или поведенческим чертам, таким как трёхмерная фотография лица и/или тела, образец голоса, отпечатки пальцев, рисунок вен руки, группа крови, специальное фото роговицы глаза и т.д. В области информационных технологий биометрические данные используются в качестве формы управления идентификаторами доступа и контроля доступа. Также биометрический анализ используется для выявления людей, которые находятся под наблюдением по отпечаткам пальцев [8], т.к. отпечаток пальцев является уникальным узором.

Рассмотрим основные виды существующих биометрий. Самая первая используемая биометрия была — дактилоскопия (опознавания человека по отпечатку) берет свое начало с 6 века, в Китае, где ее использовали для подписания документа. Далее технология стала использоваться в криминалистике в Великобритании в 1902 году и в течение последующих 20 лет была внедрена во всех странах. и используется до сегодняшнего дня [4]. Изначально было сложно искать информацию об отпечатках и её легко можно было потерять, но в 21 веке, веке информационных технологий эта проблема исчезла, ведь есть общая база данных, где криминалисты оставляют информацию обо всех преступниках и их можно будет опознать в любом городе без каких-либо сложностей. В настоящее время данная технология внедрена для любого пользователя в мобильном телефоне. Очень удобно разблокировать телефон по отпечатку пальца, или разрешение каких-либо важных операций в телефоне, например, при входе в мобильный банк и оплаты платежей онлайн. Такой вид защиты от несанкционированного доступа в телефон и к приложениям очень высокий.

Следующий тип биометрии – это ДНК экспертиза, которая отвечает за хранение информации и передачу ее от поколения до поколения с реализацией генетической программы развития и функционирования живых организмов [4]. С помощью нее можно найти своего родственника (данную возможность имеет только ДНК экспертиза) или распознать личность человека (по зубам, костям, челюсти и т.д.). Данная экспертиза также, как и предыдущая относится к уникальной биометрии человека. Не так давно научились изменять структуру ДНК, но это очень сложно и ни каждый профессионал может это сделать. Так же ее недостатком есть то, что одинаковый ДНК могут иметь однояйцевые близнецы. Технология очень редко используется в биометрии, хотя и является идеальной биометрической характеристикой. В основном используется для установления родственных связей, но это очень дорогостоящая процедура. Так же используется при опознании без вести пропавших или неопознанных тел, которых невозможно определить по-другому [6].

Третий тип биометрии – это сетчатка глаза – внутренняя оболочка глаза, являющаяся периферическим отделом зрительного анализатора [6]. Она имеет уникальную структуру радужной оболочки глаза. Используется в биометрии для аутентификации и проверки подлинности личности [1]. Идентификацию личности по сетчатке глаза стали использовать с 1930 года, когда было установлено, что строение сосудов любого человека – совершенно разная. В 1950 г. было установлено, что даже у близнецов несмотря на одинаковость ДНК сетчатка глаза совершенно разная и, следовательно, ее можно использовать для подтверждения личности человека.

Данный тип идентификации является одним из лучших. Если его сравнивать с ДНК (который одинаков у близнецов), отпечатком пальца (от которого можно избавиться), формы лица (которую можно изменить), сетчатку глаза никак не изменить. Применяется в основном в военных целях. Минусы данного метода состоят в том, чтобы распознать сетчатку глаза человека, необходимо специальное устройство и что бы человек находится неподвижно в близости к нему, что отличается от радужки, глаза которую можно считать на большом расстоянии.

Для данного метода применяется технологии динамического сканирования (например, сканирование того, как человек моргает), что добавляет дополнительный уровень точности и безопасности [6].

Четвертый метод биометрии – это биометрия лица, которая является второй по степени распространения способа идентификации личности. Ее в основном не используют как самостоятельный вид, а применяют в комбинации с другими методами, например, с ДНК, отпечатком пальцев или сетчаткой глаза. Ее плюсом является то, что биометрию лица можно идентифицировать на довольно большом расстоянии. Но при этом имеет минусы, так как ее можно изменить, например если человек одел очки, нанес макияж, отрастил усы или бороду и т.д. Так же в распознавании по лицу мешают такие факторы, как угол наклона, поворот головы или освещение, падающее на лицо и т.д. Т.е. данная технология дает низкие показатели точности и большой процент ложных определений [9]. Хотя если необходимо сравнить фотографии, то этот способ является очень хорошим, главное, чтоб фотография была качественная. Так же стало популярно использовать биометрию лица при выдаче заграничного паспорта, его выдают в виде ID-карты, куда вбивается вся необходимая информация, такое устройство очень дорогое и подделать такой документ практически невозможно.

Во многих странах данная технология используется повсеместно и программное обеспечение проводит измерение геометрии лица начиная от расстояния между глазами, от подбородка до лба, до ушей и т.д., используя более точные параметры замера лица. После сбора данных усовершенствованный алгоритм преобразует их в зашифрованный код – подпись (сигнатуру) лица. Согласно проведенному исследованию и отчёту Computer Sciences Corporation, многие торговые центры, магазины уже внедрили системы распознавания лиц для отслеживания определённых групп покупателей. Принцип работы такого вида систем можно сравнить с таргетированной рекламой, цель которой – изучить предпочтения и предлагать наиболее релевантные товары [5].

Несколько лет уже данный метод использует функцию распознавания лица в телефонах пользователей и становится все популярнее. Он проводит разблокировку телефона по биометрии лица, что очень удобно и имеет высокую степень защиты от входа в телефон других лиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При рассмотрении основных видов используемой биометрии в обществе можно с помощью статистики проанализировать ее применение и рост внедрения в обществе.

Рассмотрим изменения видов биометрии рынка в мире за последние десятилетия (см. рис. 1).



Рис. 1. Изменение рынка биометрии в мире
Fig. 1. Changes in the biometrics market in the world

Неотъемлемым параметром в биометрии является ее окупаемость и доход различных фирм от ее внедрения и использования.

Годовой доход от программного обеспечения по распознаванию голоса или речи на мировом рынке: 2018-2025 гг., млн. \$ (см. рис. 2). Из графика видно, насколько востребована данная технология и как стремительно идет ее рост [9].

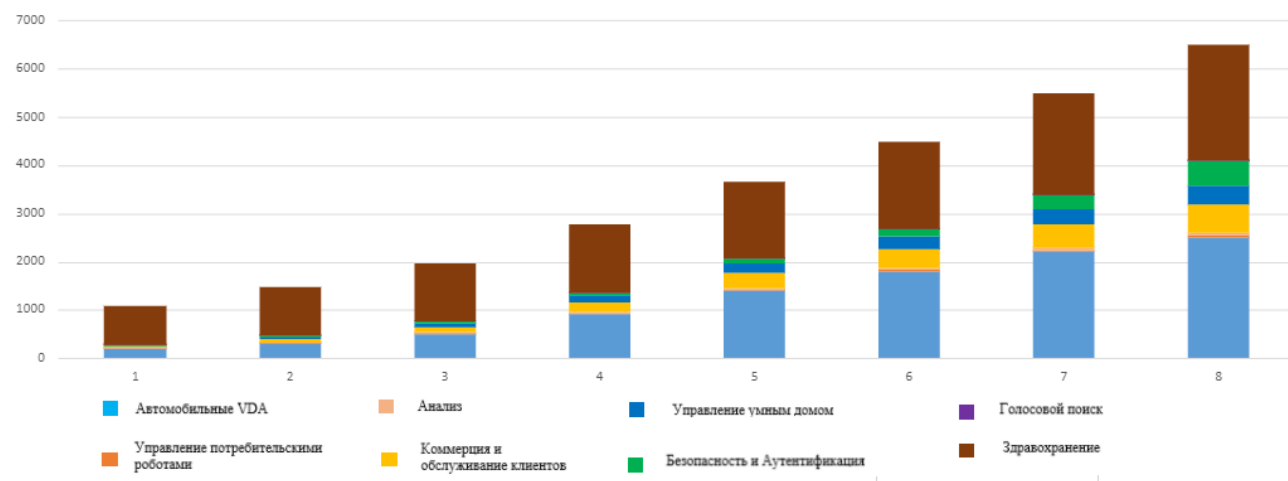


Рис. 2. Годовой доход ПО по распознавания голоса и речи
Fig. 2. Annual revenue for voice and speech recognition software

Если есть спрос и продвижение любой технологии, то обязательно есть риски в данной сфере. По мимо изобретения и внедрения необходим постоянный контроль за безопасностью при внедрении любой из видов биометрии. Так как мошенники всегда найдут лазейки для легких заработков и кражи данных и ПО. Тому подтверждение дает статистика на примере годового уровня мошенничества с использованием голосовых каналов связи (см. рис. 3) [9].

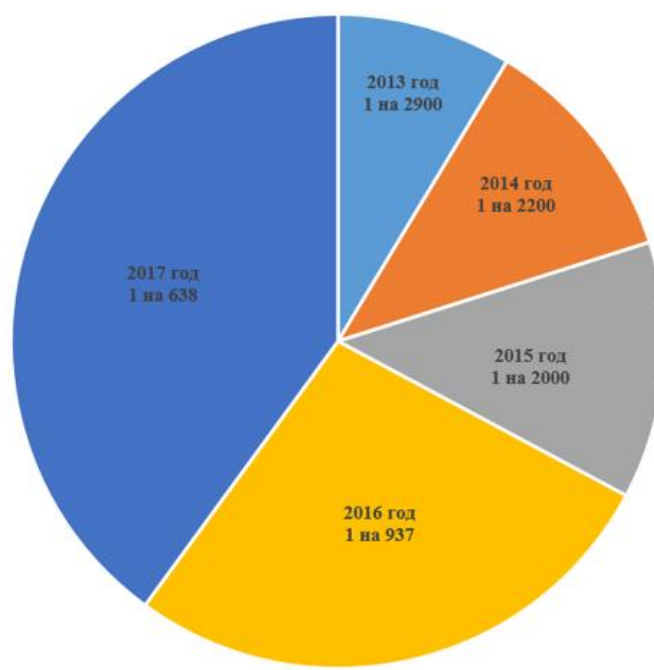


Рис. 3. Годовой уровень мошенничества с использованием голосовых каналов связи
Fig. 3. Annual level of fraud using voice communication channels

Спрос технологий биометрии и внедрение их все более возрастает, как в мировой практике, так и на российском рынке (см. рис. 4).

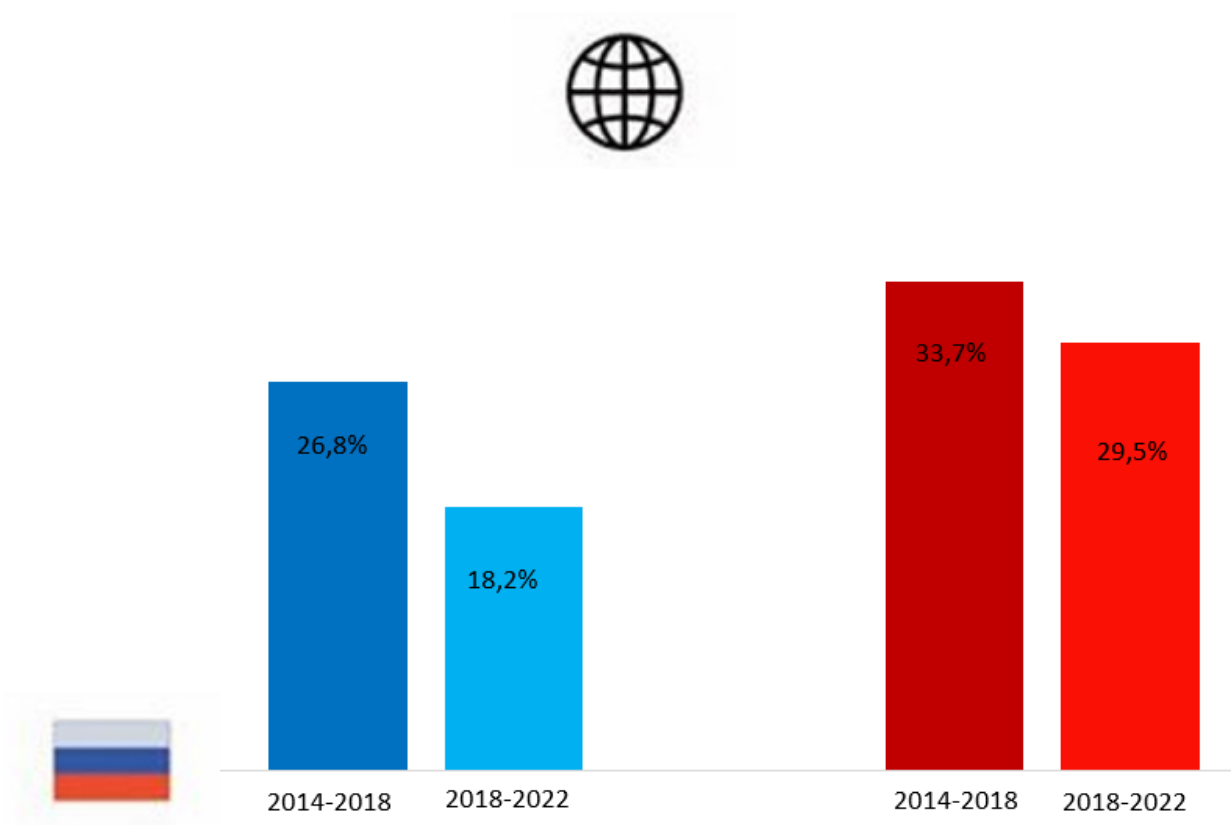


Рис. 4. Рост рынка биометрии
Fig. 4. Growth of the Russian biometrics market

Доля России на мировом рынке за последнее десятилетие тоже значительно увеличилась (см. рис. 5) [7].

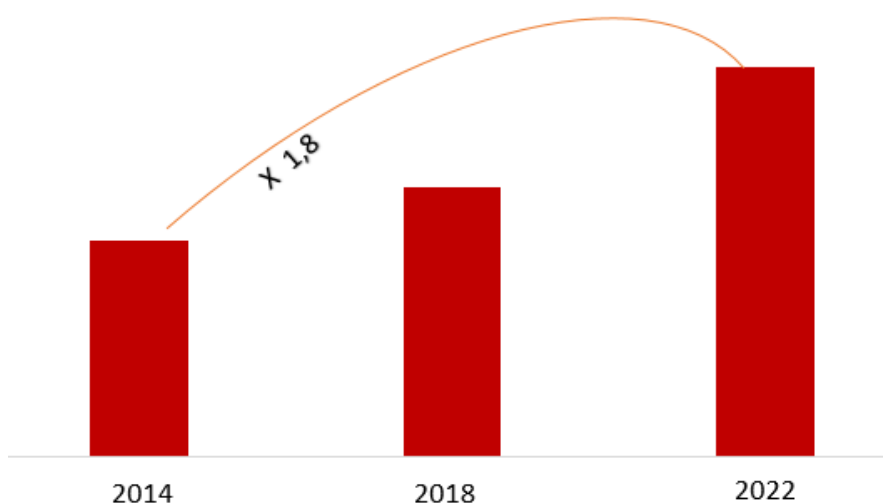


Рис. 5. Доля России на глобальном рынке биометрии
Fig. 5. Russia's share in the global biometrics market

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из выше приведенной информации можно сделать вывод, что все основные способы биометрии хороши по-своему и имеют место в различных областях не только науки, но и

повседневной жизни людей. Рассмотрев их плюсы и минусы, можно понять, какие способы для чего используются, какие способы более перспективные, какие можно использовать не только для отслеживания граждан, но и для защиты данных, информации и людей. Можно выделить самые эффективные способы идентификации личности – это биометрия лица и глаза. Биометрия по радужной оболочке глаза на данный момент является одним из наиболее эффективных способов идентификации и аутентификации личности. А если совместить биометрию глаза с каким-либо другим методом, то идентификация личности будет стремиться к 100%. Каждая фирма, разрабатывая то или иное устройство для современного мира пытается внедрить все более новые технологии (в том числе и использование биометрии в устройствах), которые будут отвечать не только инновациям, но и самое главное защите личности, информации и персональных данных, что является одной из важнейших задач общества [3].

Список литературы

1. Девицына С.Н., Елецкая Т.А., Балабанова Т.Н., Гахова Н.Н. Разработка интеллектуальной системы биометрической идентификации пользователя // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2019. Т. 46. № 1. С. 148-160.
2. Devitsyna S., Eletskaia T., Meshkov A. Developing facial recognition software to control access to campus facilities. CEUR Workshop Proceedings. 2. Сер. "InnoCSE 2019 – Proceedings of the 2nd Workshop on Innovative Approaches in Computer Science within Higher Education" 2019. С. 68-76.
3. Serikova Yu.I., Knyazev V.N. Multifunctional mobile biometrics using human fingerprint and dynamics of handwritten signature// International Research Journal. 2021. № 6-1 (108). С. 157-162.
4. Обзор систем биометрической информации. URL: <https://clck.ru/Z4xnM>.
5. Биометрия. Идентификация по лицу. URL: <https://clck.ru/Z4zkF>.
6. Биометрия от «А» до «Я» полное руководство биометрической идентификации и аутентификации. URL: <https://clck.ru/Y6HKk>.
7. Анализ рынка информационной безопасности в России. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis.
8. Пропускная система по отпечаткам пальцев: особенности и преимущества. URL: <https://www.anti-malware.ru/ost1/2019-08-27/30581>.
9. Применение технологии распознавания лиц в Почта Банке. URL: <https://www.anti-malware.ru/practice/solutions/use-face-recognition-technology>.

References

1. Devitsyna S.N., Eletskaia T.A., Balabanova T.N., Gakhova N.N. The development of intelligent biometric identification system user // Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. 2019. T. 46. № 1. P. 148-160.
2. Devitsyna S., Eletskaia T., Meshkov A. Developing facial recognition software to control access to campus facilities. CEUR Workshop Proceedings. 2. Сер. "InnoCSE 2019 – Proceedings of the 2nd Workshop on Innovative Approaches in Computer Science within Higher Education" 2019. P. 68-76.
3. Serikova Yu.I., Knyazev V.N. Multifunctional mobile biometrics using human fingerprint and dynamics of handwritten signature// International Research Journal. 2021. № 6-1 (108). P. 157-162.
4. Overview of biometric information systems. URL: <https://clck.ru/Z4xnM>.
5. Biometrics. Face identification. URL: <https://clck.ru/Z4zkF>.
6. Biometrics from "A" to "Z" a complete guide to biometric identification and authentication. URL: <https://clck.ru/Y6HKk>.
7. Analysis of the information security market in Russia. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis.
8. Known fingerprint system: features and benefits. URL: <https://www.anti-malware.ru/ost1/2019-08-27/30581>.
9. Application of face recognition technology in Post Bank. URL: <https://www.anti-malware.ru/practice/solutions/use-face-recognition-technology>.

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

Kuzminykh Yegor Sergeevich, student of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

Maslova Maria Alexandrovna, senior lecturer of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

УДК 681.5.013

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-3

Дылевский А.В.¹
Хрипушин Д.А.²

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

¹⁾ Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,
ул. Карла Маркса, д. 67А, г. Воронеж, 394030, Россия

²⁾ Воронежский государственный университет, Университетская площадь, д. 1, г. Воронеж, 394018, Россия

e-mail: nefta@yandex.ru, wittnauers@gmail.com

Аннотация

Рассматривается задача автоматического прогнозирования некоторого класса детерминированных сигналов. Такие задачи возникают как в теории автоматического управления, так и в различных приложениях, где требуется получить прогноз по наблюдаемой реализации. Класс рассматриваемых в статье сигналов достаточно широкий. Для решения поставленной задачи используется разложение экспоненциальной передаточной функции в ряд Бурмана-Лагранжа по степеням передаточной функции реализуемого дифференцирующего звена. Аппроксимируемая передаточная функция является трансцендентной и бесконечномерной. Разложение в ряд Бурмана-Лагранжа позволяет осуществить регуляризацию некорректной задачи. Точность прогнозирования может быть увеличена за счет параметра регуляризации, а также за счет увеличения числа членов ряда Бурмана-Лагранжа. Приводятся результаты моделирования построенного в статье автоматического прогнозатора. Приведенные результаты показывают хорошую точность прогнозирования. Предложенный метод синтеза автоматических прогнозаторов может быть применен для других классов сигналов, в том числе для прогнозирования зашумленных сигналов.

Ключевые слова: автоматическое прогнозирование; детерминированный сигнал; передаточная функция; дифференциатор.

Для цитирования: Дылевский А.В., Хрипушин Д.А. Автоматическое прогнозирование детерминированных сигналов // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021 – С. 20-26. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-3

Dylevsky A.V.¹
Khripushin D.A.²

AUTOMATIC PREDICTION OF DETERMINISTIC SIGNALS

¹⁾ Voronezh branch of the Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov
67A Karl Marx St., Voronezh, 394030, Russia

²⁾ Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia

e-mail: nefta@yandex.ru, wittnauers@gmail.com

Аннотация

The problem of automatic prediction of a certain class of deterministic signals is considered. Such problems arise both in the theory of automatic control and in various applications where it is required to obtain a forecast for the observed realization. The class of signals considered in the article is quite wide. To solve this problem we use a Bourman-Lagrange series of the exponential transfer function in terms of the powers of the transfer function of the realized differentiating plant. The approximated transfer function is transcendental and infinite-dimensional. The Burman-Lagrange series allows the regularization of an incorrect problem. The prediction accuracy can be increased due to the regularization parameter, as well as by increasing the number of terms of the Burman-Lagrange series. The results of modeling of the automatic predictor constructed in the article are presented. These results show good prediction accuracy. The proposed method of synthesis of automatic predictors can be applied to other classes of signals, including the prediction of noisy signals.

Keywords: automatic prediction; deterministic signal; transfer function; differentiator.

For citation: Dylevsky A.V., Khripushin D.A. Automatic prediction of deterministic signals // Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – P. 20-36. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-3

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, любые процессы или явления характеризуются некоторыми параметрами. В связи с этим во многих областях возникают задачи прогнозирования параметров: прогнозирование цены на какой-либо финансовый инструмент, прогнозирование числа заболевших определенной болезнью, прогнозирование температуры воздуха или количества осадков и т.д. Один из подходов к решению таких задач основан на построении математических моделей соответствующих явлений или процессов. Например, с помощью математических моделей физических процессов в атмосфере и океане были разработаны гидродинамические методы прогноза погоды [1]. Однако такой подход требует описания сложных математических моделей, а так же знания параметров, характеризующих рассматриваемое явление или процесс. Эти трудности существенно ограничивают применение описываемого подхода.

В прикладных исследованиях нередко возникают ситуации, когда математическое моделирование, основанное на использовании точных законов, оказывается затруднительным, но в распоряжении исследователей оказывается результат наблюдений параметров исследуемого процесса или явления. В этих случаях для решения задач прогнозирования могут быть использованы методы, основанные на анализе наблюдаемых параметров.

В данной статье рассматривается метод автоматического прогнозирования детерминированных сигналов, основанный на применении автоматических дифференциаторов широкого класса сигналов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель работы

Требуется построить автоматическое устройство прогнозирования (прогнозатор) для любого сигнала $g: C^\infty[0, T] \rightarrow R$, $T > 0$. Таким образом, прогнозатор должен находить значение $g(t+\tau)$ по известным значениям произвольного сигнала $g(t)$, где $t \in [0, T]$, $\tau > 0$ — время упреждения [2]. Следует отметить, что прогнозатор должен осуществлять автоматическое прогнозирование произвольного, заранее неизвестного сигнала $g(t)$ из класса $C^\infty[0, T]$.

Описание метода решения поставленной задачи

Для решения поставленной задачи рассмотрим разложение сигнала $g(t+\tau)$ в ряд Тейлора в окрестности точки t :

$$g(t + \tau) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{g^{(k)}(t) \tau^k}{k!}. \quad (1)$$

Применим к равенству (1) преобразование Лапласа. Тогда, учитывая свойства преобразования Лапласа, получаем следующее равенство в комплексной области:

$$G(p) e^{\tau p} = \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{(\tau p)^k}{k!} G(p) + G_{0,k}(p) \right]. \quad (2)$$

Здесь $G(p)$ — изображение по Лапласу сигнала $g(t)$; $G_{0,k}(p)$ — алгебраический многочлен аргумента p , коэффициенты которого определяются значениями $g^{(i)}(0)$, $i=0, \dots, k-1$, при этом $G_{0,0}(p) \equiv 0$.

Таким образом, для осуществления автоматического прогноза произвольного сигнала требуется реализовать передаточную функцию трансцендентного бесконечномерного объекта $e^{\tau p}$.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим функцию $\Psi: C \rightarrow C$, которая является аналитической в некоторой области $G \subseteq C$. Ряд Тейлора для функции $\Psi(p)$ с центром в точке $a \in G$ имеет вид

$$\Psi(p) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n (p-a)^n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Psi^{(n)}(a)}{n!} (p-a)^n = \sum_{n=0}^N \frac{\Psi^{(n)}(a)}{n!} (p-a)^n + \Delta_N(p, a), \quad (3)$$

где $\Delta_N(p, a)$ – остаточный член ряда Тейлора,

$$\Delta_N(p, a) = \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{\Psi^{(n)}(a)}{n!} (p-a)^n = \frac{(p-a)^{N+1}}{2\pi j} \int_C \frac{\Psi(z) dz}{(z-p)(z-a)^{N+1}}, \quad (4)$$

C – некоторый замкнутый контур, лежащий в G и содержащий точки p и a . Для нахождения коэффициентов c_n степенного ряда (4) наряду с формулой

$$c_n = \frac{\Psi^{(n)}(a)}{n!}, \quad n \in Z_0, \quad (5)$$

можно воспользоваться следующим выражением [5]:

$$c_n = \frac{1}{2\pi j} \int_C \frac{\Psi(z) dz}{(z-a)^{n+1}}, \quad n \in Z_0. \quad (6)$$

Отметим, что формула (0) может быть представлена в виде

$$\Psi(p) = \Psi_N(p, a) + \Delta_N(p, a), \quad N \in Z_0 \quad (7)$$

где $\Psi_N(p, a)$ — отрезок ряда Тейлора длины $N+1$ или частичная сумма порядка $N+1$ ряда Тейлора,

$$\Psi_N(p, a) = \sum_{n=0}^N \frac{\Psi^{(n)}(a)}{n!} (p-a)^n, \quad N \in Z_0. \quad (8)$$

Дадим оценку остаточного члена ряда Тейлора $\Delta_N(p, a)$. Обозначим через R радиус круга аналитичности функции $\Psi(p)$ и рассмотрим произвольное число R' , $0 < R' < R$, и круг $|p-a| = kR$, где $0 < k < 1$ — произвольное число. Пусть C — окружность $|z-a| = R'$. Тогда в любом круге $|p-a| < kR'$ имеем оценку [5]

$$|\Delta_N(p, a)| \leq \frac{k^{N+1} M(R')}{1-k}. \quad (9)$$

Здесь $M(R')$ — максимум модуля функции $\Psi(p)$ в круге $|p-a| \leq R'$.

Найдем тейлоровское разложение функции $\Psi(p) = e^{\tau p}$, $\tau \in R$, с центром в точке $a=0$. Функция $e^{\tau p}$ является аналитической в C . В силу формулы (5) и очевидного соотношения

$$\left. \frac{d^n e^{\tau p}}{dp^n} \right|_{p=0} = \tau^n, \quad n \in Z_0,$$

получаем

$$c_n = \frac{\tau^n}{n!}, \quad n \in Z_0.$$

Тогда ряд Тейлора для функции $e^{\tau p}$ имеет вид

$$c_n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tau^n}{n!} p^n \quad (10)$$

и в силу аналитичности в C функции $e^{\tau p}$ ряд сходится для любого $p \in C$. Оценка остаточного члена $\Delta_N(p, 0)$ ряда Тейлора (3) для функции $e^{\tau p}$ определяется неравенством (9) и имеет вид

$$|\Delta_N(p, 0)| \leq \frac{k^{N+1} M(R')}{1-k},$$

$M(R')$ — максимум модуля функции $e^{\tau p}$ в круге $|p| \leq R'$.

Следует отметить следующий важный факт [3]: частичная сумма $\Psi_N(p, 0)$ ряда Тейлора функции $\Psi(p) = e^{\tau p} \quad \forall \tau > 0$ при $N \leq 4$ является устойчивым многочленом, при $N=5$ имеет два комплексно-сопряженных корня, при $N \geq 6$ является неустойчивым многочленом; при $N \geq 1$ все нули $\Psi_N(p, 0)$ расположены в области: $N\mu < |\tau p| < N+4/3$, $Re(\tau p) < N$, где $\mu=0,288465$ — единственный положительный корень уравнения $xe^{x+1}=1$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения поставленной задачи прогнозирования сигнала $g(t)$, как отмечалось выше, требуется реализовать передаточную функцию $\Psi(p)=e^{\tau p}$. Так как эта функция является бесконечномерной и трансцендентной, то осуществить непосредственно эту реализацию не получится. Другой способ реализации может быть связан с аппроксимацией функции $\Psi(p)=e^{\tau p}$ отрезком ряда Тейлора. Но и этот подход не позволяет решить задачу, так как разложение $e^{\tau p}$ по степеням p приводит к необходимости реализации идеального дифференцирующего звена с передаточной функцией $W(p)=p$, что, как известно, неосуществимо [6]. Однако если рассмотреть разложение $\Psi(p)=e^{\tau p}$ в ряд Бурмана – Лагранжа по степеням дробно-рациональных выражений, то задача может быть решена.

Итак, рассмотрим аппроксимацию передаточной функции с помощью дробно-рациональных выражений. С этой целью будем использовать ряды Бурмана – Лагранжа — полезное для приложений обобщение рядов Тейлора. Ряды Бурмана – Лагранжа [4, 5] получаются при разложении одной аналитической функции $\Psi(p)$ по степеням другой аналитической функции $w(p)$:

$$\Psi(p) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n w^n(p) = \sum_{n=0}^N d_n w^n(p) + \Delta_N(p, a). \quad (11)$$

Формулы для коэффициентов ряда Бурмана – Лагранжа [4, 5] имеют следующий вид:

$$d_n = \frac{1}{2\pi j} \int_C \frac{\Psi(z)w'(z)}{w^{n+1}(z)} dz = \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow a} \frac{d^n}{dp^n} \left[\frac{\Psi(p)w'(p)(p-a)^{n+1}}{w^{n+1}(p)} \right], \quad n \in \mathbb{Z}_0. \quad (12)$$

При $n \geq 1$ формулы (12) можно представить следующим образом:

$$d_n = \frac{1}{2\pi j} \int_C \frac{\Psi'(z)}{w^n(z)} dz = \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow a} \frac{d^n}{dp^n} \left[\frac{\Psi'(p)(p-a)^n}{w^n(p)} \right], \quad n \in \mathbb{Z}_0. \quad (13)$$

Формулы (12) и (13) для коэффициентов ряда Бурмана – Лагранжа получены при предположении, что $\Psi(p)$ и $w(p)$ правильны в некоторой точке a , т. е. существуют и конечны пределы $\lim_{p \rightarrow a} \Psi(p)$ и $\lim_{p \rightarrow a} w(p)$, причем $w(p)$ имеет в точке a нуль первого порядка. Замкнутый контур C , ограничивающий некоторую область D , выбирается так, чтобы D содержала точку a , обе функции были правильны в $\bar{D}=D \cup C$ и чтобы $w(p)$ принимала свои значения лишь один раз. Отметим, что если $w(a) \neq 0$, то функцию $\Psi(p)$ можно раскладывать в ряд по степеням функции $w_1(p)=w(p)-a$.

Выражение для остаточного члена ряда Бурмана – Лагранжа имеет вид

$$\Delta_N(p, a) = \sum_{n=N+1}^{\infty} d_n w^n(p) = \frac{w^{N+1}(p)}{2\pi j} \int_C \frac{\Psi(z)w'(z) dz}{w^{N+1}(z)(w(z)-w(p))}. \quad (14)$$

Нетрудно заметить, что при $w(p)=p-a$ формула для остаточного члена ряда Бурмана – Лагранжа (14) совпадает с формулой для остаточного члена ряда Тейлора (4), выражение для коэффициентов (12) совпадает с (6), а разложение (11) представляет собой ряд Тейлора для функции $\Psi(p)$. Таким образом, ряд Бурмана – Лагранжа является обобщением ряда Тейлора.

Рассмотрим далее разложение функции $\Psi(p)=e^{\tau p}$ по степеням $w(p)=\frac{p}{\mu p+1}$, $\mu \geq 0$, при $a=0$.

Тогда

$$e^{\tau p} = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_k \frac{p^k}{(\mu p+1)^k}. \quad (15)$$

Имеем $\alpha_0 = \Psi(0) = 1$. По формуле (13), применяя формулу Лейбница дифференцирования произведения двух функций, после элементарных преобразований получаем

$$\alpha_k = \frac{\tau^k}{k!} \sum_{i=0}^{k-1} C_{k-1}^i A_k^i \left(\frac{\mu}{\tau} \right)^i, \quad k \geq 1, \quad (16)$$

где $C_{k-1}^i = \frac{(k-1)!}{i!(k-i-1)!}$, $A_k^i = \frac{k!}{(k-i)!}$. Нетрудно проверить, что при $\mu = 0$ коэффициенты рядов Тейлора и Бурмана – Лагранжа совпадают. При $\mu > 0$ получаем реализуемое разложение $\Psi(p)=e^{\tau p}$ по степеням

$w(p) = \frac{p}{\mu p + 1}$. В этом случае μ можно рассматривать как параметр регуляризации, применяемый для решения некорректных задач [7].

Построение автоматического прогнозатора

С помощью ряда (15) найдем передаточную функцию автоматического прогнозатора. С этой целью представим разложение (15) в следующем виде:

$$e^{\mathcal{P}} = \sum_{k=0}^N \alpha_k \frac{p^k}{(\mu p + 1)^k} + \Delta_N(p), \quad (17)$$

где $\Delta_N(p)$ — остаточный член ряда Бурмана – Лагранжа при $w(p) = \frac{p}{\mu p + 1}$, $\mu \geq 0$ и $a=0$ функции $e^{\mathcal{P}}$.

Можно показать, что в любом круге $|p| \leq R$ имеет место равенство

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Delta_N(p) = 0. \quad (18)$$

Поэтому передаточную функцию прогнозатора рассмотрим в виде

$$W_N(p) = \sum_{k=0}^N \alpha_k \frac{p^k}{(\mu p + 1)^k}. \quad (19)$$

В силу (18) при $N \rightarrow \infty$ имеем $W_N(p) \rightarrow e^{\mathcal{P}}$ для всех $|p| \leq R$, то есть точность прогноза будет повышаться с увеличением числа членов ряда Бурмана – Лагранжа.

На рис.1–4 представлены результаты моделирования прогнозатора (19) при $\mu = 0,01$ и $N = 3$.

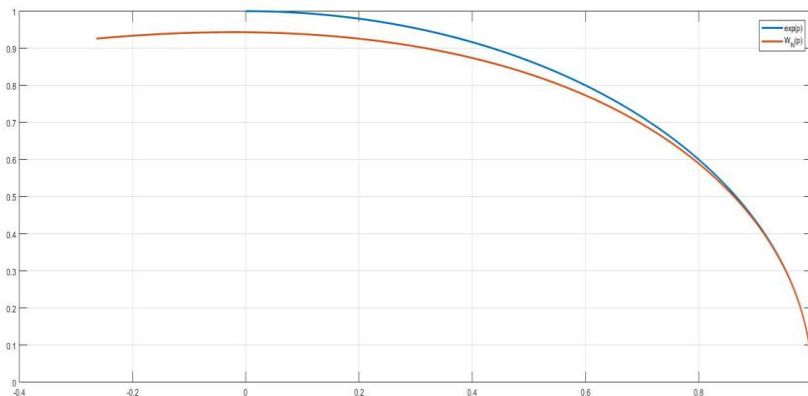


Рис. 1. Амплитудная фазо-частотная характеристика прогнозатора
Fig. 1. Amplitude phase-frequency response of the predictor

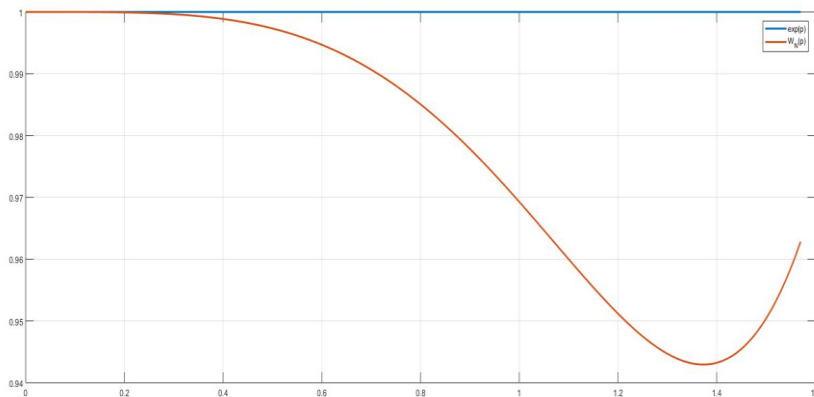


Рис.2. Амплитудно-частотная характеристика прогнозатора
Fig. 2. Amplitude-frequency response of the predictor

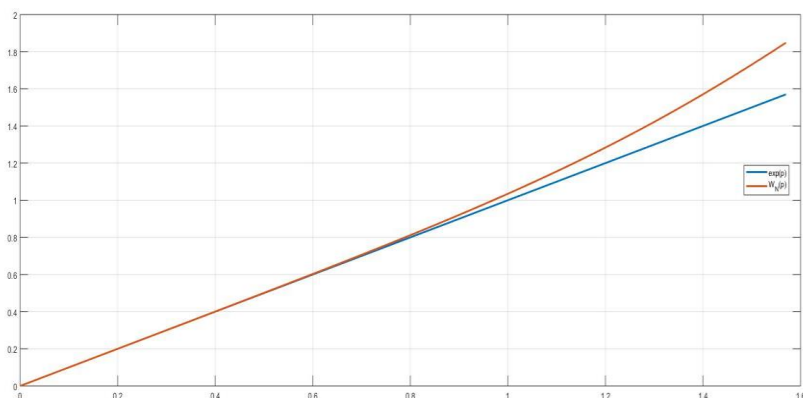


Рис. 3. Фазо-частотная характеристика прогнозатора
Fig. 3. Phase-frequency response of the predictor

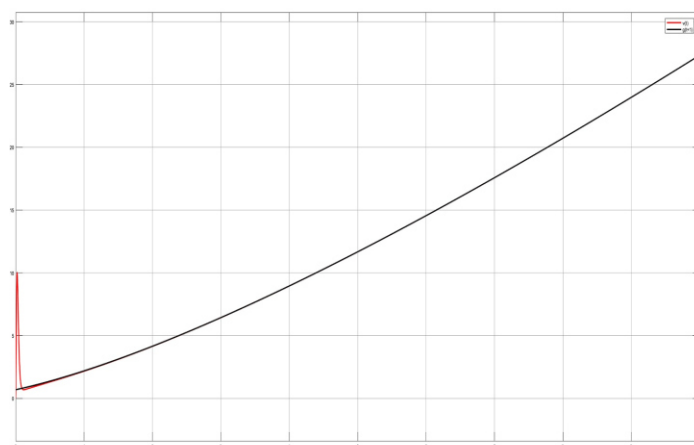


Рис. 4. Результат прогноза сигнала $t \ln(t + 1)$
Fig. 4. Signal prediction result $t \ln(t + 1)$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье решалась задача автоматического прогнозирования класса бесконечно-дифференцируемых детерминированных сигналов. Такие задачи возникают как в теории автоматического управления, так и в различных приложениях, где требуется получить прогноз по наблюдаемой реализации. Для решения поставленной задачи использовалось разложение экспоненциальной передаточной функции в ряд Бурмана-Лагранжа по степеням передаточной функции реализуемого устойчивого дифференцирующего звена. Следует особо отметить, что разложение в ряд Бурмана-Лагранжа позволяет осуществить регуляризацию некорректной задачи. Точность прогнозирования может быть увеличена за счет параметра регуляризации, а также за счет увеличения числа членов ряда Бурмана-Лагранжа. Результаты моделирования построенного в статье автоматического прогнозатора показывают хорошую точность прогнозирования. Предложенный метод синтеза автоматических прогнозаторов может быть применен для других классов сигналов, в том числе для прогнозирования зашумленных сигналов.

Список литературы

1. Марчук Г.И. Численные методы в прогнозе погоды / Г.И. Марчук. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 355 с.
2. Ивахненко А.Г. Кибернетические предсказывающие устройства / А.Г. Ивахненко, В. Г. Лапа. – К.: «Наукова думка», 1965. – 213 с.
3. Бейкер Дж. Аппроксимации Паде / Дж. Бейкер, П. Грейвс-Моррис. – М.: Мир, 1986. – 502 с.

4. Девятков Б.Н. Динамика распределенных процессов в технологических аппаратах, распределенный контроль и управление / Б.Н. Девятков, Н.Д. Демиденко, В.А. Охорзин. – Красноярск : Красноярское книжное изд-во, 1976. – 312 с.
5. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1987. – 688 с.
6. Лозгачев Г.И. Автоматические дифференциаторы: построение и применение в задачах управления / Г.И. Лозгачев, А.В. Дылевский. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. – 144 с.
7. Тихонов А.Н. Методы решения некорректно поставленных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1974. – 223 с.

References

1. Marchuk G.I. Numerical methods in the weather forecast / G.I. Marchuk. – L.: Hydrometeoisdat, 1967. – 355 p.
2. Ivakhnenko A.G. Cybernetic predictive devices / A.G. Ivakhnenko, V.G. Lapa. – K.: "Naukova Dumka", 1965. – 213 p.
3. Baker J. Approximations of Pade / J. Baker, P. Graves-Morris. – M.: World, 1986. – 502 p.
4. Devyatov B.N. Dynamics of distributed processes in technological apparatuses, distributed control and control / B.N. Devyatov, N.D. Demidenko, V.A. Okhorzin. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Book Publishing House, 1976. – 312 p.
5. Lavrentiev M A. Methods of the theory of functions of a complex variable / M.A. Lavrentiev, B.V. Shabat. – M.: Science, 1987. – 688 p.
6. Lozgachev G.I. Automatic differentiators: construction and application in control tasks / G.I. Lozgachev, A.V. Dylevsky. – Voronezh: Publishing House of VSU, 2000. – 144 p.
7. Tikhonov A.N. Methods for solving incorrectly set tasks / A.N. Tikhonov, V.Ya. Arsenin. – M.: Science, 1974. – 223 p.

Дылевский Александр Вячеславович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий в экономике Воронежского филиала Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова
Хрипушин Денис Александрович, аспирант факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета

Dylevsky Alexander Vyacheslavovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information Technologies in Economics, Voronezh branch of the Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov

Khripushin Denis Alexandrovich, postgraduate student at Faculty of Computer Sciences, Voronezh State University

UDC 004.065

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

Kostikov V.A.
Maslova M.A.

**COMPRESSION OF ENCRYPTED AND HIDDEN DATA. FIXING
THE AVERAGE TIME WHEN PERFORMING THE HUFFMAN
CODING ALGORITHM**

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

e-mail: my.virus.kaspersky@gmail.com, mashechka-81@mail.ru

Abstract

This paper presents an algorithm for compressing data that has been encrypted or hidden, as well as capturing performance – the average time it takes to encode and decode (compress / decompress) a lossless file up to 30%, using the Huffman coding algorithm.

Keywords: lossless data compression; Huffman algorithm average time analysis; Huffman coding; data protection with data compression; efficiency of lossless data compression.

For citation: Kostikov V.A., Maslova M.A. Compression of encrypted and hidden data. Fixing the average time when performing the Huffman coding algorithm // Research result. Information technologies. – T.6, №4, 2021. – P. 27-33. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-4

Костиков В.А.
Маслова М.А.

**СЖАТИЕ ЗАШИФРОВАННЫХ И СКРЫТЫХ ДАННЫХ.
ФИКСИРОВАНИЕ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
АЛГОРИТМА КОДИРОВАНИЯ ХАФФМАНА**

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

e-mail: my.virus.kaspersky@gmail.com, mashechka-81@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлен алгоритм сжатия данных, которые были зашифрованы или скрыты, а также фиксирование производительности – среднего времени, за которое происходит кодирование и декодирование (compress / decompress) файла без потерь до 30%, с помощью алгоритма кодирования Хаффмана.

Ключевые слова: сжатие без потерь данных; анализ среднего времени алгоритма Хаффмана; кодирование Хаффмана; защита данных с помощью сжатия данных; эффективность сжатия данных без потерь.

Для цитирования: Костиков В.А., Маслова М.А. Сжатие зашифрованных и скрытых данных. Фиксирование среднего времени при проведении алгоритма кодирования Хаффмана // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021 – С. 27-33. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-4

INTRODUCTION

The current problem is the space occupied on the storage medium. Strange as it may seem, it is the fact that the data that is on the media can be reduced by up to 30% without data loss. Therefore, by implementing this compression algorithm, it is possible to save your resources. The only question is: "how much time is needed to compress the files?". Of course, a lot depends on the processing power of the machine you're working on and the amount of data to be compressed. Nevertheless, based on the files to be stored on the server, you can calculate the average time of compressing files.

This solution is necessary because compression allows and performs the function of hiding data on the server. Such a solution has already been considered as a stegochannel or audio file hiding. Therefore, this measure is important as well as hiding the image or audio file on the server [1, 2].

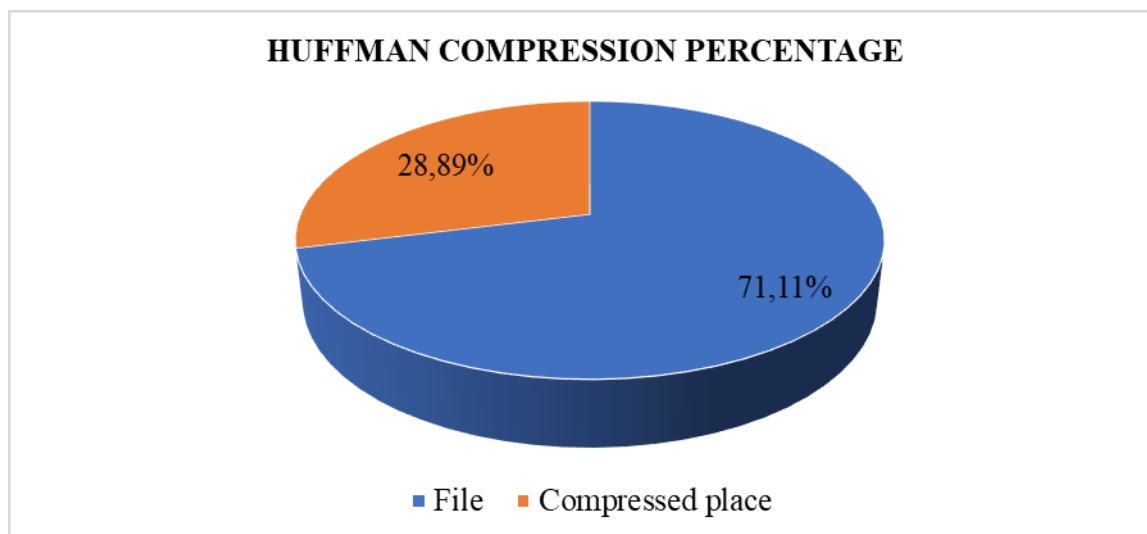


Fig. 1. Data compression using the Huffman coding method (%)

Рис. 1. Сжатие данных с помощью метода кодирования Хаффмана (%)

Therefore, it is necessary to understand what can be compressed and in what volumes. Within the framework of this article such factors of data compression algorithm will be considered as: efficiency, speed and practicality. Of course, the efficiency and practicality considered, which proves how much information can be compressed without data loss. At this point, it is necessary to consider and fix the average operation time.

MAIN PART

In order to determine how fast the file data can be compressed and decompressed - a series of tests will be conducted in the form of a cycle of repetitions and measurement of the average operation execution time of this Huffman algorithm. This test is subjective and may have different values for different PCs, as the measurement is related to the computing power of the machine. When programming it is necessary to consider first of all the components of computer: central processing unit (CPU), main memory (RAM), storage device - hard disk drive (HDD) or more modern storage device - flash drive (SSD) [3].

When the program is started (in our case everything happens through the PyCharm IDE), the program execution data is copied from the permanent secondary (additional) memory to the main memory of the PC. After booting up, the CPU will start executing the program. Let us consider this step from the technical side - the CPU follows the "fetch-execute cycle" operation, which translates as "fetch-execute cycle" [4]. Initially the first rule is fetched from memory, then it is decoded to define the essence of execution of this program fragment, then it is fetched and decoded completely and then the next rule is executed. I.e. the main principle of calculating PC is the execution of the cycle. Therefore, the power (speed) of calculation of these or those files, mainly depends on the constituent parts of the PC.

You should also take into account the fact of your PC workload - free disk space, other executable files that can influence the speed of calculations (compress/decompress). Also you should take into consideration the state of the operating system on which the computation tests are performed.

Before testing for average data compression rate using the Huffman method, it is necessary to imagine what kind of PC composition is being acted upon:

1. Processor (CPU): Intel® Core™ i5-8400 CPU @ 2.80GHz
2. Installed memory (RAM): 8.00 GB,
3. System type: 64-bit operating system, x64 processor,
4. Operating system (OS): Windows 10 Home.

There is no more information about testing. The PyCharm IDE (Python 3.9) is also used. This information will be used further to denote computing performance.

We use the Huffman code which is based on the condition that some file data can be used more often than others. This principle allows compressing file data considerably (up to 30%) (considered as *.txt format). The main issue besides efficiency is its execution time [5].

Thus, we have a number of factors that directly influence the computation of the machine and, consequently, the compression time is a variable, but nevertheless, having the initial configuration, as well as the estimated values and possible changes during the power conversion both in the whole VM and OS, we can determine the values that we will get at the output, depending on the use of a particular means of VM and OS. Statistical data will be obtained, which will allow us to focus on the average execution time of the program performing the coding function of the Huffman algorithm.

RESEARCH RESULTS AND THEIR DISCUSSION

The following results were obtained as a result of the test, which was created using the "while" loop:

- average encoding time (compress) is - 18.020284133 seconds for 100 (one hundred) passes,
- average decoding time (decompress) is - 20.72587044 seconds for 100 (one hundred) passes.

```
=====
The average time of the compress process - 18.020284133000015 seconds, for 100 passes
The average time of the decompress process - 20.725870447000005 seconds, for 100 passes
=====
```

Fig. 2. The result of the average time spent on the implementation of coding by the Huffman method (compress / decompress)

Рис. 2. Результат среднего времени, затраченного на выполнение кодирования методом Хаффмана (compress / decompress)

For a more objective analysis, it is also worth mentioning that the program was executed 100 times to get the average time for the Huffman coding process (compress/decompress).

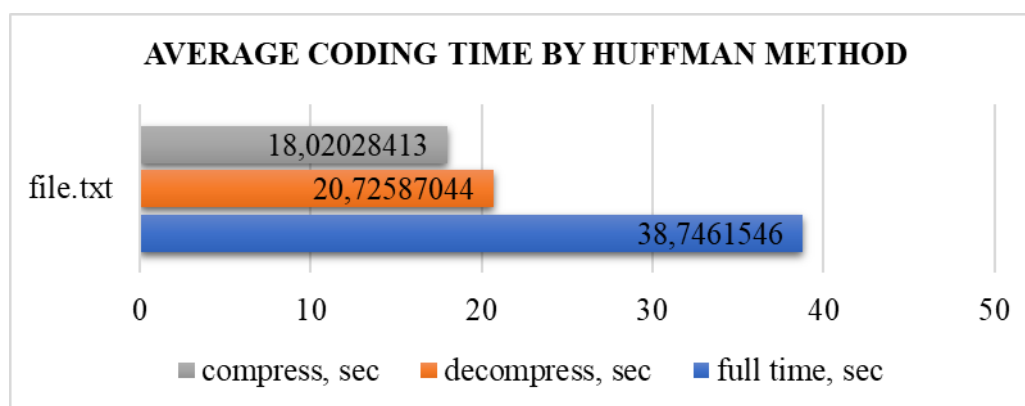


Fig. 3. Average encoding time (compress / decompress) by Huffman method

Рис. 3. Среднее время кодирования (compress / decompress) методом Хаффмана

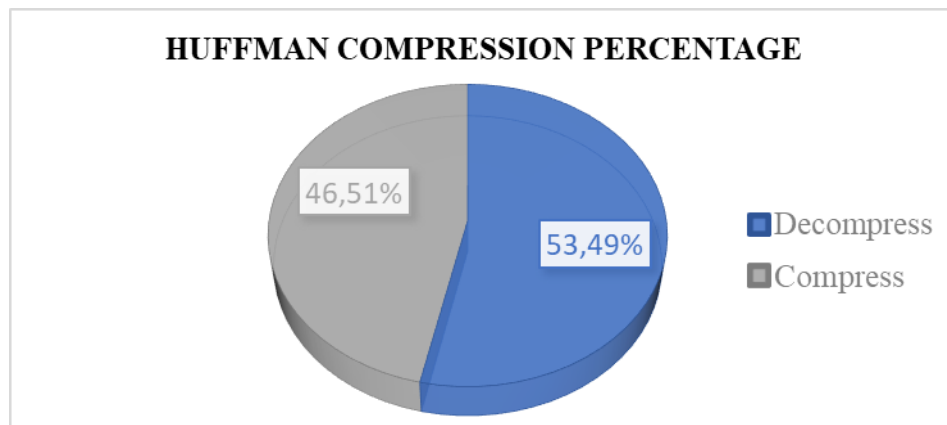


Fig. 4. Average encoding time (compress / decompress) by Huffman method
Рис. 4. Среднее время кодирования (compress / decompress) методом Хаффмана

Let's calculate how much time it takes to compress (compress / decompress) 1 KB of information using Huffman's method. Based on the data obtained in the study of data compression efficiency, you can determine how much time it takes to compress 1 GB of information. To do this, we obtain the file compression rate, using the following formula to find the value of A (Speed Compress File):

$$A = \frac{\text{size file before Compression}}{\text{time for after Compress file}} \quad (1)$$

$$A = \frac{3530752}{18.020284133} = 195932.094 \text{ bytes/s} = 191.34 \text{ kB/s} = 0.186855 \text{ MB/s} \quad (2)$$

According to the data obtained, we can say that the compression rate of the file is $A = 0.186855 \text{ MB/s}$, which is a good indicator. Knowing this parameter, we can calculate how much time it takes to compress a file with the required weight. Then determine how much time it takes to convert a 1 GB file, knowing the compression rate of the file (A):

$$V = \frac{\text{size file are we want}}{\text{speed compress file}} \quad (3)$$

$$V = \frac{1024 \text{ MB}}{0.186855} = 5480.18517 \text{ s} = 91.3364195 \text{ min} = 1.52227366 \text{ hours} \quad (4)$$

It is assumed that given the need for compression, for example, a text file (with *.txt extension) – a file with a speed of $A = 0.186855 \text{ MB/s}$ it is possible to convert in about $V = 1.52227366 \text{ hours}$, which is, of course, a rather average value. At use of the received data it is necessary to be defined in necessity of compression of the given format with the given volume of the information. Next, let's look at the next very important parameter – the ability to determine how many data files can be converted, knowing the preliminary weight as well as the time:

$$S = \frac{\text{speed converting file} * 3600}{\text{size file before Compression}} \quad (5)$$

$$S = \frac{A * 3600}{3.3672} = \frac{0.186855 * 3600}{3.3672} = 199.773699 \quad (6)$$

Thus, it is possible to estimate the amount of data to be compressed, as well as to calculate the possible actions, knowing the capabilities of your PC and OS. At the same time it is necessary to remember that this factor is fundamental.

A – measurement of quantitative data per second, how much data can be converted per second (Speed Compress File, data/sec);

V – in what time it is possible to convert a file with information with a certain weight, knowing the data conversion speed (Time For Wanted Data, time);

S – how many units of data files can be converted, knowing the file weight and measurement time of quantitative data (Number Of Files, units).

Due to the fact that mostly compression time is considered both encoding and decoding separately. In some cases exactly decoding time can decide a huge role, although in other cases, may not play a role at all [6]. In our case, however, the difference between encoding and decoding is small, about 13%, which is 2.70558631 seconds. Due to the fact that the data are supposed to be stored and "pulled" if necessary, these figures are insignificant.

So, for comparison, to understand how much information is compressed for 18.020284133 seconds, which is as much as 3446 KB, then complete work of Leo Tolstoy "War and Peace" in English and Russian is - 2011 KB, and only English text of this work is - 755 KB data [7]. It can be noted that the data is sufficient for such a file extension.

These results and indicators are not bad, but they could be improved with more powerful computing equipment. For this purpose it is necessary to compare the estimation of processor performance.

For our processor Intel Core i5-8400 - the figure is 5467.65. Taking into account the fact that new processors have been released, the compression result of 18.020284133 seconds is satisfactory for this figure. Let's consider what features processors of next generations have. Let's take the average and high (benchmark) in comparison, orienting, with the help of rating [8].

Table

Comparative characteristics of central processors

Таблица

Сравнительная характеристика центральных процессоров

№	CPU	Overwall rating	Frequency	Year of release	Cores / threads
1	AMD Ryzen Threadripper 3990X	51363.66	2900 MHz	2020	64 / 128
2	Intel Core i9-11900KB	15217.57	3300 MHz	2021	8 / 16
3	Intel Core i5-8400	5696.89	2800 MHz	2017	6 / 6

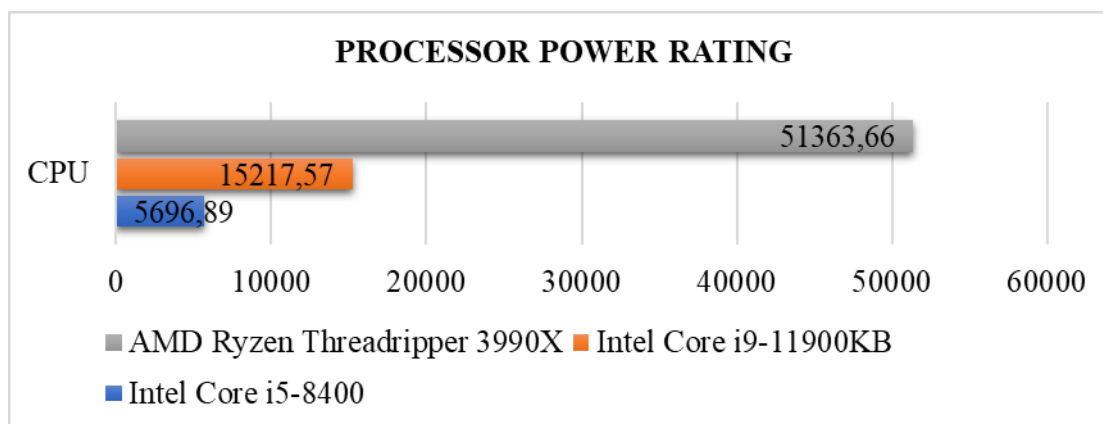


Fig. 5. Processor power rating

Рис. 5. Рейтинг оценки мощности процессоров

As can be seen from Fig. 5 – the power of processors is different, but as practice shows, despite the high score, the statistics cannot be calculated with the help of the evaluation rating, and, accordingly, it cannot be estimated. It is assumed that from the data presented in Fig. 5, it is possible to speed up the

code, namely on average from 5% to 40%, with the help of processor (CPU) computing technique, but also RAM and other components.

Thus, it is offered to check in practical way and fix average speed of conversion (compress / decompress) of files by means of Huffman method. Also there is a possibility to optimize code, using built-in functions, as well as Numba and Cython code, which speeds up at least 4 times the code, which will significantly increase productivity [9, 10].

CONCLUSIONS

The given indicators of speed of work of the program of conversion (compress / decompress) of files by means of the method of Huffman have shown, that average time of coding (compress) makes - 18.020284133 seconds for 100 (hundred) passes, and average time of decoding (decompress) makes - 20.72587044 seconds for 100 (hundred) passes; the values allowing assuming possible labour input, time and speed of work of a code, and also efficiency and practicality of compression of Huffman code itself were calculated:

1. Speed Compress File (A) = 0.186855 MB/s,
2. Time For Want Data (V) = 1.52227366 hours,
3. Number Of Files (S) = 199.773699 units.

Also, the work identified the main factors on which the outcome of the average speed of computation: the central processing unit (CPU), random access memory (RAM), the hard disk drive (HDD) or flash drive (SSD), as well as parameters such as the OS. It was considered the prospect of improving this coding Huffman – code optimization, which can eliminate the additional processes that also affect the speed of calculation, as there is a possibility of using the already built-in functions of calculation and conversion and use of the following possible solutions – Numba and Cython. These solutions will give better results in the long run, with the same resource costs.

Thus, summarizing all told above, using all possibilities – program and technical, it is possible to accelerate the code in times with its use everywhere without restrictions. At this stage it is reasonable to use the code for data up to 10,000 KB to save time and wasted resources.

References

1. Bukhantsov A.D., Druzhkova I.V., Kuleshov S.I., Kiselyov Y.I. Research of algorithms concealed introduction of data in grayscale images spatial domain // Research result. Information technologies. – T. 2, № 4, 2017. URL: http://rrinformation.ru/media/information/2017/4/IT_7_pyOhQIz.pdf
2. Lykholob P.G., Medvedeva A.A., Likhogodina E.C., Mishina O.O. Research of sensitivity of some measures of quality assessment of hidden information in the audio content // Research result. Information technologies. – T. 1, № 4, 2016. URL: http://rrinformation.ru/media/information/2016/4/3_it.pdf
3. Effective Computation in Physics by Anthony Scopatz and Kathryn D.Huff, June 2015, Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, p. 235-236 – URL: <https://clck.ru/Yzrp8>.
4. Python Programming: An Introduction To Computer Science, Second edition by John M. Zelle, Ph.D. Franklin, Beddle & Associates Inc, p. 4-5. URL: https://jntukucen.ac.in/ebook_files/93.pdf.
5. Lossless data compression and decompression algorithm and its hardware architecture a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Technology In VLSI Design and Embedded System By V.V.V. Sagar, p. 12-26. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53188756.pdf>.
6. Lossless Compression by ScienceDirect [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://clck.ru/Yggwf>.
7. «Voina i mir» Lev Nikolaevich Tolstoi na angliiskom iazyke s perevodom. URL: <https://clck.ru/ZBAjN>.
8. Table of CPU performance. URL: <https://clck.ru/ZBAiD>.
9. How Numba and Cython speed up Python code by Artem Golubin, February 10, 2018. URL: <https://clck.ru/ZBAiZ>.
10. Essential Python Code Optimization Tips and Tricks by Meenakshi Agarwal, October 2, 2016. URL: <https://clck.ru/ZBAiq>.

Список литературы

1. Буханцов А.Д., Дружкова И.В., Кулешов С.И., Киселёв Ю.И. Исследование алгоритмов скрытного внедрения информации в пространственные компоненты монохромного изображения // Научный результат. Информационные технологии. – Т. 2, №4, 2017. URL: http://rrinformation.ru/media/information/2017/4/IT_7_pyOhQIz.pdf
2. Lykholob P.G., Medvedeva A.A., Likhogodina E.C., Mishina O.O. Research of sensitivity of some measures of quality assessment of hidden information in the audio content // Научный результат. Информационные технологии. – Т.1, №4, 2016. URL: http://rrinformation.ru/media/information/2016/4/3_it.pdf
3. Effective Computation in Physics by Anthony Scopatz and Kathryn D. Huff, June 2015, Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, с. 235. URL: <https://clck.ru/Yzrp8>.
4. Python Programming: An Introduction To Computer Science, Second edition by John M. Zelle, Ph.D. Franklin, Beddle & Associates Inc, с. 4-5 URL: https://jntukucen.ac.in/ebook_files/93.pdf.
5. Lossless data compression and decompression algorithm and its hardware architecture a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Technology In VLSI Design and Embedded System By V.V.V. Sagar, с. 12-26. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53188756.pdf>.
6. Lossless Compression by ScienceDirect. URL: <https://clck.ru/Yggwf>.
7. «Война и мир» Лев Николаевич Толстой на английском языке с переводом. URL: <https://clck.ru/ZBAjN>.
8. Table of CPU performance URL: <https://clck.ru/ZBAiD>.
9. How Numba and Cython speed up Python code by Artem Golubin, February 10, 2018: URL: <https://clck.ru/ZBAiZ>.
10. Essential Python Code Optimization Tips and Tricks by Meenakshi Agarwal, October 2, 2016. – URL: <https://clck.ru/ZBAiq>.

Kostikov Victor Aleksandrovich, fourth-year student of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

Maslova Maria Alexandrovna, senior lecturer of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

Костиков Виктор Александрович, студент четвертого курса кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 004.94

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-5

Жихарев А.Г.¹
Баскакова В.В.²
Лукинова О.Ю.²

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ДЕЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

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

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

e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

Аннотация

В тексте данной статьи рассматривается процесс применения метода системно-объектного имитационного моделирования для решения задачи оптимизации организационно-деловых процессов на примере функционирования структурных подразделений высшего учебного заведения. Рассматривается процедура реализации системно-объектной имитационной модели распределения данных о студентах по структурным подразделениям университета. В качестве возможных инструментариев рассматриваются ряд современных программных систем, позволяющих решать задачи моделирования организационно-деловых процессов.

Ключевые слова: процесс; моделирование; имитационная модель; системы проектирования.

Для цитирования: Жихарев А.Г., Баскакова В.В., Лукинова О.Ю. Имитационное моделирование организационно-деловых процессов // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021. – С. 34-40. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-5

Zhikharev A.G.¹
Baskakova V.V.²
Lukinova O.Y.²

SIMULATION OF ORGANIZATIONAL AND BUSINESS PROCESSES

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

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

e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

Abstract

The article discusses the process of applying the method of system-object simulation modeling to solve the problem of optimizing organizational and business processes on the example of the functioning of structural divisions of a higher educational institution. The procedure for the implementation of a system-object simulation model of the distribution of data about students by structural divisions of the university is considered. A number of modern software systems are considered as possible tools that allow solving problems of modeling organizational and business processes.

Keywords: process; modeling; simulation model; design systems.

For citation: Zhikharev A.G., Baskakova V.V., Lukinova O.Y. Simulation of organizational and business processes // Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – P. 34-40. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-5

ВВЕДЕНИЕ

В современных реалиях процессов, связанных с учетом контингента в учебных заведениях высшего и среднего образования, есть множество особенностей, в первую очередь, связанных с изменяющимися требованиями к данным учетным единицам.

Начиная с периода подготовки к новой приемной компании и до момента вступления в силу приказов о зачислении студентов, существует множество организационных мероприятий.

Рассматривая процесс учета всего контингента, хотелось бы обратить внимание на новые, ранее не использовавшиеся мониторинги, отражающие картину обучающихся, сотрудников в разрезе различных областей, показателей, критериев. Так же своё отражение в требованиях отчетной информации имеют современные проблемы социальной сферы (проблематика заболеваний КОВИД, эпидемиологическая обстановка в цифрах, кол-во студентов с детьми, студентов из соц. необеспеченных семей и т.п). Если брать в учет новые единицы, учитываемые в федеральных, региональных мониторингах, используемые сведения необходимо собрать с абитуриента в момент подачи документов. В подаваемых КЦП (контрольные цифры приёма) отражаются количество поданных заявлений на поступление, конкурс на 1 место, цифры по обучению на бюджетной основе и на коммерческой, год и регион получения предыдущего образования, какой процент новых студентов со средним баллом больше и меньше 4 (для среднего образования) и средний балл по ЕГЭ для поступающих на высшее образование (в разрезе балл по бюджету/коммерции).

Так же, немаловажен процесс приема абитуриента и документов у него по той причине, что данные распределяются в различные подразделения университета, а также используются на протяжении всего периода обучения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УЧЕТА КОНТИНГЕНТА

Ранее, в своих работах, авторы квалифицировали процессы учета абитуриентов как организационно-деловые. В данной работе к квалификации хотелось бы добавить еще процесс учета студентов (контингента) в учебном заведении, в общем смысле. В первом и втором случае необходимо понимание место и применение различного рода данных в структуре системы. Проще говоря, есть потребность в выявлении содержания, основных этапов организационно-делового процесса и его определения.

Таким образом, входными данными определен пакет персональных данных, поступающих от (паспортные данные, СНИЛС, ИНН, уровень ранее полученного образования, документ об образовании, гражданство).

При подаче документов на обучении на коммерческой основе, составляется договор на оказание платных образовательных услуг (присваивается номер, дата подписания договора). После внесения вышеуказанных данных происходит группировка абитуриентов по признаку ранее полученного образования, выбранных направлений для обучения, сортировка в рейтинговых списках происходит с учетом среднего балла аттестата / сумме баллов по гос. экзамену (автоматически сортирует данные по признаку «средний балл по аттестату» или «результаты вступительных испытаний» от большего значения к меньшему).

Для решения таких организационных задач целесообразно и рационально использовать имитационное моделирование. Далее, опишем особенности его применения в таких организационных процессах и за основу возьмем созданную нами модель распределения данных о студентах по подразделениям университета.

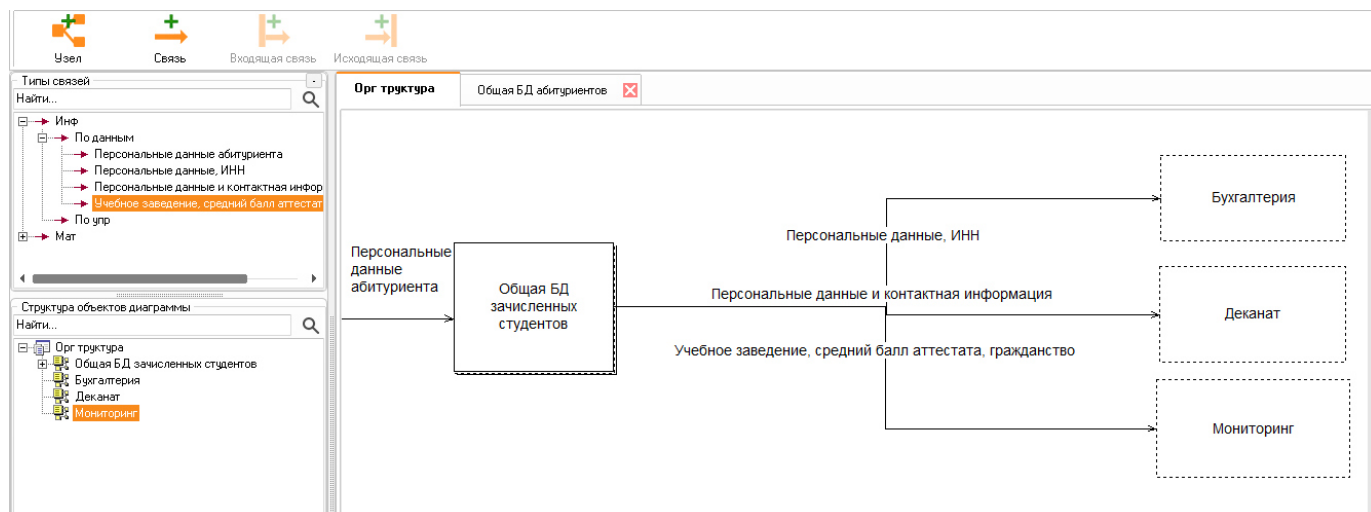


Рис. 1. Модель процесса распределения данных о студентах по подразделениям университета
Fig. 1. Model of the process of distributing data about students by university departments

Моделирование является одним из способов решения практических задач. Зачастую решение проблемы нельзя найти путем проведения экспериментов: строить новые объекты, разрушать или вносить изменения в уже имеющуюся инфраструктуру может быть слишком дорого, опасно или просто невозможно. В таких случаях целесообразно построить модель реальной системы, т.е. описать ее на языке моделирования. Данный процесс подразумевает переход на определенный уровень абстракции, опуская несущественные детали, с учетом только того, что считаем важным. Система в реальном мире всегда сложнее своей модели.

Не существует универсального способа имитации. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки и ориентирован на создание моделей определенного класса систем.

Метод имитационного моделирования на основе процессного способа формализации позволяет обеспечить очень важное в подобной ситуации сходство структуры модели и объекта исследования [2].

Большинство изучаемых и подлежащих моделированию объектов являются сложными системами. Характерные признаки сложной системы – невозможность рассмотрения отдельно каждого элемента (без установления связей с другими элементами и внешней средой), неопределенность, проявляющаяся в большом числе возможных состояний системы, неопределенность достоверности исходной информации, разнообразие вариантов путей достижения конечной цели функционирования системы, адаптивность (приспособляемость системы к возмущающим факторам воздействия внешней среды). Эти особенности вызывают необходимость использования методологии системного анализа при создании имитационной модели сложного объекта. Для анализа сложных объектов и процессов рассматривают системные направления, включающие в себя следующие термины: системный подход, системные исследования, системный анализ. [3].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Основные стадии и этапы в стадиях для разработки компьютерных моделей сложных систем как разновидности программного обеспечения или информационной системы могут быть кратко представлены следующим образом [2]:

1. Предпроектная стадия – стадия формирования требований к автоматизированной системе:

- этап разработки концепции автоматизированной системы;
- этап разработки и утверждения технического задания.

2. Стадия проектирования и разработки программного обеспечения:

- этап разработки эскизного и технического проекта автоматизированной системы;
- этап проектирования программного обеспечения;
- этап проектирования интерфейса;
- этап реализации программного обеспечения (создание программного кода);
- этап создания и оформления документации.

3. Стадия внедрения.

4. Период сопровождения или пользовательский период.

Эти стадии создания автоматизированных систем или программного продукта применимы также для разработки компьютерных установок для моделирования. Современный подход к проектированию информационных систем предполагает создание модели исходной информационной системы, описывающей все необходимые аспекты её функционирования. Применение моделей позволяет сократить сроки проектирования, улучшить качество проекта за счёт устранения большого числа ошибок в решении стратегических вопросов уже на ранних стадиях работы. При создании такой модели обычно применяется функциональная методология. Она предполагает рассмотрение системы в виде набора функций, преобразующих входной поток информации в выходной.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Приведем примеры лучших из популярных инструментов имитационного моделирования процессов:

1. **ARIS** — подойдёт продвинутым и начинающим пользователям. Включает также средства оценки и оптимизации стоимости БП, инструменты для внедрения ERP-систем, для контроля выполнения.

2. **ELMA** — система, базирующаяся на создании модели через наглядные диаграммы, нотации BPMN. К слову, нотацией называют набор знаков для графического моделирования бизнес-процессов. **AllFusion Process Modeler** — система, с помощью которой можно делать описание, анализ, моделирование. Включает стандартные методологии: IDEF0, DFD и др.

3. **UFOModeler** — инновационное программное обеспечение для имитации производственно-технологических и организационно-деловых процессов на основе оригинального системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект».

4. **AnyLogic** — поддерживает три подхода к созданию имитационных моделей: процессно-ориентированный (дискретнособытийный), системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Графический интерфейс AnyLogic, инструменты и библиотеки позволяют быстро создавать модели для широкого спектра задач — от моделирования производства, логистики, бизнес-процессов до стратегических моделей развития компании и рынков. AnyLogic стал корпоративным стандартом на бизнес-моделирование во многих транснациональных компаниях, широко используется в образовании [5].

5. **Arena** — система дискретного моделирования. Сфера основных приложений системы — имитационное моделирование производственных технологических процессов и операций, оптимизация обслуживания клиентов в различных отраслях. Arena снабжена удобным объектно-ориентированным интерфейсом и обладает возможностями адаптации к различным предметным областям.

6. **AutoMod** — предназначена для моделирования систем логистики и производства. Программное обеспечение разработано для детального анализа операций и потоков. Гибкая архитектура AutoMod позволяет использовать ее в широком диапазоне прикладных областей, от аэропортов до промышленности полупроводников.

7. **Deneb / Quest** — трехмерная среда для имитации и анализа поточных процессов. Это гибкая объектно-ориентированная среда имитации дискретных процессов, соединенная с визуализацией и системой импорта/экспорта моделей. Производственники, технологи и менеджеры могут разработать и проверить варианты потоков на имитационных моделях.

8. **ExtendSim** — инструмент имитационного моделирования. ExtendSim — мультисистемная окружающая среда. Позволяет моделировать непрерывные, дискретно-событийные, основанные на агентах, линейные, нелинейные и смешанного типа процессы.

9. **Entei'prise Dynamics** — программная платформа для бизнес-моделирования, позволяющая анализировать и оптимизировать текущее и будущее поведение системы или инфраструктуры, обнаруживать узкие места, оценивать возможности и распределение персонала, прогнозировать развитие событий. Разработчик: INCONTROL Simulation Solutions, Голландия. Сайт: www.incontrolsim.com.

10. **Flexsim** — система имитационного моделирования, предназначенная для моделирования и визуализации бизнес-процессов. Flexsim позволяет определить пропускные мощности предприятия, баланс производственных линий, выявить узкие места, проверить новые методы планирования, оптимизировать производственные показатели, обосновать капиталовложения.

11. **GPSS World** — это универсальная система имитационного моделирования, охватывающая весь цикл имитационных исследований, от постановки задачи до документирования результатов. Основные особенности системы: высокий уровень интерактивности при проведении исследования, упрощение разработки моделей и проведения исследований, большой объем текстовой документации и оперативных подсказок.

12. **iThink и Stella** предназначено для моделирования непрерывно-дискретных процессов. По сравнению с iThink в Stella имеются возможности по построению моделей большой размерности и их свертки. Операционные среды — Windows и Macintosh.

13. **OpenMVLShell** — открытая среда для моделирования сложных динамических систем (аналогичная OpenModelica). Среда представляет собой набор модулей, связанных с решением математических задач, возникающих при моделировании многокомпонентных сложных динамических систем. Пользователь может заменить существующий компонент, не меняя остальных, и проверить правильность и эффективность предлагаемых собственных решений.

14. **ProModel (ProModel Solutions)** — инструмент дискретно-событийного моделирования, также позволяет моделировать непрерывные процессы. ProModel используется для оценки, планирования и проектирования производств, складированная, логистики.

15. **Renque** — программное обеспечение, которое позволяет пользователям выполнять дискретно-событийное моделирование в графической окружающей среде. У приложения есть все необходимые возможности для построения точных имитационных моделей для любой логической системы или процесса. Renque предлагает рациональный пользовательский интерфейс и универсальный симулятор для моделирования.

16. **SLX** — язык моделирования общего назначения. Обеспечивает большую гибкость моделей и их расширяемость. Большие скорости выполнения даже при загрузке сложной, комплексной модели. SLX предлагает многоуровневое приближение к реальной системе при создании имитационной модели. Разработчик моделей может выбирать различные уровни программирования деталей, что позволяет построить наиболее функциональный язык моделирования. Девиз разработчика: «SLX дает инструменты. Все, что требуется от вас — это ваше воображение». Ядро SLX обеспечивает строительные блоки, а расширяемый механизм позволяет осуществлять более простой переход к более высоким уровням моделирования.

17. **TRUE** — программное обеспечение системной динамики, инструмент для имитационного моделирования, анализа и оптимизации динамических систем.

18. **Vensim** — используется для того, чтобы создавать и анализировать высококачественные динамические модели обратной связи. Обладает широкими возможностями для построения крупных и сложных моделей. Модели строятся графически или в текстовом редакторе. Особенности: наличие динамических функций, множества, анализ чувствительности Монте-Карло, оптимизация, обработка данных, прикладные интерфейсы.

19. **Witness** — пакет моделирования производственных систем и бизнес-процессов. Применяется для:

- a. анализа входных данных и результатов экспериментальных данных;
- b. выявления правил и структуры данных;
- c. повышения точности моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современном имитационном моделировании существуют три парадигмы, различающиеся уровнем абстракции при создании модели: системная динамика, дискретно-событийное и агентное моделирование. При построении сложных моделей эти подходы могут комбинироваться. Для достижения практических результатов необходимо знать особенности и ограничения каждого из существующих подходов к построению имитационной модели. Выбор той или иной парадигмы обусловлен не столько предметной областью, сколько имеющимися в распоряжении исследователя данными и необходимой для полноты исследования степенью детализации описания системы.

Спектр инструментов для имитационного моделирования довольно широк. Выбирая между универсальными языками программирования и системами имитационного моделирования, следует учитывать, что для создания уникальных моделей, когда важна скорость выполнения программы, предпочтительными являются универсальные языки программирования, а для решения типовых задач целесообразно выбирать систему имитационного моделирования, предоставляющую необходимые конструкции и функциональные возможности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 19-07-00290, 19-07-00111.

Список литературы

1. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: пособие для курсового и дипломного проектирования / Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. – СПб.: Военная академия связи, 2011. – 325 с.
2. Емельянов А.А. Имитационное моделирование и компьютерный анализ экономических процессов: учебное пособие / Емельянов А.А., Емельянова Н.З. – Смоленск: Универсум, 2013.
3. Маликов, Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: учебное. пособие / Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.
4. Цыганков С.Н. Имитационное моделирование: учебное. пособие / Цыганков С.Н., Эльбург М.С. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2017. – 126 с.
5. Якимов А.И. Теоретические основы технологии имитационного моделирования и принятия решений в информационных системах промышленных предприятий.: дис. на соискание ученой степени доктора тех. наук: 05.13.10 / Якимов Анатолий Иванович; науч. рук В.И. Аверченков ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Брянск, 2018. – 324 с.
6. Национальное общество имитационного моделирования. – Санкт-Петербург, 2021 г. – URL: <http://simulation.su/static/ru-soft.html>.

References

1. Boev V.D. Computer modeling: a manual for course and diploma design / Boev V.D., Kirik D.I., Syptchenko R.P. – St. Petersburg: Military Academy of Communications, 2011. – P. 325.
2. Yemelyanov A.A. Simulation modeling and computer analysis of economic processes: a textbook / Yemelyanov A.A., Yemelyanova N.Z. – Smolensk Publishing House Universum, 2013. – P. 258.
3. Malikov R.F. Workshop on simulation modeling of complex systems in the AnyLogic environment 6: educational. manual / R.F. Malikov. – Ufa: Publishing house of BSPU, 2013. – P. 296.
4. Sygankov S.N. Simulation modeling: educational. manual / Tsygankov S.N., Elburg M.S. – Krasnoyarsk: SFU Publishing House, 2017. – P 126.
5. Yakimov A.I. Theoretical foundations of the technology of simulation modeling and decision-making in information systems of industrial enterprises.: dis. for the degree of Doctor of Technical Sciences: 05.13.10 / Yakimov Anatoly Ivanovich; scientific. ruk V.I. Averchenkov Bryansk State Technical University, Bryansk, 2018. – P. 324.

6. National Society of Simulation Modeling. – Saint Petersburg, 2021. – URL:
<http://simulation.su/static/ru-soft.html>.

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения
вычислительной техники и автоматизированных систем

Баскакова Валентина Валерьевна, аспирант 3 года обучения кафедры информационных и робототехнических
систем

Лукинова Оксана Юрьевна, аспирант кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования

Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the
Department of Computer Engineering and Automated Systems Software

Baskakova Valentina Valerievna, postgraduate student of 3 years of the Department of Information and Robotic Systems

Lukinova Oksana Yurievna, postgraduate student of the Department of Applied Mathematics and Computer Modeling

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

УДК 621.397

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

Урсол Д.В.¹
Черноморец А.А.²
Болгова Е.В.²
Черноморец Д.А.²

СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
ТЕХНОЛОГИИ СУБИНТЕРВАЛЬНОГО СКРЫТНОГО
ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИЗОБРАЖЕНИЯ

¹⁾ ООО «Промышленные электронные системы», ул. Михайловское шоссе 121а, г. Белгород, 308000, Россия

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

e-mail: ursoldenis@mail.ru, chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru, daria013ch@yandex.ru

Аннотация

Работа посвящена решению задачи повышения уровня скрытности внедрения данных в изображения на основе применения подходов искусственного интеллекта. Предложенная в работе структура интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения на основе анализа частотных субинтервальных свойств изображений позволяет оценивать и изменять значения параметров метода субинтервального скрытного внедрения с позиций достижения высоких показателей скрытности внедряемой информации.

Ключевые слова: скрытное внедрение; изображение-контейнер; субинтервальные матрицы; собственные векторы; скрытность внедрения; интеллектуальная технология.

Для цитирования: Урсол Д.В., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А. Структура интеллектуальной информационной технологии субинтервального скрытного внедрения информации в изображения // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021. – С. 41-47. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-6

Ursol D.V.¹
Chernomorets A.A.²
Bolgova E.V.²
Chernomorets D.A.²

THE STRUCTURE OF INTELLECTUAL INFORMATION
TECHNOLOGY OF SUBINTERVAL HIDDEN EMBEDDING
INFORMATION INTO IMAGES

¹⁾ Industrial Electronic Systems LLC, 121a Mikhailovskoe shosse, Belgorod, 308000, Russia

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

e-mail: ursoldenis@mail.ru, chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru, daria013ch@yandex.ru

Abstract

The work is devoted to solving the problem of increasing the level of secrecy of data embedding into images based on the use of artificial intelligence approaches. The proposed structure of intelligent technology for adaptive subinterval hidden embedding of information into images based on the analysis of frequency subinterval properties of images makes it possible to evaluate and change the values of the parameters of the subinterval hidden embedding method from the standpoint of achieving high levels of the embedded information secrecy.

Keywords: hidden embedding; container image; subinterval matrices; eigenvectors; secrecy of data embedding; intelligent technology.

For citation: Ursol D.V., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Chernomorets D.A. The structure of intellectual information technology of subinterval hidden embedding information into images //

Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – Р. 41-47. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-6

Скрытное внедрение данных в изображения [1-5] в настоящее время широко применяется в области защиты авторских прав на цифровые изображения. Для снижения уровня возможных искажений изображения-контейнера (повышение уровня скрытности внедрения данных) целесообразно, совместно с учетом опыта специалистов по скрытному внедрению, применять подходы, основанные на искусственном интеллекте [6-10].

В работе предложена структура интеллектуальной информационной технологии, позволяющая повысить скрытность и устойчивость результатов внедрения данных, полученных при применении метода адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения [11-13] на основе анализа частотных субинтервальных свойств изображений.

В разработанной структуре интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения на основе анализа частотных субинтервальных свойств изображений присутствуют как блоки обработки изображений, так и блоки обработки знаний (интеллектуальный преобразователь), которые реализует интеллектуальная технология: база знаний, блок принятия решений о значениях параметров внедрения. Применение интеллектуальных технологий обеспечивает успешное решение задач при априорной неполноте и нечеткости исходных данных, вариабельности и неточности характеристик исследуемого объекта.

Особенностью разработанной структуры интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения является применение указанных элементов интеллектуальных технологий.

На рисунке приведена структурная схема интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения, в которой в укрупненном виде представлено функционирование системы.

Основными составляющими разрабатываемой интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения являются следующие блоки.

В блоке формирования исходных данных выполняются следующие действия:

1. Задание внедряемых данных, осуществление их преобразования в двоичное представление.
2. Задание изображения-контейнера, определение его размерности.

В данной работе рассматривается 3 цели применения разрабатываемой технологии скрытного внедрения:

1. Достижение высокого уровня скрытности при последующем восстановлении внедренных данных без искажений.
2. Достижение значительных объемов скрытно внедряемых данных при последующем восстановлении внедренных данных без искажений.
3. Достижение высокого уровня устойчивости скрытного внедренных данных к внешним разрушающим воздействиям в виде аддитивного шума.

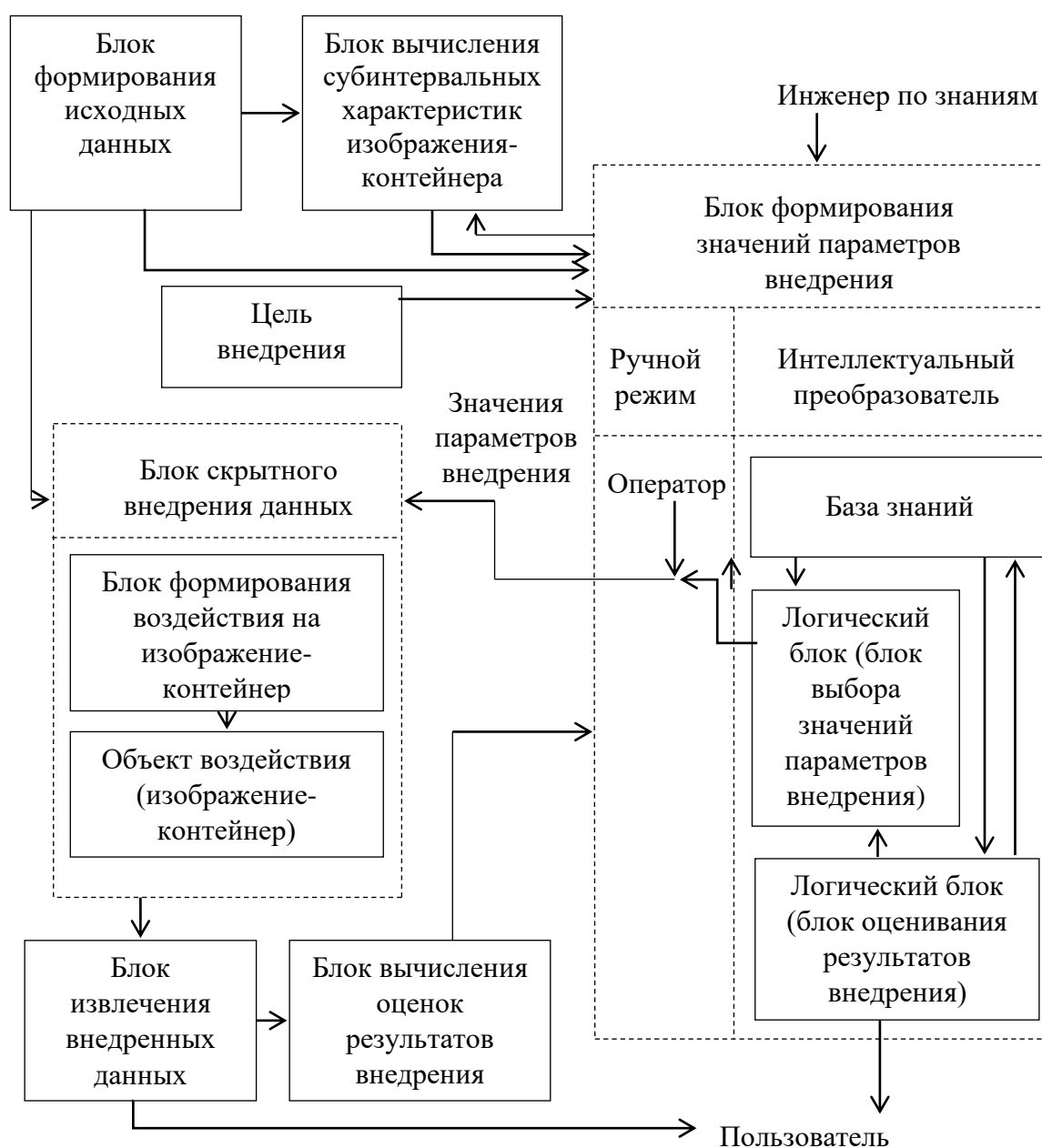


Рис. Структура интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения

Fig. The structure of the intelligent technology of adaptive subinterval hidden embedding of information into images

В блоке вычисления субинтервальных характеристик изображения-контейнера выполняются следующие действия:

1. Вычисление субинтервальных матриц, соответствующих различным подобластям пространственных частот.
2. Вычисление долей энергии изображения-контейнера в различных подобластях пространственных частот.
3. Вычисление собственных векторов и собственных чисел субинтервальных матриц.
4. Вычисление множеств проекций изображения-контейнера на собственные векторы субинтервальных матриц.

В блоке извлечения внедренных данных выполняются следующие действия:

1. На основании данных о примененных для скрытного внедрения субинтервальных матрицах и их собственных векторах вычисляются соответствующие проекции изображения-контейнера, содержащего внедренные данные.

2. На основании сравнения значений соответствующих проекций формируются значения извлеченных (восстановленных) данных в двоичном виде.

3. Осуществляется преобразование извлеченных данных из двоичного вида в вид, соответствующий исходным внедряемым данным.

В блоке вычисления оценок результатов внедрения осуществляется вычисление значений мер, характеризующих скрытность внедрения и устойчивость внедренных данных к внешним разрушающим воздействиям.

Основными блоками структуры разрабатываемой технологии являются блок формирования значений параметров внедрения, а также блок скрытного внедрения данных.

В блоке формирования значений параметров внедрения предусмотрено 2 варианта задания значений параметров: на основании ручного режима и на основании применения интеллектуального преобразователя.

В ручном режиме оператор принимает решение о значениях параметров внедрения для достижения поставленной цели внедрения.

В интеллектуальный преобразователь входят база знаний, логический блок (блок выбора значений параметров внедрения) и логический блок (блок оценивания результатов внедрения).

Включение интеллектуального преобразователя в структуру разрабатываемой технологии скрытного внедрения предполагает привлечение инженера по знаниям для контроля за его функционированием.

База знаний включает в себя рабочую память, механизм вывода и базу правил скрытного субинтервального внедрения данных. Первоначально в рабочей памяти размещаются следующие исходные факты: требования по скрытности внедрения, требования по объему внедряемых данных, требования по устойчивости результатов внедрения, «визуальные» свойства и размерность изображения, объем внедряемых данных, оценки результатов внедрения и др. Механизм вывода базы знаний основан на прямом выводе и определяет выбор продукции в порядке их размещения в базе правил. База правил скрытного субинтервального внедрения данных в изображения содержит продукции, сгруппированные по этапам принятия решений: выбор размерности изображения-контейнера; выбор изображения-контейнера; выбор количества частотных интервалов; выбор количества подмножеств проекций; выбор пороговых значений; выбор значения коэффициента внедрения и др.

В логическом блоке (блок выбора значений параметров внедрения) осуществляется принятие решения о значениях параметров внедрения на основании разработанных решающих правил:

1. Решающее правило адаптивного выбора рекомендуемых для осуществления скрытного внедрения неинформационных подмножеств проекций изображений в двумерном базисе собственных векторов субинтервальных матриц и соответствующих компонент изображений, в котором используются знания, полученные в результате исследования субинтервальных свойств изображений-контейнеров, для определения величины уровня значимости, на основании которого осуществляется адаптивный выбор неинформационных подмножеств соответствующих проекций и компонент изображения, которым соответствует несущественная информация об изображении.

2. Решающее правило адаптивного выбора интервала пространственных частот, который рекомендуется для внедрения информации в его неинформационные подмножества проекций, которое основано на учете результатов анализа так называемой сосредоточенности значений проекций заданного изображения-контейнера в различных частотных интервалах.

3. Решающее правило адаптивного выбора порогового значения, применяемого при реализации операции относительной замены соответствующих проекций изображения, которое основано на применении знаний, полученных в результате анализа частотных субинтервальных свойств изображения-контейнера, а также учета требований, формулируемых при постановке

конкретной задачи скрытного внедрения, по степени скрытности, достижимых объемов внедренной информации и устойчивости к разрушающим внешним воздействиям.

В логическом блоке (блоке оценивания результатов внедрения) осуществляется принятие решения о степени достижения целей решения задачи скрытного внедрения на основании полученных оценок результатов внедрения. В случае достижения цели скрытного внедрения полученные результаты передаются пользователю, в противном случае – результаты оценивания передаются в логический блок выбора значений параметров внедрения.

В блоке скрытного внедрения данных выполняются следующие действия на основании значений параметров внедрения, сформированных в блоке формирования значений параметров внедрения:

1. Объектом воздействия в разрабатываемой технологии является заданное изображение-контейнер, в которое осуществляется скрытное внедрение заданных данных на основании действий, подготавливаемых в блоке формирования воздействия на изображение-контейнер.

2. В блоке формирования воздействия на изображение-контейнер выполняются следующие действия:

- вычисление неинформационных подмножествах проекций изображения-контейнера на собственные векторы заданных субинтервальных матриц;

- для внедрения в изображение-контейнер бинарных значений внедряемой информации задаются соответствующие пары проекций изображения-контейнера на собственные векторы заданных субинтервальных матриц и выполняется относительное изменение значений заданных пар проекций изображения-контейнера в соответствии с разработанными условиями внедрения нулевого и единичного значения внедряемых данных.

Таким образом, предложенная структура является основой для создания интеллектуальной технологии адаптивного субинтервального скрытного внедрения информации в изображения на основе анализа частотных субинтервальных свойств изображений, а также позволит достигнуть высоких показателей скрытности внедряемой информации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00657.

Список литературы

1. Аграновский А.В. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ / А.В. Аграновский. – М.: Вузовская книга, 2009. – 220 с.: ил.
2. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: Солон-пресс, 2016. – 262 с.
3. Конахович Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Конахович., А.Ю. Пузыренко. – Киев: «МК–Пресс», 2006. – 288 с.
4. Cox I.J. Digital watermarking and steganography / I.J. Cox., M. Miller, J. Bloom., J. Fridrich, T. Kalker. – Morgan Kaufmann, 2007. – 593 p.
5. Hartung F. Multimedia. Watermarking Techniques / F. Hartung., M. Kutter // Proceedings IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information. – 1999. – 87(7). – Pp. 1079-1107.
6. Zhang J. Protecting Intellectual Property of Deep Neural Networks with Watermarking / J. Zhang, Zh. Gu, J. Jang, H. Wu, M. Ph. Stoecklin, H. Huang, I. Molloy // Proceedings of ASIA CCS '18 ACM Asia Conference on Computer and Communications Security. – Incheon, Republic of Korea. – June 04 – 08, 2018. – P. 159-172.
7. Deeba F. Digital Watermarking Using Deep Neural Network. F. Deeba, Sh. Kun, F.A. Dharejo, H. Langah, H. Memon // International Journal of Machine Learning and Computing. – 2020. – Vol. 10. – No 2. – DOI: 10.18178/ijmlc.2020.10.2.932.
8. Zhang J.L., Gu Z.S. et al. Protecting intellectual property of deep neural networks with watermarking. – 2018. URL: https://gzs715.github.io/pubs/WATERMARK_ASIACCS18.pdf.
9. Корнеев, В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гарев, С.В. Васютин, В.В. Райх. – М.: "Нолидж", 2003. – 400 с.
10. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1408 с.

11. Черноморец А.А. Об интеллектуальной информационной технологии скрытного внедрения данных в изображения / А.А. Черноморец, Е.В. Болгова, А.Н. Коваленко, Д.В. Урсол // Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020)». Белгород, 2020. – С. 309-312.

12. Черноморец А.А. О скрытном внедрении данных в видеопоток на основе трехмерного субполосного анализа / А.А. Черноморец, Е.В. Болгова, Д.А. Черноморец // Научный результат. Информационные технологии. – 2021. – Т. 6. – № 2. – С. 47-51. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-7

13. Черноморец А.А. Об устойчивости субполосного скрытного внедрения данных в изображения на основе субполосных матриц косинус-преобразования / А.А. Черноморец, Е.В. Болгова, Д.В. Урсол, В.А. Голощапова // Экономика. Информатика. 2021. – Т. 48. – № 3. – С. 610-620. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-3-610-620.

References

1. Agranovskiy A.V. Steganography, digital watermarks and steganoanalysis / A.V. Agranovskiy. – M.: Vuzovskaya kniga, 2009. – 220 p.

2. Gribunin V.G. Digital steganography / V.G. Gribunin, I.N. Okov, I.V. Turintsev. – M.: Solon-press, 2016. – 262 p.

3. Konakhovich G.F. Computer steganography. Theory and practice / G.F. Konakhovich, A.Yu. Puzyrenko. – Kiev: «MK-Press», 2006. – 288 p.

4. Cox I.J. Digital watermarking and steganography / I.J. Cox., M. Miller, J. Bloom., J. Fridrich, T. Kalker. – Morgan Kaufmann, 2007. – 593 p.

5. Hartung F. Multimedia. Watermarking Techniques / F. Hartung., M. Kutter // Proceedings IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information. – 1999. – 87(7). – Pp. 1079-1107.

6. Zhang J. Protecting Intellectual Property of Deep Neural Networks with Watermarking / J. Zhang, Zh. Gu, J. Jang, H. Wu, M. Ph. Stoecklin, H. Huang, I. Molloy // Proceedings of ASIA CCS '18 ACM Asia Conference on Computer and Communications Security. – Incheon, Republic of Korea. – June 04 – 08, 2018. – P. 159-172.

7. Deeba F. Digital Watermarking Using Deep Neural Network. F. Deeba, Sh. Kun, F.A. Dharejo, H. Langah, H. Memon // International Journal of Machine Learning and Computing. – 2020. – Vol. 10. – No 2. – DOI: 10.18178/ijmlc.2020.10.2.932.

8. Zhang J.L., Gu Z.S. et al. Protecting intellectual property of deep neural networks with watermarking. – 2018. URL: https://gzs715.github.io/pubs/WATERMARK_ASIACCS18.pdf.

9. Korneev, V.V. Databases. Intellectual processing of information / V.V. Korneev, A.F. Garev, S.V. Vasyutin, V.V. Reich. – M.: "Nolidzh", 2003. – 400 p.

10. Russell S. Artificial intelligence: a modern approach / S. Russell, P. Norvig. – M.: Williams Publishing House, 2006. – 1408 p.

11. Chernomorets A.A. On intelligent information technology for data hidden embedding in images / A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, A.N. Kovalenko, D.V. Ursol // VIII International Scientific and Technical Conference «Information Technologies in Science, Education and Production» (ITSEP-2020). Belgorod, 2020. – P. 309-312.

12. Chernomorets A.A. On hidden data embedding into the video stream based on three-dimensional subband analysis / A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, D.A. Chernomorets // Research result. Information technologies. – Т.6 – No 2. – 2021. – P. 47-55. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-7

13. Chernomorets A.A. On the stability of subband hidden embedding data into images based on cosine transform subband matrices / A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, D.V. Ursol, V.A. Goloschapova // Economics. Information technologies. 2021. – Т. 48. – No 3. – P. 610–620. (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-3-610-620.

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, инженер-программист

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Ursol Denis Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Software Engineer

Chernomorets Andrey Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Chernomorets Darya Andreevna, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies

УДК 004.89

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-7

Рослякова С.В.
Брагина Т.В.
Землянова Е.И.
Короткова Д.В.
Меркулова П.А.
Лаушкина А.А.
Филиппов И.М.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

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: svetlana.roslyakova@itmo.ru, bragina.arch@yandex.ru, katya-zemlyanova95@yandex.ru,
dvkorotkova@itmo.ru, merkulowapolina@gmail.com, nastasjalausckina@mail.ru,
imphilippov@itmo.ru*

Аннотация

Системы управления освещения развиваются и совершенствуются в последние 10-20 лет. Отмечено, что рынок умного освещения будет только расти в ближайшее время. Традиционные алгоритмы управления (расписание, астрографик, датчики движения и присутствия) не в состоянии обеспечить ни требуемые уровни зрительного комфорта, ни оптимальное энергопотребление системы освещения. Кроме того, стоит отметить о тенденции повышения со стороны современных пользователей требований к персонализации условий освещения и гибкости их изменения. Отмечено, что есть несколько направлений для развития систем управления освещением: биодинамическое освещение, снижение энергопотребления, ориентация на зрительный комфорт. В материале предложено рассмотреть машинное обучение как перспективный и новый подход в системах управления освещением. Проанализированы существующие системы управления освещением и научные исследования в этой области по их ориентированности. Машинное обучение обладает рядом достоинств и недостатков, первоначальное его внедрение достаточно сложное, но при его дальнейшем использовании возможно значительно упростить настройку и эксплуатацию систем управления освещением.

Ключевые слова: машинное обучение; адаптивное освещение; системы управления; обучение модели; биодинамическое освещение; энергоэффективность; зрительный комфорт; искусственное освещение.

Для цитирования: Рослякова С.В., Брагина Т.В., Землянова Е.И., Короткова Д.В., Меркулова П.А., Лаушкина А.А., Филиппов И.М. О возможностях применения машинного обучения в системах управления освещением // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021. – С. 48-63. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-7

**Roslyakova S.V.
Bragina T.V.
Zemlyanova E.I.
Korotkova D.V.
Merkulova P.A.
Laushkina A.A.
Filippov I.M.**

ON THE POSSIBILITIES OF APPLYING MACHINE LEARNING IN LIGHTING CONTROL SYSTEMS

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

*e-mail: svetlana.roslyakova@itmo.ru, bragina.arch@yandex.ru, katya-zemlyanova95@yandex.ru, dvkorotkova@itmo.ru,
merkulowapolina@gmail.com, nastasjalausckina@mail.ru, imphilippov@itmo.ru*

Abstract

Lighting control systems have been developing and improving in the last 10-20 years. The smart lighting market will only grow shortly. Traditional control algorithms (schedule, astronomical schedule, motion and presence sensors) cannot provide either the required levels of visual comfort or the optimal energy consumption of the lighting system. In addition, it should be noted that there is a tendency for modern users to increase the requirements for personalizing lighting conditions and flexibility in changing them. There are several directions for developing lighting control systems: biodynamic lighting, reducing energy consumption, focusing on visual comfort. The article proposes to consider machine learning as a promising and new approach in lighting control systems. The existing lighting control systems and scientific research in this area are analyzed in terms of their orientation. Machine learning has several advantages and disadvantages. Its initial implementation is quite complicated, but it is possible to simplify the setup and operation of lighting control systems significantly with its further use.

Keywords: machine learning; adaptive lighting; control systems; model training; personalization; energy efficiency; visual comfort; artificial lighting.

For citation: Roslyakova S.V., Bragina T.V., Zemlyanova E.I., Korotkova D.V., Merkulova P.A., Laushkina A.A., Filippov I.M. On the possibilities of applying machine learning in lighting control systems // Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – P. 48-63. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-7

ВВЕДЕНИЕ

Современное искусственное освещение больше не ограничивается только его базовыми возможностями, такими как продление светового дня и увеличение продолжительности работы человека в вечернее и ночное время. Развитие информационных технологий позволяет проектировать сложные системы управления способные регулировать фотометрические и спектральные параметры световых приборов на основании большого количества собираемых данных. Рынок систем управления освещением растет, несмотря на негативные тенденции в общемировой экономике [33]. Это связано с постоянным увеличением стоимости энергоносителей и удешевлением систем управления освещением.

Сейчас в системах управления освещением используются несколько подходов к изменению или адаптации фотометрических и спектральных характеристик световых приборов. Можно выделить следующие подходы к изменению или адаптации освещения:

1. Расписание. Перед монтажом системы управления создается расписание (статическое или с возможностью добавления изменений в процессе работы осветительной установки);
2. Астрономическое расписание. Включение/выключение и регулирование светового потока происходит по графику, который связан со временем рассвета и заката. Таким образом, изменение светового потока светильников происходит только два раза в день;

3. Учёт естественного освещения. В таких системах применяются датчики освещённости для того, чтобы регулировать или включать/выключать освещение в зависимости от естественного света;

4. Датчики движения и присутствия. Система управления освещением через датчики фиксирует перемещение или присутствие людей, а затем автоматически включает/выключает/регулирует освещение;

5. Индивидуальное изменение освещения. Также существует возможность индивидуальных изменений освещения через программы и приложения с использованием светодиодных ламп с интегрированными устройствами управления.

Основные производители светотехники и умных гаджетов (Philips, Osram, Xiaomi и т. д.) [8,9] давно занимаются развитием систем управления с индивидуальными настройками в сегменте домашнего освещения. В таких системах управление полностью принадлежит пользователю, и он может изменять уровень освещенности и спектральный состав освещения.

Алгоритмы управления освещением претерпевают значительные изменения, так как изменяются запросы от пользователей. Это связано с тем, что, современные пользователи, окруженные цифровыми гаджетами, выдвигают повышенные требования к гибкости и степени персонализации освещения. Одновременно с этим исследования в области физиологии и медицины доказывают, что биодинамическое освещение благотворно сказывается на психофизиологическом состоянии человека [18].

Описанные выше подходы к изменению или адаптации освещения сейчас активно применяются в системах управления. Важно отметить, что при увеличении функциональности систем управления освещением [19], усложняется программирование и настройка таких систем, что приводит к удорожанию всей системы освещения в целом. Системы освещения уже сейчас интегрируются в автоматизированные инженерные системы зданий [36] и в дальнейшем будут постоянно усложняться. Именно поэтому предлагается рассмотреть возможность внедрения такого метода анализа данных, как машинное обучение для управления освещением.

Машинное обучение, как раздел искусственного интеллекта, применимо к большому спектру задач, основной целью которых является классификация и прогнозирование на основе показателей предметной области [5]. Интеллектуальные системы освещения также могут стать сегментом с машинным обучением. Для того, чтобы создать оптимальные условия освещения, такие системы должны учитывать разнообразные факторы - поведение, предпочтения, состояние пользователя, наличие естественного освещения, особенности пространства, а также изменение этих факторов в реальном времени.

Учитывая гибкость и автоматизированность машинного обучения, оно может составить конкуренцию “классическим” подходам (расписание, астрогофик, датчики движения/присутствия) в системах управления освещением [24]. Можно выделить несколько трендов в системах управления освещением: биодинамическое освещение; снижение энергопотребления; ориентация на зрительный комфорт и распределение яркости.

Цель данной работы - рассмотреть возможности использования машинного обучения в системах управления освещением по трем главным трендам. Основной задачей является анализ предлагаемых подходов к управлению освещением, которые существуют на рынке и предлагаются научными исследованиями. Данная работа предполагает определить необходимость машинного обучения в системах освещения с выявлением достоинств и недостатков такого метода управления.

1. Биодинамическое освещение

Текущие предложения на рынке умных технологий показывают заинтересованность пользователей в таких аспектах как здоровье, экология, гигиена труда, внимание к психологическому состоянию и персонализация систем освещения [22]. Важно понимать, что искусственное освещение влияет на физиологическое и психологическое состояние пользователя.

Поэтому необходимо разрабатывать такие световые системы, которые способны оптимизировать баланс между здоровьем, личным комфортом пользователей и технологически и эксплуатационными свойствами осветительной установки.

Есть три значительных преимущества применения динамического освещения для пользователей: визуальное, эмоциональное и биологическое. Визуальное преимущество позволяет более точно подстраиваться под масштаб и сложность деталей, вид деятельности пользователя и объекта взаимодействия. Эмоциональное предполагает адаптацию под психологические особенности пользователя, обеспечивая чувство безопасности, комфорта и персонализации. Биологическое одно из наиболее интересных преимуществ, так как касается популярной темы в научном сообществе начиная с 2002 года - циркадных ритмов [18]. Исследователи обнаружили в глазах новый тип фоторецепторов - фоточувствительные ганглиозные клетки сетчатки (ipRGC - intrinsically photosensitive retinal ganglion cell), регулирующие цикл сна и бодрствования. Таким образом, свет влияет на многие аспекты нашего физического и эмоционального состояния, а также на когнитивные способности человека. Неправильное освещение может вызвать у пользователей визуальный и психологический дискомфорт, а также снизить производительность труда [29,31].

Согласно отчету, опубликованному Глобальной ассоциацией освещения (GLA), технологии освещения достигли больших успехов благодаря улучшению качества светодиодов и появлению интеллектуальных систем освещения [16]. В докладе содержится призыв к тому, что на основе этих технологических достижений световая среда должна эволюционировать от отдельных источников статичного освещения до систем освещения, ориентированного на человека. В области проектирования освещения широко известна, но до конца не изучена, система человеко-ориентированного освещения (human-centric lighting), которая частично покрывает текущие запросы пользователей световых пространств [17, 32]. Данный тип системы освещения должен учитывать не только факторы окружающей среды, такие как дневной свет, время и погода, но и личные факторы, такие как поведение, здоровье и эмоции пользователей [23]. Несмотря на то, что необходимы дополнительные исследования влияния данной системы на здоровье, согласно BIS Research, ожидается, что к 2024 году мировой рынок этой технологии достигнет 3,91 миллиарда долларов [15].

Адаптация под человека в условиях многопользовательских пространств — это не просто дополнительная опция - она дает очевидные, поддающиеся количественной оценке, выгоды. Исследования показали, что сотрудники, находящиеся в эмоционально стабильном состоянии и комфорте, могут эффективнее работать и пропускать на 20 процентов меньше рабочих дней [35].

До настоящего времени на рынке интеллектуальных продуктов не было предложено персонализированной среды освещения, потому что на данном этапе методы для сбора и классификации необходимых данных, а также платформа для синтеза данных недоступны широкому кругу пользователей. Однако с появлением машинного обучения и искусственного интеллекта стало разрабатываться все больше различных устройств, включая носимые, сенсорные устройства, динамики и смартфоны, которые можно использовать для быстрого и простого сбора информации о состоянии пользователей [33]. Полученные данные возможно обработать с помощью алгоритмов машинного обучения для оптимизации и адаптации светового режима в соответствии с активностью и эмоциональным состоянием пользователя.

2. Снижение энергопотребления – стремление к энергоэффективности

По оценкам специалистов на освещение тратится около 20-25% от вырабатываемой электроэнергии (если рассматривать распределение электроэнергии в домах и офисных пространствах). Одним из требований к современным системам освещения является энергоэффективность. Энергоэффективность зависит времени использования осветительных приборов, уровню освещенности.

Для экономии электроэнергии важно ее целесообразное использование. Иногда нет необходимости в использовании большого количества искусственного освещения в течение дня. Зачастую в офисных пространствах и домах создается чрезмерная освещенность, превышающая требуемые нормы освещения. Порой происходит так, что освещение функционирует даже когда нет людей в помещении, а это значительно увеличивает затраты на электроэнергию [6]. Экономия электроэнергии на освещении зданий и помещений созвучно общемировому тренду по стремлению к снижению экологического следа от человечества. Машинное обучение может упростить и реализовать экономию электроэнергии, в случаях большого количества осветительных приборов (крупная сеть наружного освещения в городе или многоэтажное офисное здание). Успешные энерго-проекты использовали машинное обучение для дальнейшего прогнозирования временных рядов потребления энергии. Необходимые данные о фактическом состоянии объектов собирались в режиме реального времени с помощью интеллектуальной сети, которая была установлена в здании и использовалась для оценки эффективности и результативности статистических методов и методов машинного обучения [13].

3. Зрительный комфорт и системы управления на основе яркости

Распределение яркости в помещении влияет на видимость объектов и визуальный комфорт. Многие исследования показывают, что управление распределением яркости освещения значительно влияет на визуальный комфорт человека.

Анализ и классификация критериев для оценки визуального комфорта является основным элементом для определения эффективности освещения в помещениях. Учет данных критериев при разработке алгоритмов управления освещением позволит разрабатывать более энергоэффективные системы освещения, в то же время обеспечивающие высокие качественные показатели освещения [11].

Зрительный комфорт определяется в европейском стандарте EN 12665 как «субъективное состояние визуального благополучия, вызванное визуальной средой» [11]. Зрительный комфорт зависит от следующих показателей: физиология человеческого глаза, физические величины, описывающие количество света и его распределение в пространстве, спектральное излучение источника света. Чтобы получить представление о том, каким образом различные параметры освещения влияют на аспект визуального комфорта, часто используются методы с субъективной оценкой, где оценивают: равномерность, блики, количество света и цветопередачу.

Таким образом, для разработки адаптивных систем управления освещением необходимо работать с большим объемом данных, учитывать индивидуальный подход к каждому отдельному пользователю и обладать определенной гибкостью для исправления погрешностей реального мира. Именно для исполнения данных задач внедряется машинное обучение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

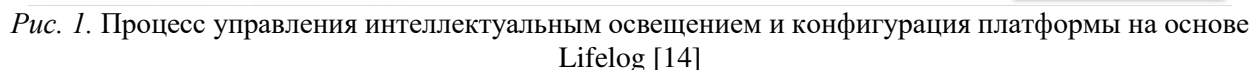
По анализу существующих требований пользователей ясно, что потенциал систем управления освещением значительно расширяется. Машинное обучение позволит комбинировать разные аспекты управления освещением, например, сочетать в одной системе управления освещения адаптацию по психологическим параметрам пользователей и регулирование относительно естественного освещения. Система управления освещением теоретически может работать с разными данными одновременно: с данными психологических тестирований, с данными от датчиков освещенности, с изображениями видеокамер в помещении, с биологическими данными с фитнес-трекеров пользователей. Ниже рассмотрены основные принципы работы систем управления освещением в зависимости от ориентированности систем управления освещением.

1. Биодинамическое освещение

Было проведено несколько исследований в области разработки интеллектуальных систем управления освещением, которые определяют вид деятельности и состояние человека, настраивая режимы освещения соответственно потребностям пользователя. Большинство работ сосредоточили свое внимание на системах управления освещением, которые определяют уровень освещенности в зависимости от вида занятий и взаимодействия с объектом или местоположением человека в пространстве [30,34]. К данному числу работ относится система управления освещенностью, которая объединила технологию общего освещения и диммирования с технологией распознавания местоположения пользователей в пространстве [26]. Вышеупомянутые исследования предложили способы, которые автоматически управляют освещением и обеспечивают равномерный уровень освещенности на основе информации о местонахождении людей в пространстве. Подобные системы управления освещением могут повысить удобство и визуальный комфорт, но индивидуальное управление освещением в таких системах не реализовано.

Невозможность использования персонализации заключается в отсутствии данных о состоянии каждого пользователя в многопользовательских пространствах. Дизайн платформы для интеллектуального управления освещением на основе Lifelog [14] предлагает использовать контроллер для освещения, который может регулировать параметры управления системой путем обучения с подкреплением данных, касающихся эмоционального состояния, активности и информации об окружающей среде, количества взаимодействий с освещением, уровня освещенности и цветовой температуры.

Чтобы реализовать платформу для управления персонализированным освещением на основе Lifelog, использовались технологии машинного обучения с подкреплением, которые представляют собой метод получения обратной связи (рисунок 1) [14]. Данные, которые существуют в разных форматах, стандартизируются и преобразуются в формат, подходящий для машинного обучения. На этапе анализа из данных выбираются те, которые относятся к текущему состоянию пользователя и окружающей среды. Затем информация классифицируется, сравнивается и анализируется, чтобы выявить поведенческие модели, эмоциональные состояния и модели использования световых приборов. Далее устанавливаются шаблоны настроек освещения (изменение цветовой температуры, освещенности, включение или отключение источников света). После внедрения нового режима собираются реакции пользователей - например, принятие рекомендуемой среды освещения, изменения освещенности или цветовой температуры. Данные обратной связи изучаются с помощью машинного обучения, а после отражаются в существующей модели для оптимизации и адаптации под человека. Этот процесс повторяется непрерывно, чтобы повысить качество системы.



Снижения энергопотребления освещения и повышение энергоэффективности помещений может развиваться в двух направлениях. Первое направление — это замена самих осветительных приборов, смена ламп накаливания на энергосберегающие или преимущественно на светодиодные источники света. У светодиодных источников света есть ряд преимуществ перед остальными

источниками освещения, а именно это высокая светоотдача, низкое энергопотребление, долгий срок службы и другие преимущества [6, 7].

Второе направление – это применение адаптивных систем освещения. Исследователи пытаются реализовывать адаптивные системы, которые будут не только снижать потребление электроэнергии за счет определения присутствия людей, а также обеспечивать подходящим режимом освещения с учетом воздействия на настроение, самочувствие, активность работников компаний. Установка системы управления освещением в офисных пространствах, выгодна с точки зрения экономии энергоресурсов и сокращения затрат на электроэнергию. По мнению исследователей адаптивные системы освещения могут увеличить экономию энергии. Что значительно может помочь организациям, стремящимся к экономии энергии и энергоэффективности, заботиться не только об экологичности, но и о здоровье своих работников [6].

Исследователи Самарского государственного технического университета рассматривают вопрос о повышении энергоэффективности и экономии энергоресурсов. В частности, они рассматривали энергосбережение осветительных приборов внутреннего и наружного освещения городских электрических сетей. Авторы исследования [6] получили самый высокий экономический результат при применении системы освещения, которая постоянно поддерживала уровень освещения регулируя силу света с помощью автоматического контроллера, датчика освещенности и датчика движения в системе общедомового пользования – это около 70-80%, в квартирах составило до 50%, а самый меньший эффект был получен в управлении уличным освещением – это 30-40%. В системе управления такой системой использовались датчики движения и датчики освещенности. Применение таких систем выгодно не только энергетически и экономически, но и повышает комфорт при эксплуатации помещений. В среднем окупаемость таких систем составляет до 2 лет. При росте цен на электроэнергию, сроки окупаемости инвестиций будут постепенно снижаться [6].

Не так давно искусственная нейронная сеть (artificial neural network - ANN) и машинное обучение стали использоваться в качестве инструментов по экономии энергии в зданиях [19]. Для оптимального управления энергопотреблением умных домов температура в помещении была спрогнозирована с использованием технологии ANN и было выполнено планирование для снижения энергопотребления кондиционеров при поддержании комнатной температуры, предпочитаемой жильцами дома [20, 27]. Для подготовки модели построения машинного обучения, которую в свою очередь можно использовать для прогнозов потребления электроэнергии, может опираться на два фактора прогноза погодных условий и истории потребления электроэнергии в разные сезоны года, дни недели. [4].

Исследователи из Малайзии в своей статье предлагают интеллектуальное управление системой освещения с использованием искусственной нейронной сети (ANN) [21]. Минимизация затемнения уровней светильников рассматривается как главная функция ANN контроллера. Так же они учитывали и поле зрения датчика освещенности. Предлагаемый ANN контроллер был протестирован на базе института в Малайзии. По результатам предложенный контроллер показал отличные результаты. Уровни затемнения соответствуют европейскому стандарту EN12464-1. Кроме того, он может сэкономить до 34% энергии [21].

3. Зрительный комфорт и системы управления на основе яркости

Зрительное восприятие человека является сложным механизмом, состоящим из множества нелинейных процессов. Создавая математические модели управления, основанные на ощущении зрительного комфорта, мы сталкиваемся с субъективностью критериев [11]. Анализ литературных источников последних лет показывает, что для решения подобных задач лучше использовать мягкие вычисления (soft computing), включающие в себя технологии машинного обучения, нечеткой логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов.

Мягкие вычисления, в отличие от жёстких вычислений, направлены на приспособление к неточностям реального мира, и для описания данной системы не требуется математическая модель [12]. Если сравнивать мягкие вычисления с традиционным искусственным интеллектом, система Soft Computing ориентируется на обработку неточной, неопределённой, частично истинной информации и базируется на аналогиях из реального мира, в то время как система AI моделирует рассуждения на основе логического вывода (дедукция, индукция, аргументация, рассуждения по аналогии и т.д.).

В настоящее время разрабатывается множество передовых систем управления освещением, основанных на различных параметрах, характеризующих зрительный комфорт. Одним из таких параметров является яркость. Современные системы управления освещением, основанные на измерении или анализе распределения яркости в пространстве, представляют из себя системы анализа измерений яркости по данным, снятым с изображений, зафиксированных камерой, в качестве входного сигнала для контроллера.

При разработке контроллеров производители опираются на три принципа:

1. Зрительный комфорт.

Визуальный комфорт пользователей является основной задачей для систем управления искусственным освещением. Диммирование и регулировка яркости, а также других параметров, должны проводиться относительно потребности пользователя.

2. Использование естественного освещения

Основной вклад в уровень освещённости вносит естественное освещение, а искусственное освещение является лишь дополнением.

3. Гибкость и надёжность.

Система управления должна оставаться простой и гибкой, чтобы сделать её максимально доступной для внедрения в офисные и жилые помещения. Система должна функционировать в соответствии с заданным автономным алгоритмом. Именно на этапе разработки и внедрения данных систем управления и используется машинное обучение.

Одним из примеров системы управления освещением, основанной на яркости, может быть исследование Али Мотамеда, Лоран Дешам, Жан-Луи Скартезини [10].

Первый тестовый алгоритм системы (рис.1. Reference Controller) получает данные уровня яркости на рабочей поверхности с помощью установленных камер. После этого система определяет уровень яркости и сравнивает его с указанным стандартом (субъективная оценка визуального комфорта в данном помещении). Далее алгоритм направляет сигнал на диммирование осветительных приборов.

Второй тестовый алгоритм системы (рис.1. Advanced Controller) использует мягкие вычисления (нечеткую логику). Данный алгоритм, построенный на методах машинного обучения, направлен на устранение вероятности появления бликов от дневного света (Daylight Glare Probability (DGP)), а также на улучшение энергоэффективности системы. Результаты показывают, что потребность в электроэнергии второй системы на 32% ниже первой, и алгоритм системы управления, основанной на нечеткой логике, успешно предотвращает дискомфортные ощущения от бликов, предотвращая вероятность их появления.

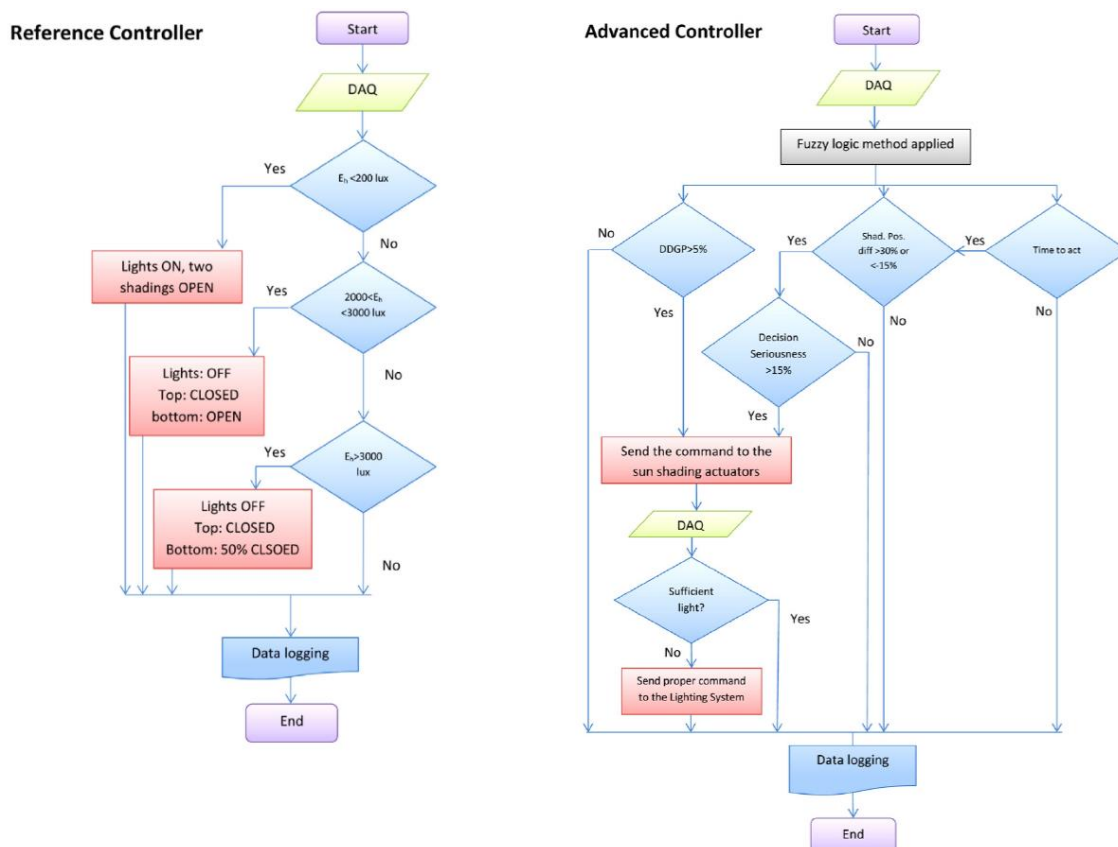


Рис. 2. Блок-схемы контроллеров, используемых в тестировании стратегии [10]
Fig. 2. The block diagram of the best-practice controller used as reference strategy and the block diagram of the advanced controller used as test strategy [10]

Результаты практической работы данного исследования наглядно показывают возможность использования машинного обучения в разработке систем управления освещением в помещении.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенного исследования было установлено, что применение машинного обучения в системах управления возможно и разнообразно. Уже сейчас есть системы, которые реализуют потенциал машинного обучения в освещении. Основная особенность машинного обучения заключается в том, что этой технологии присущи не только достоинства при использовании в системах освещения, но и существует ряд проблем, которые могут снизить качество систем управления освещением и повысить стоимость. Возможные проблемы использования машинного обучения для систем управления освещением:

- Сложность выявления ключевых факторов, которые влияют на оценку качества освещения.
- Необходим сбор и формирование качественных наборов данных, что может занять продолжительное время.
- Сложность алгоритма и оптимизация модели при большом количестве факторов. Например, если нужно учитывать психоэмоциональные параметры человека и естественное освещение.

Так как данные, с которыми работает система управления, сильно зависят от задач систем в целом далее описаны особенности, достоинства и недостатки по ориентированности систем управления освещением.

1. Биодинамическое освещение

Несомненным плюсом является то, что машинное обучение играет ключевую роль в повышении точности рекомендаций по освещению за счет анализа и изучения данных о психоэмоциональном состоянии пользователей и обратной связи. Однако для оптимизированной работы адаптивные системы освещения должны быть сосредоточены на установлении конкретного процесса и метода машинного обучения для обеспечения персонализированной среды и создания рекомендаций для изменения режима освещения [14].

Несомненно, нужна объемная система для сбора, хранения, управления, анализа и изучения данных эмоционального состояния с использованием облачного пространства и сервера машинного обучения, чтобы обеспечить оптимальную смену режимов освещения. На основе всестороннего анализа эмоционального состояния, активности и вида деятельности предполагается получать огромный пакет данных, являющийся сложной информацией для обработки.

Достоинством таких систем является фундаментальный характер платформ интеллектуального освещения. Предполагается, что можно интегрировать несколько интеллектуальных алгоритмов в единую, хорошо спроектированную структуру посредством реализации на интегрированном микроконтроллере [28]. Кроме того, интеграция умных устройств в системы освещения имеет огромный потенциал в непрерывном обеспечении объективными данными о состоянии человека, что говорит о междисциплинарной области исследований.

Также важно отметить, что при взаимодействии системы управления освещением с медицинскими портативными устройствами, следует уделять внимание сохранности персональных данных. Программное обеспечение и системы передачи данных должны защищать персональные данные, а портативные медицинские устройства должны быть защищены от хакерских атак и возможных сбоев. В случае проблем с безопасностью любой части адаптивной системы освещения возможны негативные кратковременные последствия для здоровья пользователей и утечка информации.

2. Снижение энергопотребления

К плюсам энергосбережения интеллектуальных систем освещения можно отнести диммирование освещения посредством датчиков освещенности и датчиков движения, что сможет экономить электроэнергию. По словам владельцев компаний, которые уже смогли применить системы интеллектуального освещения у себя в офисных пространствах, окупаемость происходит до пяти лет [2].

Минусами систем освещения, реализованных с применением технологий машинного обучения, является то, что существенного снижения энергопотребления можно добиться только при массовом внедрении таких систем на производстве, в офисных пространствах, коворкингах и т.д. [3]. Было отмечено, что при изменчивости погодных условий датчики освещенности могут работать некорректно - постоянно изменять освещенность в помещении, что некомфортно для работников [2].

С одной стороны, если рассматривать системы управления освещением для снижения энергопотребления в городском освещении, то для качественного сбора данных о любом городе потребуется не менее года. Так как требования к показателям любого городского освещения (функциональное или в парковых зонах) зависят от погодных и сезонных условий. Это несомненный недостаток систем управления с машинным обучением. С другой же стороны, достоинством является то, что единообразно разработанный узкоспециализированный алгоритм городского освещения можно в перспективе использовать для тех же задач в похожих городах или пространствах.

3. Зрительный комфорт и системы управления на основе яркости

Зрительный комфорт пользователя формируется исходя из разнообразных факторов, как и внешней среды, так и субъективных оценок и восприятия пространства пользователем. Эта область исследований требует внедрения достаточно сложных алгоритмов машинного обучения, поскольку для настройки системы адаптивного освещения должны быть учтены данные в разнообразных форматах и разного происхождения. Для такого рода задач классическое машинное обучение с подкреплением не будет эффективным, поскольку предсказать какой-либо правильный результат и задать эталонные значения в алгоритме достаточно проблематично. Основная причина невозможности использования обучения с подкреплением заключается в том, что конечным результатом в данном случае являются параметры качественного освещения, подходящие конкретному пользователю, которые заранее неизвестны. Поэтому наибольшую эффективность показывают сложные алгоритмы машинного обучения, относящиеся к категории глубокого обучения, которые могут спрогнозировать необходимые параметры освещения на основе полученных данных. С использованием этого инструмента можно добиться лучших показателей качества освещения, ориентированных на субъективное восприятие отдельных пользователей. Кроме того, алгоритмы глубокого обучения позволяют соотнести параметры освещения и яркости во внешней среде и адаптировать прогноз с учетом этих факторов.

Преимущества данного подхода — это возможность учета фактора субъективной оценки при прогнозировании параметров освещения и достаточная эффективность алгоритма при работе с данными в формате изображений и видео. Тем не менее существуют определенные риски и проблемы при использовании такого подхода. В первую очередь — это необходимость в высокотехнологичном оборудовании для осуществления вычислений на большом объеме данных. Кроме того, существуют риски некачественного выбора, разработки и обучения модели и, как следствие, получения неточных прогнозов.

Использование алгоритмов глубокого обучения в области зрительного комфорта обладает достаточными преимуществами и при учете минимизации перечисленных рисков может быть успешно внедрено в современные адаптивные системы освещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе анализа существующих исследований, направленных на разработку интеллектуальных систем освещения на основе машинного обучения, было установлено следующее:

1. Существует потребность в реализации алгоритма на основе мультимодальных данных, позволяющих адаптировать освещение под психоэмоциональное состояние пользователей;
2. Необходимо сочетание мониторинга и управления освещением для корректировки фотометрических характеристик при динамическом изменении параметров окружающей среды;
3. Достичь минимального вмешательства пользователя для поддержания качественной работы системы.

Используя преимущества больших данных и машинного обучения, можно оптимизировать и обучить систему управления освещением, которые впоследствии могут автоматизировать весь процесс взаимодействия между пользователем и световой средой. Благодаря этому можно достигнуть высоких показателей энергоэффективности, а также реализовать комфортную и безопасную световую среду. На сегодняшний момент авторы продолжают работу над обучением системы освещения, решая задачу автоматического управления освещением и наращивания функций системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Это исследование было реализовано с помощью международной образовательной программы “Световой дизайн” и Национального центра когнитивных разработок Университета ИТМО. Авторы хотели бы выразить особую благодарность руководителю лаборатории “Когнитивная невербалика” Олегу Олеговичу Басову, доктору технических наук, профессору факультета цифровых трансформаций Университета ИТМО.

Список литературы

1. Исследование и подбор спектральных характеристик светильников в адаптивных системах освещения / Рослякова С.В., Лаушкина А.А., Брагина Т.В., Землянова Е.И., Балаев А.Ф. // Сборник тезисов докладов X конгресса молодых ученых: электронное издание 2021 г. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5812> (дата обращения: 09.09.2021)
2. Как мы делали умную систему освещения для офиса: сравниваем два этажа // Хабр, 2013 г. URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/178425/> (дата обращения 11.09.2021)
3. Козлов И.М. Результаты апробации алгоритма управления освещением квартиры // Архитектура и современные информационные технологии 2011. № 1(38). С.1-10.
4. Машинное обучение в энергетике, или не только лишь все могут смотреть в завтрашний день // Хабр, 2020 г. URL: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/487944/> (дата обращения 09.09.2021)
5. 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.
6. Обухова Ю.В., Ключкова Н.Н., Обухова А.В. Интеллектуальная система управления освещением // Труды VI международной научно-технической конференции: Электроэнергетика глазами молодежи. 2015. С. 338-339.
7. Преимущества и недостатки светодиодных светильников, срок службы светодиодов, 2014 г. URL: <http://www.diy.ru/post/6240/> (дата обращения 10.09.2021).
8. Умные лампы и еще более умные средства управления, 2021 г. URL: <https://www.philips-hue.com/ru-ru> (дата обращения 09.09.2021)
9. Умные устройства, 2021 г. URL: <https://www.mi.com/ru/list/#4> (дата обращения 09.09.2021)
10. Ali M., Laurent D., Jean-Louis S. On-site monitoring and subjective comfort assessment of a sunhadings and electric lighting controller based on novel High Dynamicange vision sensors // Lausanne, Switzerland. 2017. С. 171.
11. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design / Salvatore C., Francesco C., Francesco D. R., Lorenzo P. // NTNU Norwegian University of Science and Technology. 2015. (2015). С. 42.
12. Choudhury, B., Jha R. M. Soft Computing in Electromagnetics: Methods and Applications //Cambridge: Cambridge University Press. 2016. С. 9–44.
13. Chou J.S., Tran D.S. Forecasting Energy Consumption Time Series using Machine Learning Techniques based on Usage Patterns of Residential Householders // Energy. 2018. № 165. С. 709-726.
14. Cho Y. et al. Platform design for lifelog-based smart lighting control // Building and Environment. 2020. № 185.
15. Global Human Centric Lighting Market to Reach \$3.91 Billion by 2024, BIS Research Reports, 2018 г. URL: <https://bisresearch.com/industry-report/> (дата обращения 09.09.2021)
16. Global Lighting Association Strategic roadmap of the global lighting industry, 2014г. URL: <http://www.globallightingassociation.org/> (дата обращения 09.09.2021)
17. Houser K. W. et al. Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process // Frontiers in neurology. 2021. № 12. С. 1-13.
18. Huang W. et al. Circadian rhythms, sleep, and metabolism // The Journal of clinical investigation. 2011. № 121. С. 21-41.
19. Indoor positioning for superior customer service at Carrefour, 2021 г. URL: <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/food-and-large-retailers/carrefour-lille/> (дата обращения 09.09.2021)
20. Jiyoung S., Anseop C., Minki S. Recommendation of indoor luminous environment for occupants using big data analysis based on machine learning // Building and Environment/ 2021. № 198.

21. Khairul R. W., Mohd N. A. Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2018. № 11. С. 195-202.
22. Khoshmanesh F. et al. Wearable sensors: At the frontier of personalised health monitoring, smart prosthetics and assistive technologies // Biosensors & bioelectronics. 2021. № 176. С. 112.
23. Kompier, M. E. et al. Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort // Physiology & behavior. 2020. № 223 С. 84-94.
24. Kumar P., Rai P., Yadav H. B. Smart lighting and switching using Internet of Things // 2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering. 2021. С. 536-539.
25. Laushkina A.A., Roslyakova S.V., Smirnov A.V. Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces // Научный результат. Информационные Технологии. 2020. № 5. С. 62-69.
26. Lee H. et al. Development of a Dimming Lighting Control System Using General Illumination and Location-Awareness Technology // Energies 2018. № 11. С. 2999.
27. Lee, S., Choi D. Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic system, energy storage system, and home appliances // Sensors. 2019. № 19 С. 3937.
28. LightLearn: an adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning / Park J.Y., Dougherty T., Fritz H., Nagy Z. // Build. Environ. 2019. № 147. С. 397-414.
29. Lunn R. M. et al. Health consequences of electric lighting practices in the modern world: A report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption // The Science of the total environment. 2017. № 607-608. С. 1073-1084.
30. On the application of wireless sensors and actuators network in existing buildings for occupancy detection and occupancy-driven lighting control / Labeodan T., Bakker C.D., Rosemann A., Zeiler W. // Energy Build 2016. № 127. С. 75-83.
31. Pachito D. V. et al. Workplace lighting for improving alertness and mood in daytime workers // The Cochrane database of systematic reviews. 2018. № 3,3 С. 61.
32. Papatsimpa, Charikleia et al. "Personalized Office Lighting for Circadian Health and Improved Sleep." Sensors (Basel, Switzerland). 2020. № 20. С. 2-17.
33. Roslyakova S., Chirimisina D. Lyubakova Y. Possibilities to integrate wearable biomonitoring sensors into adaptive lighting systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 944.
34. WinLight: A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building / Zou H., Yuxun Z., Hao J., Chien S., Xie L. //Energy and Buildings. 2018. № 158. С. 924-938.
35. Work Flexibility, Job Satisfaction, and Job Performance among Romanian Employees -Implications for Sustainable Human Resource Management / Davidescu, A.A.; Apostu, S.-A.; Paul, A.; Casuneanu, I. // Sustainability. 2020. № 12. С. 6086.
36. Zhaoyang, Luo et al An innovative shading controller for blinds in an open-plan office using machine learning // Building and Environment. 2021. № 189.

References

1. Roslyakova S.V., Laushkina A.A., Bragina T.V., Zemlyanova E.I., Balaev A.F. Research and selection of spectral characteristics of lamps in adaptive lighting systems. Collection of abstracts of the X Congress of Young Scientists. (2021) URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5812> (accessed: 09.09.2021)
2. How we made a smart lighting system for the office: we compare two floors.Habr. (2013) URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/178425/> (accessed 09.09.2021)
3. Kozlov I.M. Results of approbation of the apartment lighting control algorithm. No. 1 (2011): pp.1-10.
4. Machine learning in energy, or not just everyone can look into tomorrow. Habr. (2020) URL: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/487944/> (accessed 09.09.2021)
5. 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.
6. Obukhova Y.V., Klochkova N.N., Obukhova A.V. Intelligent lighting control system. Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference: Electricity through the eyes of youth. (2015): pp. 338-339.
7. Advantages and disadvantages of LED lamps. LED service life. (2014) URL: <http://www.diy.ru/post/6240/> (accessed 09.10.2021).

8. Smart bulbs and even smarter controls. (2021) URL: <https://www.philips-hue.com/en-ru> (accessed 09.09.2021)
9. Smart devices. (2021) URL: <https://www.mi.com/ru/list/#4> (accessed 09.09.2021)
10. Ali Motamed, Laurent Deschamps, Jean-Louis Scartezzini, "On-site monitoring and subjective comfort assessment of a sunhadings and electric lighting controller based on novel High Dynamicange vision sensors" Lausanne, Switzerland (2017): 171.
11. Salvatore Carlucci, Francesco Causone, Francesco De Rosa, Lorenzo Pagliano "A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design", NTNU Norwegian University of Science and Technology (2015): 42.
12. Choudhury, Balamati; Jha, Rakesh Mohan "Soft Computing in Electromagnetics: Methods and Applications" Cambridge: Cambridge University Press (2016): 9–44.
13. Chou, Jui-Sheng, Tran, Duc-Son. "Forecasting Energy Consumption Time Series using Machine Learning Techniques based on Usage Patterns of Residential Householders." Energy 165. (2018): 709-726.
14. Cho, Younjoo et al. "Platform design for lifelog-based smart lighting control." Building and Environment 185 (2020): 107267.
15. Global Human Centric Lighting Market to Reach \$3.91 Billion by 2024, BIS Research Reports (2018): URL: <https://bisresearch.com/industry-report/> (accessed 09.10.2021)
16. Global Lighting Association Strategic roadmap of the global lighting industry (2014) URL: <http://www.globallightingassociation.org/> (accessed 09.10.2021)
17. Houser, Kevin W. et al. "Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process." Frontiers in neurology vol. 12 (2021): 1-13.
18. Huang, Wenyu et al. "Circadian rhythms, sleep, and metabolism." The Journal of clinical investigation vol. 121,6 (2011): 21-41.
19. Indoor positioning for superior customer service at Carrefour. URL: <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/food-and-large-retailers/carrefour-lille/> (accessed 09.09.2021)
20. Jiyoung Seo, Anseop Choi, Minki Sung "Recommendation of indoor luminous environment for occupants using big data analysis based on machine learning" Building and Environment 198 (2021): 107835.
21. Khairul Rijal Wagiman, Mohd Noor Abdullah "Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building" Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 11 (2018): 195-202.
22. Khoshmanesh, Farnaz et al. "Wearable sensors: At the frontier of personalised health monitoring, smart prosthetics and assistive technologies." Biosensors & bioelectronics 176 (2021): 112946.
23. Kompier, M. et al. "Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort." Physiology & behavior vol. 223 (2020): 84-94.
24. Kumar P., Rai P., Yadav H. B. "Smart lighting and switching using Internet of Things." 2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (2021): 536-539.
25. Laushkina A.A., Roslyakova S.V., Smirnov A.V. "Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces." Scientific result. Information Technology 5 (2020): 62-69.
26. Lee, Heangwoo et al. "Development of a Dimming Lighting Control System Using General Illumination and Location-Awareness Technology." Energies 11 (2018): 2999.
27. Lee, S., Choi D. "Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic system, energy storage system, and home appliances" Sensors, 19 (2019): 3937.
28. Park J.Y., Dougherty T., Fritz H., Nagy Z. "LightLearn: an adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning." Build. Environ 147 (2019): 397-414.
29. Lunn, Ruth M et al. "Health consequences of electric lighting practices in the modern world: A report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption." The Science of the total environment 607-608 (2017): 1073-1084.
30. Labeodan T., Bakker C.D., Rosemann A., Zeiler W. "On the application of wireless sensors and actuators network in existing buildings for occupancy detection and occupancy-driven lighting control." Energy Build 127 (2016): 75-83.
31. Pachito, Daniela V et al. "Workplace lighting for improving alertness and mood in daytime workers." The Cochrane database of systematic reviews vol. 3,3 (2018): 61.
32. Papatsimpa, Charikleia et al. "Personalized Office Lighting for Circadian Health and Improved Sleep." Sensors (Basel, Switzerland) 20 (2020): 2-17.
33. Roslyakova, S. et al. "Possibilities to integrate wearable biomonitring sensors into adaptive lighting systems" IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 944. 012029. (2020).

34. Zou, Han, Yuxun Zhou, Hao Jiang, S. Chien, L. Xie and C. Spanos. “WinLight: A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building.” *Energy and Buildings* 158 (2018): 924-938.
35. Davidescu, A.A.; Apostu, S.-A.; Paul, A.; Casuneanu, I. “Work Flexibility, Job Satisfaction, and Job Performance among Romanian Employees—Implications for Sustainable Human Resource Management.” *Sustainability* 12 (2020): 6086.
36. Zhaoyang, Luo et al “An innovative shading controller for blinds in an open-plan office using machine learning.” *Building and Environment* 189 (2021).

Рослякова Светлана Витальевна, ассистент Института дизайна и урбанистики, аспирант Факультета цифровых трансформаций

Брагина Татьяна Владимировна, студент Института дизайна и урбанистики

Землянова Екатерина Игоревна, студент Института дизайна и урбанистики

Короткова Дарья Валерьевна, студент Института дизайна и урбанистики

Меркулова Полина Алексеевна, студент Института дизайна и урбанистики

Лаушкина Анастасия Александровна аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок

Филиппов Илья Михайлович, инженер Института дизайна и урбанистики

Roslyakova Svetlana Vitalievna, Assistant at the Institute of Design and Urban Studies, postgraduate student at the Faculty of Digital Transformation

Bragina Tatiana Vladimirovna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Zemlyanova Ekaterina Igorevna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Korotkova Daria Valerievna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Merkulova Polina Alekseevna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Laushkina Anastasia Alexandrovna postgraduate student, engineer, National Center for Cognitive Development

Filippov Ilya Mikhailovich, engineer at the Institute of Design and Urban Studies

УДК 004.9

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-8

Скрипина И.И.¹
Зайцева Т.В.²
Путивцева Н.П.²
Скрипин А.А.²

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В УПРАВЛЕНИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ
ПРЕДПРИЯТИЯМИ**

¹⁾ Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., 308503, Россия

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

e-mail: skripina@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, 1589436@bsu.edu.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрено использование информационных технологий применительно к задачам управления промышленным предприятием, методы поддержки принятия решений с использованием интеллектуальных информационных технологий. Разработаны алгоритмы и методы прогнозирования производства с использованием нейронной сети. В дальнейшем полученные результаты могут быть использованы для разработки программного продукта.

Ключевые слова: интеллектуальные информационные технологии; нейронные сети; методы принятия решений при прогнозировании производства; информационные технологии в производстве.

Для цитирования: Скрипина И.И., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Скрипин А.А. Интеллектуальные информационные технологии в управлении прогнозирования промышленными предприятиями // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021. – С. 64-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-8

Skipina I.I.¹
Zaitseva T.V.²
Putivtseva N.P.²
Skripin A.A.²

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT
OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

¹⁾ Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 1 Vavilova St., item Mayskiy, Belgorodsky district, Belgorod region, 308503, Russia

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

e-mail: skripina@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, 1589436@bsu.edu.ru

Abstract

This article discusses the use of information technologies in relation to the tasks of managing an industrial enterprise, and specifically methods of decision-making support using intelligent information technologies. Algorithms and methods for predicting production using a neural network were developed. In the future, the results obtained during the writing of the article can be used for the development of a software product.

Keywords: intelligent information technologies; neural networks; decision-making methods for predicting production; information technologies in production.

For citation: Skipina I.I., Zaitseva T.V., Putivtseva N.P., Skripin A.A. Information technologies in the management of industrial enterprises // Research result. Information technologies – Т.6, №4, 2021. – P. 64-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-8

В условиях «информационного общества» основополагающим принципом эффективной работы любой организации является умение оценить качество, полноту информации ее точность и достоверность.

Рассмотрим определение информационных технологий: «Информационная технология — это совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, накопление, хранение, поиск, обработку, выдачу и распространение информации для снижения трудоемкости процессов использования информационных ресурсов, повышения их надежности и оперативности» [4].

Из представленного выше определение видна взаимосвязь и взаимовлияние IT-технологии и экономики. Большой толчок к развитию информационные технологии получили вследствие того, что пользователи стали воспринимать информацию, как один из ресурсов необходимых для эффективного управления.

Современные промышленные предприятия все больше применяют в своей деятельности различные информационные технологии, как в повседневной деятельности, так и для таких сфер как стратегическое управление. Увеличение количества обрабатываемой информации послужило появлению новых теорий и структур управления: TQM (Total Quality Management) и BPR (Business Process Reengineering) [6] и использованию не только традиционных информационных технологий, но таких как интеллектуальных технологий анализа и обработки данных. А также методов и инструментов, которые могут учитывать условия неопределенности, в которых необходимо принимать решения для эффективного управления предприятием.

Одним из таких инструментов являются системы поддержки принятия решений. Кроме использования методов характерных для теории управления они также основываются на математическом и имитационном моделировании, и является неоспоримыми помощниками руководителя в принятии решений [8]. Процесс принятия решения представлен на рисунке 1.



Рис.1. Процесс принятия решения
Fig. 1. The decision-making process

Всю деятельность предприятия можно разделить на бизнес-процессы, одним из которых является прогнозирование деятельности. Информационные технологии помогают преобразовывать исходных ресурсы в необходимый предприятиям результат. Рассмотрим метод поддержки принятия решений при прогнозировании производства, который представлен на рисунке 2.

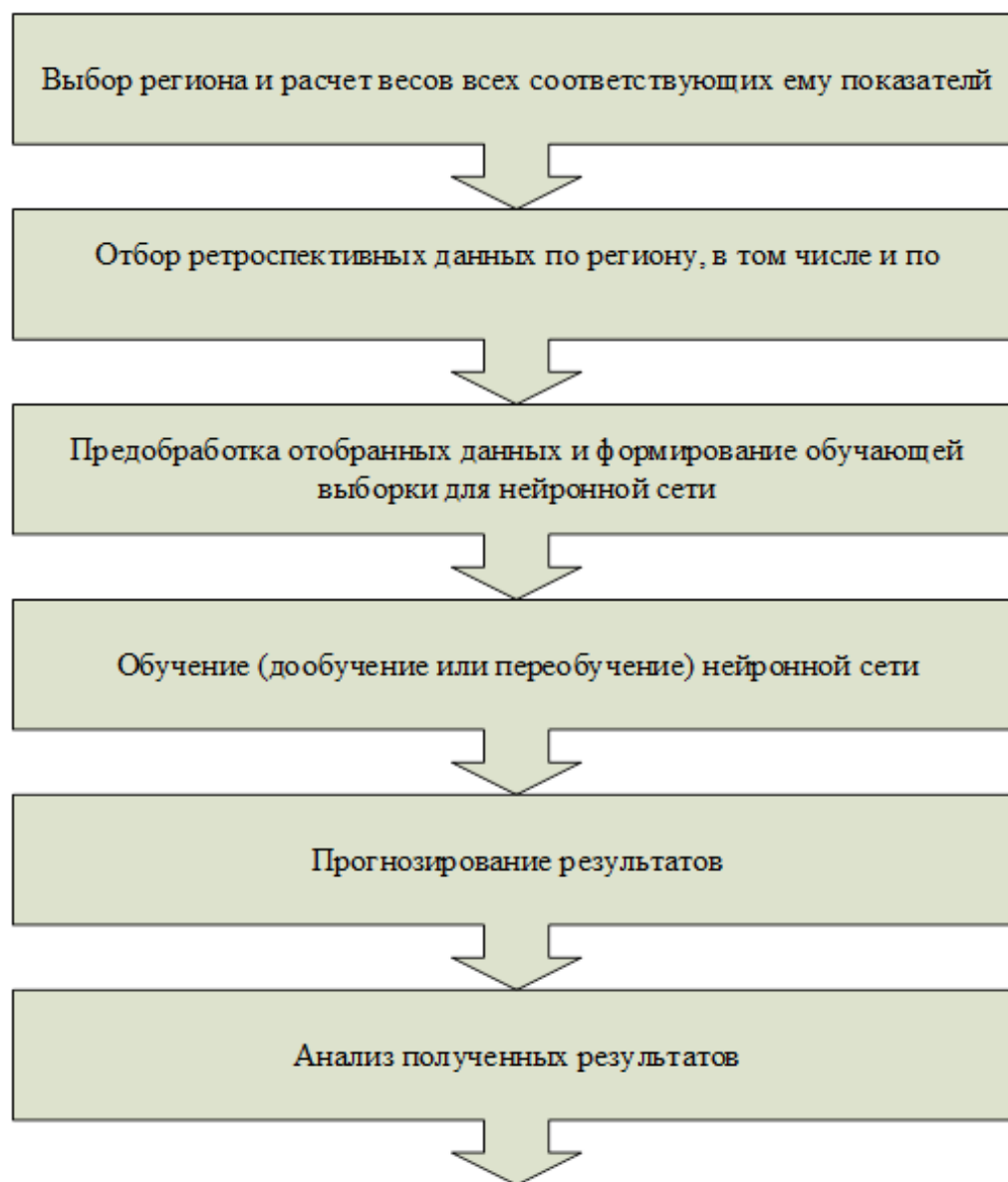


Рис. 2. Метод поддержки принятия решений при прогнозировании
Fig. 2. The method of decision support in forecasting

После использования рассмотренного метода и анализа полученных результатов, переходим к процедуре прогнозирования с использованием интеллектуальных технологий анализа и обработки данных. Одним из эффективных средств данных технологий можно назвать нейронные сети. Это обусловлено тем, что данная технология отбирает анализирует перерабатывает имеющиеся в информационной системе данные [10].

Опишем с помощью представленного ниже алгоритма прогнозирования предобработки данных и формирования блока входной информации основанный на экономическом состоянии предприятия, и учитывающий его особенности представлена рисунке 3.

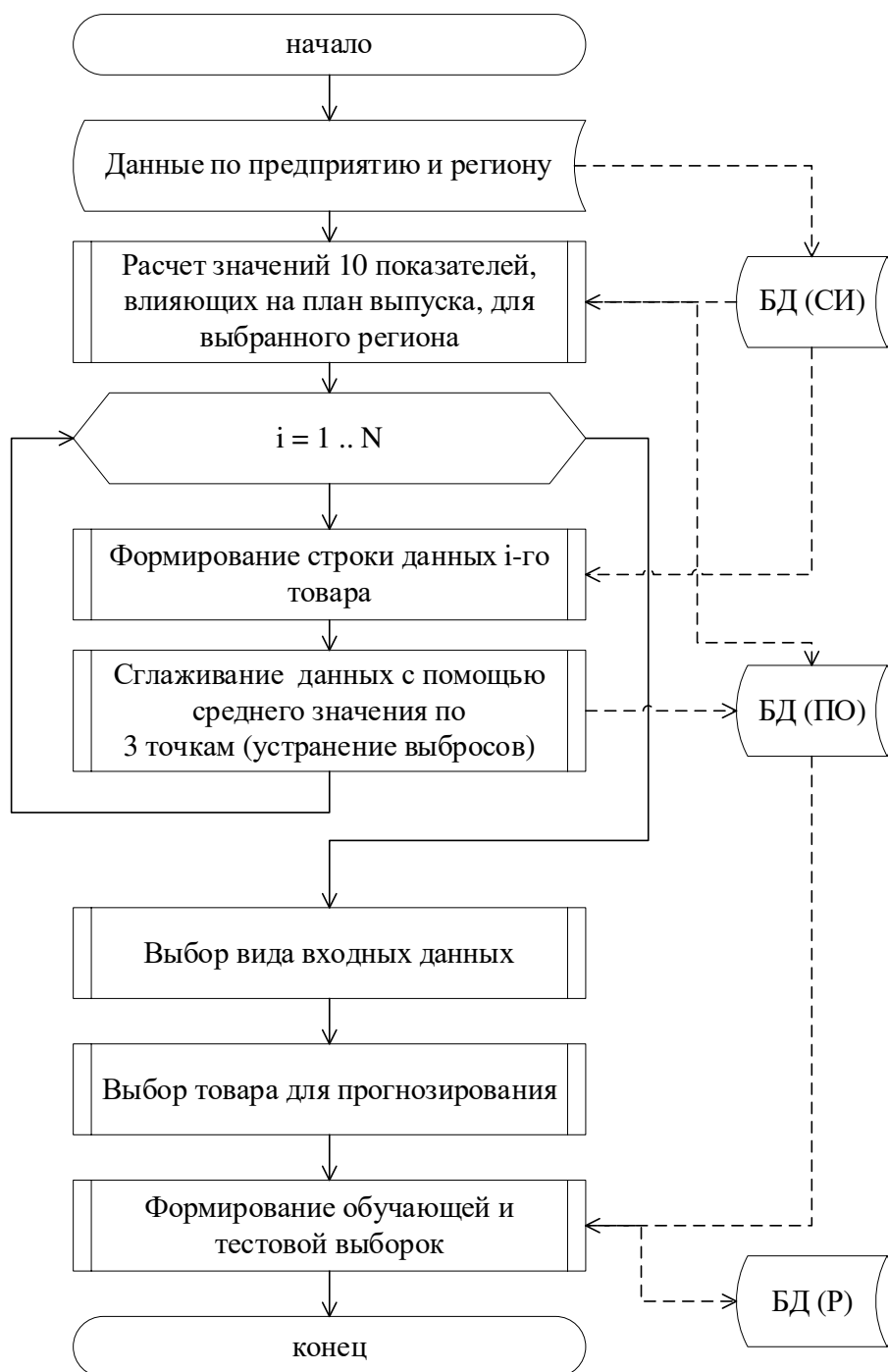


Рис. 3. Алгоритм предобработки данных и формирования блока входной информации для предприятия
Fig. 3. Algorithm of data preprocessing and formation of a block of input information for the enterprise

Информационная система включает в себя как потоки данных и информации, так и технические и аппаратные средства. А для организации рабочего места специалиста, входящего в состав информационной системы, используются непосредственно различные информационные технологии, что позволяет проектировать отдельные элементы системы и объединять их в единое целое [7].

Цель и характер деятельности предприятий и организаций определяют его информационную систему и использование той или иной информационной технологии, а также вид используемого информационного продукта, на основе которого принимаются оптимальные управленческие решения. Эффективность принятия управленческих решений в условиях функционирования ИТ в организациях различного типа обусловлена использованием

разнообразных инструментов анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятий, основанных на программно-аппаратном комплексе информационной технологии [3].

Внедрение, применение и развитие нейросетевых технологий для управления работой конкретного промышленного предприятия приведет к повышению производительности всего предприятия и сокращению сроков самоокупаемости средств, потраченных на развитие информационных технологий поддержки принятия управленческих и плановых решений.

Список литературы

1. Анфилов, В.С. Системный анализ в управлении: учебное пособие [Текст] / В.С. Анфилов, Емельянов А.А., Кукушкин. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
2. Блюмин, С.Д. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности [Текст] / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
3. Информационные системы и технологии управления [Электронный ресурс]: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Менеджмент" и "Экономика", специальностям "Финансы и кредит", "Бухгалтерский учет, анализ и аудит" / под ред. Г.А. Титоренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 591 с.
4. Исакова, А.И. Информационные технологии: учебное пособие [Текст] / А.И. Исакова; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Кафедра автоматизированных систем управления (АСУ). – Томск: ТУСУР, 2013. – 207 с.
5. Ногин, В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В.Д. Ногин. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 176 с.
6. Путивцева, Н.П. Разработка программной поддержки иерархической многокритериальной процедуры оценки качества экспертов. [Текст] / Н.П. Путивцева, Т.В. Зайцева, О.П. Пусная, С.В. Игрунова, Е.В. Нестерова, Е.В. Калужная, Е.А. Зайцева. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Экономика. Информатика. – 2016. – №16(237) – С. 172-179.
7. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006.
8. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.
9. Скрипина И.И. Экспертная оценка приоритетности объектов инвестирования на основе метода анализа иерархий. [Текст] / И.И. Скрипина, Е.С. Сорокина // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Экономика. Информатика. – 2017. – №9(258) – С. 133-141.
10. Царегородцев В.Г. Оптимизация предобработки данных для обучаемой нейросети: критерии оптимальности предобработки. [Текст] / В.Г. Царегородцев // Материалы XIV Междунар. конф. по нейрокибернетике. Ростов н/Д, 2005. Т. 2

References

1. Anfilatov, V.C. Systems analysis in management: textbook [Text] / V.C. Anfilatov, Emelyanov A.A., Kukushkin. – Moscow: Finance and Statistics, 2002. – 368 p.
2. Blumin, S.D. Models and methods of decision making in conditions of uncertainty [Text] / S.L. Blyumin, I.A. Shuikov. – Lipetsk: LEGI, 2001. – 138 p.
3. Information systems and management technologies [Electronic resource]: a textbook for university students studying in the areas of "Management" and "Economics", specialties "Finance and credit", "Accounting, analysis and audit" / ed. G.A. Titorenko. – 3rd ed., Rev. and add. – M.: UNITI-DANA, 2012. – 591 p.
4. Isakova, AI Information technologies: textbook [Text] / AI Isakova; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Department of Automated Control Systems (ACS). – Tomsk: TUSUR, 2013. – 207 p.
5. Nogin, V.D. Decision-making in a multicriteria environment: a quantitative approach [Text] / V.D. Nogin. – Moscow: FIZMATLIT, 2002. – 176 p.
6. Putivtseva N. P. Development of software support for a hierarchical multi-criteria procedure for assessing the quality of experts. [Text] / N.P. Putivtseva, T.V. Zaitseva, O. P. Pusnaya, S.V. Igrunova, E.V. Nesterova, E.V. Kalyuzhnaya, E.A. Zaitsev. // Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2016. – No. 16 (237) – P. 172-179.
7. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. M.: Hotline-Telecom, 2006.

8. Saati, T. Decision Making. Method of analysis of hierarchies [Text] / T. Saati. – Moscow: Radio and communication, 1993. – 278 p.
9. Skripina I.I. Expert assessment of the priority of investment objects based on the hierarchy analysis method. [Text] / I.I. Skripina, E.S. Sorokina // Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2017. – No. 9 (258) – P. 133-141.
10. Tsaregorodtsev V.G. Optimization of data preprocessing for a trained neural network: criteria for optimality of preprocessing. [Text] / V.G. Tsaregorodtsev // Materials of the XIV Intern. conf. on neurocybernetics. Rostov n / a, 2005. Vol. 2.

Скрипина Ирина Ивановна, старший преподаватель кафедры математики, физики, химии и информационных технологий

Зайцева Татьяна Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Путивцева Наталья Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Скрипин Александр Анатольевич, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Skripina Irina Ivanovna, Senior Lecturer of the Department of Mathematics, Physics, Chemistry and Information Technologies

Zaitseva Tatyana Valentinovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Putivtseva Natalya Pavlovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Skripin Alexander Anatolyevich, postgraduate student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies