

ВЕСТНИК НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал
Основан в ноябре 1999 года

Серия: Информационные технологии

2023. Том 21, № 3

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Криворогов Д. Д., Низамов Т. Д., Фазлыев А. А., Ходырев А. Н., Шушарин Д. В., Глазкова А. В.</i> Разработка сервиса для сбора и анализа отзывов на элективные дисциплины	5
<i>Марчук Ан. Г.</i> Захват волновой энергии островами	20
<i>Неведрова Н. Н., Шалагинов А. Е., Мариненко А. В., Шапаренко И. О.</i> Развитие программно-алгоритмических средств для обработки и интерпретации данных мониторинга методом электротомографии.....	32
<i>Трегубов А. С., Немцев И. С., Котельникова А. А., Доможакова Д. А.</i> Методы создания семантически ориентированных интеллектуальных помощников	46
<i>Харченко И. К., Боровской И. Г., Шельмина Е. А.</i> Модульная архитектура системы помощи водителю для эффективного распознавания дорожных знаков	56
Информация для авторов	72

V E S T N I K

NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY

Scientific Journal
Since 1999, November
In Russian

Series: Information Technologies

2023. Volume 21, № 3

CONTENTS

<i>Krivorogov D. D., Nizamov T. D., Fazlyev A. A., Hodyrev A. N., Shusharin D. V., Glazkova A. V. Developing a Service for Collecting and Analyzing Electives Reviews</i>	5
<i>Marchuk An. G. Capture of Wave Energy by Islands.....</i>	20
<i>Nevedrova N. N., Shalaginov A. E., Marinenko A. V., Shaparenko I. O. Software and Algorithmic Tools Development for Processing and Interpretation Electrotomography Monitoring Data</i>	32
<i>Tregubov A. S., Nemtsev I. S., Kotelnikova A. A., Domozhakova D. A. Methods for Developing Semantically Oriented Virtual Assistants.....</i>	46
<i>Kharchenko I. I., Borovskoy I. G., Shelmina E. A. Modular Architecture of Advanced Driver Assistance Systems for Effective Traffic Sign Recognition.....</i>	56
<i>Instructions for Contributors.....</i>	72

Editor in Chief M. M. Lavrentiev

Vice-Editor A. V. Avdeev

Executive Secretary D. P. Iksanova

Editorial Board of the Series

- I. V. Bychkov*, professor, academician (Irkutsk), *B. M. Glinsky*, professor (Novosibirsk)
A. N. Gorban, professor (Lester, GB), *E. P. Gordov*, professor (Tomsk)
B. S. Dobronets, professor (Krasnoyarsk), *A. M. Elizarov*, professor (Kazan)
G. N. Erokhin, professor (Kaliningrad), *A. I. Kamyshnikov*, professor (Khanty-Mansiysk)
G. P. Karev, professor (Maryland, USA), *N. A. Kolchanov*, professor, academician (Novosibirsk)
M. M. Lavrentjev, professor (Novosibirsk), *V. E. Malyshkin*, professor (Novosibirsk)
N. N. Mirenikov, professor (Aizu, Japan), *N. M. Oskorbin*, professor (Barnaul)
D. E. Palchunov, professor (Novosibirsk), *T. Pizansky*, professor (Ljubljana, Slovenia)
V. P. Potapov, professor (Kemerovo), *O. I. Potaturkin*, professor (Novosibirsk)
V. A. Serebryakov, professor (Moscow), *A. V. Starchenko*, professor (Tomsk)
S. I. Smagin, professor, corresponding member of RAS (Khabarovsk)
D. A. Tusupov, professor (Astana, Kazakhstan)
V. V. Shajdurov, professor, corresponding member of RAS (Krasnoyarsk)
Yu. I. Shokin, professor, academician (Novosibirsk)

*The journal is published quarterly in Russian since 1999
by Novosibirsk State University Press*

*The address for correspondence
Faculty of Information Technologies, Novosibirsk State University
1 Pirogov Street, Novosibirsk, 630090, Russia
Tel. +7 (383) 363 42 46*

E-mail address: inftech@vestnik.nsu.ru

On-line version: <http://elibrary.ru>

Научная статья

УДК 004.9

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-5-19

Разработка сервиса для сбора и анализа отзывов на элективные дисциплины

Данил Дмитриевич Криворогов¹, Тимур Дамирович Низамов²,
Альберт Айратович Фазлыев³, Арсений Николаевич Ходырев⁴,
Дмитрий Владимирович Шушарин⁵, Анна Валерьевна Глазкова⁶

Тюменский государственный университет,
Тюмень, Россия

¹danil@moad.dev,

²timmy@moad.dev

³bulatov@moad.dev

⁴seno@moad.dev, <https://orcid.org/0000-0001-7151-9852>

⁵shusharin@moad.dev

⁶a.v.glazkova@utmn.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8409-6457>

Аннотация

В данной статье приведен обзор публикаций в области анализа удовлетворенности обучающихся образовательным процессом на основе методов обработки естественного языка. Собрано 197 отзывов студентов на 129 элективных дисциплин Тюменского государственного университета. Проведен сравнительный анализ методов извлечения ключевых слов: статистических TF-IDF, RAKE и YAKE; контекстуального KeyBERT; основанного на графах TextRank. На собранных отзывах, сгруппированных по элективным дисциплинам, наибольшую F1-меру BERTScore с результатом 79 % показал метод RAKE. Путем сбора данных из открытых источников сформирован датасет с 2210 русскоязычными отзывами на курсы различных образовательных платформ. Описано обучение моделей машинного обучения для анализа тональности: метода опорных векторов, логистической регрессии и основанных на архитектуре Transformers, полученных с ресурса Hugging Face, сравнение на вручную размеченной части собранных отзывов. После дообучения модели ruBERT-base-cased macro-усредненная F1-мера показала 71,6 %. Классификация осуществляется по трем классам (негативный, нейтральный, положительный) не для всего текста отзыва, а в отдельности для каждого предложения из этого текста. Представлена реализация базы данных и информационной системы сбора и обработки отзывов студентов на изученные элективные дисциплины. Модель для анализа тональности отзыва вынесена в отдельный микросервис, связь с которым осуществляется через интерфейс свободно распространяемого Python-фреймворка FastAPI. Запущенная информационная система призвана помочь студентам выбирать элективы, опираясь на большее количество качественных данных, а преподавателям и администрации вуза – делать выводы для дальнейшей трансформации образовательного пространства, учитывая мнение обучающихся.

Ключевые слова

выделение ключевых слов, анализ тональности, отзывы студентов, индивидуальные образовательные траектории, элективные дисциплины, информационная система

Для цитирования

Криворогов Д. Д., Низамов Т. Д., Фазлыев А. А., Ходырев А. Н., Шушарин Д. В., Глазкова А. В. Разработка сервиса для сбора и анализа отзывов на элективные дисциплины // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 3. С. 5–19. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-5-19

© Криворогов Д. Д., Низамов Т. Д., Фазлыев А. А., Ходырев А. Н., Шушарин Д. В., Глазкова А. В., 2023

Developing a Service for Collecting and Analyzing Electives Reviews

Danil D. Krivorogov¹, Timur D. Nizamov², Albert A. Fazlyev³,
Arseniy N. Hodyrev⁴, Dmitrii V. Shusharin⁵, Anna V. Glazkova⁶

University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

¹danil@moad.dev,

²timmy@moad.dev

³bulatov@moad.dev

⁴seno@moad.dev, <https://orcid.org/0000-0001-7151-9852>

⁵shusharin@moad.dev

⁶a.v.glazkova@utmn.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8409-6457>

Abstract

This article provides a review of publications on the analysis of students' satisfaction with the educational process based on natural language processing methods. 197 student feedback on 129 elective disciplines at University of Tyumen was collected. A comparative analysis of keyword extraction methods was conducted: statistical TF-IDF, RAKE and YAKE; contextual KeyBERT; graph-based TextRank. On the collected reviews, grouped by elective disciplines, the RAKE method had the highest F1 BERTScore with 79 %. By parsing open sources, a dataset with 2210 Russian-language reviews for courses of different educational platforms was formed. Machine learning methods for sentiment analysis were described: support vector machines, logistic regression and based on Transformers, comparison on the manually marked part of the collected reviews. After fine-tuning on the rubert-base-based model macro-averaged F1-score became 71.6 %. Classification into three classes (negative, neutral, positive) is not performed for the whole text of the review, but separately for each sentence from that text. The implementation of a database and information system for collecting and analyzing student feedback on the studied elective courses are presented. The model for sentiment analysis of the feedback is put into a separate microservice, which is communicated through an interface of the freely distributed Python framework FastAPI. The information system is designed to help students choose electives based on more qualitative data, and teachers and university administration - to draw conclusions for further transformation of the educational space, taking into account students' opinions.

Keywords

keyword extraction, sentiment analysis, student feedback, individual learning trajectories, electives, information system

For citation

Krivorogov D. D., Nizamov T. D., Fazlyev A. A., Hodyrev A. N., Shusharin D. V., Glazkova A. V. Developing a service for collecting and analyzing electives reviews. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 3, pp. 5–19. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-5-19

Введение

В ходе государственной программы поддержки университетов Российской Федерации «Приоритет 2030» администрация ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» запланировала реализацию четырех стратегических проектов, одним из которых является «Мультипарадигмальное образование: разработка, прототипирование и апробация образовательных моделей для меняющегося рынка труда»¹. В рамках этого проекта осуществляется переход на мультипрофильное образование по модели «2+2+2», одним из основных компонентов которой являются сквозные элективные образовательные треки [1]. Каждый год студентам бакалавриата и специалитета Тюменского государственного университета необходимо выбирать элективные дисциплины из более чем 450 курсов в различных областях: от изучения кельтской мифологии до разработки интерфейсов web-приложений².

Описанная в данной статье информационная система для сбора и обработки отзывов студентов на изученные элективные дисциплины призвана помочь студентам более осознанно

¹ URL: <https://www.utmn.ru/priority2030/program/projects/multi-paradigm-education/>

² URL: <https://www.utmn.ru/obrazovanie/iot/electives/>

выбирать элективы, опираясь на большее количество качественных данных, а администрации вуза – управлять образовательным процессом на основе валидируемых данных, учитывая мнение обучающихся. Чтобы предоставлять пользователям краткую сводку по отзывам на каждый элективный курс, какими эмоциями наполнены высказывания студентов, разработанная система автоматически обрабатывает оставленные отзывы, выделяя ключевые фразы из всех текстов и определяя эмоциональные окраски предложений.

Обзор работ по тематике

Публикации по теме показывают, что разработка информационных систем для мониторинга качества образования, сбора и анализа текстовых данных является актуальным направлением в области цифровизации образовательного процесса. В исследовании [2] для сопровождения индивидуальных образовательных траекторий апробированы цифровые инструменты, отвечающие принципам объяснимого искусственного интеллекта, разработаны модели прогнозирования и выдачи рекомендаций для участников образовательного процесса на основе цифрового следа обучающихся.

В статье [3] отмечается необходимость извлечения из отзывов студентов на учебные дисциплины ключевых слов, а также анализа эмоциональной окраски. Чаще всего для решения этих задач предполагается использование методов машинного и глубокого обучения [4; 5]. Несмотря на увеличение количества данных из сферы образования, в открытых источниках отзывов на изученные дисциплины по-прежнему мало, особенно на русском языке. Постепенно проблема решается: в работе [6] описывается сбор набора данных, включающего в себя русскоязычные отзывы на массовые открытые онлайн-курсы, для решения задач анализа тональности текстов и выделения ключевых слов, однако опубликованный в открытом доступе датасет содержит в себе только тексты отзывов без указания целевого признака – тональности.

Таким образом, в предметной области учебных курсов актуальными задачами обработки естественного языка являются выделение ключевых фраз и анализ тональности отзывов.

Методы

Извлечение ключевых слов

Существующие подходы к решению задачи извлечения ключевых слов делятся на две категории: «с учителем» (*supervised learning*), т. е. предполагающие наличие набора размеченных данных, и «без учителя» (*unsupervised learning*), не предполагающие разметки данных. Поскольку получение из открытых источников набора текстов с ключевыми словами или самостоятельная разметка представляются затруднительными, задача рассмотрена в постановке, предполагающей применение методов «без учителя».

Пусть T – упорядоченное множество слов из текстов отзывов на учебные курсы. Обозначим T^* множество токенов из текстов отзывов на учебные курсы мощностью M . Назовем токеном некоторую последовательность $t \in T^*$, состоящую из слов $w \in T$, т. е. $t \in T$. Y – конечное множество весов значимости токенов $t \in T^*$.

Существует неизвестная целевая зависимость: отображение $y^*: T^* \rightarrow Y$.

Требуется построить алгоритм $a: T^* \rightarrow Y$, способный задать вес y каждому токеноу $t \in T^*$. При этом требуется найти и взять первые $N \leq M$ элементов перестановки $P_1, P_2, \dots, P_M$ такой, что веса расположились бы в порядке невозрастания:

$$y_{P1} \geq y_{P2} \geq \dots \geq y_{PM}.$$

В дальнейшем будем называть найденные первые N элементов перестановки $P_1, P_2, \dots, P_M$ *ключевыми токенами* или *ключевыми фразами*.

Методы решения данной задачи можно разделить на три группы: статистические методы, методы на основе графов и контекстуальные методы.

К статистическим подходам относят, в частности, методы TF-IDF [7], RAKE [8], YAKE [9]. Эти модели основаны только на статистике, в связи с чем они не предназначены для извлечения релевантных ключевых фраз, которые упоминаются один раз, но все же должны считаться релевантными.

К методам на основе графов относят PageRank [10], TextRank [11] и их производные. Эти методы базируются на представлении текста в виде графа, в котором, например, слова полагают вершинами, ребра соответствуют связям между словами: ребро получает более высокий вес, если эти два термина чаще встречаются в тексте рядом друг с другом. После построения графа вершины ранжируют по степени важности.

К контекстуальным методам относят KeyBERT [12], использующий предобученную на некотором большом корпусе текстов модель BERT [13] или ее производные, основанные на архитектуре Transformer, представленной в статье «Attention is all you need» [14].

Для оценки качества сгенерированного текста используют либо N-граммные подходы, такие как ROUGE [15] и BLEU [16], либо векторные представления слов для вычисления сходства между каждой лексемой эталона и каждой лексемой кандидата. Авторы работы [17] предложили вычислять оценку сходства, используя косинусную меру сходства между векторными представлениями BERT. Они предположили, что метрика, основанная на этой идее, будет лучше коррелировать с человеческими суждениями и обеспечит более высокую эффективность выбора моделей суммаризации текстов. Используя задачу обнаружения составительского перефразирования (adversarial paraphrasing task), авторы показали, что основанная на их предположении метрика BERTScore более устойчива к сложным примерам по сравнению с существующими метриками, не зависит от предметной области текста, а также не требует самостоятельной разметки набора данных.

На базе коллекции текстов, состоящей из 197 отзывов, оставленных студентами ТюмГУ посредством сервиса Microsoft Forms, сформирована неразмеченная выборка, состоящая из отзывов на 129 элективных дисциплин. В среднем в отзывах содержится 47 слов, 320 символов. Минимальное количество слов в отзыве – 2, максимальное – 222. Присутствуют незначительные опечатки. Поскольку выделение ключевых слов требуется для всех отзывов электива в целом, а не по отдельности, отзывы, число которых находится в пределах от 1 до 6, были «склеены» через запятую и приведены к нижнему регистру.

Таблица 1

Сравнение методов выделения ключевых токенов

Table 1

Comparison of keyword extraction methods

Метод	BERTScore Precision	BERTScore Recall	BERTScore F1
Natasha + TF-IDF	0,709	0,621	0,661
RAKE	0,842	0,746	0,790
YAKE	0,807	0,736	0,768
TextRank	0,795	0,676	0,730
KeyBERT	0,781	0,748	0,763

Специально для метода TF-IDF с помощью свободно распространяемой библиотеки Natasha слова лемматизированы и предварительно очищены от пунктуации и стоп-слов из библиотеки NLTK. Для метода KeyBERT использована предобученная модель обработки рус-

скоязычных текстов DeepPavlov/rubert-base-cased-conversational³. На подготовленной тестовой выборке осуществлено сравнение методов TF-IDF, RAKE, YAKE, TextRank, KeyBERT по метрикам BERTScore, использующим предобученную мультиязычную модель bert-base-multilingual-cased⁴ (табл. 1).

Для выделения ключевых слов в отзывах на элективные дисциплины, согласно проведенному анализу, наиболее целесообразно использовать метод RAKE.

Анализ тональности отзывов

Задача анализа тональности текстов (sentiment analysis) рассмотрена в постановке, предполагающей использование методов «с учителем».

Пусть X – множество фрагментов текстов отзывов на учебные курсы (объектов), Y – конечное множество эмоциональных окрасок: негативная, нейтральная, положительная. Существует неизвестная целевая зависимость: отображение $y^*: X \rightarrow Y$, значения известны только на обучающей выборке $X_m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$. Требуется построить алгоритм $a: X \rightarrow Y$, способный классифицировать произвольный объект $x \in X$.

Рассматриваются именно фрагменты текстов, поскольку отзывы могут включать в себя разные аспекты прохождения курсов, которые, в свою очередь, могут сопровождаться различными эмоциональными окрасками.

Для валидации и тестирования моделей машинного обучения собрана и размечена выборка, содержащая 143 предложения из 60 реальных отзывов студентов ТюмГУ на изученные ими элективы. В разметке выборки приняло участие 5 добровольцев, каждый дал свою оценку каждому предложению: «-1» – предложение негативное, «0» – нейтральное, «1» – позитивное. Результирующей оценкой является мода. В итоге имеется 59 нейтральных записей, 50 положительных и 34 негативных.

Обучающая выборка собрана из текстов, полученных из открытых источников и близких к выбранной предметной области, а именно из отзывов на контент сторонних образовательных платформ. Получено 495 записей с ресурса «Сравнятор»⁵, на котором размещены отзывы на курсы по IT, дизайну, аналитике, менеджменту и иностранным языкам, каждая из записей обладает выделенными «достоинствами», «недостатками» и «впечатлениями». «Достоинства» курсов, если они длиннее 60 символов (встречаются записи «Не выявлено») и сопровождаются оценками «4» и «5», приняты за положительные записи, «недостатки», если длиннее 60 символов и сопровождаются оценками «1» и «2», – за негативные. «Впечатления» от курсов, если сопровождаются оценкой «5», считаются положительными записями, если оценки «1» и «2» – за негативные. Из сервиса «Курсатор»⁶ получено 693 отзыва, каждая запись изначально сопровождается эмоциональной окраской. Также использован 241 отзыв, опубликованный на ресурсе о высших учебных заведениях России «Типичный абитуриент»⁷, которые имеют разметку по эмоциональной окраске. В число нейтральных записей могут входить описания содержания курса без использования эмоционально окрашенной лексики, поэтому в качестве объектов нейтрального класса также используются аннотации 399 модулей учебного плана, размещенных в ИС «Modeus» (табл. 2).

Так как некоторые записи содержат более 512 токенов, из-за чего не могут быть полностью обработаны моделями машинного обучения без использования высокопроизводительных систем, все отзывы были разбиты на тексты по 8 (и менее) предложений. Чтобы избежать

³ URL: <https://huggingface.co/DeepPavlov/rubert-base-cased-conversational>

⁴ URL: <https://huggingface.co/bert-base-multilingual-cased>

⁵ URL: <https://journal.tinkoff.ru/sravnyator/courses/>

⁶ URL: <https://coursator.online/>

⁷ URL: <https://tabiturient.ru/>

Таблица 2

Характеристики собранной обучающей выборки

Table 2

Characteristics of the collected training sample

Данные	Негативный	Нейтральный	Позитивный	ВСЕГО
Достоинства и недостатки	47	0	406	453
Впечатления	52	27	345	424
Отзывы на курсы	280	53	360	693
Отзывы на вузы	100	44	97	241
Описания МУП	0	399	0	399
ИТОГО	479	523	1208	2210

влияние дисбаланса объектов различных классов на качество классификации и распределение объектов было близко к равномерному, были продублированы 500 случайных нейтральных записей и 700 случайных негативных.

Рассмотрим решение поставленной задачи с помощью классических методов классификации текстов, а именно логистической регрессии и метода опорных векторов, векторизации с помощью меры TF-IDF.

Предварительно слова в текстах отзывов необходимо лемматизировать, для чего использована свободно распространяемая библиотека для обработки русского языка Natasha, и очистить от стоп-слов (предлоги, частицы, союзы) с помощью свободно распространяемой библиотеки NLTK. С помощью класса Pipeline из свободно распространяемой библиотеки Scikit-learn были построены конвейеры (пайплайны), состоящие из модулей CountVectorizer, TfidfTransformer и классификатора из той же библиотеки. Всего построено три пайплана: с моделью LogisticRegression, моделями SVC с линейным ядром (Linear) и ядром радиальной базисной функции (RBF).

Качество работы обученных классификаторов на тестовой выборке оценено с помощью метрик Precision, Recall, macro averaging F1-score (табл. 3).

Таблица 3

Оценки качества классификации

Table 3

Classification quality assessments

Модель	Precision	Recall	F1-score (macro)
Логистическая регрессия	0,585	0,562	0,564
Метод опорных векторов (ядро RBF)	0,511	0,512	0,502
Метод опорных векторов (линейное ядро)	0,455	0,458	0,454

Поскольку одно и то же слово в зависимости от контекста может иметь разную эмоциональную окраску, необходимо обратить внимание на методы, учитывающие контекст слов в предложениях, например, на архитектуру Transformer.

При работе с моделями, основанными на архитектуре Transformer, лемматизация и очистка от стоп-слов не произведена, чтобы сохранить изначальные связи внутри предложений. На ресурсе Hugging Face представлен широкий спектр моделей обработки естественных языков. На тестовой выборке проверены русскоязычные модели RuBERT [18], предобученные на различных наборах данных. Сравнение моделей, продемонстрировавших наивысшие метрики, представлено в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение предобученных моделей по метрикам классификации

Table 4

Comparison of pre-trained models by classification metrics

Модель	Precision	Recall	F1-score (macro)
cointegrated/rubert-tiny-sentiment-balanced	0,607	0,607	0,522
blanchefort/rubert-base-cased-sentiment	0,551	0,488	0,493
blanchefort/rubert-base-cased-sentiment-rusentiment	0,733	0,576	0,580
blanchefort/rubert-base-cased-sentiment-rureviews	0,726	0,653	0,667

Модель blanchefort / rubert-base-cased-sentiment-rureviews⁸ показала наилучшую метрику, поэтому она выбрана для дальнейшего дообучения (fine-tuning) на вышеупомянутой обучающей выборке.

Выбранная модель обучена на автоматически аннотируемом наборе данных для анализа тональности отзывов о товарах из категории «Женская одежда и аксессуары» с самым высоким рейтингом на русском языке, представленной в исследовании [19]. В качестве оценки класса использовались оценки пользователей по 5-балльной шкале, преобразованные в 3-балльную шкалу путем объединения оценок «1» и «2» в «отрицательный» класс, а «3» и «5» – в «положительный». Предметная область датасета не соответствует предметной области учебных курсов. Для того чтобы модель лучше анализировала тональность предложений текстов отзывов на элективные дисциплины, реализовано дообучение на собранной обучающей выборке.

Для обработки текста использован токенизатор предобученной модели с включенными параметрами truncation и padding. Во избежание влияния дисбаланса различных классов в дополнение к дублированию объектов используется взвешивание, обратно пропорциональное количеству объектов класса, которое применяется в кросс-энтропийной функции потерь. Гиперпараметры класса Trainer из свободно распространяемой библиотеки Transformers, базирующегося на свободно распространяемом фреймворке для машинного обучения PyTorch, инициализировались со следующими значениями: *num_train_epochs* (количество эпох) = 6, *learning_rate* (скорость обучения) = $2e-5$, *batch_size* (размер подвыборки) = 16, *weight_decay*

⁸ URL: <https://huggingface.co/blanchefort/rubert-base-cased-sentiment-rureviews>

Таблица 5

Метрики по каждой эпохе дообучения модели

Table 5

Metrics for each epoch of model fine-tuning

Epoch	Training Loss	Validation Loss	Precision	Recall	F1-score
1	0,201100	2,040689	0,648719	0,654869	0,602710
2	0,010800	1,842934	0,654907	0,659860	0,657011
3	0,000400	1,949624	0,697604	0,711698	0,697876
4	0,000000	2,034862	0,716402	0,731306	0,715833
5	0,000000	2,144002	0,708814	0,721502	0,707276
6	0,000000	2,160855	0,707006	0,721502	0,706937

Таблица 6

Сравнение предобученной модели с дообученной

Table 6

Comparison of a pre-trained model with a fine-tuned one

Модель	Precision	Recall	F1-score (macro)
blanchefort/rubert-base-cased-sentiment-rureviews	0,726	0,653	0,667
seninoseno/rubert-base-cased-sentiment-study-feedbacks-solyanka	0,716	0,731	0,716

(смещение веса) = 0,001. Изменение функции потерь, точности, полноты и F1-меры (macro) в процессе дообучения на 6 эпохах представлено в табл. 5.

Поскольку наивысшее значение F1-меры (macro) на валидационной выборке достигнуто после 4 эпохи дообучения, для использования в приложении на ресурс Hugging Face модель выгружена именно в этом состоянии (табл. 6).

Реализация

Для функционирования сервиса для сбора и анализа отзывов разработана база данных, основными сущностями в которой являются:

- User – пользователь;
- Elective – электив;
- Feedback – отзыв.

Вспомогательные сущности:

- AnotherCourse – дисциплина, не входящая в блок элективов;
- Prerequisite – предусловие для прохождения электива;
- Program – направление обучения пользователя;
- Department – институт (подразделение) пользователя;
- Complain – жалоба пользователя на отзыв;
- Vote – оценка пользователем отзыва;

- Author – автор электива;
- Section – тематическая секция электива;
- Minor – майнор образовательного трека;
- Notification – оповещение пользователя.

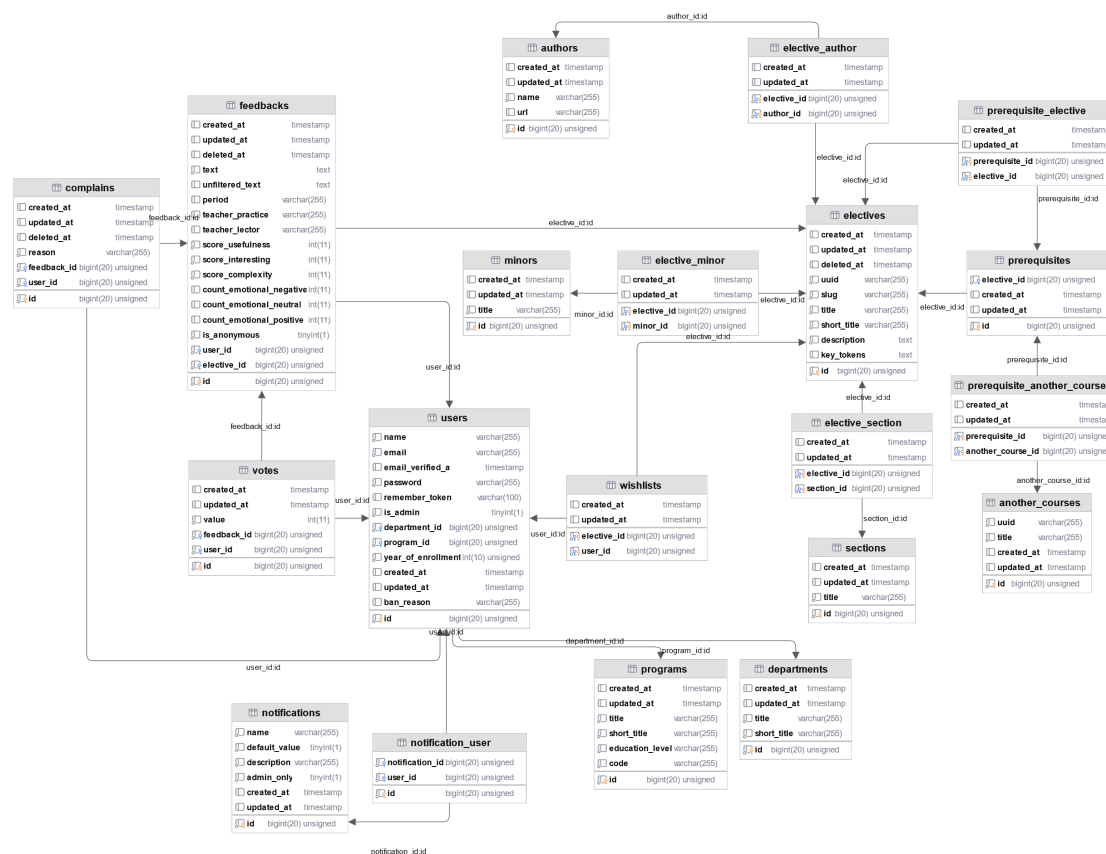


Рис. 1. Диаграмма физической модели базы данных

Fig. 1. Diagram of the physical database model

Реализованы связи один-ко-многим (рис. 1) между сущностями: Elective-Feedback, Elective-Prerequisite, User-Feedback, Department-User, Program-User. Связи многие-ко-многим между сущностями: Feedback-User (Votes, Complains), Elective-User (Wishlists), Elective-Minor, Elective-Section, Elective-Author, Prerequisite-Elective, Prerequisite-AnotherCourse, User-Notification.

Реализация сервиса осуществляется на базе свободно распространяемого PHP-фреймворка Laravel 10.0, который поддерживает паттерн MVC «Модель – Представление – Контроллер». Паттерн MVC лег в основу архитектуры приложения, схематично представленную на рис. 2.

Микросервис по определению эмоциональных окрасок предложений разработан на базе свободно распространяемого Python-фреймворка FastAPI. При запуске микросервиса инициализируется дообученная в ходе работы и опубликованная на ресурсе Hugging Face модель классификации текстов `seninoseno / rubert-base-cased-sentiment-study-feedbacks-solyanka`⁹.

При получении GET-запроса, содержащего отзыв, текст разбивается на предложения с помощью свободно распространяемой библиотеки `razdel`, для каждого предложения определяет-

⁹ URL: <https://huggingface.co/seninoseno/rubert-base-cased-sentiment-study-feedbacks-solyanka>

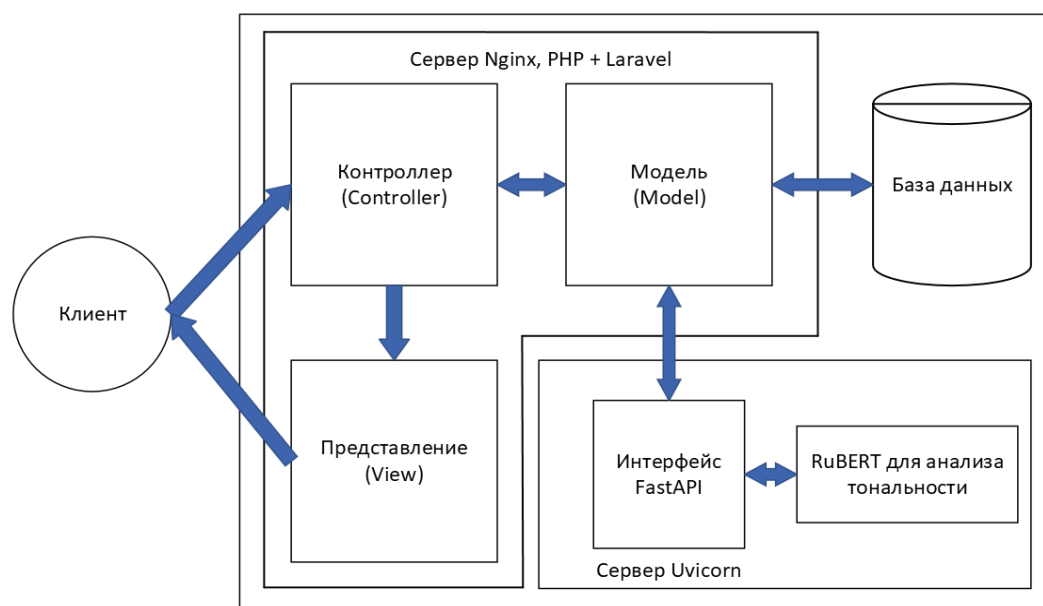


Рис. 2. Схема архитектуры приложения
Fig. 2. Application architecture diagram

ся класс («негативный», «нейтральный», «положительный»), на выход в качестве ответа на запрос поступает словарь из переменных-счетчиков по каждому классу.

Модуль для выделения ключевых токенов реализован в виде PHP-класса KeyTokenizer, использующего в качестве готовой реализации метода RAKE свободно распространяемую библиотеку DonatelloZa\JakePlus\JakePlus¹⁰. Используются следующие настройки: язык для выбора библиотеки стоп-слов (русский), минимальная длина ключевой фразы (2 слова), флаг для игнорирования чисел (true). На выход подается строка перечисленных через запятую первых 5 ключевых фраз (по весу), если выделен хотя бы один ключевой токен, иначе – null.

При сохранении состояния модели отзыва осуществляется взаимодействие с разработанными модулями: при создании и редактировании происходит обращение к микросервису по определению эмоциональных окрасок. Когда отзыв создан, отредактирован или удален, с помощью модуля KeyTokenizer у соответствующего электива обновляется список ключевых токенов.

Функционал сервиса предоставляет пользователям следующие возможности.

- Просмотр списка элективов с пагинацией и возможностью поиска, фильтрации (по авторам, по майнорам, по направлениям) и сортировки (по дате добавления отзывов, по названию, по количеству добавления в избранные, по количеству отзывов, по оценке полезности, по оценке интересности, по оценке легкости, по среднему эмоциональности предложений).
- Просмотр элективов, включая описание, перечень авторов, тематики, майноры, предусловия, отзывы и результаты анализа: ключевые токены, средние значения оставленных оценок и эмоциональных окрасок предложений в текстах.
- Добавление отзывов на элективы авторизованными через корпоративную почту студентами, а также редактирование, удаление собственных отзывов.
- Подача жалоб и оценка отзывов авторизованными пользователями.
- Подписка на уведомления по электронной почте о жалобах и блокировках.

¹⁰ URL: <https://github.com/Donatello-za/rake-php-plus>

- Рассмотрение администраторами жалоб на отзывы с возможными исходами: принять жалобу и удалить отзыв; принять жалобу и заблокировать автора отзыва; отклонить жалобу.

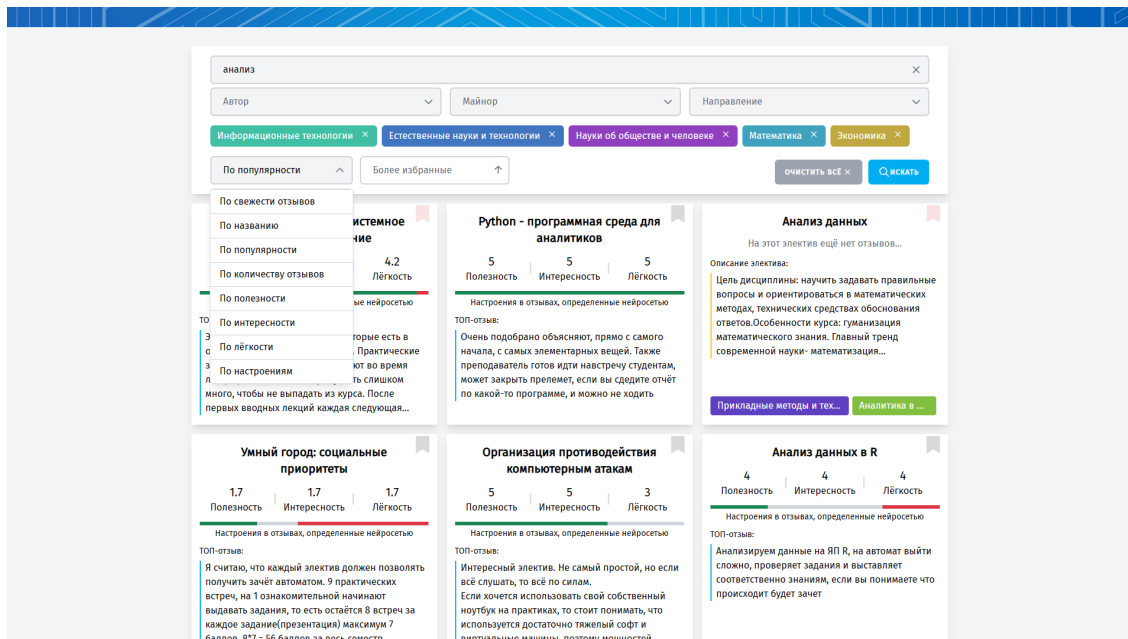


Рис. 3. Блок главной страницы с поиском, фильтрацией и сортировкой элективов
 Fig. 3. The block of the main page with search, filtering and sorting of electives

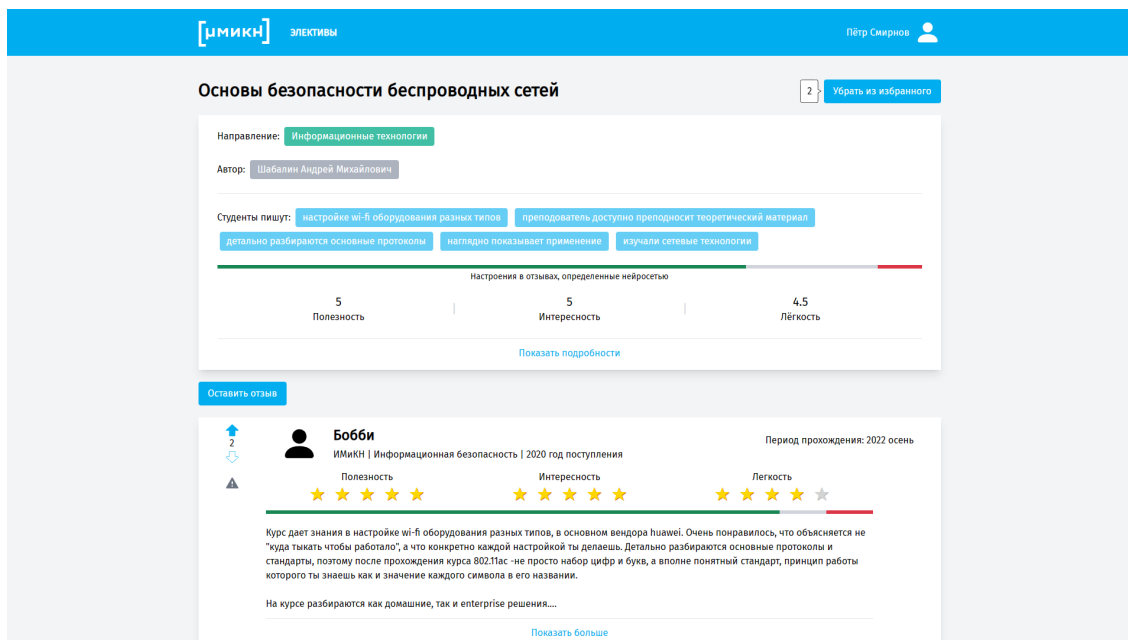


Рис. 4. Страница отдельного электива
 Fig. 4. The page of an elective

Пользовательский интерфейс разработан с помощью стека технологий TALL - Tailwind CSS, Alpine.js, Laravel, Livewire, адаптирован под мобильные устройства, имеет возможность включения темной темы оформления и включает в себя:

- главный экран (рис. 3), на котором размещен перечень элективов с возможностью, поиска, фильтрации и сортировки;
- страницу электива (рис. 4), на которой отображаются все отзывы на соответствующую дисциплину, сведения о курсе, общая шкала эмоциональных окрасок (настроений) и список ключевых фраз;
- страницу добавления и редактирования отзыва;
- личный кабинет пользователя с настройками профиля и уведомлений, возможностью просмотра избранных элективов и оставленных отзывов;
- администраторский раздел с возможностью рассмотрения жалоб.

Для удобного развертывания приложения на выделенном сервере используются технологии контейнеризации и оркестрации программного обеспечения Docker и Docker-compose. Составные части архитектуры приложения распределены по взаимодействующим между собой контейнерам, представляющим собой виртуальные среды для упаковки кода и зависимостей: PHP (Backend + Frontend), Python (FastAPI + Transformers), Nginx, MariaDB.

Рекомендуемые системные требования для функционирования системы:

- CPU с 4 логическими ядрами;
- 4 GB оперативной памяти;
- 64 GB дискового пространства.

Заключение

В ходе работы разработан сервис сбора отзывов на элективные дисциплины с выделением ключевых слов и определением эмоциональной окраски предложений оставляемых текстов. Изучена предметная область, собраны необходимые данные, осуществлено обучение и сравнительный анализ моделей машинного обучения, в рамках архитектуры приложения разработаны модули для выделения ключевых токенов и определения эмоциональной окраски предложений текстов отзывов обучающихся. При решении задачи классификации предложений в отзывах студентов на элективные курсы по эмоциональной окраске наивысшую метрику показали модели классификации на базе архитектуры Transformers, тогда как для выделения ключевых токенов метрика оказалась выше у статистического метода RAKE. Разработано и опубликовано в сети Интернет веб-приложение для сбора отзывов и представления результатов анализа собранных текстов.

Как показал опыт внедрения минимально жизнеспособной версии сервиса, требуется автоматизация проверки текстов отзывов на наличие оскорбительных высказываний. Совместно с Управлением индивидуальных образовательных траекторий и Центром информационных технологий ТюмГУ осуществляется внедрение сервиса в цифровую среду университета. В перспективе разработанный продукт может использоваться другими университетами, переходящими на индивидуальные образовательные траектории.

Список литературы

1. **Федорова Н. К.** Индивидуализация образования: модель Тюменского государственного университета / Н.К. Федорова // EdCrunch Томск: Материалы международной конференции по новым образовательным технологиям, 29–31 мая 2019 года. Томск: ИД Томского гос. ун-та, 2019. С. 301–305.

2. **Захарова И. Г.** Сопровождение индивидуальных образовательных траекторий на основе концепции объяснимого искусственного интеллекта / И. Г. Захарова, М. С. Воробьева, Ю. В. Боганюк // Образование и наука. 2022. Т. 24. № 1. С. 163–190. DOI 10.17853/1994-5639-2022-1-163-190. – EDN IOBYEJ.
3. **Gottipati S., Shankararaman V., Lin J. R.** Text analytics approach to extract course improvement suggestions from students' feedback. *Res Pract Technol Enhanc Learn*. 2018;13(1):6. DOI: 10.1186/s41039-018-0073-0
4. **Shejwal S., Deokar T., Dumbre B.** Analysis of Student Feedback using Deep Learning. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 2019. 8. P. 161–164. DOI: 10.7753/IJCATR0805.1004
5. **Кирина М. А.** Автоматическая оценка впечатлений обучающихся методами анализа тональности (на материале отзывов на онлайн-курсы на русском и английском) / М. А. Кирина, Л. Д. Тельнина // Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (DHTE 2022): Сб. ст. III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 17–18 ноября 2022 года / Под ред. В. В. Рубцова, М. Г. Сороковой, Н. П. Радчиковой. Москва: Московский гос. психолого-педагогический ун-т, 2022. С. 355–374. EDN VJVKLU.
6. **Дюличева Ю.** Датасет для анализа русскоязычных отзывов на MOOK, извлеченных с платформы Stepik. // Вопросы образования / Educational Studies Moscow, вып. 4 (декабрь), 2022. С. 298–321. DOI: 10.17323/1814-9545-2022-4-298-321.
7. **Jones K. S.** A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // *Journal of Documentation : journal*. MCB University: MCB University Press, 1972. Vol. 28, no. 1. P. 11–21. DOI: 10.1108/00220410410560573
8. **Stuart R., Dave E., Nick C., Wendy Cowley**, Automatic Keyword Extraction from Individual Documents. March 2010. DOI:10.1002/9780470689646.ch1. In book: Text Mining: Applications and Theory, p.1 - 20. DOI: 10.1002/9780470689646.ch1
9. **Campos R., Mangaravite V., Pasquali A., Alípio Mário Jorge, Célia Nunes, Adam Jatowt**, YAKE! Collection-Independent Automatic Keyword Extractor. Conference paper. DOI: 10.1007/978-3-319-76941-7_80
10. **Lawrence Page, Sergey Brin, Rajeev Motwani, Terry Winograd**. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. 1998.
11. **Rada Mihalcea, Paul Tarau**. TextRank: Bringing Order into Texts. Department of Computer Science University of North Texas.
12. **Sharma, P., Li, Y.** (2019). Self-Supervised Contextual Keyword and Keyphrase Retrieval with Self-Labeling. Aug. 2019, DOI: 10.20944/preprints201908.0073.v1
13. **Devlin Jacob, Chang Ming-Wei, Lee Kenton, Toutanova Kristina**. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. 11 October 2018
14. **Vaswani, A.** Attention is All You Need / Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkorei, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin // NIPS, 2017
15. **Lin, Chin-Yew**. 2004. ROUGE: a Package for Automatic Evaluation of Summaries. In *Proceedings of the Workshop on Text Summarization Branches Out (WAS 2004)*, Barcelona, Spain, July 25–26, 2004.
16. **Papineni, Kishore; Roukos, Salim; Ward, Todd; Zhu, Wei-Jing** (2001). “BLEU”. *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics - ACL '02*. Morristown, NJ, USA: Association for Computational Linguistics. DOI:10.3115/1073083.1073135
17. **Tianyi Zhang**. BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT. // Tianyi Zhang, Varsha Kishore, Felix Wu, Kilian Q. Weinberger, Yoav Artzi.
18. **Kurатов Y., Arkhipov M.** Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for russian language. 2019.

19. **Smetanin S., Komarov M.** Sentiment Analysis of Product Reviews in Russian using Convolutional Neural Networks, 2019 IEEE 21st Conference on Business Informatics (CBI), 2019, P. 482–486, DOI: 10.1109/CBI.2019.00062

References

1. **Fedorova N. K.** Individualizatsiya obrazovaniya: model' Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta / N.K. Fedorova // EdCrunch Tomsk : Materialy mezhdunarodnoi konferentsii po novym obrazovatel'nym tekhnologiyam, 29-31 maya 2019 goda. – Tomsk: Izdatel'skii Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2019. – p. 301-305 (in Russ).
2. **Zakharova I. G., Vorobeva M. S., Boganyuk Yu. V.** Support of individual educational trajectories based on the concept of explainable artificial intelligence. The Education and Science Journal. 2022; 24 (1): p.163–190. (In Russ.) DOI: 10.17853/1994-5639-2022-1-163-190
3. **Gottipati S., Shankararaman V., Lin J. R.** Text analytics approach to extract course improvement suggestions from students' feedback. Res Pract Technol Enhanc Learn. 2018;13(1):6. DOI: 10.1186/s41039-018-0073-0.
4. **Shejwal S., Deokar T., Dumbre B.** Analysis of Student Feedback using Deep Learning. International Journal of Computer Applications Technology and Research, 2019. 8. p.161–164. DOI: 10.7753/IJCATR0805.1004.
5. **Kirina M. A.** Avtomaticheskaya otsenka vpechatlenii obuchayushchikhsya metodami analiza tonal'nosti (na materiale otzyvov na onlain-kursy na russkom i angliiskom) / M. A. Kirina, L. D. Tel'nina // Tsifrovaya gumanitaristika i tekhnologii v obrazovanii (DHTE 2022) : Sbornik statei III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Moskva, 17–18 noyabrya 2022 goda / Pod redaktsiei V.V. Rubtsova, M.G. Sorokovoi, N.P. Radchikovoi. Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi psikhologo-pedagogicheskii universitet, 2022. P. 355–374. EDN VJVKLK. (In Russ.)
6. **Dyulicheva Yu. Tu.** Dataset dlya analiza russkoyazychnykh otzyvov na MOOK, izvlechennykh s platformy Stepik [Dataset for Analysis of Russian-Language Reviews on MOOCs Expected from Stepik]. Voprosy obrazovaniya / Educational Studies Moscow, no. 4. P. 298–321. (In Russ.) DOI: 10.17323/1814-9545-2022-4-298-321
7. **Jones K. S.** A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // Journal of Documentation : journal. MCB University: MCB University Press, 1972. Vol. 28, no. 1. P. 11–21. DOI: 10.1108/00220410410560573
8. **Stuart R., Dave E., Nick C., Wendy Cowley,** Automatic Keyword Extraction from Individual Documents. March 2010. DOI:10.1002/9780470689646.ch1. In book: Text Mining: Applications and Theory, p. 1–20. DOI: 10.1002/9780470689646.ch1
9. **Campos R., Mangaravite V., Pasquali A., Alípio Mário Jorge, Célia Nunes, Adam Jatowt,** YAKE! Collection-Independent Automatic Keyword Extractor. Conference paper. DOI: 10.1007/978-3-319-76941-7_80
10. **Lawrence Page, Sergey Brin, Rajeev Motwani, Terry Winograd.** The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. 1998.
11. **Rada Mihalcea, Paul Tarau.** TextRank: Bringing Order into Texts. Department of Computer Science University of North Texas.
12. **Sharma, P., Li, Y.** (2019). Self-Supervised Contextual Keyword and Keyphrase Retrieval with Self-Labeling. Aug. 2019, DOI: 10.20944/preprints201908.0073.v1
13. **Devlin Jacob, Chang Ming-Wei, Lee Kenton, Toutanova Kristina.** BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. 11 October 2018
14. **Vaswani, A.** Attention is All You Need / Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkorei, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin // NIPS, 2017

15. **Lin, Chin-Yew.** 2004. ROUGE: a Package for Automatic Evaluation of Summaries. In Proceedings of the Workshop on Text Summarization Branches Out (WAS 2004), Barcelona, Spain, July 25 - 26, 2004.
16. **Papineni, Kishore; Roukos, Salim; Ward, Todd; Zhu, Wei-Jing** (2001). "BLEU". Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics - ACL '02. Morristown, NJ, USA: Association for Computational Linguistics. DOI:10.3115/1073083.1073135
17. **Tianyi Zhang.** BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT. // Tianyi Zhang, Varsha Kishore, Felix Wu, Kilian Q. Weinberger, Yoav Artzi.
18. **Kurатов Y., Arkhipov M.** Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for russian language. 2019.
19. **Smetanin S., Komarov M.** Sentiment Analysis of Product Reviews in Russian using Convolutional Neural Networks, 2019 IEEE 21st Conference on Business Informatics (CBI), 2019, p. 482-486, DOI: 10.1109/CBI.2019.00062

Информация об авторах

Криворогов Данил Дмитриевич, студент Института математики и компьютерных наук Тюменского государственного университета

Низамов Тимур Дамирович, студент Института математики и компьютерных наук Тюменского государственного университета

Фазлыев Альберт Айратович, студент Института математики и компьютерных наук Тюменского государственного университета

Ходырев Арсений Николаевич, студент Института математики и компьютерных наук Тюменского государственного университета

Шушарин Дмитрий Владимирович, студент Института математики и компьютерных наук Тюменского государственного университета

Глазкова Анна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения Тюменского государственного университета

Information about the Authors

Krivorogov Danil Dmitrievich, Student, Institute of Mathematics and Computer Sciences, University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Nizamov Timur Damirovich, Student, Institute of Mathematics and Computer Sciences, University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Fazlyev Albert Airatovich, Student, Institute of Mathematics and Computer Sciences, University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Hodyrev Arseniy Nikolaevich, Student, Institute of Mathematics and Computer Sciences, University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Shusharin Dmitrii Vladimirovich, Student, Institute of Mathematics and Computer Sciences, University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Glazkova Anna Valerevna, Cand. Sc. (Technology), Associate Professor, Department of Software, University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 14.03.2023;

одобрена после рецензирования 04.09.2023; принята к публикации 04.09.2023

The article was submitted 14.03.2023;

approved after reviewing 04.09.2023; accepted for publication 04.09.2023

Научная статья

УДК 551.466.62

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-20-31

Захват волновой энергии островами

Андрей Гурьевич Марчук

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск, Россия

Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

mag@omzg.sccc.ru

Аннотация

В работе исследуется процесс захвата волновой энергии островом, вокруг которого дно имеет коническую форму. Кинематика изначально прямолинейного волнового фронта около такого острова была исследована методом пошагового ортогонального продвижения. Получена оценка доли волновой энергии, которая из-за рефракции захватывается донным склоном, окружающим остров. Проведено также численное моделирование этой же задачи в рамках модели мелкой воды, которое подтвердило результаты, полученные кинематическим методом, в том числе и количественную оценку части волновой энергии, отраженной островом и захваченной его наклонным шельфом. Показано, что острова, окруженные донным склоном, хорошо экранируют акваторию, расположенную за таким островом.

Ключевые слова

волна цунами, кинематика волновых лучей и фронтов, численное моделирование цунами

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (0315-2019-0004).

Для цитирования

Марчук А. Г. Захват волновой энергии островами // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 3. С. 20–31. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-20-31

Capture of Wave Energy by Islands

Andrey G. Marchuk

Institute of computational mathematics and mathematical geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

Novosibirsk state university,
Novosibirsk, Russia

mag@omzg.sccc.ru

Abstract

The process of capturing wave energy by an island around which the bottom has a conical shape is studied. The kinematics of the initially straight wave front near such an island was investigated by the method of step-by-step orthogonal advancement. An estimate of the part of wave energy that due to refraction is captured by the bottom slope surrounding

© Марчук А. Г., 2023

the island was obtained. Numerical modeling of this problem was also carried out within the framework of the shallow-water model, which confirmed the results obtained by the kinematic method, including a quantitative assessment of the part of the wave energy reflected by the island and captured by its inclined shelf. It is shown that the islands surrounded by the bottom slope well shield the water area located behind such an island.

Keywords

Tsunami wave, kinematics of wave rays and fronts, numerical modeling of tsunami

Acknowledgements

This work was carried out under state contract with ICMMG SB RAS (0315-2019-0004)

For citation

Marchuk A. G. Capture of wave energy by islands. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 3, pp. 20–31. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-20-31

Введение

Волна цунами по своим характеристикам относится к категории длинных волн, длина которых на порядок превышает глубину, а ее высота при распространении в глубокой акватории на порядок или два меньше глубины. Динамика таких волн хорошо описывается системой уравнений мелкой воды [1].

Как показано в [2], склон океанического дна способен за счет рефракции захватывать волновую энергию цунами, направляя волны к береговой линии. Обычно глубина океана в непосредственной близости к острову значительно меньше, чем в открытом океане, хотя не исключены случаи очень резкого роста глубины сразу от линии уреза. Далее будем полагать, что рост глубины происходит достаточно постепенно и ширина этого склона дна существенно превышает длину волны цунами. Поэтому прямолинейный фронт волны цунами в процессе приближения к острову претерпевает значительные искривления, что влечет за собой атаку цунами на береговую линию острова практически со всех сторон (а не только с той, откуда двигалась волна цунами). При указанном соотношении ширины донного склона и длины волны применимо лучевое приближение для исследования процесса рефракции волны [3].

1. Постановка задачи

Такая задача рассматривалась многими исследователями, и имеется ряд публикаций на этот счет [4–6]. Процесс трансформации изначально плоской волны, приближающейся к осесимметричному (круглому) острову, с помощью различных методов исследован в [4], где для случая конического рельефа дна использованы приближенные аналитические формулы для амплитуды рефрагированных волн. Приведем некоторые результаты этой работы.

На рис. 1, взятом из [4], схематически изображен конический остров в области с постоянной глубиной, при этом в некоторой окрестности острова глубина линейно возрастает при удалении от береговой черты до максимального значения h_1 . Слева к острову приближается волна, профиль которой приведен здесь же на рисунке. Линия уреза представляет собой окружность радиусом r_0 , а склон дна заканчивается на расстоянии r_2 от центра острова. Угол θ выражает азимут так, как это изображено в верхней части рис. 1 ($\theta = 0$ исходное направление движения волны).

В статье с помощью приближенного решения для гармонических волн найдено состояние водной поверхности для различных длин волн и моментов времени. Вместе с этим на лабораторной установке (в бассейне) было проведено гидравлическое моделирование этой задачи. На рис. 2, также взятом из публикации [4], приводится сравнение амплитуд волн вдоль береговой линии острова для различных длин и периодов падающей волны. Здесь параметр β определяет относительную (по сравнению с радиусом острова) длину волны.

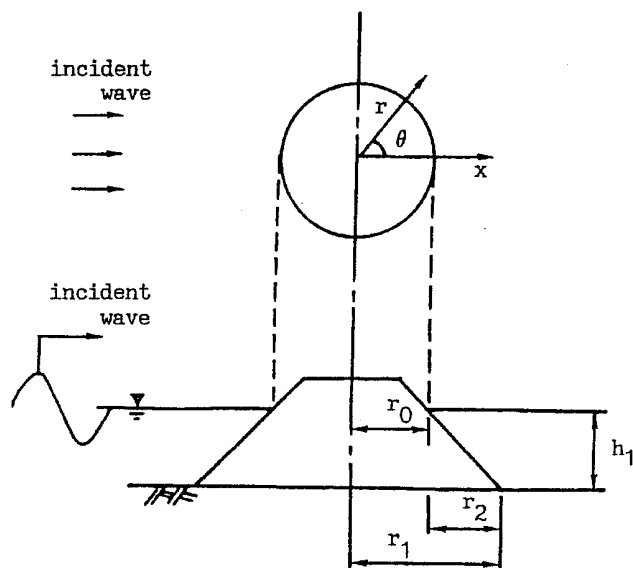


Рис. 1. Схема задачи о рефракции волны у конического острова [4].

Волна приближается к острову с левой стороны

Fig. 1. Diagram of the wave refraction problem near a conical island [4].

The wave is approaching the island on the left side

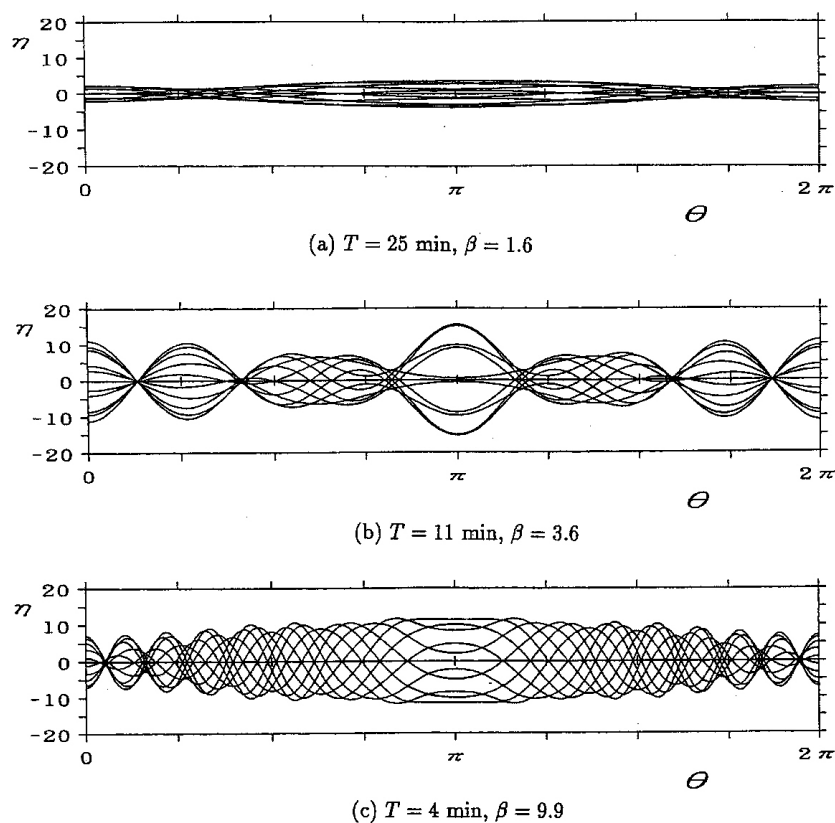


Рис. 2. Распределение высот волн по периметру острова для различных длин волн [4].

Угол π соответствует центру фронтальной части острова

Fig. 2. Distribution of wave heights along the island's perimeter for different wavelengths [4].

The angle value π corresponds to the center of the frontal part of the island

Локальные максимумы амплитуды во фронтальной части береговой линии ($\theta = \pi$) и в тыловой части ($\theta = 0$) объясняются столкновением рефрагированных волн сразу за островом (рис. 2, *a, b*). Направление движения волн можно проследить на рис. 3 по волновым лучам, построенным путем численного решения дифференциальных уравнений волнового луча [7]:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \nabla \ln \left(\frac{1}{c(\vec{x})} \right), \quad \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{p} \cdot c^2(\vec{x}), \quad (1)$$

где $\vec{x} = (x, y, t)$ – текущее положение точки на волновом луче, $\vec{p}$ – вектор направления волнового луча, совпадающий с нормалью к волновому фронту, $c(x, y)$ – скорость распространения волн.

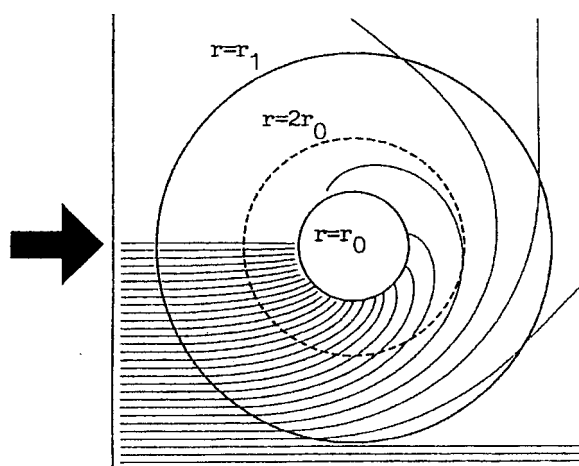


Рис 3. Картина рефракции волновых лучей над донным склоном около круглого острова [4].

Значения параметров r_0 и r_1 можно видеть на рис. 1

Fig. 3. Refraction of wave rays over the bottom slope near the round island [4].

The meaning of parameters r_0 and r_1 can be seen in Fig. 1

Изменение направления волновых лучей зависит от ширины склона дна около острова и предельной глубины, но, как правило, за тыльной частью острова происходит столкновение рефрагированных волн, обходящих остров с разных сторон. На рис. 3 изображены волновые лучи для волны, огибающей остров снизу (в соответствии с рисунком).

Рассмотрим кинематику волнового фронта изначально плоской волны цунами в той же постановке задачи, что и в работе [4]. Вокруг круглого острова с радиусом r_0 глубина линейно возрастает от нуля до некоторого максимального значения (на удалении r_1 от центра острова). Такой рельеф схематически изображен на рис.1. Эта задача численно решалась с помощью метода пошагового ортогонального продвижения волнового фронта, описанного в [8].

2. Расчет кинематики цунами методом ортогонального продвижения волнового фронта

В работе [7] исследуются свойства уравнения эйконала, описывающего поведение волнового фронта в неоднородной среде, и показывается, что при любом распределении скорости в среде точки фронта волны всегда двигаются в ортогональном к линии фронта направлении со скоростью, соответствующей проводимости среды в данной точке. В случае цунами эта скорость зависит только от глубины D и определяется формулой Лагранжа [1]:

$$c = \sqrt{gD}, \quad (2)$$

где g – ускорение силы тяжести. Там же вводится понятие волновых лучей, о которых шла речь выше и которые представляют собой кривые, всё время ортогональные к волновому фронту. Именно на этих свойствах волновых фронтов и лучей базируется численный метод пошагового ортогонального продвижения точек волнового фронта, к краткому описанию которого мы переходим.

Рассмотрим прямоугольную расчетную область, где в каждой точке известна скорость распространения волны $c(x, y)$, $0 < x < X_{\max}$, $0 < y < Y_{\max}$. В случае волны цунами скорость ее распространения может быть вычислена по формуле Лагранжа (2), если известно распределение глубин. Рассмотрим кривую начального положения волнового фронта. Как правило, в качестве таковых будут братья либо прямые, либо замкнутые выпуклые кривые линии. Например, окружность или эллипс. Их гладкость не требуется, потому что в численном методе начальный фронт представляет собой конечное число точек, расположенных вдоль такой кривой. Будем считать, что область, ограниченная этой кривой, вся целиком является источником возмущений, т. е. является очагом цунами. Поэтому волна будет распространяться в направлении внешней нормали к этой кривой. Перед началом численного расчета требуется выбрать шаг по времени, определяющий разницу во времени между каждым последующим положением волнового фронта. Очевидно, что чем меньше этот шаг, тем точнее результат численного моделирования, но при этом увеличивается время расчета.

Итак, имеется конечное множество точек P_i с координатами (x_i, y_i) $i = 1, \dots, N$, расположенных вдоль замкнутой кривой начального волнового фронта. При этом точка с индексом N является соседней по отношению к точке с индексом, равным 1. Величину шага по времени Δt рекомендуется выбирать обратно пропорционально максимуму градиента скорости распространения волн в рассматриваемой области. Требуется определить положение, которое займут точки исходного волнового фронта через время Δt . Сначала надо найти направление перемещения каждой из N расчетных точек. Как уже замечено, они будут перемещаться в ортогональном к линии текущего волнового фронта направлении. Так как вместо непрерывного гладкого фронта мы имеем ломаную, проходящую через расчетные точки P_i , то искомое ортогональное направление в точке с индексом i можно строить разными способами. В программной реализации этого метода это направление строится как внешняя нормаль в точке P_i к окружности, проведенной через три точки P_{i-1} , P_i и P_{i+1} (рис. 4).

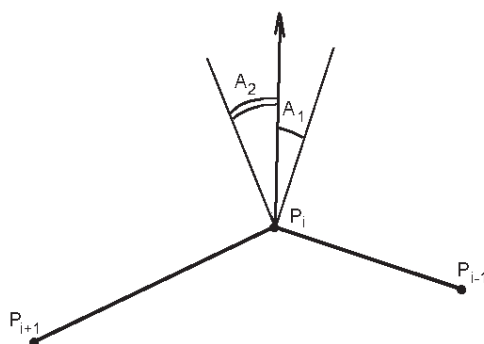


Рис. 4. Схема нахождения направления внешней нормали к окружности, проходящей через точки P_{i-1} , P_i и P_{i+1} .
Стрелкой показано искомое направление

Fig. 4. The scheme of searching the direction of the external normal to the circle passing through the points P_{i-1} , P_i and P_{i+1} . The arrow shows the direction that is looking for

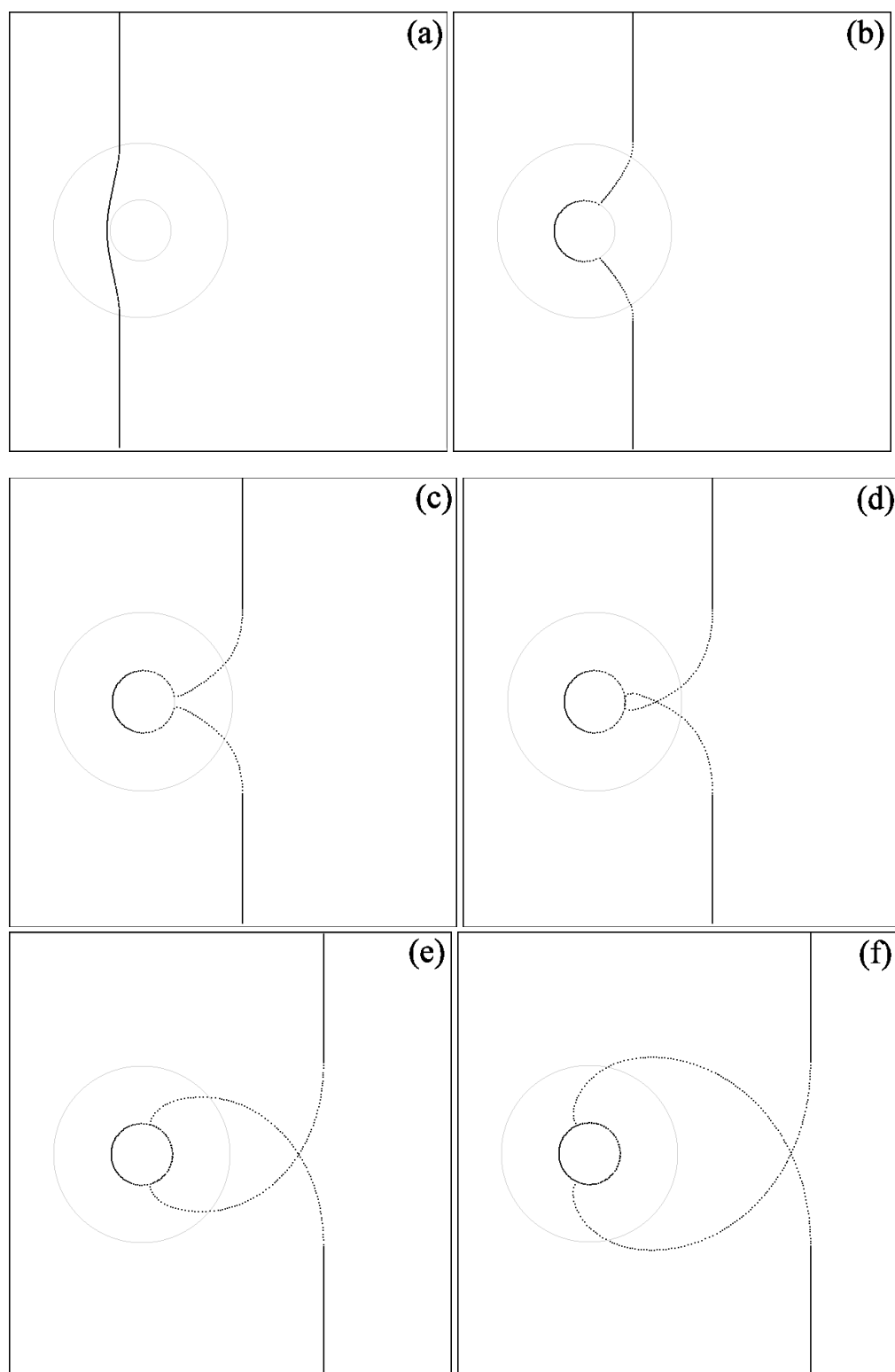


Рис. 5. Последовательное положение изначально прямолинейного волнового фронта при его движении около круглого острова, окруженного наклонным шельфом
Fig. 5. The sequential position of the initially straight wave front as it moves near the round island surrounded by an inclined shelf

Из геометрических построений следует, что отношение синусов углов A_1 и A_2 равно отношению длин отрезков (P_{i-1}, P_i) и (P_i, P_{i+1}) . Таким образом, очередное положение расчетной точки с индексом i строится перемещением точки P_i вдоль найденного направления на расстояние $c(x_i, y_i)\Delta t$, где скорость $c(x_i, y_i)$ определяется по формуле Лагранжа (2). В случае замкнутого начального фронта для точек с индексами 1 и N одной из соседних точек, используемых для построения окружности, будут точки P_N и P_1 соответственно. Переместив таким образом все точки исходного волнового фронта, мы получим положение фронта волны в момент времени Δt . Далее, повторяя эту процедуру столько, сколько требуется для достижения фронтом волны нужной точки или границы расчетной области, можно построить кинематическую картину распространения волны цунами в рассматриваемой области от заданного начального очага, граница которого и является начальным положением волнового фронта. Если рассчитываемый волновой фронт является незамкнутым, то направление перемещения крайних расчетных точек определяется либо как нормаль к отрезку, соединяющему эту точку с ближайшей соседней, либо как нормаль к окружности, проходящей через три крайние расчетные точки фронта. Здесь надо заметить, что по определению волнового луча [7] расчетные точки фронта будут перемещаться вдоль волновых лучей, что позволяет проводить грубую оценку амплитуды волны [8].

На рис. 5 показаны последовательные положения изначально прямолинейного волнового фронта в окрестности конического острова. Окружность меньшего радиуса представляет береговую линию, а окружность большего радиуса – границу, где заканчивается склон дна и глубина становится постоянной.

На рис. 5 видно, что часть волнового фронта захватывается донным склоном и начинает вращаться вокруг острова. Здесь следует иметь в виду, что используемый метод не моделирует отражение волнового фронта от береговой линии острова. Амплитуда волны при этом довольно быстро ослабевает из-за существенного растяжения линии фронта вблизи береговой линии вследствие дифракции. Полученная численным методом кинематическая картина показывает, что после прохождения острова лидирующей волной появляется вторая волна с существенно меньшей амплитудой. А в обратную сторону (откуда пришла волна) вслед за отраженной от острова волной будет распространяться как минимум одна слабая волна, порожденная рефракцией и дифракцией исходной волны над донным склоном вокруг острова.

Этим же численным методом были построены траектории волновых лучей при рефракции волны над донным склоном вокруг острова, схематично изображенного на рис. 1. Результаты приведены на рис. 6. Здесь серые окружности означают то же самое, что и на рис. 3, взятом из работы [4]. Нетрудно увидеть почти полную идентичность картин рефракции волновых лучей, представленных на этих рисунках. Это лишний раз доказывает работоспособность метода, кратко описанного в этом разделе, для решения кинематических задач такого рода.

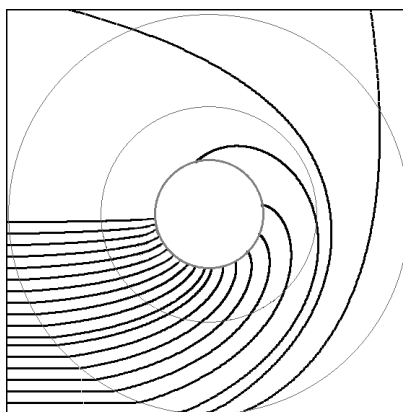


Рис. 6. Траектории волновых лучей вблизи конического острова, построенные методом пошагового ортогонального продвижения волнового фронта [8]
 Fig. 6. The wave rays near a conical island, constructed by the method of step-by-step orthogonal advance of the wave front [8]

3. Численное моделирование динамики волны около круглого острова

Для количественной оценки величины захваченной волновой энергии и параметров цунами около острова был проведен вычислительный эксперимент по моделированию поведения длинной волны около конического острова. Волна цунами с изначально прямолинейной линией фронта приближается к круглому острову, схематически представленному на рис. 1. В численном расчете исходная волна, имеющая только положительную фазу, генерировалась с помощью граничных условий на левой границе расчетной области:

$$\eta(1, j) = \frac{\eta_0}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{tp} \right) \right), \quad u(1, j) = \eta(1, j) \sqrt{\frac{g}{D(1, j)}}, \quad v(1, j) = 0, \quad j = 1, \dots, 1600, \quad 0 \leq t \leq tp, \quad (3)$$

где $\eta(i, j)$ – значения смещения водной поверхности в узле (i, j) расчетной сетки; $u(i, j)$, $v(i, j)$ – компоненты скорости водного течения; $D(i, j)$ – глубина; g – ускорение силы тяжести. Здесь высота гребня начальной волны η_0 была взята равной 100 см, а ее период tp равен 300 с. Радиус острова $r_0 = 100$ км, а радиус r_1 шельфа вокруг острова с коническим рельефом дна равен 400 км (см. рис. 1). Вне шельфа (на расстоянии более 400 км от центра острова) глубина становится постоянной и равной 1000 м. Размер расчетной сетки равен 1600×1600 узлов с шагом 1 км в обоих направлениях. Рис. 7–9 показывают водную поверхность через 8000, 12 000 и 14 000 секунд после начала движения волны от левой границы расчетной области. Здесь темная окружность меньшего радиуса обозначает береговую линию острова, а окружность большего радиуса (штриховая линия) – границу склона дна вокруг острова.

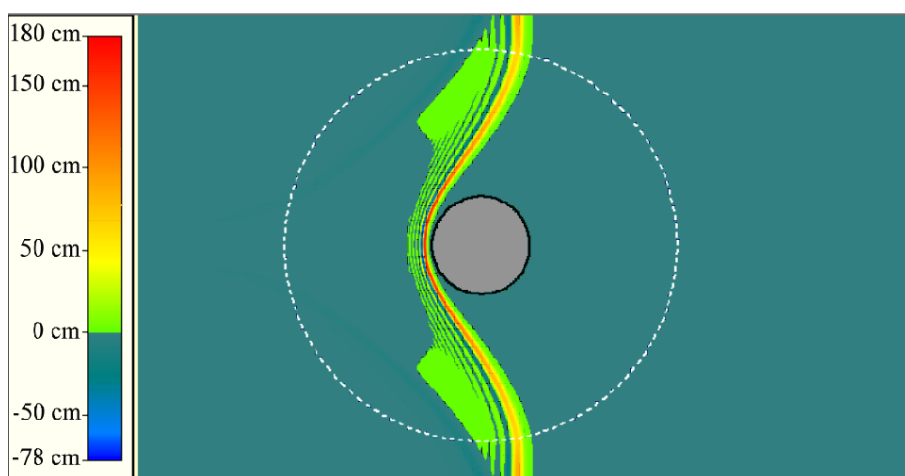


Рис. 7. Водная поверхность около круглого острова, окруженного коническим донным склоном, через 8000 с после начала движения плоской волны

Fig. 7. The water surface near a round island surrounded by a conical bottom slope, 8,000 seconds after the start of the flat wave propagation

Из рис. 7–9 видно, что в процессе распространения волны огибают остров с обеих сторон и сталкиваются позади него. При этом конфигурация волнового фронта качественно совпадает с положениями фронта волны на рис. 5, *a*, *c*, *d*, хотя в той кинематической задаче радиус r_1 был лишь в 3 раза больше, чем радиус острова r_0 . При этом волновая энергия перенаправляется в сторону верхней и нижней границ области, а также к береговой линии острова, от которой волна отражается. В направлении правой границы расчетной области продолжает двигаться только часть волнового фронта, которая не подверглась рефракции над донным склоном вокруг острова.

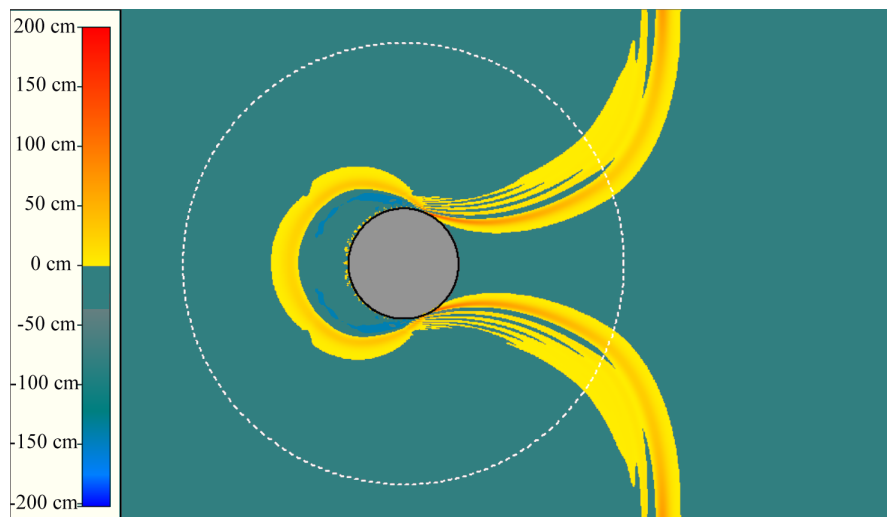


Рис. 8. Распределение смещения водной поверхности в окрестности острова через 12 000 с после начала генерации волны на левой границе

Fig. 8. Distribution of the water surface displacement in the vicinity of the island in 12,000 seconds after the start of wave movement from left boundary

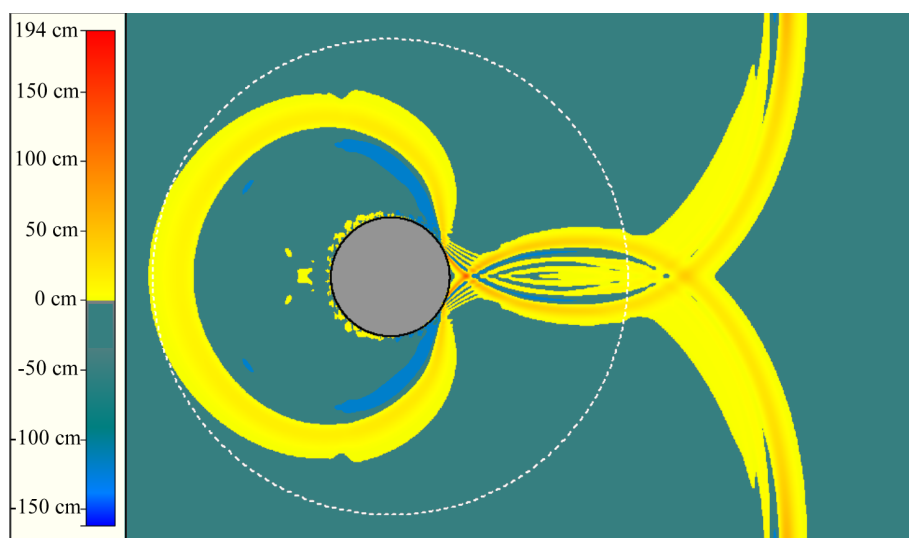


Рис. 9. Водная поверхность вокруг острова через 14 000 с после начала численного моделирования

Fig. 9. The water surface around the island 14,000 seconds after the start of numerical modeling

Для иллюстрации экранирующей способности конического острова (вместе с донным склоном) на рис. 10 приведено распределение максимумов высоты цунами за все время расчета. Серый круг обозначает остров, а белая штриховая окружность с радиусом 400 км ограничивает склон дна вокруг него. Отчетливо видна зона «тени» позади острова с максимальными высотами до 40 см, при этом ее ширина сравнима с диаметром шельфа вокруг острова с конической топографией дна. Вдоль центральной линии этой зоны наблюдается локальное повышение высоты цунами из-за столкновения встречных волн, хорошо наблюдаемых на рис. 7 и 10.

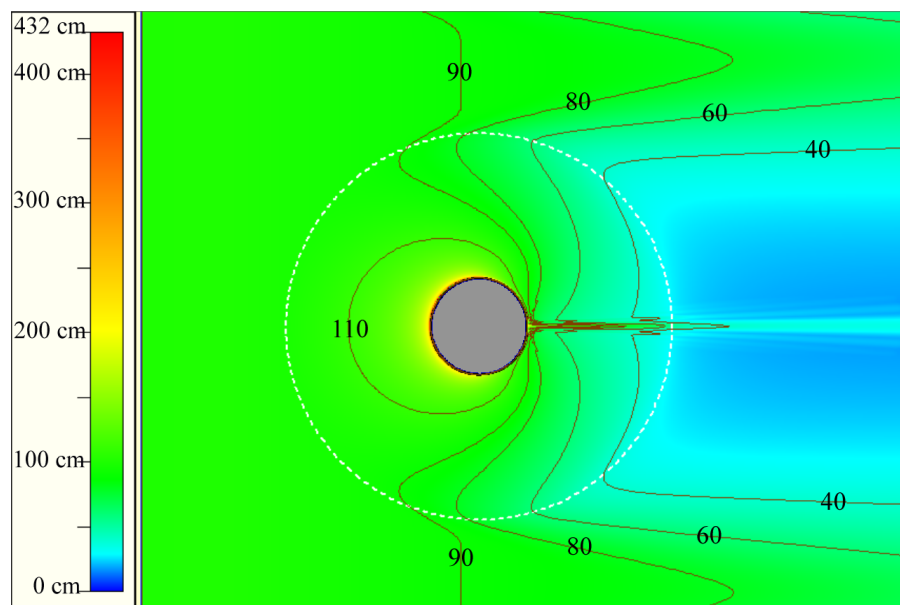


Рис. 10. Распределение максимумов рассчитанной высоты цунами перед островом и позади него при высоте исходной волны в 100 см

Fig. 10. Distribution of calculated tsunami height maxima in front and behind island when the initial wave height is equal to 100 cm

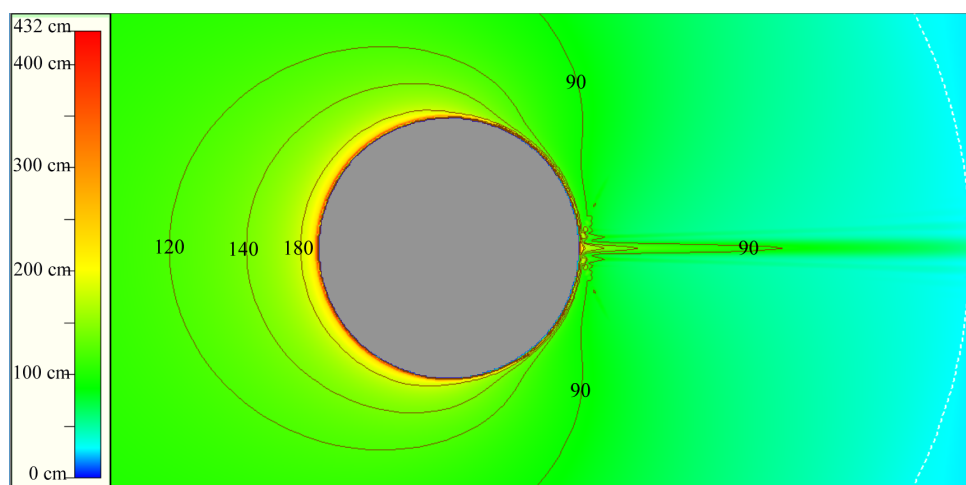


Рис. 11. Детальное распределение максимальных высот волны вблизи круглого острова, окруженного донным склоном, граница которого обозначена белой штриховой линией

Fig. 11. Detailed distribution of maximum wave heights near a circular island surrounded by a bottom slope, the limit of which is indicated by a white dashed line

Более детально распределение максимальных высот цунами у береговой линии острова можно видеть на рис. 11, на котором распределение, представленное на рис. 10, визуализировано с большей детальностью. Можно заметить, что распределение высот вдоль береговой линии качественно соответствует распределению, представленному на рис. 2, а.

Для количественного подсчета волновой энергии, захваченной или перенаправленной рассмотренным круглым островам, была использована простейшая формула для подсчета суммы

кинетической и потенциальной энергии волнового движения в какой-либо части S расчетной области:

$$E = \iint_S \left(\frac{\rho u^2}{2} (D + \eta) + \frac{\rho g \eta^2}{2} \right) ds. \quad (4)$$

Здесь ρ обозначает плотность, η – высота смещения водной поверхности в рассматриваемой точке, D – глубина, g – ускорение силы тяжести, u – скорость водного потока, одинаковая от поверхности до дна. Для сравнения вошедшей (E_1) и вышедшей через правую границу (E_2) волновой энергии «входящая» энергия E_1 суммировалась в полосе, шириной 300 шагов сетки около левой границы в момент времени, когда волна полностью вошла в расчетную область. «Выходящая» энергия E_2 суммировалась в полосе, шириной 400 шагов, примыкающей к правой границе расчетной области в момент, когда часть фронта волны, не подверженной рефракции, подошла к правой границе области. Сравнение энергий «входящей» и «выходящей» волн показало, что энергия выходящей (через правую границу) волны по сравнению с входящей уменьшилась примерно на энергию в сегменте исходной волны, имеющем ширину, равную примерно три с половиной диаметра круглого острова.

Заключение

Остров, окруженный шельфом с наклонным рельефом дна, существенно влияет на кинематику волны цунами, распространяющейся в области около этого острова. Из-за рефракции над наклонным шельфом сегмент волнового фронта сильно искривляется, вследствие чего волновая энергия перенаправляется в сторону береговой линии и ортогональным исходному направлению движения волны направлениям. Кроме этого, часть волновой энергии отражается от береговой линии острова. В результате позади острова возникает зона «тени», где высота цунами значительно ниже (более чем в 2 раза), по сравнению с остальной областью. Численное моделирование кинематики и динамики распространения волны с изначально прямолинейной линией фронта показали, что после ее прохождения острова, окруженного наклонным шельфом, потеря волновой энергии равна энергии сегмента волны шириной, равной примерно диаметру шельфовой зоны острова.

Список литературы

1. Стокер Дж. Дж. Волны на воде. М.: ИЛ, 1959. 617 с.
2. Марчук Ан. Г. Вычисление высоты цунами, распространяющейся над наклонным дном, в лучевом приближении // Сиб. журн. вычисл. математики. СО РАН. Новосибирск, 2015. Т. 18, № 4. С. 377–388.
3. Иконникова Л. Н., Ярошения Р. А. Расчет рефракции волн цунами для Тихоокеанского побережья СССР / В кн.: Теоретические и экспериментальные исследования по проблеме цунами. М.: Наука, 1977. С. 120–127.
4. Fujima K., Yuliadi D., Goto C., et al. Characteristics of long waves trapped by conical island // Coastal Engineering in Japan, Vol. 38, No. 2, 1995. P. 111–132. <https://doi.org/10.1080/05785634.1995.11952810>
5. Jonsson I. G., Skovgaard O., Brink-Kjaer O. Diffraction and refraction calculations from waves incident on an island // Jour. Marine Res., Vol. 34, 1976, No. 3. P. 469–496.
6. Lautenbacher C. C. Gravity waves refraction by islands // Jour. Fluid Mech. 1970. Vol. 41. Part 3. P. 655–672. DOI: 10.1017/S0022112070000824
7. Романов В. Г. Обратные задачи для дифференциальных уравнений: Учеб пособие. Новосибирск: НГУ, 1983. 175 с.

8. **Marchuk An. G., Vasiliev G. S.** The fast method for a rough tsunami amplitude estimation // Bull. Novosibirsk Comp. Center. Ser. Math. Model. in Geoph. Novosibirsk, 2014. Iss. 17. P. 21–34.

Reference

1. **Stoker J. J.** Waves on the water. M.: IL, 1959. 617 p. (in Russ.) [Stoker J. J. Water waves. The mathematical theory with applications. New York, Interscience publishers, 1957]
2. **Marchuk An. G.** Calculation of the height of a tsunami propagating over an inclined bottom in the radial approximation // Sib. zhurn. calculation. mathematics / RAS. Sib. otd-nie.–Novosibirsk, 2015. Vol. 18, no. 4. Pp. 377–388.
3. **Marchuk, A. G.** Estimating tsunami wave height over a sloping bottom in the ray approximation. Numer. Analys. Appl. 8, 304–313 (2015). DOI 10.1134/S1995423915040047
4. **Ikonnikova L. N., Yaroshenya R. A.** Rascheot refraktsii voln tsunami dlya Tikhookeanskogo poberezhya SSSR. In: Teoreticheskie I eksperimentalnye issledovaniya po probleme tsunami. M., Nauka, 1977, p. 120–127. (in Russ)
5. **Fujima K., Yuliadi D., Goto C., et al.** Characteristics of long waves trapped by conical island // Coastal Engineering in Japan. 1995. Vol. 38. No. 2. P. 111–132. DOI: 10.1080/05785634.1995.11952810
6. **Jonsson I. G., Skovgaard O., Brink-Kjaer O.** Diffraction and refraction calculations from waves incident on an island // Jour. Marine Res. 1976. Vol. 34, № 3. P. 469–496.
7. **Lautenbacher C. C.** Gravity waves refraction by islands // Jour. Fluid Mech. 1970 Vol. 41, Part 3. P. 655–672. DOI: 10.1017/S0022112070000824
8. **Romanov V. G.** Inverse problems for differential equations: Textbook. Novosibirsk: NSU, 1983, 175 p.
9. **Romanov V. G.** Obratnye zadachi dlya differentsialnykh uravnenij. Uchebnoe posobie. Novosibirsk: NSU, 1983, 175 p (in Russ).
10. **Marchuk An. G., Vasiliev G. S.** The fast method for a rough tsunami amplitude estimation // Bull. Novosibirsk Comp. Center. Ser. Math. Model. in Geoph. Novosibirsk, 2014, iss. 17, p. 21–34.

Информация об авторе

Андрей Гурьевич Марчук, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
SPIN 4054-6578
WoS Researcher ID S-9502-2017
Scopus Author ID 57023485400

Information about the author

Andrey Guryevich Marchuk, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
SPIN 4054-6578
WoS Researcher IDS-9502-2017
Scopus Author ID 57023485400

*Статья поступила в редакцию 21.07.2023;
одобрена после рецензирования 09.08.2023; принята к публикации 09.08.2023*

*The article was submitted 21.07.2023;
approved after reviewing 09.08.2023; accepted for publication 09.08.2023*

Научная статья

УДК 550.837.31+550.8.05

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-32-45

Развитие программно-алгоритмических средств для обработки и интерпретации данных мониторинга методом электротомографии

**Нина Николаевна Неведрова^{1,2}, Александр Евгеньевич Шалагинов^{1,3},
Аркадий Вадимович Мариненко¹, Илья Олегович Шапаренко^{1,2}**

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

²Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

¹NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

²ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru

³MarinenkoAV@ipgg.sbras.ru

⁴ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru

Аннотация

Метод электротомографии с каждым годом все более широко применяется для решения самых разных задач. Например, в археологических раскопках, в задачах контроля хвостохранилищ, инженерных изысканиях, для изучения разломных структур, мониторинговых исследований в сейсмоактивных районах. Для формирования подходов к решению проблемы прогнозирования сейсмических событий необходимо выполнять достаточно длительные наблюдения, что приводит к необходимости рассматривать большие массивы исходных данных, интерпретировать значительный объем полевых материалов. В связи с этим актуально применение и развитие современных компьютерных средств обработки и интерпретации результатов регулярных наблюдений. Целью данной работы является модернизация и развитие программного комплекса решения прямых и обратных задач Direct-Inverse-Solver (DiInSo) для обработки, интерпретации и анализа данных мониторинга методом электротомографии.

Ключевые слова

электромагнитный мониторинг, электротомография, численная инверсия, программно-алгоритмические средства

Финансовая поддержка

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-10050, <https://rscf.ru/project/23-27-10050/>

Для цитирования

Неведрова Н. Н., Шалагинов А. Е., Мариненко А. В., Шапаренко И. О. Развитие программно-алгоритмических средств для обработки и интерпретации данных мониторинга методом электротомографии // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 3. С. 32–45. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-32-45

© Неведрова Н. Н., Шалагинов А. Е., Мариненко А. В., Шапаренко И. О., 2023

ISSN 1818-7900 (Print). ISSN 2410-0420 (Online)

Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Том 21, № 3

Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2023, vol. 21, no. 3

Software and Algorithmic Tools Development for Processing and Interpretation Electrotomography Monitoring Data

Nina N. Nevedrova^{1, 2}, Alexandre E. Shalaginov^{1, 3},
Arkadiy V. Marinenko¹, Igor O. Shaparenko^{1, 2}

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS

²Novosibirsk State University

³Novosibirsk State Technical University

¹NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

²ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru

³MarinenkoAV@ipgg.sbras.ru

⁴ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru

Abstract

Year by year researchers use the method of electrotomography more extensively to solve a wide variety of tasks. For example, electrotomography can be applied in archaeological excavations, in the tasks of controlling mine tailings, in engineering surveys, to study fault structures, for monitoring studies in seismically active areas. It is necessary to perform sufficiently long-term observations to form approaches in solving the problem of predicting seismic events. This leads to the need to consider large arrays of initial data and interpret a significant amount of field data. In this regard, it is important to use and develop modern computer tools for processing and interpreting the results of regular observations. The purpose of this work is to modernize and develop the Direct-Inverse-Solver (DiInSo) software package for solving direct and inverse problems for processing, interpreting and analyzing electrotomography monitoring data.

Keywords

electromagnetic monitoring, electrotomography, numerical inversion, software and algorithmic tools.

Funding

The study was funded by the Russian Science Foundation № 23-27-10050, <https://rscf.ru/project/23-27-10050/>

For citation

Nevedrova N. N., Shalaginov A. E., Marinenko A. V., Shaparenko I. O. Software and algorithmic tools development for processing and interpretation electrotomography monitoring data. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 3, pp. 32–45. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-32-45

Введение

Проблема прогнозирования напряженного состояния земных недр, приводящего к катастрофическим событиям (землетрясениям, оползням), является актуальной не только для сейсмоактивных регионов, но и для территорий с экстремальными техногенными воздействиями на окружающую среду. Эта проблема относится к крайне сложным, и пока нет единого подхода к ее решению. Но все-таки принципиальная возможность прогноза имеется, она основана на факте не внезапности землетрясения, существовании периода подготовки, проявляющегося в предвестниках [1–3].

Длительные многолетние наблюдения на прогностических полигонах России, Киргизии, Таджикистана, Китая и в других странах показали, что действительно наблюдаются вариации геофизических полей, в том числе и электромагнитных, связанные с процессами подготовки сейсмических событий [4–8]. Обнаруженные предвестники многочисленны, их насчитывается примерно несколько сотен, что, скорее всего, отражает индивидуальность их набора для каждого отдельного сценария подготовки конкретного события. Формирование геофизических предвестников будет зависеть в значительной степени от геологического строения массива горных пород конкретного сейсмоактивного района, выбора методов исследования, оптимальности размещения наблюдательных пунктов, периодичности измерений.

В Китайской республике много лет поддерживается государственная программа сейсмобезопасности. Используемый комплекс геофизических методов включает электромагнитные измерения. Анализ результатов показал, что к одному из эффективных прогностических наблюдений относится мониторинг на постоянном токе [9–12]. В Китае известны факты успешного прогноза землетрясений. Наиболее впечатляющим является предупреждение о Хайченском землетрясении (4 февраля 1975 г., $M = 7,3$). Китайские ученые в результате анализа геофизических предвестников пришли к выводу о большой вероятности сильного землетрясения. В результате за несколько дней до катастрофы были эвакуированы и спасены несколько тысяч жителей г. Хайчен провинции Хэбэй [13].

В России и на постсоветском пространстве именно электромагнитный мониторинг получил значительное развитие. Под этим термином понимают повторяемые с определенной периодичностью систематические наблюдения за электромагнитным полем с целью выявления временной динамики электромагнитных характеристик изучаемого сейсмоактивного региона [14]. Превалирующее применение электромагнитных методов с контролируемыми источниками (активный мониторинг) объясняется высокой точностью измерений, хорошо разработанной теоретической, аппаратной, программно-алгоритмической интерпретационной базой. Эти методы обладают высокой чувствительностью к изменению напряженно-деформированного состояния геологической среды, что подтверждено многочисленными лабораторными и натурными испытаниями [15–21]. Для активного мониторинга используются такие методы, как зондирование становлением электромагнитного поля (ЗС), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и в последние годы электротомография (ЭТ). Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, в первую очередь, они обладают разной глубинностью исследования, чувствительностью и разрешающей способностью. Электротомография, благодаря высокой детальности метода и относительной простоте использования, позволяет решать широкий круг задач, включая электромониторинг.

Принципиальным является вопрос дальнейшей обработки и интерпретации полученных полевых данных. Для интерпретации данных регулярных наблюдений указанными методами авторы статьи применяют подход, основанный на решении обратных задач геоэлектрики, в результате которого получают количественные оценки вариаций геоэлектрических параметров, предвещающих сейсмические события. При этом для каждого регулярного измерения восстанавливается геоэлектрическая модель – в основном одномерная для зондирований ЗСБ, ВЭЗ и 2D/3D в случае применения электротомографии. В полученных моделях можно выделить интервалы, максимально чувствительные к сейсмическому воздействию. Далее, опираясь на особенности строения, можно установить закономерности изменения геоэлектрических параметров и их связь с сейсмическими событиями путем сопоставления с характеристиками сейсмичности [22–24].

Очевидно, что для формирования подходов к решению проблемы прогнозирования сейсмических событий, для выявления прогностических критериев необходимо выполнять достаточно длительные наблюдения в сейсмоактивном районе, что приводит к необходимости далее рассматривать большие массивы исходных данных, интерпретировать значительный объем полевых материалов. В связи с этим актуально применение и развитие современных компьютерных средств обработки и интерпретации результатов регулярных наблюдений.

Целью данной работы является модернизация и развитие программных средств моделирования и инверсии для обработки, интерпретации и анализа данных мониторинга методом электротомографии. В статье будут рассмотрены возможности комплекса Direct-Inverse-Solver (DiInSo). Этот комплекс, предназначенный ранее для решения прямых 3D- и обратных 2D/3D-задач электротомографии, был дополнен графом обработки данных мониторинга на основе теоретического анализа разных схем регуляризации. В статье опробована новая версия DiInSo, приведены примеры интерпретации полевых данных мониторинга с помощью этой программы. Данные получены в районе Горного Алтая, который относится к наиболее сейсмо-

активным заселенным районам России и в настоящее время является зоной рекреации и туризма с хорошо развитой инфраструктурой. Исследования, связанные с сейсмобезопасностью этой территории, актуальны. Измерения ЭТ выполняются на участках межгорных впадин Горного Алтая с присутствием разломных структур. Регулярные наблюдения этим методом именно в зонах разломов позволяют по величине вариаций выделить активные и потенциально сейсмогенерирующие структуры, в зоне влияния которых может произойти разрушительное землетрясение.

Программные средства обработки и интерпретации данных электротомографии

В настоящее время электротомография относится к наиболее востребованной модификации методов постоянного тока и позволяет решать широкий круг актуальных задач. ЭТ имеет ряд преимуществ по сравнению с классическими методами вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и электропрофилированием. В электротомографии используется многоэлектродная система наблюдений, в которой каждый электрод может быть как генераторным, так и измерительным. При этом ускоряется процесс измерений и реализуется высокая плотность полевых данных, обеспечивающая детальность исследования, особенно в горизонтальном направлении, что позволяет существенно уточнить геоэлектрические характеристики верхней части разреза. В последние несколько лет электротомография используется в задачах мониторинга [24–26].

Для интерпретации данных ЭТ, благодаря популярности метода, существует целый ряд зарубежных и российских программных комплексов. В конце прошлого столетия наиболее востребованными являлись программы Res2-3D компании *Geotomo Software*, Малайзия¹, *ERTLab* (*Multi-Phase Technologies, LLC*, США и *Geostudi sAtier s.r.l.*, Италия). Далее начинают развиваться российские разработки. Можно, например, отметить пакет программ *Zond*, включающий интерпретацию данных ЭТ².

В Институте нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ СО РАН) в последнее время разработаны собственные программные средства с учетом современных достижений в алгоритмах и интерфейсах. В статье будут рассмотрены возможности многофункционального комплекса *DiInSo*³. Собственные программные разработки позволяют постоянно расширять их функциональные возможности, адаптировать к конкретным полевым данным электротомографии.

Программный комплекс DiInSo для исследования строения и мониторинга методом электротомографии

Изначально этот программный комплекс предназначен для решения прямых 3D- и обратных 2D/3D-задач электротомографии на постоянном токе. *DiInSo* написан на языке C/C++ с применением многопоточных алгоритмов, что позволяет максимально использовать мощность вычислительной машины. Несмотря на оконный Windows-интерфейс, программный код не имеет жесткой привязки к операционной системе, что дает возможность при необходимости откомпилировать программу под другие современные системы, включая Linux-подобные.

Прямая задача подразумевает, что нам известно геологическое строение исследуемой области и мы хотим оценить эффективность той или иной электродной установки (или нескольких установок) для работы в этой области. Прямая задача начинается с построения модели исследуемой области и разбиения этой модели на конечные элементы – тетраэдры. Сделать

¹ См.: *Geotomo Software*: <http://geotomosoft.com/>

² См.: *Zond-geo*: <http://zond-geo.com/>

³ См.: <http://diinso.sourceforge.net>

это можно с помощью стороннего программного обеспечения, большинство которого является бесплатным. Построив сетку, необходимо задать положения генераторно-приемной установки – АВМН на этой сетке. Положение электродов должно совпадать с узлами сетки. Положения установки АВМН можно задать как в автоматическом режиме, так и вручную. При задании положений установки в автоматическом режиме на выбор предлагаются следующие типы установок: Веннер-Альфа, Веннер-Бета, Шлюмберже, Поль-Диполь, Диполь-Диполь. В ручном режиме можно задавать любые четырехэлектродные установки.

Решение прямых задач осуществляется узловым методом конечных элементов на базисных функциях первого порядка. Для решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) доступны следующие итерационные решатели: CG, CR, GMRES, FGMRES, BiCGStab, IDR, DPCG, AMG. К большинству из решателей может быть применена процедура предобуславливания. Процесс решения СЛАУ является параллельным, и в зависимости от возможностей компьютера могут быть использованы технологии OpenCL, OpenMP или Nvidia CUDA.

Обратная задача подразумевает, что у нас есть некоторое множество измерений электротомографии, по которому требуется восстановить геологическое строение среды. Обратные задачи могут решаться как в 2D-постановках (один профиль), так и в 3D (множество профилей). В процессе решения обратной задачи также требуется построение сетки – треугольной в 2D-случае и тетраэдральной в 3D-случае. Сетка при этом строится автоматически, но пользователь может контролировать мелкость и сгущение конечных элементов в области моделирования. Тип используемых установок может быть произвольным, единственное условие – установка должна быть четырехэлектродной. При необходимости реализовать достаточно популярные трехэлектродные, двухэлектродные установки один из питающих и один из приемных электродов могут находиться на условной бесконечности, т. е. на достаточно большом расстоянии, чтобы практически не влиять на измерения.

Для инверсии используется схема Гаусса – Ньютона. Важно знать, что при выполнении инверсии в автоматическом режиме для нее заданы стандартные параметры. Но опыт работы с программой показывает, что для получения оптимального решения лучше использовать возможность изменять некоторые из настроек. Укажем наиболее важные из них. Пользователь может выбрать параметр регуляризации, его значение позволяет в ряде случаев выделить поисковый объект с лучшим контрастом, усилить контрастность подобластей для обнаружения слабоконтрастных объектов, использовать для решения выбросоустойчивый (робастный) метод, учесть топографический эффект, ограничить решение некоторым диапазоном значений сопротивления, включить в модель априорную информацию о геологической среде.

Программа DiInSo имеет набор встроенных визуализаторов, позволяющих сделать предварительную оценку как для входных данных, так и полученного результата. Необходимо отметить, что входные данные могут быть конвертированы из других программных комплексов во внутренний формат DiInSo, а полученный результат может быть визуализирован в сторонних программных пакетах. Для освоения программы DiInSo в комплекте идет подробная документация на двух языках – русском и английском. Кроме классических задач электротомографии, существует возможность решения задач скважинной электротомографии, электротомографии внутри замкнутого контура (например, цилиндра).

Комплекс DiInSo протестирован на реальных полевых данных. С его помощью выполнена интерпретация значительного объема полевых данных электротомографии, полученных на участках крупных межгорных впадин Горного Алтая (Чуйской, Курайской, Уймонской) с целью выяснения строения, присутствия разломных структур [26; 27]. В качестве примера приведен разрез с разломной зоной в Чуйской впадине (рис. 1). В результате инверсии полевых данных ЭТ разломная зона выделяется на разрезе практически вертикальным блоком с пониженными значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) в интервале профиля ~ от 100 до 140 м, ее ограничивают с двух сторон блоки высокоомных отложений.

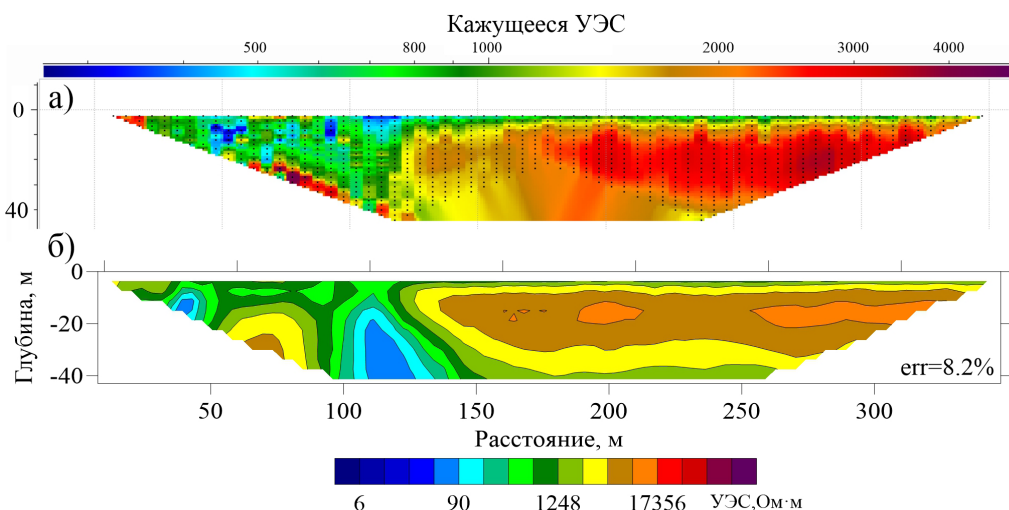


Рис. 1. Геоэлектрический разрез с разломной зоной по данным электротомографии на участке Мухор-Тархата в Чуйской впадине Горного Алтая:

а – распределение кажущегося удельного электрического сопротивления (нормированный измеренный сигнал); б – геоэлектрический разрез в результате инверсии полевых данных с помощью программы DiInSo, невязка – 8,2 %

Fig. 1. Geoelectric section with a fault zone according to electrotomography data at the Mukhor-Tarkhat site in the Chui depression of the Altai Mountains:

а – distribution of apparent resistivity (normalised measured signal); б – geoelectric section as a result of field data inversion using DiInSo programme, 8.2 % mismatch

Сравнительный анализ результатов моделирования и инверсии, выполненной комплексами Res2D, Zond, DiInSo, показал преимущества последнего в выявлении строения разломных зон в сейсмоактивных районах [27].

DiInSo для регулярных наблюдений

Как уже отмечалось, для полноценной интерпретации данных регулярных наблюдений за изменением геоэлектрических параметров горных пород методом электротомографии необходимы специализированные эффективные программные средства. Поэтому в настоящее время комплекс *DiInSo* был дополнен графом обработки данных мониторинга на основе выбора оптимальной схемы регуляризации. Для таких наблюдений можно также ввести термин «интервальная электротомография», который используется в иностранных публикациях. Суть в том, что мы повторяем измерения по профилю или системе профилей в одной и той же области с определенной периодичностью, т. е. через некоторые временные интервалы. Периодичность измерений подбирается эмпирическим путем. В частности, в сейсмоактивном районе она будет зависеть от уровня сейсмической активности на момент измерений, геоэлектрических характеристик выбранного участка.

Конечная цель интерпретации состоит в том, чтобы адекватно отобразить изменения удельного электрического сопротивления геологической среды по профилю либо в трехмерной модели. Фактически анализируются временные вариации УЭС для каждой конкретной геоэлектрической модели в разные моменты времени, причем необходимо получить количественную оценку этих изменений. Для этого важно подобрать соответствующие схемы регуляризации.

Обычная инверсия в таких случаях, как правило, некорректна, неуникальна и требует дополнительных ограничений. Вопрос в том, как эти ограничения оптимально выбрать. Существует ряд факторов, которые будут влиять на результат и которые определяют применимость и эффективность существующих подходов. К этим факторам можно отнести следующие:

- 1) контраст и неоднородность модели, выбранной в качестве фоновой;
- 2) форма и контраст изменений удельного электрического сопротивления при повторных измерениях;
- 3) повторяемость положений электродов и установок;
- 4) структура ошибок в целом и корреляция между соседними по времени измерениями;
- 5) скорость протекающих процессов в области измерений;
- 6) целевые значения, т. е. абсолютные или относительные изменения удельного электрического сопротивления или возможно каких-либо вторичных параметров, например, водонасыщенности, влажности, глинистости.

Можно выделить пять основных типов минимизации функционала для «интервальной электротомографии» ($\mathbf{d}$ – вектор данных, $\mathbf{m}$ – искомый вектор, ρ – величины сопротивлений (символ α означает кажущиеся сопротивления), $\mathbf{f}(\mathbf{m})$ – отклик модели, t – временной шаг):

1. Отдельная инверсия каждого временного шага: $\mathbf{d}^n = \{\log \rho_\alpha(t = t_n)\} \rightarrow \mathbf{m}^n = \rho^n$.
2. Инверсия соотношений данных [28]: $\mathbf{d}^n = \rho_\alpha^n / \rho_\alpha^0 \rightarrow \mathbf{m}^n = \{\rho^n / \rho^0\}$.
3. Инверсия с исходной моделью $\mathbf{m}^0$ заданной как $\mathbf{m}^n - \mathbf{m}^0$ (или альтернативный вариант $\mathbf{m}^n - \mathbf{m}^{n-1}$).
4. Так называемая «разностная инверсия после» («difference inversion after») которая дополнительно исправляет несоответствие в t_0 : $\mathbf{d}^n = \{\rho_\alpha^n / \rho_\alpha^0\} \mathbf{f}(\mathbf{m}^0)$ (или $n-1$ вместо 0) [29].
5. 4D-инверсия, в которой учитываются все связи – по пространству и по времени. Обычно 4D-инверсия делается под конкретную задачу с учетом ее особенностей.

Поскольку первый из представленных вариантов является по сути обычной инверсией, второй вариант применяется только при малых изменениях модели данных, а пятый вариант требует большого количества априорных данных, в программе DiInSo предоставляются на выбор третий или четвертый варианты для интерпретации данных мониторинга методом электротомографии.

Практическое использование программных средств DiInSo для мониторинга

Рассмотрим практические примеры интерпретации данных мониторинга методом электротомографии, полученных в Горном Алтае, с помощью программы DiInSo. Район Уймонской межгорной впадины относится к сейсмоопасным. Об этом свидетельствуют сильные исторические землетрясения в Теректинской разломной зоне с магнитудами 7,4 – 7,7. В настоящее время регулярно регистрируются многочисленные землетрясения с магнитудами до 4,5, происходящие в районе впадины и в обрамляющих ее горных хребтах. Таким образом, сейсмологические данные указывают на повышенную активность разломов этой территории в течение длительного временного периода [30].

Теректинская зона разломов хорошо выражена в рельефе одноименного горного хребта, ограничивающего впадину с севера. По данным бурения и электроразведки установлено надвигание этого хребта на впадину, выраженное серией уступов по его склону. Регулярные наблюдения методом электротомографии за геоэлектрическими характеристиками горных пород выполняются в Уймонской впадине на двух участках Теректинской разломной зоны в районе поселков Баштала и Маргала. Выбор мест измерений обусловлен анализом геологических и сейсмологических данных.

Тектонический уступ у поселка Баштала также образовался в результате надвигания Теректинского хребта в южном направлении на впадину. Профиль ЭТ проходит через этот уступ и далее через зону разлома в виде надвига. Активность разлома подтверждается наличием цепочек мелких источников, образующих заболоченные участки. Вблизи пос. Маргала, где проходит второй профиль ЭТ, пробурены две скважины, по данным которых был сделан вывод

о наличии крутопадающего взброса у подножия Теректинского хребта, в результате чего метаморфические сланцы протерозоя надвинуты на глинистые породы, предположительно, неогенового возраста [31]. Измерения по профилям Баштала и Маргала повторяются практически ежегодно.

Интерпретации измерений выполняется с помощью программы DiInSo. В качестве одного из примеров выбраны и сопоставлены данные по профилю Баштала за 2017 и 2019 гг. (рис. 2). Два верхних разреза на рис. 2 получены в результате инверсии полевых данных электротомографии, полученных в 2017 и 2019 гг. Красной штрихпунктирной линией показан предполагаемый сместитель разлома. В данном случае высокоомные отложения (красные цвета) с УЭС до 600 Ом·м надвинуты на низкоомные, УЭС которых более чем на порядок меньше. По третьему нижнему разрезу, отражающему отношение значений УЭС за разные годы, можно сделать заключение о ширине той части разломной зоны, в которой происходит самое значительное изменение значений УЭС (интервал профиля ~ от 30 до 80 м). Хорошо видно, что значения УЭС в глубину разлома изменяются неравномерно – максимально в самой верхней части разреза. Это связано с сильным влиянием многочисленных водных источников в зоне разлома.

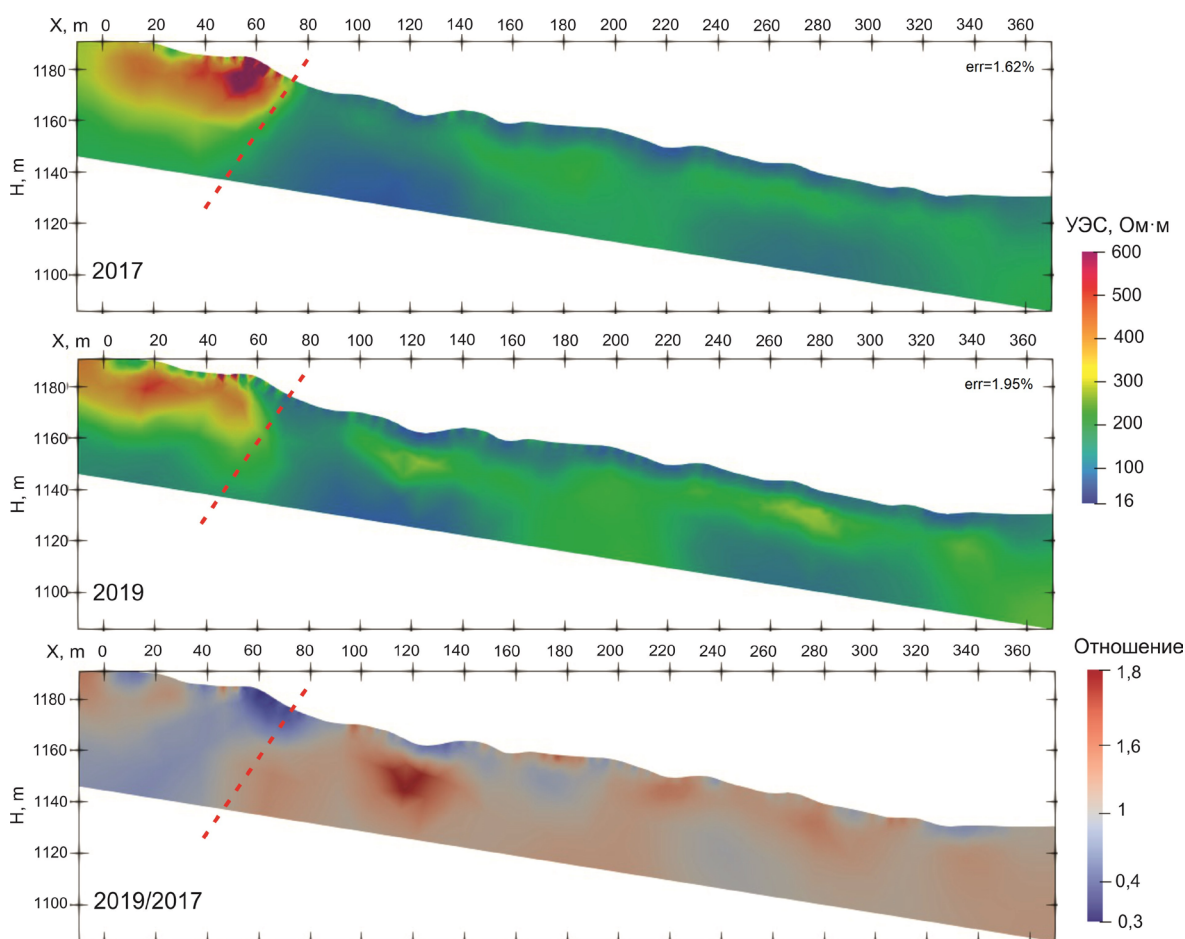


Рис. 2. Результаты интерпретации регулярных наблюдений электротомографии с помощью программы DiInSo в Уймонской впадине по профилю в районе пос. Баштала: разрезы по профилю в результате инверсии полевых данных за 2017, 2019 гг. Третий нижний разрез – отношение значений УЭС, полученных в 2019 г. к УЭС за 2017 г.

Fig. 2. Results of interpretation of regular electrotomography observations using the DiInSo program in the Uimon depression according to the profile in the area of the village. Bashtala: profile sections as a result of inversion of field data for 2017, 2019. The third lower section is the ratio of the UES values obtained in 2019 to the UES for 2017

Рассмотрим также результаты интерпретации по профилю Маргала (рис. 3). На двух верхних геоэлектрических разрезах, руководствуясь геологическими данными, можно выделить два крупных блока. В интервале профиля от 0 до ~170 м наблюдаются более низкоомные отложения с УЭС от 200 Ом·м и ниже. Далее от отметки 180 м до 360 м на разрезе прослеживается очень неоднородный блок осадочных пород в целом с повышенными значениями УЭС. Блок соответствует трещиноватым плотным глинам неогенового возраста, в массиве которых наблюдаются локальные разломные нарушения (одно из них обозначено красным штрихпунктиром). На разрезе отношений УЭС 2011 г. к 2017 г. можно выделить интервалы разреза, в пределах которых изменения УЭС значительны. К ним относится интервал 260–310 м, где чередуется зона максимального повышения УЭС с зоной его понижения – локальным разломом, реагирующим на тектонические движения в этой области.

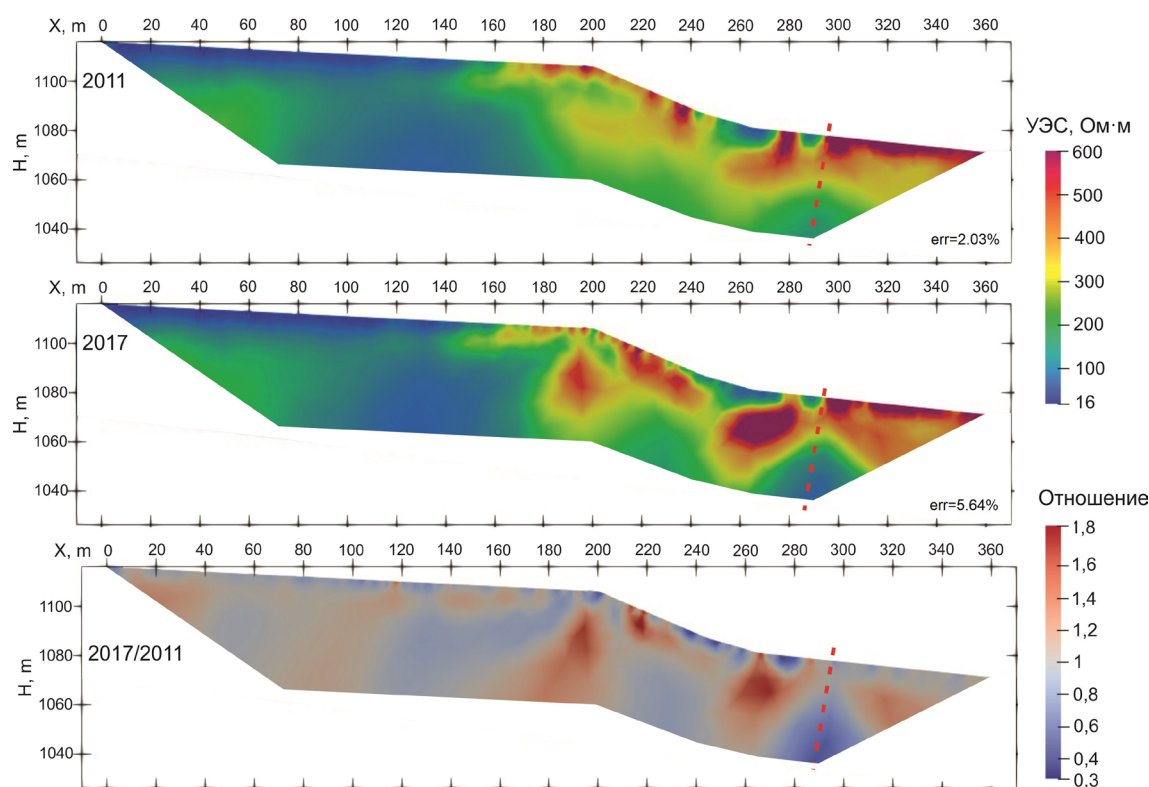


Рис. 3. Результаты интерпретации регулярных наблюдений методом электротомографии с помощью программы DiInSo в Уймонской впадине по профилю в районе пос. Маргала: два верхних разреза в результате инверсии данных ЭТ за 2011, 2017 гг.; третий нижний разрез – отношение значений УЭС, полученных в 2017 г. к УЭС за 2011 г.
Fig. 3. Results of interpretation of regular observations by electrotomography using the Diana program in the Uimon depression according to the profile in the area of the village. Margala: two upper sections as a result of the inversion of ET data for 2011, 2017; the third lower section is the ratio of the values of the UES obtained in 2017 to the UES for 2011

Заключение

Метод электротомографии для мониторинга применяется в России относительно недавно. Метод в целом эффективен для глубин от первых десятков до первой сотни метров. Использование его для задач мониторинга в сейсмоактивных районах обусловлено тем, что при усилении тектонических движений удельное электрическое сопротивление горных пород в разломных структурах изменяется как на больших глубинах, так и в приповерхностных отложениях.

В статье рассмотрено развитие программных средств DiInSo для задач интерпретации данных регулярных наблюдений методом электротомографии. Комплекс, предназначенный ранее для моделирования и инверсии, был дополнен графом обработки данных мониторинга. Выполненный анализ публикаций по этому направлению позволил выбрать и учесть факторы, влияющие на эффективность имеющихся подходов. В результате были определены оптимальные схемы регуляризации для задач мониторинга.

Комплекс был опробован при интерпретации полевых данных мониторинга на территории Горного Алтая. Первые опыты практического применения программы DiInSo показали, что даже простое отношение УЭС для двух измерений по профилю, полученных в разные временные интервалы, позволяет определить область разреза с присутствием его максимальных изменений. Именно слежение за такой областью перспективно для решения основной задачи прогнозирования опасных явлений. Вместе с тем уточняются геометрические характеристики зоны влияния разломной структуры, положение сместителя.

Планируется продолжение работы с программными средствами DiInSo для более полноценной количественной оценки вариаций УЭС. Опираясь на имеющийся опыт электромагнитного мониторинга, можно опробовать другие параметризаций разреза, например, электропроводность, которая в случае низкоомных разрезов будет более эффективна по сравнению с удельным электрическим сопротивлением.

Кроме того, будет рассмотрена возможность введения функции чувствительности модели для наглядного и объективного выбора чувствительных областей модели к происходящим изменениям УЭС на основе количественных оценок.

Список литературы

1. **Добровольский И. П.** Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 217 с.
2. **Добровольский И. П.** О проблеме прогноза тектонического землетрясения // Геофизические исследования. 2010. Т. 11. № 1. С. 35–46.
3. **Могилевский К.** Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988.
4. **Рыбин А. К., Баталева Е. А., Александров П. Н., Непенин К. С.** Электромагнитные исследования современных геодинамических процессов литосферы областей внутриконтинентальной орографии на примере Тянь-Шаня // Физика Земли. 2022. Т. 68. № 5. С. 98–115.
5. **Сидорин А. Я.** Выдающееся достижение Российской академии наук: успешный прогноз землетрясения в Японии 11 марта 2011 г. // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10. № 1. С. 5.
6. **Du X. B.** Two types of changes in apparent resistivity in earthquake prediction. Science China Earth Sciences, January 2011, Volume 54, Issue 1, pp 145–156. DOI: doi: 10.1007/s11430-010-4031-y
7. **Du X. B., An Z., Yan R., Ye Q., Fan Y., et. al.** Changes in Apparent Resistivity in the Late Preparation Stages of Strong Earthquakes in Earthquake. Research and Analysis in Statistical Studies, Observations and Planning, Dr Sebastiano D'Amico (Ed.), 2012. pp. 199–220.
8. **Konstantaras A., Fouskitakis, G. N., Makris, J. P., and Vallianatos, F.** Stochastic analysis of geo-electric field singularities as seismically correlated candidates. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2008, 8, pp. 1451–1462, DOI: 10.5194/nhess-8-1451-200
9. **Zhao Y. L.** Geoelectric Precursors to Strong Earthquakes in China. Tectonophysics, 1994, Vol. 233, No. 1, 2, pp. 99–113.
10. **Ma Li, Ghen J., Chen Q.** Features of Precursor Field before and after Datong Yangao Earthquake Swarm. J. Earth. Pred. Res., 1995, Vol. 4, No. 1, pp. 71–76.

11. **Du X.-B., Li N., Ye Q., Ma Z.-H., Yan R.** A Possible Reason for the Anisotropic Changes in Apparent Resistivity Near the Focal Region of Strong Earthquake. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007. Vol. 50, № 6, pp. 1555–1565.
12. **Xie T., Lu J., Ren Y. and Zhao M.** Analysis on Apparent Resistivity variations of Garzê Station before the 2013 Lushan MS7 Earthquake. *Earthquake research in China*, 2014, (3), pp. 388–402.
13. **Wang K., Qi-Fu Chen, Shihong Sun, and Andong Wang.** Predicting the 1975 Haicheng Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2006, 96, pp. 757–795.
14. **Светов Б. С.** Электромагнитный мониторинг сейсмотектонических процессов // *Известия вузов. Геология и разведка*. 1982. № 2. С. 9–115.
15. **Соболев Г. А.** Основы прогноза землетрясений. М.: Наука. 1993. 313 с.
16. **Соболев Г. А., Пономарев А. В.** Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
17. **Соболев Г. А.** Методология, результаты и проблемы прогноза землетрясений // *Вестник РАН*. 2015. Т. 85. №3. С. 203–209.
18. **Брагин В. Д.** Активный электромагнитный мониторинг территории Бишкекского прогно-стического полигона: Дис. ...канд. физ.-мат. наук. М., 2001. 135 с
19. **Идармачев Ш. Г., Алиев М. М.** Вариации кажущегося сопротивления горных пород в пе-риод Кизилюртовского землетрясения 1999 г. в Дагестане // *Геофизические исследования*. 2013. Т. 14. №2. С. 15–25.
20. **Баталева Е. А., Мухамадеева В. А.** Комплексный электромагнитный мониторинг геоди-намических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. № 2. С. 461–487. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0356>
21. **Rymarczyk T., Kłosowski G., Tchórzewski P., Cieplak T., Kozłowski E.** Area monitoring using the ERT method with multisensor electrodes. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2019, 95 (1), pp. 153–156.
22. **Неведрова Н. Н., Шалагинов А. Е.** Мониторинг электромагнитных параметров в зоне сейсмической активизации Горного Алтая // *Геофизика*. 2015. № 1. С. 31–40.
23. **Nevedrova N. N., Sanchaa A. M., Shalaginov A. E., Babushkin S. M.** Electromagnetic monitoring in the region of seismic activation (on the Gorny Altai (Russia) example) // *Geodesy and Geodynamics*, 2019, 10 (6), pp. 460–470. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.06.001>
24. **Шапаренко И. О., Неведрова Н. Н.** Мониторинг разломных зон методом электротомо-графии (на примере Горного Алтая) // *Проблемы геодинамики и геоэкологии внутрикон-тинентальных орогенов: Материалы докладов VII Международного симпозиума*. 2018. С. 439–443.
25. **Ramachandran K., Tapp B., Rigsby T., Lewallen E.** Imaging of fault and fracture controls in the Arbuckle-Simpson aquifer, Southern Oklahoma, USA, through electrical resistivity sounding and tomography methods // *International Journal of Geophysics*, 2012, pp. 132–142
26. **Nevedrova N. N., Sanchaa A. M., Shaparenko I. O.** Geoelectrical structure and monitoring in fault zones of Uimon depression in Gorny Altai region using electromagnetic methods // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing. 2021. V. 929, №. 1, pp. 012–025.
27. **Шапаренко И. О., Неведрова Н. Н., Мариненко А. В., Суродина И. В.** Анализ эффек-тивности программных комплексов электротомографии для интерпретации полевых дан-ных в сейсмоактивных районах (на примере Горного Алтая) // *Геология и минерально-сы-рьевые ресурсы Сибири*. 2023. № 2(54). С. 41–50.
28. **Schutze C., Friedel S. and Jacobs F.** Detection of three-dimensional transport processes in porous aquifers using geoelectrical quotient tomography. *European Journal of Environment and Engineering Geophysics*, 2022, №7, p. 3–19.

29. **Labrecque D. J. and Yang X.** Difference Inversion of ERT Data: a Fast Inversion Method for 3-D in Situ Monitoring. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 2001, vol. 5, p. 83–90.
30. **Деев Е. В., Зольников И. Д., Турова И. В., Русанов Г. Г., Ряполова Ю. М., Неведрова Н. Н., Котлер С. А.** Палеоземлетрясения в Уймонской внутригорной впадине // *Геология и геофизика*, 2018. Т. 59, № 4. С. 437–452.
31. **Деев Е. В., Неведрова Н. Н., Русанов Г. Г., Санчаа А. М., Бабушкин С. М., Кречетов Д. В., Ельцов И. Н., Зольников И. Д.** Новые данные о строении Уймонской межгорной впадины (Горный Алтай) // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. 2012. №1 (9). С. 15–23.

References

1. **Dobrovolskii I. P.** Teoriya podgotovki tektonicheskogo zemletryaseniya. M.: IFZ AN SSR, 1991. 217 p.
2. **Dobrovolskii I. P.** O probleme prognoza tektonicheskogo zemletryaseniya [On the problem of forecasting a tectonic earthquake]. *Geofizicheskie issledovaniya*, 2010, vol. 11, № 1, p. 35–46.
3. **Mogi K.** Predskazanie zemletryaseni. M.: Mir, 1988.
4. **Rybin A. K., Bataleva E. A., Aleksandrov P. N., Nepeina K. S.** Ehlektromagnitnye issledovaniya sovremennykh geodinamicheskikh protsessov litosfery oblastei vnutrikontinental'noi orogenii, na primere Tyan'-Shanya // *Fizika Zemli*, 2022, vol. 68, № 5, p. 98–115
5. **Sidorin A.YA.** Vydayushcheesya dostizhenie Rossiiskoi akademii nauk: uspesnyi prognoz zemletryaseniya v Yaponii 11 marta 2011 g. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*, 2011, vol. 10, № 1, p. 5.
6. **Du X. B.** Two types of changes in apparent resistivity in earthquake prediction. *Science China Earth Sciences*, January 2011, vol. 54, iss. 1, pp. 145–156. DOI: 10.1007/s11430-010-4031-y.
7. **Du X.B., An Z., Yan R., Ye Q., Fan Y., et. al.** Changes in Apparent Resistivity in the Late Preparation Stages of Strong Earthquakes in Earthquake. *Research and Analysis in Statistical Studies, Observations and Planning*, Dr Sebastiano D'Amico (Ed.), 2012, pp. 199–220.
8. **Konstantaras A., Fouskitakis, G. N., Makris, J. P., and Vallianatos, F.** Stochastic analysis of geo-electric field singularities as seismically correlated candidates. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2008, 8, pp. 1451–1462, DOI: 10.5194/nhess-8-1451-200
9. **Zhao Y. L.** Geoelectric Precursors to Strong Earthquakes in China. *Tectonophysics*, 1994, vol. 233, no. 1, 2, pp. 99–113.
10. **Ma Li, Ghen J., Chen Q.** Features of Precursor Field before and after Datong Yangao Earthquake Swarm. *J. Earth. Pred. Res.*, 1995, vol. 4, no. 1, pp. 71–76.
11. **Du X.-B., Li N., Ye Q., Ma Z.-H., Yan R.** A Possible Reason for the Anisotropic Changes in Apparent Resistivity Near the Focal Region of Strong Earthquake. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, vol. 50, № 6, pp. 1555–1565.
12. **Xie T., Lu J., Ren Y. and Zhao M.** Analysis on Apparent Resistivity variations of Garzê Station before the 2013 Lushan MS7 Earthquake. *Earthquake research in China*, 2014, vol. 3, pp. 388–402.
13. **Wang K., Qi-Fu Chen, Shihong Sun, and Andong Wang.** Predicting the 1975 Haicheng Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2006, vol. 96, pp. 757–795.
14. **Svetov B. S.** Ehlektromagnitnyi monitoring seismotektonicheskikh protsessov [Electromagnetic monitoring of seismotectonic processes]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1982, № 2, p. 9–115.
15. **Sobolev G. A.** Osnovy prognoza zemletryaseni [Earthquake Prediction Basics]. M.: Nauka, 1993, 313 p.

16. **Sobolev G. A.** Fizika zemletryaseni i predvestniki [Earthquake physics and precursors]. M.: Nauka, 2003, 270 p.
17. **Sobolev G. A.** Metodologiya, rezul'taty i problemy prognoza zemletryaseni [Methodology, results and problems of earthquake forecasting]. Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk, 2015, vol 85, № 3, pp. 203–209.
18. **Bragin V. D.** Aktivnyi ehlektromagnitnyi monitoring territorii Bishkekского prognosticheskogo poligona [Active electromagnetic monitoring of the territory of the Bishkek prognostic test site]: dis. kand. fiz.-mat. Nauk. M., 2001. 135 p.
19. **Idarmachev SH. G., Aliev M. M.** Variatsii kazhushchegosya soprotivleniya gornykh porod v period Kizilyurtovskogo zemletryaseniya 1999 g. v Dagestane [Variations in apparent resistivity of rocks during the 1999 Kizilyurt earthquake in Dagestan] // Geofizicheskie issledovaniya, 2013, vol. 14, № 2, pp. 15–25.
20. **Bataleva E. A., Mukhamadeeva V. A.** Kompleksnyi ehlektromagnitnyi monitoring geodinamicheskikh protsessov Severnogo Tyan'-Shanya (Bishkekский geodinamicheskii poligon) [Integrated electromagnetic monitoring of geodynamic processes in the Northern Tien Shan (Bishkek geodynamic test site)] // Geodynamics & Tectonophysics, 2018, № 2, p. 461–487. DOI: 10.5800/GT-2018-9-2-0356
21. **Rymarczyk T., Kłosowski G., Tchórzewski P., Cieplak T., Kozłowski E.** Area monitoring using the ERT method with multisensor electrodes. Przegląd Elektrotechniczny, 2019, vol. 95 (1), pp. 153–156.
22. **Nevedrova N. N., Shalaginov A. E.** Monitoring ehlektromagnitnykh parametrov v zone seismicheskoi aktivizatsii Gornogo Altaya [Monitoring of electromagnetic parameters in the zone of seismic activity in Gorny Altai]. Geofizika, 2015, № 1, p. 31–40.
23. **Nevedrova N. N., Sanchaa A. M., Shalaginov A. E., Babushkin S. M.** Electromagnetic monitoring in the region of seismic activation (on the Gorny Altai (Russia) example) // Geodesy and Geodynamics, 2019, vol. 10 (6), pp. 460–470. <https://DOI.org/10.1016/j.geog.2019.06.001>
24. **Shaparenko I. O., Nevedrova N. N.** Monitoring razlomnykh zon metodom ehlektrotomografii (na primere Gornogo Altaya) [Monitoring of fault zones by electrotomography (on the example of Gorny Altai)]. Problemy geodinamiki i geoekologii vnutrikontinental'nykh orogenov: Materialy dokladov VII Mezhdunarodnogo simpoziuma, 2018, p. 439–443.
25. **Ramachandran K., Tapp B., Rigsby T., Lewallen E.** Imaging of fault and fracture controls in the Arbuckle-Simpson aquifer, Southern Oklahoma, USA, through electrical resistivity sounding and tomography methods // International Journal of Geophysics, 2012, pp. 132–142
26. **Nevedrova N. N., Sanchaa A. M., Shaparenko I. O.** Geoelectrical structure and monitoring in fault zones of Uimon depression in Gorny Altai region using electromagnetic methods // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021, vol. 929, № 1, pp. 012–025.
27. **Shaparenko I. O., Nevedrova N. N., Marinenko A. V., Surodina I. V.** Analiz ehffektivnosti programmnykh kompleksov ehlektrotomografii dlya interpretatsii polevykh dannykh v seismoaktivnykh raionakh (na primere Gornogo Altaya) [Анализ эффективности программных комплексов электротомографии для интерпретации полевых данных в сейсмоактивных районах (на примере Горного Алтая)], Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri, 2023, № 2(54), p. 41–50.
28. **Schutze C., Friedel S. and Jacobs F.** Detection of three-dimensional transport processes in porous aquifers using geoelectrical quotient tomography. European Journal of Environment and Engineering Geophysics, 2022, №7, p. 3–19.
29. **Labrecque D. J. and Yang X.** Difference Inversion of ERT Data: a Fast Inversion Method for 3-D in Situ Monitoring. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2001, vol. 5, pp. 83–90.

30. **Deev E. V., Zol'nikov I. D., Turova I. V., Rusanov G. G., Ryapolova Yu. M., Nevedrova N. N., Kotler S. A.** Paleozemletryaseniya v Uimonskoi vnutrigornoj vpadine// *Geologiya i geofizika*, 2018, vol. 59, № 4, pp. 437–452.
31. **Deev E. V., Nevedrova N. N., Rusanov G. G., Sanchaa A. M., Babushkin S. M., Krechetov D. V., El'tsov I. N., Zol'nikov I. D.** New data on structure of Uimon intermountain basin (Gorny Altai). *Geology and mineral resources of Siberia*, 2011, №1 (9), pp. 15–23.

Информация об авторах

Неведрова Нина Николаевна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
ResearcherID O-2143-2015

Шалагинов Александр Евгеньевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
ResearcherID O-2200-2017

Мариненко Аркадий Вадимович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
ResearcherID AAU-7664-2020

Шапаренко Илья Олегович, младший научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
ResearcherID I-9677-2018

Information about the Authors

Nina N. Nevedrova, Doctor in Geology and Mineralogy, Chief Researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
ResearcherID O-2143-2015

Aleksandr E. Shalaginov, PhD, Senior Researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
ResearcherID O-2200-2017

Arkadii V. Marinenko, PhD, Researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
ResearcherID AAU-7664-2020

Ilya O. Shaparenko, Junior Researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
ResearcherID I-9677-2018

Статья поступила в редакцию 24.07.2023;

одобрена после рецензирования 29.08.2023; принята к публикации 29.08.2023

The article was submitted 24.07.2023;

approved after reviewing 29.08.2023; accepted for publication 29.08.2023

Научная статья

УДК 902.694

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-46-55

Методы создания семантически ориентированных интеллектуальных помощников

Артем Сергеевич Трегубов¹, Иван Сергеевич Немцев²,
Анна Александровна Котельникова³, Дарья Андреевна Доможакова⁴

Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

¹a.tregubov@g.nsu.ru

²i.nemtsev@g.nsu.ru

³a.kotelnikova@g.nsu.ru

⁴d.domozhakova@g.nsu.ru

Аннотация

В настоящий момент для создания интеллектуальных помощников используются различные технологии, основанные как на исследованиях в области нейронных сетей, средств анализа текстов на естественном языке, так и на использовании средств семантического моделирования. Каждый из этих подходов позволяет качественно решать отдельно взятые задачи. В рамках данной работы разрабатывается интеллектуальный помощник, объединяющий в себе все указанные подходы. Цель работы – создание интеллектуального помощника, выполняющего функции виртуального консультанта по процессам работы организации. Разработка основана на использовании семантической модели организации и бизнес-процессов. Для распознавания пользовательских намерений мы используем гомоморфные и генерализованные пользовательские намерения. Система позволяет осуществлять декомпозицию пользовательских задач и формировать последовательность их выполнения на основе семантических моделей пользователя и предметной области.

Ключевые слова

интеллектуальный помощник, онтология, машинное обучение, обработка текстов на естественном языке, распознавание намерений

Для цитирования

Трегубов А. С., Немцев И. С., Котельникова А. А., Доможакова Д. А. Методы создания семантически ориентированных интеллектуальных помощников // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 3. С. 46–55. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-46-55

© Трегубов А. С., Немцев И. С., Котельникова А. А., Доможакова Д. А., 2023

Methods for Developing Semantically Oriented Virtual Assistants

Artem S. Tregubov¹, Ivan S. Nemtsev²,
Anna A. Kotelnikova³, Darya A. Domozhakova⁴

Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

¹a.tregubov@g.nsu.ru

²i.nemtsev@g.nsu.ru

³a.kotelnikova@g.nsu.ru

⁴d.domozhakova@g.nsu.ru

Abstract

Nowadays, various technologies are used to create intelligent assistants, based both on research in the field of neural networks, natural language text analysis tools, and on the use of semantic modeling tools. Each of these approaches allows you to qualitatively solve certain problems. As part of this work, an intelligent assistant is being developed that combines all these approaches. The purpose of the work is to create an intelligent assistant that performs as a virtual consultant on the organization's work processes. The development is based on the use of the semantic model of the organization and business processes. To recognize user intents, we use homomorphic and generalized user intents. The system allows decomposing user tasks and creating a consistency of their execution based on the user semantic models and the subject area.

Keywords

Intelligent assistant, ontology, machine learning, natural language processing, intent recognition

For citation

Tregubov A. S., Nemtsev I. S., Kotelnikova A. A., Domozhakova D. A. Methods for creating semantically oriented intelligent assistants. *Vestnik NSU. Series: Information technologies*. 2023, vol. 21, no. 3. P. 46–55. DOI 10.25205/1818 7900-2023-21-3-46-55

Введение

При попадании в незнакомую среду люди часто испытывают психологический дискомфорт и трудности, связанные с неопределенностью и неизвестностью. Новая предметная область кажется для них непонятной, а для некоторых даже враждебной. Решением данной проблемы могли бы выступать виртуальные ассистенты, содержащие знания о данной предметной области. Для формализации знаний хорошо подходят средства семантического и онтологического моделирования, с помощью которых можно задать правила и принципы устройства такой предметной области.

Задача создания интеллектуального помощника является достаточно сложной, объединяющей в себе достижения в различных областях научного знания. В частности, для создания интеллектуальных помощников используются исследования в области нейронных сетей, средств анализа текстов на естественном языке, средств семантического моделирования и так далее, что подчеркивает актуальность выбранной темы.

В рамках данной работы предполагается создание интеллектуального помощника, выполняющего функции электронного консультанта по процессам работы организации. Предполагается создание универсальной системы, способной настраиваться под любую предметную область.

Цель работы – создание интеллектуального помощника с использованием средств семантического моделирования для описания бизнес-процессов и структуры организации.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи.

1. Разработать способ анализа входящих сообщений для распознавания намерений пользователя.

2. Разработать механизм управления диалогом с пользователем.
3. Разработать семантическую модель структуры организации.
4. Разработать семантическую модель бизнес-процессов организации.
5. Разработать прототип интеллектуального помощника.

Разрабатываемые семантические модели и методы работы с намерениями являются ключевыми компонентами создаваемого в рамках данной работы интеллектуального помощника.

1. Анализ существующих подходов и решений

Распознавание пользовательских намерений играет ключевую роль в вопросе создания интеллектуальных помощников. Для качественного решения данного вопроса требуется прежде всего решение задачи обработки текста на естественном языке [1]. Продвижение в данном вопросе позволит создать голосовой интерфейс для взаимодействия человека и компьютера. Но стоит отметить, что это не является ключевой задачей исследования.

Далее для работы интеллектуального помощника было необходимо выполнить исследование существующих подходов и решений.

В результате данного исследования было обнаружено, что наиболее близким к данной задаче решением является решение от консорциума W3C под названием «The Organizational Ontology» [2]. Данное решение представляет собой онтологию, предназначенную для публикации информации об организациях и организационных структурах, включая правительственные организации.

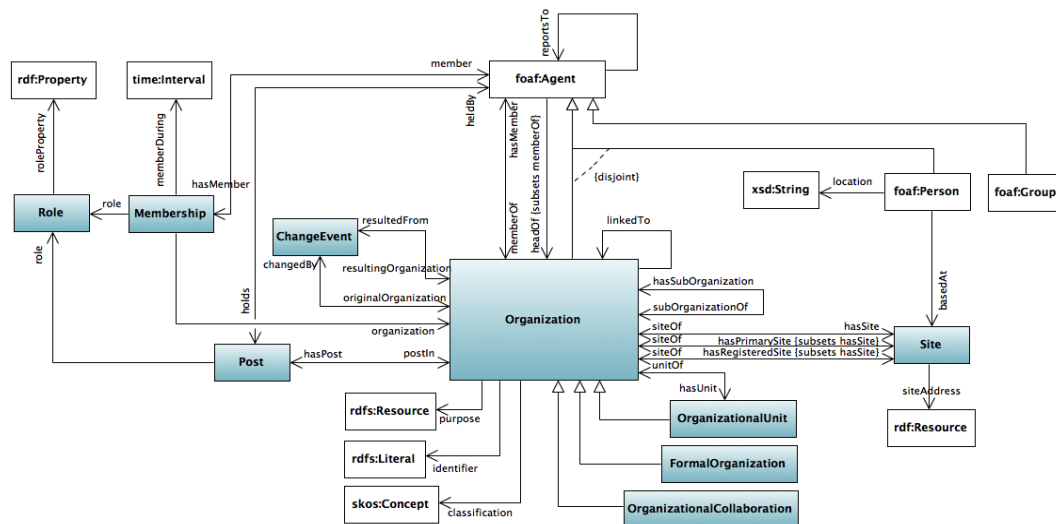


Рис. 1. Схема онтологии The Org от W3C

Fig. 1. Ontology scheme The Org by W3C

Решение, представляющее собой компонент отечественной системы по управлению бизнес-процессами ELMA BPM под названием «Моделирование оргструктуры». Данный инструмент позволяет описать как модель структуры организации, так и ее бизнес процессы. Данное решение является наиболее интересным. Но, к сожалению, не позволяет интегрировать его для интеллектуального помощника, а также не позволяет использовать механизмы логического вывода, позволяющие значительно упростить процесс описания модели.

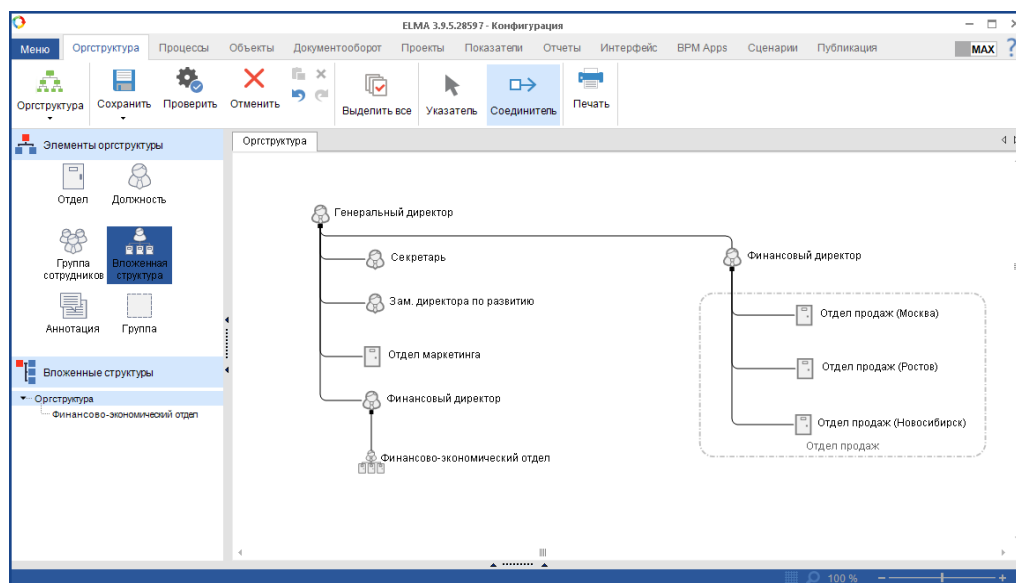


Рис. 2. Пример построения модели структуры организации в программном решении ELMA

Fig. 2. Example of building an organization structure model in the ELMA software solution

Рассмотренные аналоги имеют ряд существенных недостатков. Так, в большинстве описанных решений отсутствуют подобиya таких понятий, как «поддерживаемые операции» и «бизнес-правила», которые позволили бы строить ответы на вопросы о правилах работы отдельных элементов организационной структуры. Некоторые аналоги делают упор на процессной части моделирования организаций, а продукт от W3C, кроме всего прочего, обладает рядом лишних параметров, представляющих собой накладные расходы. Перечисленные недостатки данных решений затрудняют или делают невозможным их использование в разрабатываемой системе.

На основе анализа было предложено решение, использующее лучшие практики существующих решений [3; 4], дополненное средствами семантического моделирования.

2. Предлагаемое решение

2.1. Модель структуры организации

В рамках работы была разработана модель структуры организации, обладающая универсальностью в отношении моделирования организаций и поддерживающая такие понятия, как «бизнес-правила» и «поддерживаемые операции».

Ключевым звеном онтологии является OWL-класс под названием «Workspace». Данный класс представляет собой единицу организационной структуры и позволяет отражать такие сущности моделируемой предметной области, как «Организация», «Отдел», «Должность», «Человек» и «Место». Для этого экземпляры класса «Workspace» связываются отношением «workspaceType» с экземпляром одного из приведенных в онтологии классов, отражающих тип сущности предметной области. В свою очередь, для того чтобы экземпляр класса «Workspace» не являлся одновременно, например, и Местом, и Человеком, была установлена кардинальность отношения «workspaceType».

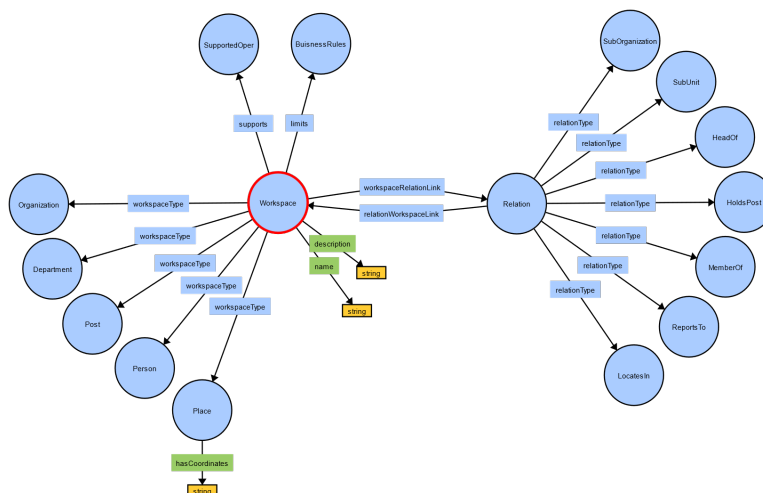


Рис. 3. Схема разработанной онтологии
Fig. 3. Developed ontology scheme

«Бизнес-правила» представляют собой набор правил-ограничений, описывающих порядок работы некоторой сущности предметной области, например, время работы того или иного элемента организационной структуры.

Необходимо отметить, что класс «SupportedOperations» является интерфейсом к семантической модели бизнес-процессов, которая также разрабатывается в рамках проекта по созданию интеллектуального помощника, призванного помочь людям в адаптации к новой для них организации.

Таким образом, разработанная модель представляет собой универсальную онтологию, позволяющую строить модели даже самых сложных организационных структур, а используемые технологии семантического моделирования дают возможность использования логики первого порядка для вывода новых фактов и проверки модели на противоречивость заданным правилам.

2.2. Модель описания бизнес-процессов

Но модель структуры организации была бы бессмысленна без наличия модели, позволяющей описывать бизнес-процессы, происходящие внутри системы.

Организации, взаимодействующие с людьми, как правило, имеют сложные бизнес-процессы, подразумевающие как участия в них большого числа сотрудников, так и возможные интеграции с другими компаниями.

Стоит отметить важность последнего пункта, бизнес-процесс нельзя представить в виде обычного конвейера, а наоборот, это сложная структура с возможностью условных переходов между состояниями [5].

Разработанная модель, так же как и предыдущая, представляет собой онтологию, описанную с помощью модели представления данных RDF и языка описания онтологий OWL.

Предлагаемая модель позволяет описать бизнес-процессы любой организации. При этом учитывается возможность параллельного выполнения автоматизации некоторых действий, возможного ветвления и т. д. Стоит отметить ключевые особенности данной системы и описать ключевые понятия.

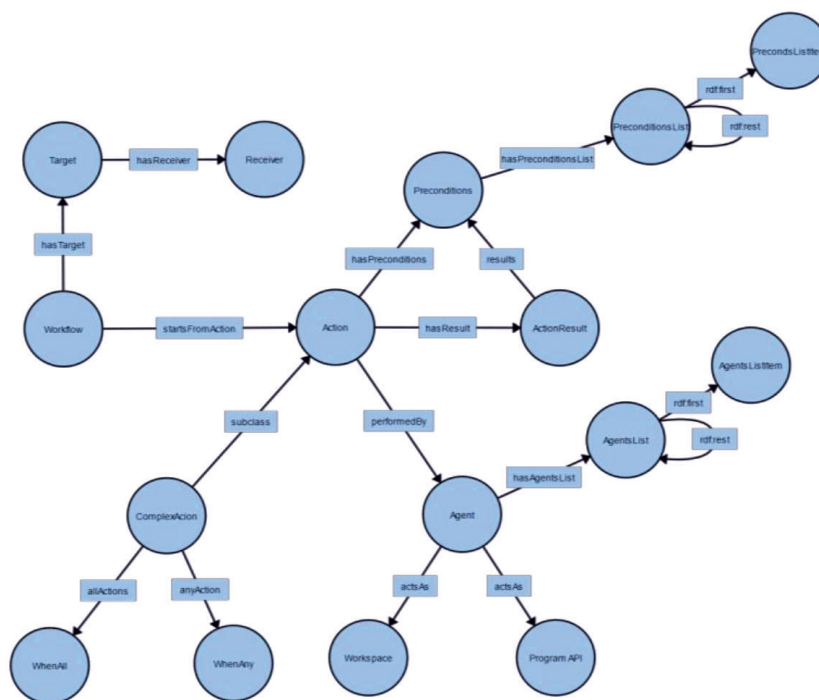


Рис. 4. Схема представления бизнес-процессов
Fig. 4. Business process representation diagram

2.3. Модель пользователя

В последнее время тяжело представить работающую информационную систему, которая бы не использовала в своей работе информационную модель представления знаний о пользователе, поскольку любая информационная система разрабатывается в конечном счете для людей, которые будут пользоваться данной системой.

Для формирования релевантных ответов и оптимальных предложений необходимо узнать о пользователе как можно больше информации за короткое время взаимодействия [6]. В связи с этим возникает потребность в самостоятельном извлечении недостающих знаний в ходе диалога. Это становится возможным с применением методов машинного обучения, которые активно развиваются в последние годы [7]. Для дополнения уровня знаний модели пользователя корректными и непротиворечивыми данными используются семантические технологии.

Модуль, реализующий гибридный подход, включает несколько обученных нейронных сетей, выявляющих требуемые характеристики для семантической модели пользователя [8]. Архитектура позволяет свободно дополнять набор используемых нейронных сетей, что расширяет спектр его применения.

В соответствии с целью работы были сформулированы требования, архитектура системы и составлена семантическая модель пользователя. На диаграмме также показаны такие элементы, более подробно описанные выше, как сущности Workspace или BusinessProcess.

2.4. Модель диалога

Распознавания голосовых команд часто недостаточно, поскольку пользователь может не указать некоторые параметры, требуемые помощнику. Например, человек сказал: «Кто мо-

жет выдать справку о том, что я студент?» Но для получения справки необходимо указать организацию, для которой она выдается.

Для уточнения или получения обратной связи необходимо иметь возможность управлять процессом диалога и вести двунаправленный диалог. Предлагается моделировать диалог в виде конечного автомата.

В качестве примера рассмотрим задачу «заказ еды». Во время диалога система заполняет следующие слоты (аргументы для пользовательских намерений): адрес (slot1), телефон (slot2), заведение для заказа (slot3), название еды (slot4), тип еды (slot5), диапазон цен (slot6). Некоторые из них являются обязательными.

Таким образом, мы видим, что необязательные слоты могут помочь в ситуации, когда пользователь затрудняется ответить или это для него не важно. В итоге оптимизируется количество раундов разговора.

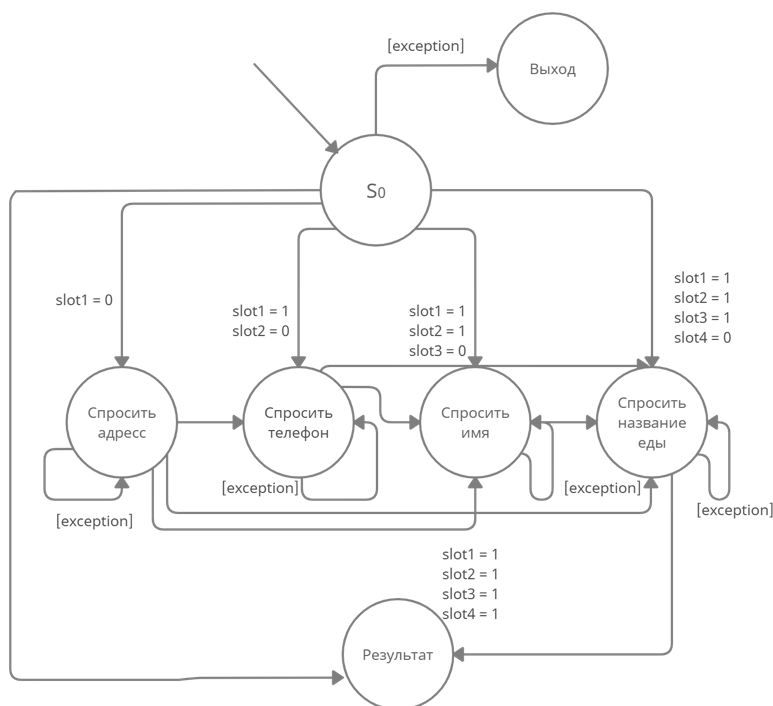


Рис. 5. Пример модели диалога, построенного в процессе работы системы

Fig. 5. Example of a dialog model built during the operation of the system

2.5. Методология работы с пользовательскими намерениями

В рамках данной работы мы рассматриваем намерение как сущность, привязанную к семантической модели организации. Это означает, что намерения могут ссылаться на какой-то отдел, должность, поддерживаемую операцию, бизнес-правило и т. д.

Для порождения пользовательских намерений мы используем средства логического вывода для семантических моделей. Для этого задается некоторый набор правил, с помощью которого удастся получить список пользовательских намерений. Намерения, созданные с помощью такого механизма, будем называть генерализованными.

Пример

Пусть имеем следующий шаблон непараметризованного интента:

template Intent *<T>* {},

где Intent = *ОформитьДокументыНа* + *<T>*.

Тогда можно сгенерировать следующие примеры конкретных интентов по заданному шаблону:

- 1) Intent_1 = *ОформитьДокументыНаОтпуск*;
 - 2) Intent_2 = *ОформитьДокументыНаПринятиеНаРаботу*;
 - 3) Intent_3 = *ОформитьДокументыНаПолучениеСтипендии*;
 - 4) Intent_4 = *ОформитьДокументыНаУвольнение*;
- и т. д.

Таким образом, генерализированные намерения – это результат шаблонизации пользовательских намерений на основе семантической модели. Подход шаблонизации дает возможность работы с разными типами интентов, требуя от них наличия лишь некоторых определенных свойств. Однако данная система содержит в себе семантическую модель бизнес-процессов, которые зачастую могут быть параметризованы, это также необходимо учитывать, поэтому используется подход параметризации интентов [9]. Таким образом, мы можем создать множество намерений, которые зависят от разных параметров, задаваемых пользователем.

Пример

Пользователю необходимо заказать такси. Тогда имеем следующий *параметризованный* интент:

Заказать_такси (время, место_отправления, место_прибытия, класс_автомобиля).

Стоит отметить, что возможны случаи, когда пользователем определены не все параметры интента или же значения определенных параметров заданы по умолчанию. Тогда можно считать такие намерения полиморфными.

Полиморфным классом будем называть множество интентов, описывающих одно и то же намерение пользователя, но имеющих различную степень детализации. Интенты, принадлежащие одному классу полиморфности, называются полиморфными.

В данном случае имеет место аналогия с полиморфизмом в объектно-ориентированном программировании, когда функция умеет работать с различными типами аргументов, как будто это один тип, однако поведение каждого типа уникально в зависимости от его реализации. В рассматриваемом же случае свойство полиморфизма означает, что процесс распознавания и последующей обработки интента зависит от того, к какому классу полиморфности он принадлежит.

2.6. Распознавание пользовательских намерений

Распознавание пользовательских намерений можно выполнить различными методами [10, 11], например, с помощью *SoftTripletLoss* функции потерь для нейронных сетей, обучаемых с помощью метрических способов. Архитектура *SoftTripletLoss* позволяет снизить критерии качества для обучающей выборки.

Часто за основу для обучения таких нейронных сетей выбирают массив данных *SNLI*, представленный группой ученых, занимающихся обработкой текстов на естественном языке из Стэнфордского университета.

Однако в целом задача распознавания пользовательских намерений [12] не является ключевой в данном исследовании, поскольку основной акцент сделан именно на методах семантического моделирования и способе порождения пользовательских намерений.

Заключение

В рамках работы предложены методы создания интеллектуальных помощников на основе семантического моделирования с использованием средств логического вывода для порождения новых пользовательских намерений.

Для достижения цели исследования по созданию интеллектуального помощника с использованием средств семантического моделирования для описания бизнес-процессов и структуры организации были поставлены следующие задачи.

1. Разработать способ анализа входящих сообщений для распознавания намерений пользователя.
2. Разработать механизм управления диалогом с пользователем.
3. Разработать семантическую модель структуры организации.
4. Разработать семантическую модель бизнес-процессов организации.
5. Разработать прототип интеллектуального помощника.

Разрабатываемые семантические модели и методы работы с намерениями являются ключевыми компонентами создаваемого в рамках данной работы интеллектуального помощника.

Список литературы

1. **Шолле Ф.** Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер, 2018. С. 346–348.
2. **Kuraton Y., Arkhipov M.** Adaptation of Deep Bidirectional Multilingual Transformers for Russian Language. 2019. arXiv preprint arXiv:1905.07213.
3. **Hamilton W. L., Rex Ying, and Leskovec J.** Representation learning on graphs: Methods and application // IEEE Data Eng. Bull., 2017a.
4. **Sahisnu Mazumder, Nianzu Ma, and Bing Liu.** Towards a Continuous Knowledge Learning Engine for Chatbots. 2018. arXiv:1802.06024.
5. **Zhanming Jie, Wei Lu.** Dependency-guided lstm-crf for named entity recognition // Proceedings of EMNLP. 2019.
6. **Kipf Th. N., Welling M.** Semi-supervised classification with graph convolutional networks // Proceedings of ICLR. 2017.
7. **Gubichev A., Bedathur S., Seufert S., Weikum G.** Fast and accurate estimation of shortest paths in large graphs // Proceedings of the 19th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM '10. New York, NY, USA, 2010. P. 499–508.
8. **Fellbaum C.** (to appear) Future Challenges for the Princeton WordNet. In: Special Issue on Linking, Integrating and Extending Wordnets. Linguistic Issues in Language Technology, eds. Francis Bond, Christiane Fellbaum and Ewa Rudnicka.
9. **Шолле, Ф.** Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер, 2018. С. 173–191.
10. **Guo Z., Zhang Y., Lu W.** Attention Guided Graph Convolutional Networks for Relation Extraction // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Florence, Italy, 28 July – 2 August 2019. P. 241–251.
11. BERT large model (uncased) for Sentence Embeddings in Russian language. URL: https://huggingface.co/sberbank-ai/sbert_large_nlu_ru
12. **Corso G., Cavalleri L., Beaini D., Lio P., Velićković P.** Principal neighborhood aggregation for graph nets // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. P. 13260–13271.

References

1. **Chollet, F.** Deep learning with Python. St. Petersburg: Piter, 2018, pp. 346–348.

2. **Kuraton, Y., Arkhipov, M.** Adaptation of Deep Bidirectional Multilingual Transformers for Russian Language, 2019, arXiv preprint arXiv:1905.07213.
3. **Hamilton, W. L., Rex Ying, and Leskovec, J.** Representation learning on graphs: Methods and applications. *IEEE Data Eng. Bull.*, 2017a.
4. **Sahisnu Mazumder, Nianzu Ma, and Bing Liu.** Towards a Continuous Knowledge Learning Engine for Chatbots, 2018, arXiv:1802.06024.
5. **Zhanming Jie and Wei Lu.** Dependency-guided lstm-crf for named entity recognition. *Proceedings of EMNLP*, 2019.
6. **Kipf, Th. N., Welling, M.** Semi-supervised classification with graph convolutional networks. *Proceedings of ICLR*, 2017.
7. **Gubichev, A., Bedathur, S., Seufert, S., Weikum, G.** Fast and accurate estimation of shortest paths in large graphs. In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM '10*, New York, NY, USA, 2010, pp. 499–508.
8. **Fellbaum, C.** (to appear) Future Challenges for the Princeton WordNet. In: *Special Issue on Linking, Integrating and Extending Wordnets. Linguistic Issues in Language Technology*, eds. Francis Bond, Christiane Fellbaum and Ewa Rudnicka.
9. **Chollet, F.** Deep learning with Python. St. Petersburg: Piter, 2018, pp. 173–191.
10. **Guo, Z., Zhang, Y., Lu, W.** Attention Guided Graph Convolutional Networks for Relation Extraction. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Florence, Italy, 28 July – 2 August 2019; pp. 241–251.
11. BERT large model (uncased) for Sentence Embeddings in Russian language, Access mode: https://huggingface.co/sberbank-ai/sbert_large_nlu_ru
12. **Corso, G., Cavalleri, L., Beaini, D., Lio, P., Velic'ković, P.** Principal neighborhood aggregation for graph nets. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2020, vol. 33, pp. 13260–13271.

Информация об авторах

Трегубов Артем Сергеевич, аспирант Новосибирского государственного университета

Немцев Иван Сергеевич, магистрант Новосибирского государственного университета

Котельникова Анна Александровна, бакалавр Новосибирского государственного университета

Доможакова Дарья Андреевна, бакалавр Новосибирского государственного университета

Information about the Authors

Artem S. Tregubov, Graduate Student, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

Ivan S. Nemtsev, Master's Student, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

Anna A. Kotelnikova, Bachelor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

Darya A. Domozhakova, Bachelor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию 10.07.2023;

одобрена после рецензирования 20.08.2023; принята к публикации 20.08.2023

The article was submitted 10.07.2023;

approved after reviewing 20.08.2023; accepted for publication 20.08.2023

Научная статья

УДК 004.93'12

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-56-71

Модульная архитектура системы помощи водителю для эффективного распознавания дорожных знаков

**Игорь Константинович Харченко¹, Игорь Георгиевич Боровской²,
Елена Александровна Шельмина³**

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Томск, Россия

¹igor.k.kharchenko@tusur.ru

²igor.g.borovskoi@tusur.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2707-7203>

³elena.a.shelmina@tusur.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6278-5961>

Аннотация

Целью исследования является разбор современных подходов к реализации систем помощи водителю, а также реализация архитектуры системы помощи водителю, направленная на распознавание дорожного знака на максимальном удалении от него при сложных погодных условиях, для заблаговременной выдачи обратной связи водителю. В работе рассмотрены основные используемые сигналы при реализации и эксплуатации системы помощи водителю: данные с CAN-шины автомобиля, информация с GPS-приемника, фрагменты видео с цифровой камеры. В представленной модульной архитектуре используются перечисленные источники данных для оценивания дорожной обстановки, а также нейросетевые методы для распознавания дорожных знаков. Представлена модульная архитектура системы помощи водителю, позволяющая оповещать водителя о дорожных знаках. Система оснащена контролем границы полосы для оповещения водителя о знаках, относящихся к прилегающей проезжей части при поворотах. Экспериментально доказано, что представленная в работе модульная архитектура системы помощи водителю не уступает по скорости и точности работы альтернативным системам, выступая в виде комплексного автономного решения.

Ключевые слова

системы помощи водителю, помощь в удержании полосы, распознавание дорожных знаков, нейросетевые архитектуры

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта на реализацию программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» в рамках научного проекта «Пр2030-МОН наука БЧ/СП2/Б/196».

Для цитирования

Харченко И. К., Боровской И. Г., Шельмина Е. А. Модульная архитектура системы помощи водителю для эффективного распознавания дорожных знаков // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 3. С. 56–71. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-56-71

© Харченко И. К., Боровской И. Г., Шельмина Е. А., 2023

Modular Architecture of Advanced Driver Assistance Systems for Effective Traffic Sign Recognition

Igor K. Kharchenko¹, Igor G. Borovskoy²,
Elena A. Shelmina³

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
Tomsk, Russian Federation

¹igor.k.kharchenko@tusur.ru

²igor.g.borovskoi@tusur.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2707-7203>

³elena.a.shelmina@tusur.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6278-5961>

Abstract

Analysis of modern approaches to the implementation of driver assistance systems, as well as the implementation of the architecture of the driver assistance system, aimed at recognizing traffic signs at the maximum distance from it under difficult weather conditions, for early feedback to the driver. The paper considers the main signals used in the implementation and operation of the driver assistance system: data from the car's CAN bus, information from a GPS receiver, video fragments from a digital camera. The presented modular architecture uses the listed data sources for estimating the traffic situation, as well as neural network methods for recognizing traffic signs. The modular architecture of the driver assistance system is presented, which allows notifying the driver about traffic signs. The system is equipped with lane boundary control to alert the driver to signs related to the adjacent carriageway when turning. It has been experimentally proven that the modular architecture of the driver assistance system presented in the paper is not inferior in speed and accuracy to alternative systems, acting as a comprehensive autonomous solution.

Keywords

advanced driver assistance systems, lane-keep assistance, traffic sign recognition, artificial neural network architectures

Acknowledgements

The study was supported by a grant for the implementation of the program of strategic academic leadership "Priority-2030" within the framework of the research project "Pr2030-MON science BCh/SP2/B/19b".

For citation

Kharchenko I. K., Borovskoy I. G., Shelmina E. A. Modular architecture of advanced driver assistance systems for effective traffic sign recognition. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 3, pp. 56–71. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-3-56-71

Введение

В настоящее время достаточно актуальной задачей является обеспечение безопасности дорожного движения, поскольку большинство аварий совершаются из-за неправильных или несвоевременных действий водителя. Системы помощи водителю (СПВ, ADAS – Advanced Driver-Assistance Systems) помогают водителю справиться с дорожной ситуацией, отслеживая множество факторов: дорожную обстановку, данные с транспортного средства, текущее состояние водителя. Данные системы также применяются для организации безопасного движения в области беспилотных транспортных средств. У современных СПВ есть достаточно большое количество областей применений, например: предупреждение о выходе из полосы движения (lane departure warning, LDW), помощь в удержании полосы движения (lane-keep assistance, LKA/LCA), предупреждение о слепых зонах (blind-spot warning, BSW) [1]. В последнее время также ведутся исследования в области нового поколения ADAS: совместные ADAS (cooperative advanced driver assistance systems, C-ADAS), которые получают информацию о дорожной ситуации за несколько миль вперед за счет использования технологий беспроводной передачи данных, нежели обычные ADAS, располагающие информацией о дорожной ситуации лишь в нескольких десятках метров поблизости.

1. Цель и результаты исследования

1.1. Цель исследования

Целью исследования является разбор современных подходов к реализации СПВ, а также реализация архитектуры СПВ, направленная на распознавание дорожного знака на максимальном удалении от него при сложных погодных условиях, для заблаговременной выдачи обратной связи водителю. Также СПВ должна распознавать, относится ли знак к полосе, по которой движется водитель, или же к прилегающей дороге или полосе, чтобы предупреждать водителя только о тех знаках, которые относятся к дороге, по которой движется водитель. При поворотах СПВ также должна уведомлять водителя о знаках, которые действуют на территории прилегающей проезжей части.

1.2. Результаты исследования

В результате исследования авторами предложена модульная архитектура СПВ, которая может функционировать автономно, используя только цифровую камеру в салоне автомобиля и такие дополнительные устройства, как GPS-трекер и OBDII-сканер, подключаемый в диагностический порт автомобиля. По качеству и скорости работы данная СПВ сопоставима со встраиваемыми автономными регистраторами с функцией радара.

2. Модели и методы исследования

2.1. Обзор методов получения данных о дорожной обстановке

Для того чтобы СПВ могла корректно распознать дорожную обстановку, необходимо получать данные о границах полос движения автомобиля на проезжей части. Например, в работе [2] для определения смены границы полосы рассматривается несколько десятков возможных подходов. В основном это генеративные модели (скрытые марковские модели, наивный байесовский метод и др.), методы машинного обучения (рекуррентные сети), когнитивные и дискриминативные модели (сети глубокого обучения, SVM, дерево принятия решений и др.). Из данного исследования выявлено, что нейросетевая архитектура LSTM-RNN (Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network, рекуррентная нейронная сеть с долгой кратковременной памятью) лучше всего справляется с распознаванием намерения о смене полосы: данная архитектура позволяет распознать сигнал к смене полосы за 3,5 секунды до самой смены полосы с вероятностью 90,5 %. Источником данных для обучения послужила запись данных с более чем тысячи миль движения автомобиля.

В качестве основных сигналов в работе [2] используются данные с CAN-шины автомобиля (и через отдельный OBD-интерфейс, и путем прямого мониторинга сигналов с сигнальных кабелей), угол и сила наклона руля автомобиля (также с CAN-шины), а также угол наклона глаз водителя и поворота его головы.

Помимо данных с CAN-шины, в работе [3] авторы приводят сравнение различных сенсоров и технологий получения данных о дорожной обстановке. Среди них есть такие, как радар, лидар, цифровая камера и коммуникация между IoT-устройствами на базе 4G LTE и 5G-сетей.

Преимуществами использования радаров и лидаров является высокая дальность обзора, а также независимость от дорожных условий (например, радар миллиметрового диапазона [4]), однако они неприменимы к статичным объектам и могут создавать ложноположительные срабатывания. При использовании сети IoT-устройств дальность «обзора» повышается до нескольких километров, однако очевидным недостатком являются высокие сетевые задерж-

ки, а также недостаточно большая зона покрытия, что особенно критично для небольших населенных пунктов.

Цифровая камера может применяться в качестве основного источника данных для распознавания дорожных объектов, поскольку камера может различать цвета объектов, их форму и текстуру. Однако камеры чувствительны к погодным условиям, а также к изменению света, а дальность обзора зависит от размера матрицы и фокусного расстояния камеры, но в целом может достигать 250–300 метров.

Таким образом, с учетом всех достоинств и недостатков СПВ на базе цифровой камеры можно сделать вывод о достаточной эффективности данного способа. Такого рода СПВ не потребует монтирования дополнительных устройств в автомобиль: радара, лидара, дополнительных коммутаторов.

В качестве еще одного аргумента к применимости СПВ на базе цифровой камеры можно привести работу авторов [5]. В своей работе авторы используют ADAS для распознавания текста с дорожного табло переменной информации, размещаемого над проезжей частью либо на обочине. Для локализации дорожного табло на изображении используется нейросетевая архитектура RetinaNet [6], предобученная на наборе данных COCO и дообученная на наборе данных дорожных табло, а для распознавания текста применяется программа Tesseract 4 [7], в основе которой применяется нейросетевая архитектура LSTM [8] (от англ. Long Short-term Memory, сеть с долговременной краткосрочной памятью).

2.2. Нейросетевые методы распознавания дорожных знаков с изображений цифровой камеры СПВ

Как было сказано ранее, цифровая камера подвержена влиянию погодных условий. При использовании изображений с цифровой камеры (бортового видеорегистратора) для распознавания дорожных знаков последние могут быть перекрыты из-за дождя и снега, контуры знака могут быть не видны из-за смога, тумана, цвет знака трудно различим при затемнении знака и т. д. Для проведения исследований в этой области авторами работы [9] был реализован набор данных CURE-TSD, который включает в себя 49 видеофрагментов с регистратора реального автомобиля в хороших погодных условиях и 49 видеофрагментов, снятых в симуляторе движения автомобиля. На каждый из видеофрагментов наложено более десятка возможных зашумлений, среди которых дождь, снег, туман, грязь, замутнение линзы, затемнение, каждое из которых имеет пять степеней интенсивности: от небольшого до крайне сильного зашумления. За счет этого не требуется проведение аугментации данных [10] при обучении конкретных методов машинного обучения.

Данный набор использовали авторы работы [11], предложив использовать более гибкий подход к локализации и распознаванию дорожных знаков. Используется три нейросетевых архитектуры, каждая из которых осуществляет отдельный набор действий. Первая определяет наличие погодных условий (авторы работы ограничились только шестью вариантами: дождь, снег, туман, загрязнение линзы, размытие и нормальные условия). При определении плохих погодных условий вторая сеть пытается удалить зашумление и привести изображение к виду, близкому к нормальным условиям. Третья сеть пытается локализовать границы знака и распознать его содержимое. Ранее авторами настоящего исследования была реализована модификация рассматриваемого ансамбля [12] с предложением использовать одноэтапный классификатор YOLO v4 вместо ранее предлагаемого двухэтапного подхода с использованием сети SegUNet для локализации участка знака и VGG16 для распознавания типа знака, что в итоге дало прирост скорости работы всего нейросетевого ансамбля до 12 кадров в секунду.

2.3. Оценка стиля вождения с помощью СПВ

Также нужно понимать, что каждый водитель имеет свой стиль вождения, поэтому ADAS также может подстраиваться под стиль вождения конкретного автомобилиста, чтобы вождение стало более аккуратным и безопасным. Авторы работы [13] использовали данные 51 датчика с CAN-шины и с помощью методов многокомпонентного анализа и быстрых трансформаций Фурье обнаружили 15 значимых показаний датчиков, среди которых: время прогрева двигателя, скорость автомобиля и сила нажатия на педаль акселератора, скорость вращения рулевого колеса, максимальный крутящий момент. Авторами установлено, что метод случайного леса и дерево принятия решений срабатывали быстрее таких нейросетевых архитектур, как многослойный перцептрон и DeepRCN (Deep Residual Convolutional Network, глубокая остаточная сверточная сеть): 64 мс против 800 мс, однако точность в среднем была лучше у DeepRCN: до 99,3 %.

Подобная работа была проведена авторами исследования [14]. Авторы использовали в своей работе готовый набор данных, содержащий около 95 тысяч записей с CAN-шины, полученных от 10 разных водителей. Каждая запись содержит измерения с 51 датчика автомобиля: авторы не стали вычленять значимые наборы данных и обучили несколько нейросетевых моделей на базе архитектур LSTM, CNN и классической RNN.

Таким образом, авторы данных работ показали, что на показаниях только 15 датчиков с CAN-шины автомобиля можно спрогнозировать дальнейшее поведение конкретного автомобилиста еще за несколько секунд до его реальных действий.

2.4. К вопросу о безопасности прямого доступа к CAN-шине в СПВ

CAN-шина представляет собой полноценную сеть с одноименной топологией «шина» (при которой все устройства подключены по общему кабелю), сообщения по которой проходят по двум сигнальным проводам: CAN-High (CAN-H) и CAN-Low (CAN-L), которые контролируются электронным блоком управления автомобилем. Оба провода находятся под постоянным напряжением в 2 В и в процессе передачи двоичного сигнала меняют вольтаж на 3,5 В и 1,5 В соответственно. Использование двух проводов с разным напряжением для передачи данных нивелирует влияние шума в сети [15].

В современных автомобилях используется от одной до трех CAN-шин. Высокоскоростная CAN-шина (до 500 кбит/сек) используется для критически важных устройств, таких как двигатель, генератор, система зажигания, система подачи топлива. В современных автомобилях используется несколько CAN-шин (до 250 кбит/сек): в таком случае более низкоскоростные шины используются для таких устройств, как, например, климат-контроль, открывание дверных окон, аудиосистема. Каждое из устройств считывает все сигналы, проходящие по шине, и проверяет, кому предназначается тот или иной пакет, а также может само посылать пакеты по сети конкретному адресату. Если пакет адресован устройству, оно принимает и нужным образом обрабатывает пакет данных.

Однако нужно понимать, что то, что каждое из устройств в автомобиле может передавать данные по сети, сказывается на безопасности дорожного движения. Например, злоумышленник может подключить устройство, выдающее себя, например, за блок управления климат-контролем, и от своего имени осуществить атаку отказа в обслуживании (Denial of Service, DoS), в процессе которой электронный блок управления автомобилем больше не способен будет обрабатывать сигналы с CAN-шины от критически важных устройств. Последствия такого подхода могут быть катастрофическими. Для решения данной проблемы в работе [16] предлагается использование нейросетевого подхода к определению сигналов с шины, которые являются потенциально опасными: нейросеть позволяет определить начало передачи потенциально опасного сигнала, после чего ADAS может подать сигнал в блок управления

на осуществление нужных действий, например, намеренное отключение потенциально опасного устройства или вынужденную остановку подачи топлива с отключением зажигания после завершения движения.

Также очевидным решением проблемы может стать использование доступа к CAN-шине через бортовой диагностический порт автомобиля (от англ. on-board diagnostics port) с помощью OBDII-адаптера. Однако у данного способа также имеются недостатки. Например, при использовании беспроводных протоколов (например, Wi-Fi или Bluetooth) при взаимодействии с адаптером есть большая вероятность перехвата данных: эта проблема решается использованием проводных интерфейсов, например USB. Также данные адаптеры в основном используются для краткосрочной диагностики: недостаток решается плановыми проверками на работоспособность адаптера перед использованием в устройстве и заменой в случае ошибок в работе.

2.5. Синтез речи для обратной связи водителю

Для обеспечения автономной обратной связи в СПВ авторы работы [17] предлагают рассмотреть применение следующих нейросетевых архитектур для синтеза речи: LSTM, RNN (от англ. recurrent neural network, рекуррентная нейронная сеть), CNN (от англ. convolutional neural network, сверточная нейронная сеть), GAN (от англ. generative adversarial network, генеративно-сопоставительная сеть).

CNN устойчива к шуму, но при этом у сети высокая вычислительная сложность.

RNN и LSTM за счет своей рекуррентной структуры умеют прогнозировать будущий текст, однако из-за той же рекуррентности у RNN высокая вычислительная сложность, а у архитектуры LSTM – ограниченный размер памяти для запоминания последующих символов.

GAN для обучения использует две сети: сеть дискриминатора и генератора. Сеть генератора генерирует данные, которые подаются на вход дискриминатора, который уже пытается распознать шаблон. Для прогнозирования используется только сеть дискриминатора. В связи с этим сеть GAN уже знает внутреннее представление данных и может генерировать данные, схожие с реальными данными. При этом разметка набора данных не требуется. Это же и является недостатком сети: GAN является достаточно сложной в тренировке, в связи с чем может возникнуть проблема переобучения сразу двух сетей, поскольку если сеть дискриминатора не может распознать шаблон, сеть генератора будет продолжать выдавать некорректные результаты.

Но, несмотря на все недостатки данных алгоритмов, нейросетевой подход к синтезу речи вполне может применяться в рассматриваемой прикладной задаче.

3. Предлагаемая архитектура

3.1. Концептуальная схема модульной архитектуры

Модульная архитектура СПВ позволит сделать систему слабосвязанной, что обеспечит более гибкий подход к реализации всей системы в целом. Например, для обратной связи СПВ может подавать несколько сигналов водителю: звуковой сигнал, либо же отображение информации на дисплее, а в качестве источника данных могут послужить как сами изображения знаков, так и информация с радара или же напрямую с CAN-шины. Таким образом, можно добавлять новые модули из СПВ без необходимости перестройки всей архитектуры в целом.

Предлагаемый модульный подход проиллюстрирован на рис. 1.

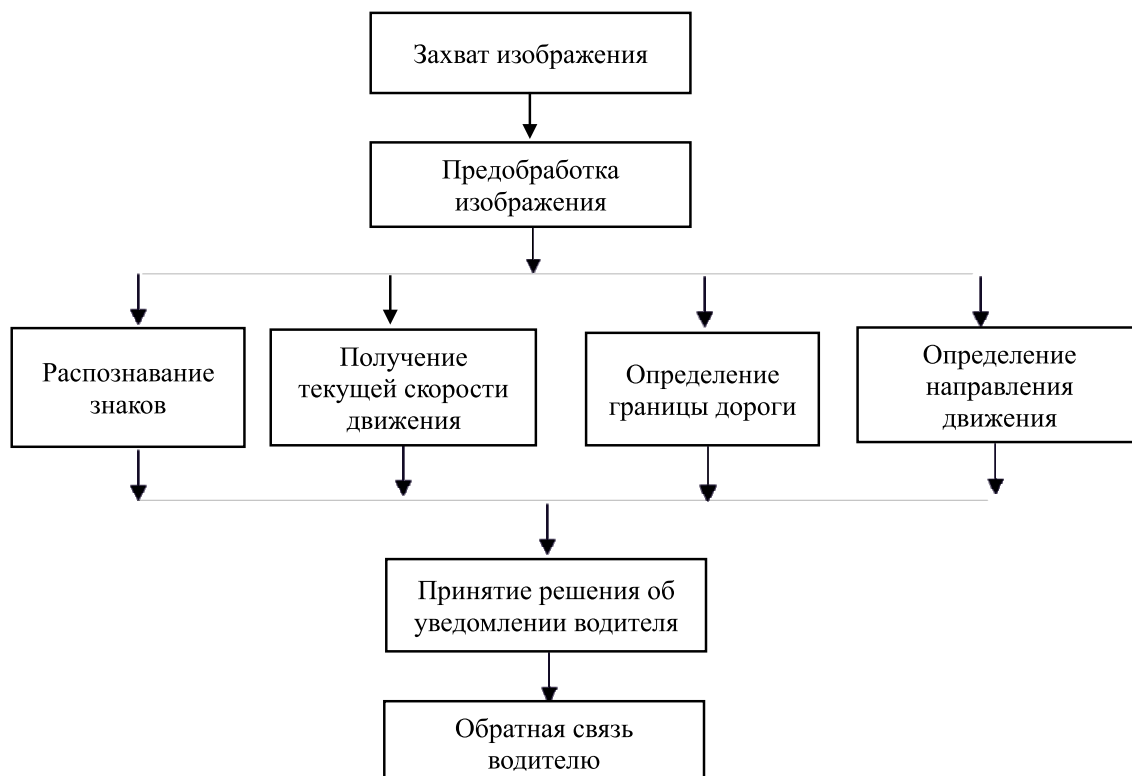


Рис. 1. Модульная архитектура СПВ

Fig. 1. Modular architecture of DAS

Поскольку основным источником сигнала для данной СПВ являются кадры фрагментов видеозаписи движения автомобиля с регистратора, в качестве источника данных модуля захвата изображения выступают кадры видео с реального подключенного регистратора либо же кадры с ранее записанного видеофрагмента (в целях отладки СПВ).

3.2. Модуль предобработки изображения

Модуль предобработки изображения принимает на вход кадр с регистратора, сжимает его до разрешения 1024 на 1024 точек, а также применяет методы адаптивного выравнивания гистограммы и гауссовского размытия для уменьшения влияние шума при наличии высокой или низкой контрастности на отдельных участках изображения, а также для удаления зернистости.

3.3. Модуль принятия решения об обратной связи

Принятие решения об обратной связи осуществляется на основе данных о дорожной обстановке и текущем состоянии автомобиля, поэтому модулю обратной связи необходима информация о дорожной разметке для определения границы дороги, местоположении и типе дорожных знаков, а также направлении движения автомобиля и его текущей скорости, за что отвечают отдельные модули. Модуль принятия решения может не знать ничего о внутреннем устройстве модулей – поставщиков информации. Его основное назначение – принимать решение об обратной связи на основании полученной информации.

В связи с этим от модуля распознавания знаков ожидается получить ограничивающие прямоугольники знаков с вероятностями их распознавания. Поскольку целью СПВ является обеспечение заблаговременной обратной связи водителю, СПВ сохраняет позиции знаков во внутреннюю базу данных вместе с границами полос. Внутренняя база может быть реализована как временное хранилище в оперативной памяти, так и в виде встраиваемой базы данных на базе, например, SQLite. Это необходимо для того, чтобы обеспечить возможность выдачи обратной связи о знаке, который находится на прилегающей территории, но не относится к полосе движения. Например, если знак находится за пределами полосы движения (например, зона его действия на прилегающей к дороге парковке), то СПВ не отдаст обратную связь о знаке, однако сохраняет его на случай, если водитель собирается поворачивать на прилегающую территорию, где данный знак будет действовать.

Также нужно принимать во внимание ситуацию, когда знак становится физически перекрыт другими объектами (например, проезжающим мимо грузовиком). Для решения данной проблемы можно применять алгоритмы отслеживания объектов: например, на каждом новом кадре сравнивать метрику пересечения по объединению (от англ. Intersection over Union, IoU), и в случае взаимного пересечения ограничивающих прямоугольников знаков принимать их за тот же самый объект. Однако в реализуемой СПВ можно обойтись определением, была ли уже дана обратная связь по знаку такого же типа, основываясь на базе данных ранее распознанных объектов, а также проверкой, определен ли данный знак как относящийся к полосе движения. Если знак ранее не был распознан, то это будет сигналом для модуля к отдаче обратной связи.

3.4. Модуль обратной связи

Для самой обратной связи используется два метода: звуковое уведомление, а также отображение информации на цифровом дисплее СПВ. Очевидно, что отображение информации на дисплее на скорости больше 20 км/ч будет только отвлекать водителя, поэтому в большинстве случаев обратная связь поступает только в виде звуковых уведомлений, а на дисплее информация отображается только в критических случаях: например, когда водитель превысил допустимую скорость более чем на 20 км/ч, либо въехал на территорию, на которой действует ограничение знака «движение запрещено», чтобы водитель обратил особое внимание на уведомление.

Звуковые уведомления можно воспроизводить либо с помощью полноценного синтеза голоса, либо же «зашив» несколько готовых уведомлений. Например, для уведомления об ограничении скорости СПВ может воспроизводить голос «снижайте скорость» для того, чтобы водитель успел среагировать на знак ограничения скорости. Предлагается реализовать несколько заранее записанных аудиофрагментов: «ограничение скорости 40», «ограничение скорости 60», «ограничение скорости 70» (наиболее распространенные знаки ограничения скорости), «остановка в этом месте запрещена», «стоянка в этом месте запрещена» (при снижении скорости до 5 км/ч в месте действия знака).

3.5. Модуль распознавания знаков

Модуль распознавания знаков использует нейросетевой ансамбль, примененный в работе [12]. Модуль возвращает ограничивающие прямоугольники знаков на изображении, а также их тип: например, знак ограничения скорости. Более подробно о методике распознавания сказано в разделе 1.2.

3.6. Модуль получения текущей скорости движения автомобиля

Для получения скорости движения автомобиля можно применять несколько способов.

Например, считывание показаний с GPS-приемника. Скорость рассчитывается посредством расчета пройденного расстояния с момента получения предыдущих показаний. Основным преимуществом данного способа является достаточно высокая точность показаний с допустимой погрешностью в несколько км/ч, однако недостатком, как и в случае использования 4G и 5G-сетей, является недостаточно большая зона покрытия, а также холодный старт приемника при длительном отключении.

Еще одним способом является получение данных с CAN-шины посредством OBDII-интерфейса. О преимуществах и недостатках данного способа подробнее описано в разделе 1.4.

Скорость движения автомобиля также может быть получена от изображений с цифровой камеры. Зная фокусное расстояние и размер матрицы цифровой камеры, а также физические размеры объекта, можно определить скорость движения до объекта в пространстве, что и является очевидным преимуществом метода: модуль определения скорости движения может вовсе не обращаться к дополнительным устройствам. В качестве образца объекта можно применять типоразмеры одного из дорожных знаков, например ограничения скорости, в соответствии с действующим ГОСТом. Однако это же является и недостатком данного способа: многие производители цифровых камер не разглашают такие характеристики, как фокусное расстояние и размер матрицы, и для типовых моделей видеорегистраторов такие подробности можно получить только по прямому запросу к представителю производителя устройства. Также данный метод сильно зависит от точности распознавания самих дорожных знаков: если ограничивающий прямоугольник знака на изображении распознан некорректно, это повлияет на точность расчета скорости движения автомобиля из-за некорректных размеров самого знака.

В СПВ предлагается использовать комбинированный подход: совмещать методы для осуществления более точного показания приборов. Например, если доступен GPS – использовать GPS как основной источник данных. Если же водитель въехал в зону, в которой покрытие GPS оставляет желать лучшего, – используются показания с OBDII-интерфейса. Если же автомобиль не оснащен OBD-адаптером, он не подключен или работает некорректно, то применяется метод определения скорости с использованием данных о дорожных знаках.

3.7. Модуль определения границы дороги

Для определения границы дороги предобработанное изображение проходит через пороговую фильтрацию для фильтрации пикселей изображения по контрасту, после чего оно поступает на вход детектора границ Кенни, который определяет границы контуров. Границы контуров проходят через преобразование Хафа, которое возвращает набор линий на изображении. Очевидно, что для полосы движения линии границы полосы имеют положительный угол наклона слева, и отрицательный угол наклона справа: каждая распознанная линия проверяется согласно данным граничным условиям. Для удаления пересекающихся прямых и прямых, близких друг к другу, производится дополнительная фильтрация: прямые группируются по координатам точек в радиусе 25 пикселей (значение подобрано экспериментально), и из каждой группы выбирается линия с наименьшей координатой. На рис. 2 и 3 показан принцип работы модуля: на рис. 3 серым цветом отмечены распознанные границы полосы.



Рис. 2. Исходное изображение с видеорегистратора

Fig. 2. Original image from the DVR



Рис. 3. Результат работы модуля определения границ полосы

Fig. 3. The result of the module for determining the lane boundaries

3.8. Модуль направления движения автомобиля

Для того чтобы СПВ могла распознавать ситуации, когда автомобиль поворачивает, чтобы выдать информацию о знаках, зона действия которых начинается на прилегающей территории, можно также использовать несколько подходов.

Первый подразумевает использование показаний датчика угла вращения руля в автомобиле, однако данные такого характера можно получить только с CAN-шины напрямую, а идентификатор такого устройства в CAN-сети может меняться от производителя к производителю, что не позволяет напрямую считывать данные по OBD-интерфейсу с произвольного автомобиля.

Второй же основывается на информации о границах дороги и текущей скорости автомобиля. Очевидно, что при повороте направо границы дороги на изображении смещаются, а угол наклона правой границы дороги увеличивается, а при повороте налево – правая граница будет больше клониться влево, а левая – вправо. Также очевидно, что повороты совершаются

при уменьшении скорости движения автомобиля, следовательно, модуль направления движения может производить вычисления только в процессе значительного снижения скорости движения, а в остальных случаях не возвращать никаких сигналов об изменении направления движения. Именно такой способ предлагается использовать в текущей архитектуре.

4. Результаты исследования

4.1. Реализация прикладных модулей и тестового стенда

Для реализации модульной архитектуры СПВ реализован набор программ на языке Python версии 3.11. В качестве источника данных для модуля захвата изображений при отладке СПВ использовались видеофрагменты с набора данных CURE-TSD [8], а для считывания показаний с OBD-датчика – библиотека PythonOBD.

Для обучения нейросетевого ансамбля применялся фреймворк глубокого обучения TensorFlow для реализации нейросетевых архитектур VGG19 [18] и GAN. Подробнее об обучении нейросетевого ансамбля на наборе данных CURE-TSD рассказано в работе [12].

В качестве видеорегистратора использовался регистратор Incar SDR-145 Altai с максимальным разрешением записи 2304 на 1296 пикселей.

Для обучения нейросетевого ансамбля использовался следующий стенд: «процессор Intel® Xeon® Gold 6226R, видеокарта Nvidia RTX 3090, объем оперативной памяти 64 ГБ» [12]. Для проверки работы ансамбля использовался стенд: процессор Intel® Core® i5-11600K 3.9 ГГц, объем оперативной памяти 32 ГБ, видеокарта Nvidia RTX 3060 с объемом видеопамяти 12 ГБ.

С целью проверки скорости и точности работы СПВ в реальном времени, в легковой автомобиль была подключена цифровая камера с OBD-адаптером ELM 327, видеофрагменты с которой синхронизировались с ноутбуком, подключенным к бортовой сети автомобиля через автомобильный инвертор 220 В и записывающим показатели текущей скорости движения автомобиля с OBD-адаптера. Автомобиль совершил тестовый заезд в хороших погодных условиях, двигаясь по прямой, осуществляя повороты налево, направо, развороты и остановки на светофорах в течение 10 минут. По маршруту следования было порядка 100 дорожных знаков, типы которых присутствовали в обучающей выборке нейросетевого ансамбля, после чего на тестовом стенде произведен запуск СПВ, в которой модуль получения скорости на выходе возвращал ранее записанные показания с OBD-адаптера, а модуль захвата изображения – кадры снятых видеофрагментов с регистратора.

4.2. Полученные результаты

Получены следующие результаты средней скорости работы модулей:

- модуль захвата и предобработки изображения – 6,9 мс (145 изображений в секунду);
- модуль распознавания дорожных знаков – 291 мс (3,43 изображения в секунду);
- модуль определения границы дороги – 17 мс (59 изображений в секунду);
- модуль получения текущей скорости движения (показания с OBD-датчика) – 13 мс (76 изображений в секунду);
- модуль направления движения автомобиля – 0,4 мс (2500 изображений в секунду);
- модуль принятия решения об обратной связи – 15,7 мс (63 изображения в секунду).

Для определения точности модуля определения границы дороги из полученных видеофрагментов были отобраны 1000 кадров, содержащих движение прямо, повороты направо, налево и развороты. На данных кадрах были размечены области границы дороги. В случае если распознанная линия границы дороги попадает в размеченную область более чем на 75 %,

то линия считается корректно распознанной. На тех же отобранных кадрах размечены ограничивающие прямоугольники дорожных знаков.

Для определения точности модуля принятия решения об обратной связи используется следующая метрика. При принятии решения принимается во внимание точность распознавания знака, определения границы дороги и направления движения: точность работы всего модуля принятия решения снижается при нераспознанном дорожном знаке; корректно распознанной границе дороги, но не распознанном дорожном знаке; распознанном дорожном знаке (но не распознанной границе дороги), по которому дана обратная связь как о знаке, относящемся к проезжей части, а также знаке, относящемся к прилегающей территории, на которую осуществляется поворот, но по которому модуль не выдал обратной связи после поворота. Точность определения суммируется на основании корректности всех вышеперечисленных факторов.

Точность работы модулей приведена ниже:

- модуль распознавания дорожных знаков – 89 %;
- модуль определения границы дороги – 86 %;
- модуль направления движения автомобиля – 95 %;
- модуль принятия решения об обратной связи – 79 %.

Соответственно, точность принятия решения составила порядка 79 %.

4.3. Обсуждение результатов

Для сравнения модуля распознавания дорожных знаков был взят результат, полученный в работе [11] и в работе [12]. Авторы работы [11] установили, что в хороших погодных условиях удается достичь точности работы нейросетевого ансамбля порядка 99,02 % на наборе данных CURE-TSD, а в работе [12] – порядка 95,91 % на том же наборе данных. Результат распознавания в 89 % можно также обосновать тем, что набор данных CURE-TSD снят в Бельгии, где не все знаки дорожного движения совпадают с российскими.

В исследовании [2] авторы установили, что для определения съезда с полосы использование нескольких источников входных данных, в том числе данных GPS, CAN-шины автомобиля и слежения за движением глаз и головы водителя, позволяет добиться точности до 90,5 %, при этом распознавая сигнал о смене границы полосы за 3,5 секунды до начала движения. В нашем случае СПВ распознает сигнал о повороте только при осуществлении самого поворота, при этом точность распознавания границы полосы сопоставима с точностью в оригинальной работе. Но нужно принимать во внимание такой аспект, как использование биометрических данных (радужная оболочка глаза, лицо) [19; 20] без согласия водителя, поскольку в теории это может его скомпрометировать. Поэтому авторы предлагали использование данных с CAN-шины, поскольку эти данные не будут относиться к конкретному водителю и потому не будут являться компрометирующими. В случае использования видеофрагментов с регистратора они также не компрометируют водителя, если камера направлена только на проезжую часть и регистратор эксплуатируется без дополнительной салонной камеры.

За счет большого времени на распознавание дорожных знаков на тестовом стенде общая скорость работы СПВ составила 313,6 мс (не считая самой выдачи обратной связи), что приблизительно равно 3,18 кадрам в секунду. Если принять среднюю скорость реакции водителя в 1 секунду, средняя скорость работы СПВ позволяет водителю начать действовать заблаговременно, в связи с чем достигается первоначальная цель исследования.

Заключение

В данной статье представлена модульная архитектура системы помощи водителю, позволяющая ему заблаговременно получать обратную связь о зоне действия дорожных знаков на максимальной удаленности от них в осложненных погодных условиях, таких как снег, дождь, туман, темное время суток. СПВ распознает дорожные знаки со скоростью до 3 кадров в секунду на тестовом стенде и в целом выдает точность определения обратной связи до 79 % по сравнению с СПВ, которые используются исключительно для обеспечения курсовой устойчивости автомобиля или распознавания конкретных дорожных знаков.

Данная модульная архитектура, в том числе отдельные ее модули, может быть применима и в смежных областях, например, в обеспечении безопасности движения для беспилотных транспортных средств.

Список литературы

1. **González-Saavedra J. Ph., Figueroa M., Céspedes S., Montejo-Sánchez S.** Survey of Cooperative Advanced Driver Assistance Systems: From a Holistic and Systemic Vision // *Sensors*. 2022. Vol. 22 (8). P. 3040–3080. <https://doi.org/10.3390/s22083040>
2. **Xing Y., Lv C., Wang H., Wang H., Ai Y., Cao D., et.al.** Driver Lane Change Intention Inference for Intelligent Vehicles: Framework, Survey, and Challenges // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2019. Vol. 68 (5). P. 4377–4390. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2903299>
3. **Wang Z., Wu Y., Niu Q.** Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey // *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 2847–2868. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962554>
4. **Yanovsky F. J.** Millimeter Wave Technology in Wireless PAN, LAN, and MAN. Sebastopol, CA: Auerbach Publications CRC Press, 2008. 448 p.
5. **De-Las-Heras G., Sánchez-Soriano J., Puertas E.** Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Based on Machine Learning Techniques for the Detection and Transcription of Variable Message Signs on Roads // *Sensors*. 2021. Vol. 21(17). P. 5866–5880. <https://doi.org/10.3390/s21175866>
6. **Lin T.-Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollár P.** Focal Loss for Dense Object Detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2020. Vol. 42(2). P. 318–327. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2858826>
7. **Robby G. A., Tandra A., Susanto I., Harefa J., Chowanda A.** Implementation of Optical Character Recognition using Tesseract with the Javanese Script Target in Android Application // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 157. P. 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.006>
8. **Lindemann B., Müller T., Vietz H., Jazdi N., Weyrich M.** A survey on long short-term memory networks for time series prediction // *Procedia CIRP*. 2021. Vol. 99. P. 650–655. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.088>
9. **Temel D., Alshawi T., Chen M.-H., AlRegib G.** CURE-TSD: Challenging unreal and real environments for traffic sign detection // *IEEE Dataport*. URL: <https://ieee-dataport.org/open-access/cure-tsd-challenging-unreal-and-real-environment-traffic-sign-detection> (дата обращения 07.07.2023).
10. **Емельянов С. О., Иванова А. А., Швец Е. А., Николаев Д. П.** Методы аугментации обучающих выборок в задачах классификации изображений // *Сенсорные системы*. 2018. Т. 32, № 3. С. 236–245.
11. **Ahmed S., Kamal U., Hasan M. K.** DFR-TSD: A Deep Learning Based Framework for Robust Traffic Sign Detection Under Challenging Weather Conditions // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2021. Vol. 23(6). P. 5150–5162. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3048878>

12. Харченко И. К., Боровской И. Г., Шельмина Е. А. Использование ансамбля сверточных нейронных сетей для распознавания дорожных знаков // Вестник Томского гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 61. С. 88–96. 10.17223/19988605/61/9
13. Abdenmour N., Ouni T., Ben Amor N. Driver identification using only the CAN-Bus vehicle data through an RCN deep learning approach // Robotics and Autonomous Systems. 2021. Vol. 136. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103707>
14. Zhang J., Wu Z., Li F., Xie C., Ren T., Chen J. et al. A Deep Learning Framework for Driving Behavior Identification on In-Vehicle CAN-BUS Sensor Data // Sensors. 2019. Vol. 19(6). P. 1356-1373. <https://doi.org/10.3390/s19061356>
15. Kubiš M., Beňo P. Realization of communication via the CAN bus // Transportation Research Procedia. 2019. Vol. 40. P. 332–337. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.049>
16. Zhou A., Li Z., Shen Y. Anomaly Detection of CAN Bus Messages Using a Deep Neural Network for Autonomous Vehicles // Applied Sciences. 2019. Vol. 9(15). P. 3174-3186. <https://doi.org/10.3390/app9153174>
17. Khanam F., Munmun F. A., Ritu N. A., Saha A. K., Mridha M. F. Text to Speech Synthesis: A Systematic Review, Deep Learning Based Architecture and Future Research Direction // Journal of Advances in Information Technology. 2022. Vol. 13(5). P. 398-412. <http://dx.doi.org/10.12720/jait.13.5.398-412>
18. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition // 3rd International Conference on Learning Representations. 2015. P. 1–14 URL: <https://arxiv.org/abs/1409.1556v6> (02.06.2023). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
19. Lucy C., Yu M., Melat K. W., Diarra B., Daniel M. G., Jessilyn D. Does deidentification of data from wearable devices give us a false sense of security? A systematic review // The Lancet Digital Health. 2023. Vol. 5(4). P. 239-247. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00234-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00234-5)
20. Smith M., Miller S. Biometric Identification, Law and Ethics. Canberra, Australia: Charles Sturt University, 2021. 105 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90256-8_4

References

1. González-Saavedra, J. Ph., Figueroa, M., Céspedes, S., Montejo-Sánchez, S. Survey of Cooperative Advanced Driver Assistance Systems: From a Holistic and Systemic Vision. Sensors, 2022, vol. 22(8), pp. 3040–3080. <https://doi.org/10.3390/s22083040>
2. Xing, Y., Lv, C., Wang, H., Wang, H., Ai, Y., Cao, D., et al. Driver Lane Change Intention Inference for Intelligent Vehicles: Framework, Survey, and Challenges. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2019, vol. 68(5), pp. 4377–4390. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2903299>
3. Wang, Z., Wu, Y., Niu, Q. Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 2847–2868. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962554>
4. Yanovsky, F. J. *Millimeter Wave Technology in Wireless PAN, LAN, and MAN*. Sebastopol, CA: Auerbach Publications CRC Press, 2008, 448 p.
5. De-Las-Heras, G., Sánchez-Soriano, J., Puertas, E. Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Based on Machine Learning Techniques for the Detection and Transcription of Variable Message Signs on Roads. Sensors, 2021, vol. 21(17), pp. 5866-5880. <https://doi.org/10.3390/s21175866>
6. Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., Dollár, P. Focal Loss for Dense Object Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2020, vol. 42(2), pp. 318-327. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2858826>
7. Robby, G. A., Tandra, A., Susanto, I., Harefa, J., Chowanda, A. Implementation of Optical Character Recognition using Tesseract with the Javanese Script Target in Android

- Application. *Procedia Computer Science*, 2019, vol. 157, pp. 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.006>
8. **Lindemann, B., Müller, T., Vietz, H., Jazdi, N., Weyrich, M.** A survey on long short-term memory networks for time series prediction. *Procedia CIRP*, 2021, vol. 99, pp. 650-655. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.088>
 9. **Temel, D., Alshawi, T., Chen, M.-H., AlRegib, G.** CURE-TSD: Challenging unreal and real environments for traffic sign detection. *IEEE Dataport*. Available from: <https://ieee-dataport.org/open-access/cure-tds-challenging-unreal-and-real-environment-traffic-sign-detection> [Accessed 2nd July 2023].
 10. **Emelyanov, C. O., Ivanova, A. A., Shvets, E. A., Nikolaev, D. P.** Data augmentation methods of training datasets for image classification task. *Sensorniyе sistemy* = Sensor systems. 2018, vol. 32(3), pp. 236-245. (In Russ.) Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?doi=10.1134/S0235009218030058> [Accessed 2nd July 2023].
 11. **Ahmed, S., Kamal, U., Hasan, M. K.** DFR-TSD: A Deep Learning Based Framework for Robust Traffic Sign Detection Under Challenging Weather Conditions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, vol. 23(6), pp. 5150–5162. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3048878>
 12. **Kharchenko, I. K., Borovskoy, I. G., Shelmina, E. A.** Usage of convolutional neural network ensemble for traffic sign recognition. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* = Bulletin of Tomsk State University. Management, Computer Engineering and Informatics. Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2022, vol. 61, pp. 88–96. (In Russ.) DOI 10.17223/19988605/61/9
 13. **Abdenmour, N., Ouni, T., Ben Amor, N.** Driver identification using only the CAN-Bus vehicle data through an RCN deep learning approach. *Robotics and Autonomous Systems*, 2021, vol. 136. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103707>
 14. **Zhang, J., Wu, Z., Li, F., Xie, C., Ren, T., Chen, J., et al.** A Deep Learning Framework for Driving Behavior Identification on In-Vehicle CAN-BUS Sensor Data. *Sensors*, 2019, vol. 19(6), pp. 1356-1373. <https://doi.org/10.3390/s19061356>
 15. **Kubiš, M., Beňo, P.** Realization of communication via the CAN bus. *Transportation Research Procedia*, 2019, vol. 40, pp. 332–337. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.049>
 16. **Zhou, A., Li, Z., Shen, Y.** Anomaly Detection of CAN Bus Messages Using a Deep Neural Network for Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*, 2019, vol. 9(15), pp. 3174-3186. <https://doi.org/10.3390/app9153174>
 17. **Khanam, F., Munmun, F. A., Ritu, N. A., Saha, A. K., Mridha, M. F.** Text to Speech Synthesis: A Systematic Review, Deep Learning Based Architecture and Future Research Direction. *Journal of Advances in Information Technology*, 2022, vol. 13(5), pp. 398-412. <http://dx.doi.org/10.12720/jait.13.5.398-412>
 18. **Simonyan, K., Zisserman, A.** Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *3rd International Conference on Learning Representations*, 2015, pp. 1-14. Available from: <https://arxiv.org/abs/1409.1556v6> [Accessed 2nd July 2023]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
 19. **Lucy, C., Yu, M., Melat, K. W., Diarra, B., Daniel, M. G., Jessilyn, D.** Does deidentification of data from wearable devices give us a false sense of security? A systematic review. *The Lancet Digital Health*, 2023, vol. 5(4), pp. 239-247. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00234-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00234-5)
 20. **Smith, M., Miller, S.** *Biometric Identification, Law and Ethics*. Canberra, Australia: Charles Sturt University, 2021, 105 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90256-8_4

Информация об авторах

Харченко Игорь Константинович, аспирант кафедры автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники

Боровской Игорь Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической математики, информатики и статистики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники

Шельмина Елена Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экономической математики, информатики и статистики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники

Information about the Author

Kharchenko Igor Konstantinovich, Postgraduate Student Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation

Borovskoy Igor Georgievich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation

Shelmina Elena Aleksandrovna, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation

*Статья поступила в редакцию 11.07.2023;
одобрена после рецензирования 18.09.2023; принята к публикации 18.09.2023*

*The article was submitted 11.07.2023;
approved after reviewing 18.09.2023; accepted for publication 18.09.2023*

Правила оформления текста рукописи

Авторы представляют статьи на русском или английском языке объемом от 0,5 авторского листа (20 тыс. знаков) до 1 авторского листа (40 тыс. знаков), включая иллюстрации (1 иллюстрация форматом 190×270 мм = 1/6 авторского листа, или 6,7 тыс. знаков). Публикации, превышающие указанный объем, допускаются к рассмотрению только после индивидуального согласования с редакцией журнала.

Текст рукописи должен быть представлен в редколлегию в виде файла MS Word (.doc, .docx). Гарнитура Times New Roman, размер шрифта 11, межстрочный интервал 1, размеры полей – стандартные значения текстового редактора. Форматирование – выравнивание по ширине страницы, переносы слов включены, каждый новый абзац начинается с красной строки. Не допускается ручное форматирование абзацев (пробелами, лишними переводами строк, разрывами страниц).

Структура статьи

- Индекс УДК (универсальной десятичной классификации). Выравнивание по левому краю
- Название статьи. Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- ФИО авторов (полностью). Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- Места работы всех авторов. Выравнивание по центру, курсив
- Адреса электронной почты, ORCID авторов
- Аннотация статьи
- Ключевые слова, не более 10
- Благодарности, сведения о финансовой поддержке
- Название статьи **на английском языке**. Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- ФИО авторов **на английском языке** (полностью). Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- Места работы авторов **на английском языке**. Выравнивание по центру, курсив
- Аннотация статьи **на английском языке (Abstract)**, 200–250 слов
- Ключевые слова **на английском языке (Keywords)**, не более 10
- Благодарности, сведения о финансовой поддержке **на английском языке**, если есть соответствующий раздел на русском языке (**Acknowledgements**)
- Основной текст
- Список литературы / **References**
- Сведения об авторах

Требования к оформлению основного текста и иллюстративных материалов

Основной текст должен быть представлен в структурированном виде, рекомендуется использовать подзаголовки – например: Введение, Методика..., Выводы, Результаты, Заключение.

Подзаголовки отделяются и набираются полужирным шрифтом. В целях выделения частей текста и отдельных слов и словосочетаний допускается использование курсива или полужирного шрифта. Подчеркивание, разрядка, изменение основного кегля и выделение цветом не используются.

Иллюстрации к рукописи статьи должны быть приложены в виде отдельных файлов. При этом в тексте должно содержаться включенное изображение с указанием имени файла. Все иллюстрации, содержащие схемы, графики, алгоритмы и т. п., должны быть представлены в векторном виде (.ai, .eps, .cdr). Скриншоты и другие растровые изображения должны быть представлены в максимально высоком качестве, без каких-либо потерь и искажений (.jpg, .tif). Все иллюстрации должны иметь подрисуночную подпись – свое название. Надписи к таблицам и подписи к иллюстрациям приводятся **на двух языках (русском и английском)**.

Примеры:

Рис. 1. Диаграмма производительности...

Fig. 1. Performance diagram...

Таблица 1

Сравнение алгоритмов...

Table 1

Comparison of algorithms...

Нумерация последовательная и неразрывная от начала статьи. Не допускается использование других наименований, кроме «Рис.» / «Fig.», «Таблица» / «Table», и усложнение нумерации (например, «Рис. 3.2.»). Ссылка на иллюстрацию в тексте должна быть приведена в круглых скобках, например: (рис. 1), (табл. 1).

Формулы должны быть набраны с использованием редактора MathType либо встроенного редактора формул MS Word. Кегль основных символов – 11, греческие символы набираются прямым шрифтом, латинские – курсивом. Нумеруются только те формулы, на которые автор ссылается в тексте.

Abstract

Аннотация статьи на английском языке (Abstract) не должна быть дословным переводом русскоязычной аннотации. Раздел Abstract, как и основной текст, должен быть структурирован, в нем должно содержаться описание цели работы, методов исследования, научной значимости, выводов / результатов. Требуется качественный перевод на английский язык (при необходимости просим авторов обращаться к профессиональным переводчикам). **Объем Abstract 200–250 слов.**

Список литературы / References

Список литературы и список литературы на английском языке (References) размещаются в общем разделе. Рекомендуемое количество цитируемых в статье источников – не менее 10, в список желательно включать ссылки на актуальные работы по теме исследования, особенно в иностранных периодических изданиях.

В тексте статьи ссылки на литературу указываются цифрами в квадратных скобках, при необходимости указываются номера страниц, например: [2; 3. С. 15].

Список литературы нумеруется в порядке цитирования и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 на библиографическое описание (знаки тире в описании опускаются). Ссылки на неопубликованные работы, а также на Интернет-ресурсы (кроме электронных изданий, поддающихся библиографическому описанию) оформляются в виде сноски.

В Список литературы ссылки на источники следует включать на оригинальном языке опубликования. Каждый источник должен быть также оформлен на английском языке (References) по международному стандарту для публикаций в области информатики IEEE Style со следующими отличиями:

- инициалы авторов указываются после фамилии;
- название статьи не берется в кавычки, отделяется точкой;

- отсутствует союз «and» перед фамилией последнего автора;
- в диапазоне страниц – удвоенная «р» (например, «рр. 2–9»);
- год издания указывается после места издания (для книг) и сразу после названия журнала (для периодики).
- Перевод источника на английский язык:
- если источник имеет выходные данные на английском языке, то для формирования References **следует использовать именно эти данные**;
- если оригинальная публикация не содержит выходных данных на английском языке, то допускается транслитерация названия материала на латинский алфавит в сочетании с переводом на английский язык в квадратных скобках. В конце описания указывается, на каком языке написана эта работа, например, (in Russ.). При транслитерации можно воспользоваться Интернет-ресурсом <http://ru.translit.ru/>, рекомендуется выбрать стандарт BSI. Место издания не транслитерируется, указывается полностью на английском языке, например: Moscow. Название издательства / издателя, как правило, транслитерируется. Для журналов, у которых есть официальное название на английском языке, – использовать его (проверить на сайте журнала, или, например, в библиотеке WorldCat), если названия на английском языке нет, использовать транслитерацию по системе BSI. Не следует самостоятельно переводить названия журналов.

Если у цитируемого источника есть **цифровой идентификатор DOI** (<https://search.crossref.org>), его требуется обязательно указывать в конце библиографической ссылки.

Примеры оформления ссылок. Каждый источник в том же пункте дублируется на английском языке (References).

Источник на русском языке, перевод на английский доступен в метаданных статьи

1. Журавлев С. С., Рудометов С. В., Окольников В. В., Шакиров С. Р. Применение модельно-ориентированного проектирования к созданию АСУ ТП опасных промышленных объектов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 4. С. 56–67. DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-4-56-67

Zhuravlev S. S., Rudometov S. V., Okolnishnikov V. V., Shakirov S. R. Model-Based Design Approach for Development Process Control Systems of Hazardous Industrial Facilities. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 56–67. (in Russ.) DOI 10.25205/ 1818-7900-2018-16-4-56-67

Источник на английском языке. Оформляем согласно требованиям для References. Приводим только 1 раз.

2. Telnov V. I. Optimization of the Beam Crossing Angle at the ILC for E + e- and yy Collisions. *Journal of Instrumentation*, 2018, vol. 13, no. 03, pp. P03020–P03020. DOI 10.1088/1748-0221/13/03/p03020

Метаданные источника доступны только на русском языке

3. Жижимов О. Л., Федотов А. М., Шокин Ю. И. Технологическая платформа массовой интеграции гетерогенных данных // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11, вып. 1. С. 24–41.

Zhizhimov O. L., Fedotov A. M., Shokin Yu. I. Tekhnologicheskaya platforma massovoi integratsii geterogennykh dannykh [Technology Platform for the Mass Integration of Heterogeneous Data]. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2013, vol. 11, no. 1, pp. 24–41. (in Russ.)

Сведения об авторах

Последний раздел статьи – информация об авторе / авторах **на русском и английском языках**:

- ФИО полностью, ученая степень, ученое звание;
- идентификаторы автора, такие как ResearcherID (всем авторам рекомендуется использовать данные сервисы для ведения актуального списка своих публикаций);
- контактный телефон (не публикуется).

Если статья представляется на английском языке, необходимо приложить перевод на русский язык названия, аннотации, ключевых слов, сведений об авторе.

Доставка материалов

Материалы предоставляются в редакцию по электронной почте inftech@vestnik.nsu.ru.

Порядок рецензирования

Все статьи сначала проходят проверку на заимствование и только после этого отправляются на рецензирование. Редакционный совет не допускает к публикации материал, если имеется достаточно оснований полагать, что он является плагиатом.

Тип рецензирования статей – двухуровневое, одностороннее анонимное («слепое»).

Для каждой статьи редколлегией выбираются рецензенты, научная деятельность которых связана с темой представленного материала. Ответственный секретарь журнала обращается к ним с просьбой дать экспертную оценку статье либо помочь организовать рецензирование.

Рецензии для журнала «Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии» составляются по единой схеме и подразумевают оценку по следующим критериям: соответствие тематике журнала, оригинальность и значимость результатов, качество изложения материала.

Заполненный бланк рецензии высылается на электронный адрес редакции. В зависимости от экспертных заключений статья может быть принята редакционным советом к опубликованию, рекомендована автору к доработке (с последующим повторным рецензированием либо без него) или отклонена (с предоставлением автору мотивированного отказа). Автору на электронный адрес высылается текст рецензии без указания ФИО рецензента и его контактных данных.

Все рецензии хранятся в редакции журнала не менее 5 лет. Редколлегия журнала обязуется при поступлении соответствующего запроса направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.