

*Журнал Научное обозрение.
Технические науки
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440*

*Учредитель, издательство и редакция:
НИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес:
105037, г. Москва, а/я 47*

**Founder, publisher and edition:
SPC Academy of Natural History,
post address:
105037, Moscow, p.o. box 47**

*Подписано в печать 16.03.2018
Дата выхода номера 16.04.2018
Формат 60×90 1/8*

*Типография
НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 16.03.2018
Format 60×90 8.1**

**Typography
SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Митронова Л.М.
Корректор Галенкина ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2018/1*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)
М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)
Н.Е. Старчикова (**N.E. Starchikova**)
Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2018 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ**Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПРОФИЛИРОВАНИЯ VISUAL STUDIO ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <i>Батталов А.И., Батталова Н.И.</i>	5
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПЛАВНОГО СОПРЯЖЕНИЯ БЕГОВЫХ ДОРОЖЕК <i>Бостанов Б.О.</i>	10
ОПТИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР СТИМУЛА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛИЯНИЯ МЕЛЬКАНИЙ <i>Оруджова О.Н.</i>	16
ВОПРОСНО-ОТВЕТНАЯ СИСТЕМА, УЧИТЫВАЮЩАЯ СЕМАНТИКУ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ <i>Попов С.В.</i>	22
ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ <i>Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Лискин В.А.</i>	27
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО И ЯЗЫКОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Хлопенкова А.Ю., Белов Ю.С.</i>	32

CONTENTS**Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

USING VISUAL STUDIO PROFILES TO OPTIMIZING THE SOFTWARE <i>Battalov A.I., Battalova N.I.</i>	5
SIMULATION OF DETERMINATION OF PLACEMENTS OF FLOATING CONTRACTS OF RUNNING TRAINS <i>Bostanov B.O.</i>	10
THE OPTIMUM SIZE OF AN INCENTIVE OF THE DEVICE FOR DEFINITION OF CRITICAL FREQUENCY OF MERGE OF FLASHINGS <i>Orudzhova O.N.</i>	16
QUESTION-ANSWERING SYSTEM THAT TAKES INTO ACCOUNT THE SEMANTICS OF THE SUBJECT AREA <i>Popov S.V.</i>	22
REVIEW AND SUBSTANTIATION OF GASHYDRATES DETECTION AND RESEARCH METHODS <i>Rimskiy-Korsakov N.A., Egorov A.V., Liskin V.A.</i>	27
INVESTIGATION OF ALGORITHMS OF AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION BASED ON ACKUSTIC AND LANGUAGE SIMULATION <i>Khlopenkova A.Yu., Belov Yu.S.</i>	32

УДК 004.4'233

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПРОФИЛИРОВАНИЯ VISUAL STUDIO ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Батталов А.И., Батталова Н.И.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, e-mail: battalov.abbas.94@gmail.com, battalova.nur@gmail.com*

В современном мире разработка программного обеспечения превратилась в одну из самых дорогостоящих индустрий. Любые ошибки и недочеты в процессе его создания могут привести к нежелательным результатам. На уровне промышленной разработки программного обеспечения недостаточно уметь программировать на высокоуровневых языках программирования, знать базовые алгоритмы и их теоретическую сложность, необходимо владеть инструментальными средствами, позволяющими проводить тестирование и выявлять проблемы производительности программного обеспечения. В данной статье рассмотрена возможность использования средств профилирования Microsoft Visual Studio .Net для оптимизации программного обеспечения. Представлены результаты профилирования приложения, реализующего фрактальное сжатие/восстановление изображений на языке программирования C#. Проанализировав полученный отчет профилировщика, удалось выявить проблемные места в приложении, предположить причины возникновения проблем, предложить и реализовать способы решения данных проблем. Изменения, внесенные в приложение, позволили улучшить его производительность в восемь раз. Следует отметить, что использование методик оптимизации программного кода не всегда приводит к улучшению производительности приложения. В статье рассмотрен пример, демонстрирующий данное утверждение. В таком случае следует отказаться от изменений, внесенных в программный код.

Ключевые слова: профилирование производительности, оптимизация, программное обеспечение

USING VISUAL STUDIO PROFILES TO OPTIMIZING THE SOFTWARE

Battalov A.I., Battalova N.I.

*Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevskiy, Saratov,
e-mail: battalov.abbas.94@gmail.com, battalova.nur@gmail.com*

Software development has become one of the most expensive industries in the modern world. Any errors and shortcomings in the process of developing can lead to undesirable results. At this level of industrial software development, it is not enough to be able to program in high-level programming languages, to know basic algorithms and their theoretical complexity, one needs to know tools, which allow testing and identifying problems of the software. This article discusses the use of Microsoft Visual Studio .Net profiling tools to optimize software. The article presents the results of profiling applications that implement fractal compression/image recovery in the programming language C#. After analyzing the profiler's report, it is possible to identify the problem areas in the application, to assume the causes of the problems, to offer and implement ways to solve these problems. The changes made to the app have improved its performance eight times. It should be noted that the use of methods of optimization of the program code does not always lead to improved application performance. The article presents an example that demonstrates this statement. In this case, to abandon the changes made to software code.

Keywords: performance profiling, optimization, software

В современном мире разработка программного обеспечения (ПО) превратилась в одну из самых дорогостоящих индустрий. Любые ошибки и недочеты в процессе его создания могут привести к нежелательным результатам, поэтому разработка «совершенного» кода очень важна.

В большинстве случаев даже правильно работающий код может быть усовершенствован. Причина заключается в том, что выбранный алгоритм является базовым, и при его реализации на конкретном языке программирования не в полной мере учитываются условия поставленной задачи, специфика языка программирования и схемы трансляции. Недостаточно знать базовые алгоритмы и их теоретическую сложность, уметь программировать на высокоуровневых языках программирования,

нужно уметь оценивать реальное время выполнения программ [1], владеть инструментальными средствами, позволяющими проводить тестирование программного обеспечения [2, 3], определять проблемы производительности на уровне исходного кода, а также знать методики оптимизации кода и уметь применять их на практике [4].

Данная статья посвящена использованию средства профилирования Visual Studio (VS) [5] для оптимизации программного обеспечения, написанного на языке C# [6].

В работе [7] нами была представлена методика применения средств профилирования VS на примере оптимизации кода приложения, решающего задачу о «красивом тексте» [8] с использованием регулярных выражений и Linq-запросов языка C#. Данная методика позволила выявить «про-

блемные» места в приложении с точки зрения использования центрального процессора (ЦП). Применяв к проблемным местам «методику минимизация объема работы, выполняемой внутри цикла» [4], нам удалось сократить время работы приложения в 4 раза.

Продемонстрируем использование данной методики на более сложной задаче. Дано приложение ColorFractus, реализующее фрактальное сжатие/восстановление изображений [9, 10]. Используя средства профилирования VS, необходимо: выявить проблемные места в приложении; предположить причины проблем; предложить и реализовать способы решения проблем; показать, что внесенные изменения в приложение ColorFractus, действительно привели к оптимизации.

Использование средств профилирования VS начинается с настройки сеан-

са анализа производительности. Для этой цели нужно открыть код программы (решение) в среде VS. Выбрать конфигурацию «Выпуск»/«Release» (запуск от имени администратора). Установить флажок «Выборка циклов ЦП» или «Инструментирование», и нажать кнопку «Готово».

Для запуска процесса сбора данных о производительности в меню «Анализ» необходимо выбрать «Профилировщик производительности», установить флажок «Мастер производительности» и нажать кнопку «Запуск». Исследуемое решение запускается, и VS начинает собирать данные о его производительности в реальном времени, которые записываются специальный файл (*.vsp). После завершения сбора данных файл с отчетом отображается в окне «Отчет о производительности». Для приложения ColorFractus мы получили следующий отчет о производительности (рис. 1).

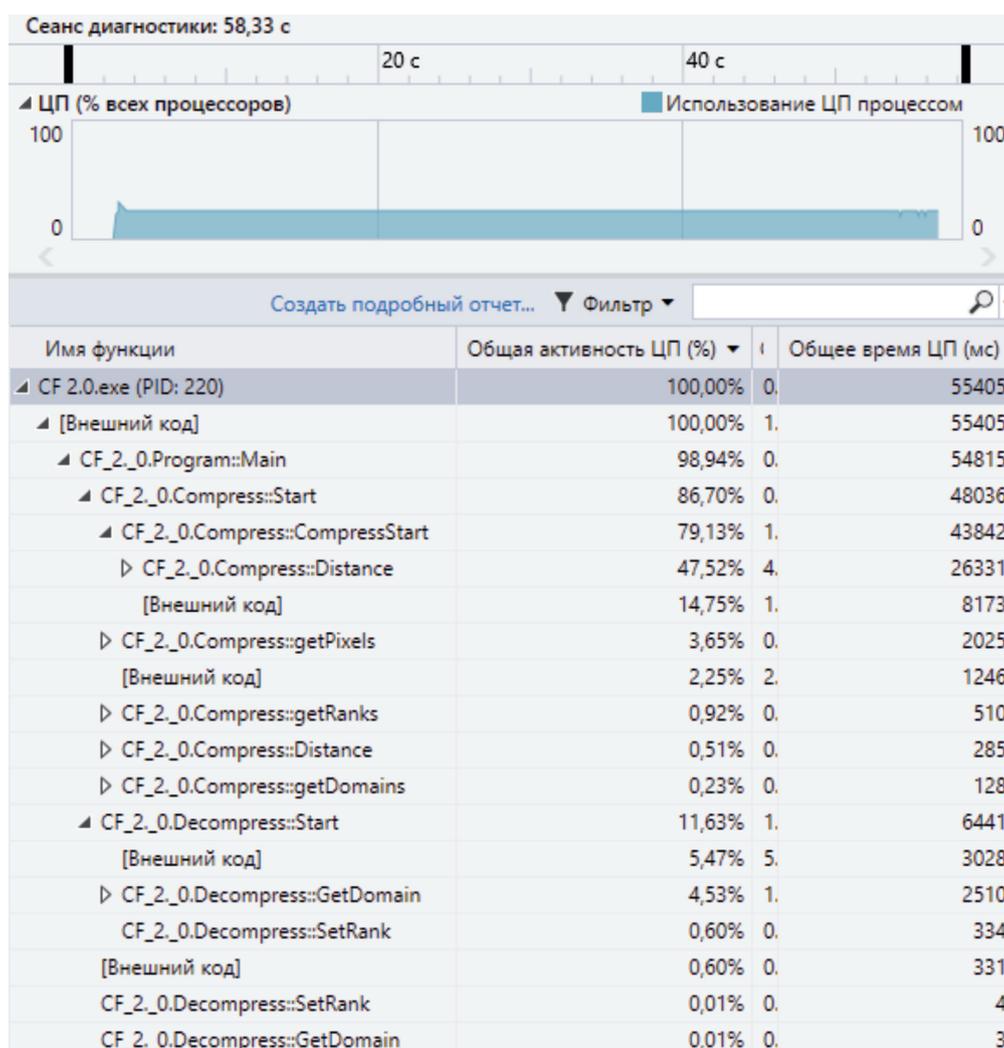


Рис. 1. Статистические данные, полученные методом выборки

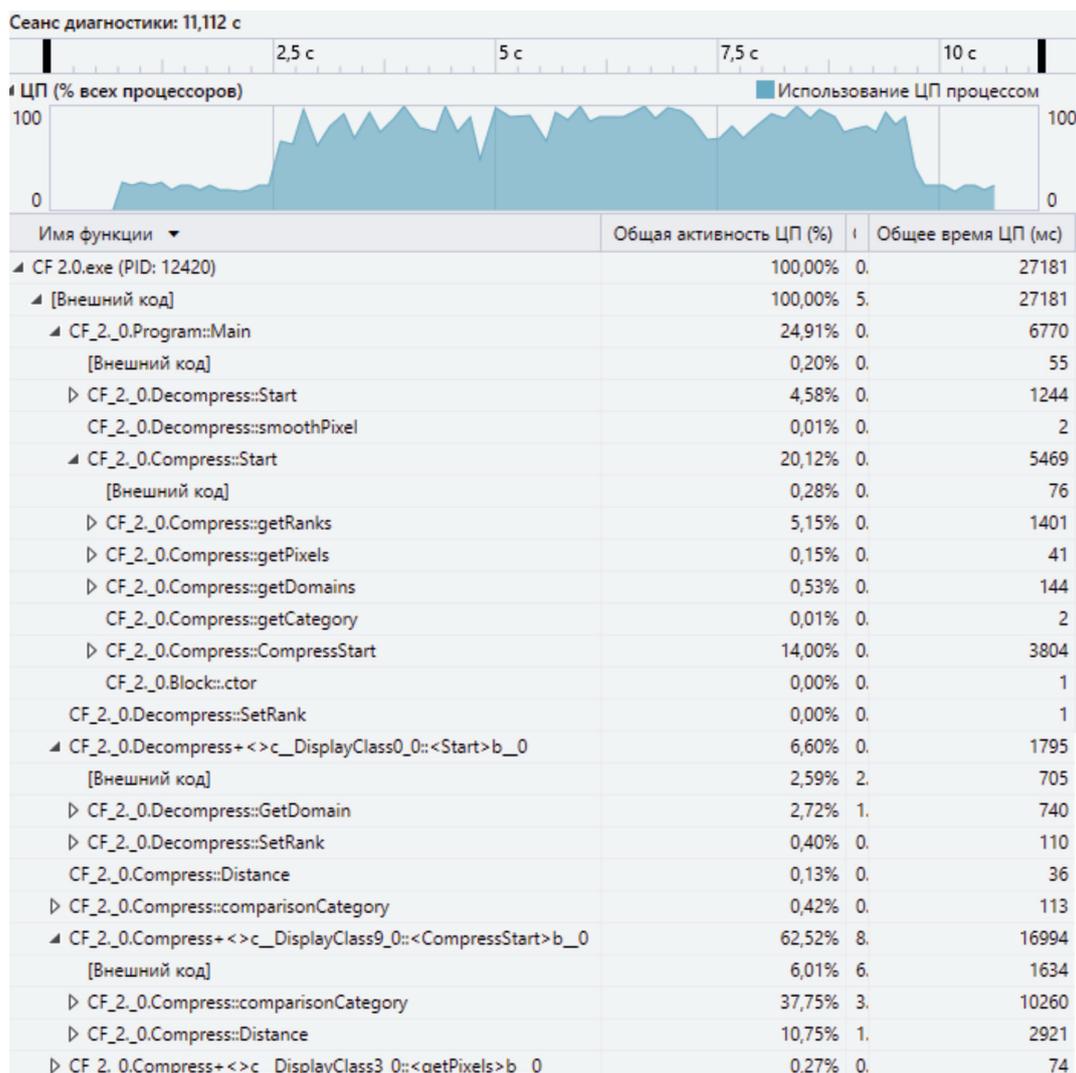


Рис. 2. Статистические данные о производительности оптимизированного кода

Проанализировав данные, представленные на рис. 1, можно сделать следующие выводы:

1. Выполнение программы нагружает ЦП не более чем на 25%. Компьютер, на котором проводились замеры, имеет 4-поточный процессор. Это означает, что программа выполняется только в одном потоке процессора.

2. Метод сжатия (Compress.Start) выполняется почти 87% от всего времени работы приложения. Это подтверждает то, что фрактальное сжатие является несимметричным алгоритмом сжатия, так как время сжатия изображения больше времени восстановления.

3. В методе Compress.Start вызывается метод Compress.CompressStart, который, перебирая все ранговые блоки, находит

подходящий доменный блок для каждого рангового и занимает 80% времени от всего выполнения программы. Это означает, что данный метод является самым дорогостоящим с точки зрения скорости выполнения.

4. Внутри метода Compress.CompressStart вызывается метод Compress.Distance, который предназначен для сравнения блоков с помощью подсчета дистанции (числовая характеристика, оцениваемая функцией среднеквадратического отклонения) между блоками. Суммарное время выполнения всех вызовов данной функции занимает около 48%.

Решением указанных проблем мы видим: в предварительной классификации ранговых и доменных блоков по признаку распределения яркости отдельных пикселей

блока; в распараллеливании циклов перебора ранговых блоков, во время поиска наиболее подобного доменного блока и во время восстановления изображения, так как эти процессы являются независимыми; в сокращении количества вызовов метода поиска дистанции между блоками; в добавлении

кеширования, принципом которого будет сохранение доменного блока для конкретного ключа, и присваивании последующему ранговому блоку, который имеет такой ключ. Все предложения по изменению кода приложения ColorFractus были нами реализованы в полном объеме.

Файлы сравнения

Базовый файл:

Файл сравнения:

Параметры сравнения

Таблица:

Столбец:

Порог:

Сравнение завершено.

Столбец сравнения	Разностная версия	Базовое значение	Значение сравнения
System.Collections.Generic.List`1+Enumerator[System.__Canon].get_Current	↓	-1,05	1,05
CF_2_0.Decompress.Start	↓	-2,16	2,27
System.Drawing.Bitmap.GetPixel	↓	-3,57	3,57
CF_2_0.Compress.CompressStart	↓	-27,30	27,30
CF_2_0.Compress.Distance	↓	-34,51	48,54

Рис. 3. Фрагменты сравнения двух отчетов производительности

Файлы сравнения

Базовый файл:

Файл сравнения:

Параметры сравнения

Таблица:

Столбец:

Порог:

Сравнение завершено.

Столбец сравнения	Разностная ве...	Базовое значение	Значение сравнен...
[clr.dll]	↑	100,00	0,00
[Нет данных]	↑	100,00	0,00
Microsoft.VisualStudio.Host	↑	100,00	0,00
System.Diagnostics.Process	↑	100,00	0,00
System.Threading.Executior	↑	100,00	0,00
System.Threading.Executior	↑	100,00	0,00
System.Threading.Executior	↑	100,00	0,00
System.Threading.ThreadHe	↑	100,00	0,00
System.Threading.ThreadHe	↑	100,00	0,00
[KERNEL32.dll]	↑	50,00	0,00
[KERNELBASE.dll]	↑	50,00	0,00
System.Diagnostics.Process	↑	50,00	0,00
System.Diagnostics.Processl	↑	50,00	0,00
System.Diagnostics.Processl	↑	50,00	0,00
System.IO.StreamReader..ct	↓	-50,00	50,00
System.Text.RegularExpressions	↓	-50,00	50,00
kontrRegex.Program.Main(s	↓	-100,00	100,00

Рис. 4. Фрагмент сравнения отчетов производительности (отрицательный результат)

Чтобы убедиться в том, что внесенные изменения в исходный код привели к его оптимизации, повторно запустим профилировщик производительности, а также сравним полученные отчеты (до внесения изменений в код приложения и после). Полученные данные представлены на рис. 2 и 3.

Проанализировав данные, представленные на рис. 2 и 3, можно сделать следующие выводы:

1. Большую часть времени выполнения приложения ColorFractus ЦП загружен на 100%. Это означает, что некоторые участки кода выполняются параллельно и задействованы все 4 ядра (потока) ЦП.

2. Время выполнения метода Compress.Start составляет 5,5 секунд в отличие от 48 секунд в исходной программе.

3. Время выполнения метода Decompress.Start составляет чуть более одной секунды в отличие от 6,4 секунды в исходной программе.

4. Полное время выполнения и сжатия/восстановления изображения уменьшилось с 55 секунд до 6,8, что дает увеличение в скорости сжатия приблизительно в 8 без потери качества обрабатываемого изображения.

Таким образом, мы убедились, что внесенные изменения в приложение ColorFractus действительно привели к его оптимизации.

Следует отметить, что не всегда удается оптимизировать приложения. Так, например, на этапе сравнения отчетов о производительности в ходе оптимизации приложения, позволяющего находить все вещественные числа в больших объемах текстовой информации с помощью регулярных выражений, были получены данные, представленные на рис. 4.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что наши действия, направленные на оптимизацию кода ухудшили производительность приложения, поэтому от таких «оптимизаций» следует отказаться.

В заключение следует отметить, что средства профилирования VS – это удобный и доступный для разработчиков программного обеспечения помощник в решении

проблемы разработки совершенного кода. Обучение студентов IT-направлений навыкам использования средства профилирования VS, для оптимизации программного кода, поможет выпускникам вузов в их будущей профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Кудрина Е.В. Роль оценки реального времени выполнения программы на примере алгоритмов поиска делителей натурального числа / Е.В. Кудрина, В.Р. Кузьмина // Информационные технологии в образовании: материалы VII Всерос. научно-практ. конференции. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2015. – С. 49–54.
2. Лукашова М.А. Применение методов тестирования программного обеспечения на практике / М.А. Лукашова, Е.В. Кудрина // Информационные технологии в образовании: материалы VIII Международ. научно-практ. конференции. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2016. – С. 237–241.
3. Ефимов М.С. Анализатор покрытия кода Unit-тестами для Visual Studio/ М.С. Ефимов, Е.В. Кудрина, А.В. Кузнецов // Информационные технологии в образовании: материалы VII Всерос. научно-практ. конференции. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2015. – С. 214–218.
4. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс / С. Макконнелл. – М.: Издательство Русская редакция, 2010. – 896 с.
5. Общие представление о способах профилирования [Электронный ресурс] // Microsoft: Developer Network. URL: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/dd264994.aspx#instrumentation> (дата обращения: 10.01.2018).
6. Огнева М.В. Программирование в среде Visual Studio .Net: разработка приложений на языке C#/ М.В. Огнева, Е.В. Кудрина. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2010. – 545 с.
7. Батталова Н.А. Оптимизация программного кода с использованием средств профилирования visual studio / Н.А. Батталова // Информационные технологии в образовании: материалы IX Всерос. научно-практ. конференции. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2017. – С. 113–117.
8. Задача D «Красивый текст» [Электронный ресурс] // Летняя компьютерная школа 2013. Регулярные выражения. URL: <http://hist.leenr.ru/camps/lksh/2013.Winter/ejudge.lksh.ru/C/05/problems.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).
9. Батталов А.И. Фрактальное сжатие цветных изображений // Научные исследования студентов Саратовского государственного университета: материалы итоговой студенческой научной конференции. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2016. – С. 31–32.
10. Батталов А.И.. Разработка и реализация быстрого алгоритма фрактального сжатия цветных изображений / А.И. Батталов, Е.В. Кудрина // Информационные технологии в образовании: материалы VIII Международ. научно-практ. конференции. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2016. – С. 21–25.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПЛАВНОГО СОПРЯЖЕНИЯ БЕГОВЫХ ДОРОЖЕК

Бостанов Б.О.

*РГП на ПХВ «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана,
e-mail: bostanov_bayandy@mail.ru*

Рассмотрена задача об определении положения точек сопряжения комбинированной траектории, обеспечивающих условия касания, непрерывности и равенства радиуса кривизны. При сопряжении дуг круговой и эллиптической траектории в месте соединения, где имеется общая касательная, возникает скачок центробежной силы из-за неравенства радиусов кривизны, что приведет к удару. Для того чтобы не было скачка кривизны, применяется метод вставки сглаживающей кривой второго порядка (переходной коники). Известны способы непрерывного, гладкого соединения траекторий, к которым относятся обводы, сплайны. При таком сопряжении выполняются условия касания и непрерывности двух дуг кривых, но не выполняется условие равенства радиусов кривизны этих кривых в точке стыка. Было определено математическое условие безударного сопряжения траекторий. Задавая начальную точку соединения и используя условие плавности (гладкости второго порядка), можно определить конечную точку переходной кривой. Предлагается процесс моделировать кулисным механизмом, который позволяет наглядно, быстро и эффективно определить положение финишной точки на окружности. Используя основанный на кинематике кулисного механизма способ определения положения точек сопряжения, можно осуществить плавное соединение конических дуг, удовлетворяющих условиям непрерывности, касания и равенства кривизны, и создать на их основе новые модели беговых дорожек (траектории) из конических дуг, которые позволяют исключить нежелательные ударные эффекты.

Ключевые слова: коника, радиус кривизны, плавность соединения, кулиса, кулисный камень

SIMULATION OF DETERMINATION OF PLACEMENTS OF FLOATING CONTRACTS OF RUNNING TRAINS

Bostanov B.O.

Eurasian National University n.a. L.N. Gumilyov, Astana, e-mail: bostanov_bayandy@mail.ru

The problem of determining the location of the points of conjugation of combined trajectories ensuring the conditions of equality of the radius of curvature is considered. When conjugate arcs of trajectories at the junction where there is a common tangent, a jump in the centrifugal force due to the inequality of the radii of curvature. In order to avoid a jump in curvature, the method of inserting a second-order smoothing curve is applied. There are known methods of smooth connection of trajectories, which include contours and splines. The mathematical condition of unstressed conjugation of trajectories was determined. Setting the starting point of the connection and using the condition of smoothness (second-order smoothness), one can determine the end point of the transition curve. The process is proposed to be modeled by a rocking mechanism, which allows to effectively determination of position of the finish point on the circle. The proposed method makes it possible to effectively determine the circumference and ensure a non-collapsible connection of the conical arcs. Using the method of determining the position of the conjugate points based on the kinematics of the rocking mechanism, it is possible to smoothly join the conical arcs satisfying the conditions of equality of curvature and to create on their basis new models of treadmills (trajectories) from conical arcs that allow eliminating unwanted impact effects.

Keywords: conic, radius of curvature, smoothness of joint, wings, rocking stone

Возрастающие требования безопасности и плавности движения, обтекаемости профилей объектов инициировали развитие теории переходных кривых и методов их проектирования. Разработка принципиально новых методов плавного соединения конических траекторий движущегося тела, в том числе на основании теории механизмов и машин, аналитической механики, проективной геометрии, синергетики и построении на этой основе новых сложных технических форм беговых дорожек (траектории) является одной из важнейших задач [1].

Цель исследования – определение положения точек сопряжения комбинированной траектории, состоящей из дуг конических сечений, для обеспечения безударного движения по ней.

Материалы и методы исследования

Для исследования рассматривается механико-математическая модель составной конической траектории, по которой движется материальная точка и методика аналитического исследования с применением аппарата аналитической, дифференциальной геометрии и теории механизмов машин.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим некоторую комбинированную беговую дорожку (траекторию), состоящую из полудуг эллипса $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ и полудуг окружности $x^2 + y^2 = r^2$, по которой движется тело (материальная точка) (рис. 1, а).

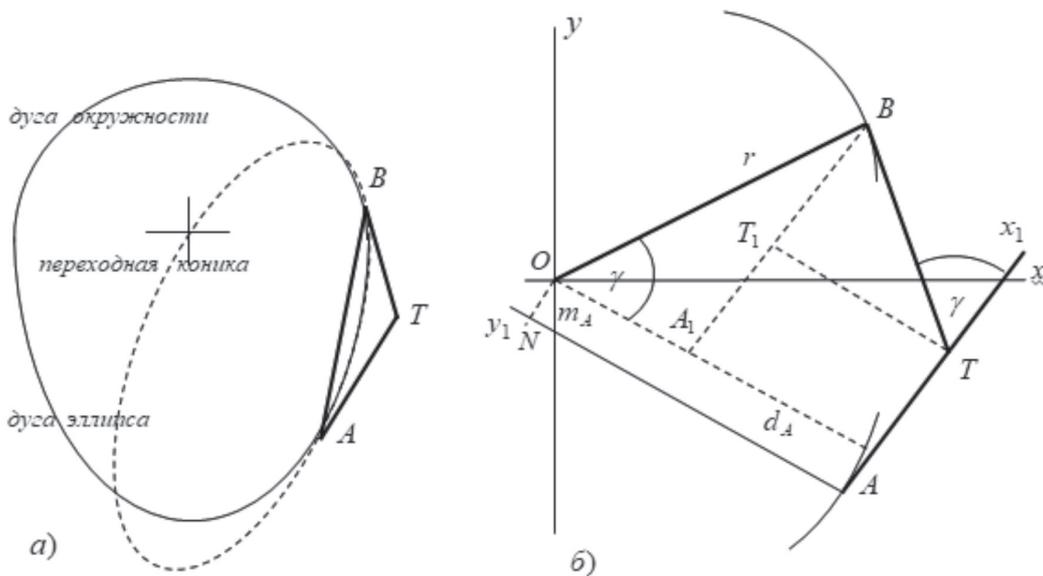


Рис. 1. Комбинированная беговая дорожка и точки сопряжения

Точка по комбинированной беговой дорожке совершает движение по дугам кривых различной кривизны. При переходе из одной части в другую в точках сопряжения возникает разрыв кривизны, вызывающий скачок центробежной силы. Для того, чтобы обеспечить переход без скачка, необходимо между ними вставить переходный участок в виде дуги кривой, удовлетворяющей условиям [2]:

а) дуга должна проходить через точки сопряжения A и B ;

б) в точках сопряжения соединяющая и соединяемая части должны иметь одинаковую непрерывную первую производную (в этой точке скорости должны быть равными);

в) в точках сопряжения соединяющая и соединяемая части должны иметь одинаковую непрерывную вторую производную (в этой точке радиусы кривизны должны быть равными).

Кониками являются всякая невырожденная кривая второго порядка, которая получается как сечение конуса. Соединения, обеспечивающие все три вышеперечисленные условия, соответствуют гладкости второго порядка или плавности. Таким образом, плавным переходным участком, удовлетворяющим условиям касания, непрерывности и равенства радиусов кривизны, может быть любая коника (эллипс, парабола, гипербола), дуга которой лежит внутри базового треугольника ΔATB .

Пусть переходный участок определен в виде коники. Точка A будет общей точкой касания и для дуги эллипса, и для дуги коники (стартовая точка), прямая AT является

их общей касательной, а также в этой точке A коника и эллипс имеют одинаковый радиус кривизны ρ_A . Аналогично, точка B – общая точка для дуг коники и окружности (финишная точка), BT – их общая касательная, проведенная через точку B и ρ_B – их радиус кривизны в этой точке B сопряжения.

Было установлено [1], чтобы переходная коника обеспечивала плавное соединение в точках сопряжения A и B , должно выполняться следующее математическое условие:

$$\frac{l_A}{l_B} = \sqrt[3]{\frac{\rho_A}{\rho_B}} = \eta, \quad (1)$$

где $l_A = AT$ – длина касательной AT , $l_B = BT$ – длина касательной BT .

Соотношение (1) указывает на то, что для построения плавной переходной коники, дуга которой находится внутри базового треугольника ΔATB , надо определить положение финишной точки B на окружности при заданной стартовой точке A .

Выберем на дуге заданного эллипса некоторую произвольную стартовую точку A с радиусом кривизны ρ_A и проводим через нее касательную. Стартовую точку A фиксируем как начало неподвижной системы координат Ax_1y_1 . Ось Ax_1 направим вдоль касательной AT к эллипсу в этой точке A , а ось Ay_1 – вдоль нормали AN (рис. 1, б).

Так как мы имеем заданную окружность $x^2 + y^2 = r^2$, то любая точка B на окружности имеет радиус кривизны, равной радиусу самой окружности, т.е. $\rho_B = r$. Касательная BT , проведенная через точку B , пересека-

ет касательную AT в точке T . Угол между касательными AT и BT обозначим через γ . Изменяя положение точки B на окружности, мы каждый раз проведем касательную к окружности из нового положения B , а это приведет к изменению положения точки пересечения T на оси Ax_1 , следовательно, меняется и угол γ . Таким образом, изменяя угол наклона γ касательной BT относительно неподвижной оси Ax_1 , мы можем найти положение точки B на окружности. Угол наклона γ должен обеспечивать выполнение соотношения вида (1), т.е. отношение длин отрезков касательных, проведенных из точек соединения A и B , равно относительноному показателю кривизны η .

Предлагается процесс определения положения точки B с условием выполнения соотношения $\frac{l_A}{l_B} = \eta$ моделировать кулисным механизмом [3].

Используя рис. 1, б и основываясь на задании вида траектории, построим кинематическую схему кулисного механизма. Если предположить, что окружность радиуса r является круговой траекторией точки B , то стержень $OB = r$ вращается вокруг оси, проходящей через точку O . Так как касательная к окружности всегда перпендикулярна радиусу, то стержни OB и BT , направленные по касательным и нормали к окружности в точке B и жестко соединенные между со-

бой под прямым углом в точке B , создают вращательное звено механизма (рис. 2).

Снабдим стержень BT прямолинейной прорезью, в которой перемещается небольшой ползун T – кулисный камень, тогда стержни OB и BT образуют кулису OBT . Ползун T – кулисный камень представляет точку пересечения касательных AT и BT . Вдоль линии AT расположим поступательно перемещающийся стержень Tx_1 . Камень кулисы T перемещается в прорези BT и шарнирно соединен в точке T со стержнем Tx_1 , которая направлена вдоль касательной к эллипсу в точке A .

Таким образом, мы получили кулисный механизм, в котором кулиса OBT , вращаясь в плоскости Ax_1y_1 вокруг неподвижной оси, проходящей через точку O , приводит в движение камень T . Камень T , скользя в прорези BE , в свою очередь приводит в поступательное движение стержень Tx_1 вдоль оси Ax_1 .

Следовательно, камень T во время движения остается в пересечении направляющих BT и Tx_1 . При таком движении кулисного камня T кулисного механизма происходит одновременное изменение расстояний от точек сопряжения A и B до точки пересечения касательных, т.е. изменения длин касательных AT и BT .

Определяя уравнение движения камня T , можно обеспечить выполнение соотношения $\frac{l_A}{l_B} = \eta$.

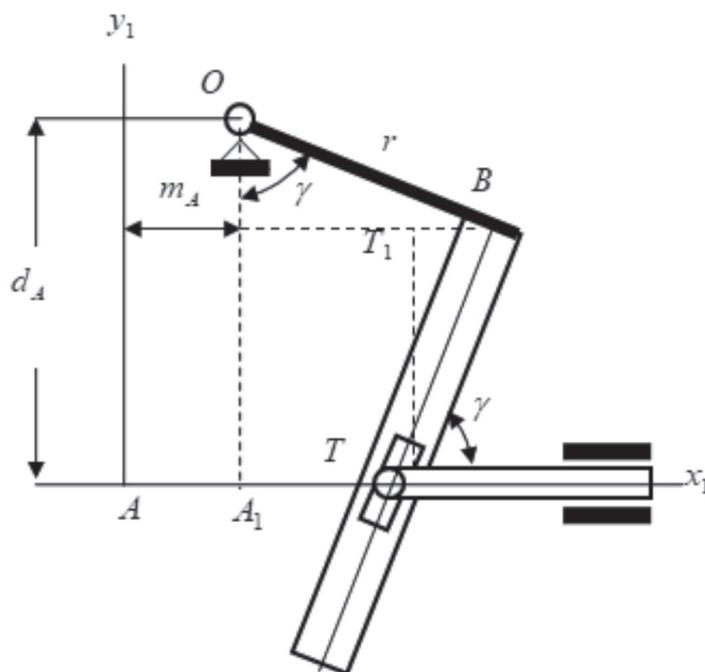


Рис. 2. Кулисный механизм

Полученный кулисный механизм имеет одну степень свободы, и пусть γ – угол поворота прямоугольной кулисы OBT вокруг неподвижной оси, проходящей через точку O , отсчитываемый от линий OA_1 .

Угол γ также определяет положение стержня BT кулисы относительно неподвижного направления Ax_1 . Обозначим через d_A и m_A расстояния от неподвижного шарнира O до направляющей Ax_1 и нормали Ay_1 соответственно.

Найдем координаты точек T и B как функции угла γ (рис. 2) [4–5].

Для точки T :

$$\begin{cases} x_T = AT = (m_A + r \sin \gamma) - BT_1 = (m_A + r \sin \gamma) - \frac{TT_1}{\operatorname{tg} \gamma} \\ y_T = 0 \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} x_T = (m_A + r \sin \gamma) - \frac{d_A - r \cos \gamma}{\operatorname{tg} \gamma} \\ y_T = 0 \end{cases}$$

Для точки B :

$$\begin{cases} x_B = m_A + r \sin \gamma \\ y_B = d_A - r \cos \gamma \end{cases}$$

Учитывая, что длины касательных $l_A = AT = \sqrt{x_T^2 + y_T^2}$ и $l_B = BT = \sqrt{(x_B - x_T)^2 + y_B^2}$,

а также выражая тригонометрические функции $\sin \gamma = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}}$, $\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}}$, найдем

изменение длин как функцию угла поворота γ кулисы:

$$l_A = \frac{m_A \operatorname{tg} \gamma \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma} - d_A \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma} + r(1 + \operatorname{tg}^2 \gamma)}{\operatorname{tg} \gamma \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}},$$

$$l_B = \frac{d_A \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma} - r}{\operatorname{tg} \gamma}.$$

Таким образом, с учетом соотношения (1) получаем уравнение относительно $k = \operatorname{tg} \gamma$:

$$\frac{m_A k - d_A + r \sqrt{1 + k^2}}{d_A \sqrt{1 + k^2} - r} = \eta. \quad (2)$$

Уравнение (2) можно решить графически, т.е. решение можно получить как точку пересечения графиков

$$\begin{cases} y = \frac{m_A k - d_A + r \sqrt{1 + k^2}}{d_A \sqrt{1 + k^2} - r} \\ y = \eta \end{cases}$$

Решение $k = \operatorname{tg} \gamma$ представляет собой угловой коэффициент искомой касательной BT . Точка B находится как точка касания окружности $x^2 + y^2 = r^2$ и касательной BT : $y = k_B x$.

Предлагается другой вариант нахождения координаты точки B , если угловой коэффициент искомой касательной BT уже определен. Пусть k_{An} – угловой коэффициент нормали Ay_1 , k – угловой коэффициент касательной BT , а k_{Bn} – угловой коэффициент нормали OB .

Тогда $k_{Bn} = \frac{k + k_{An}}{1 - k k_{An}}$.

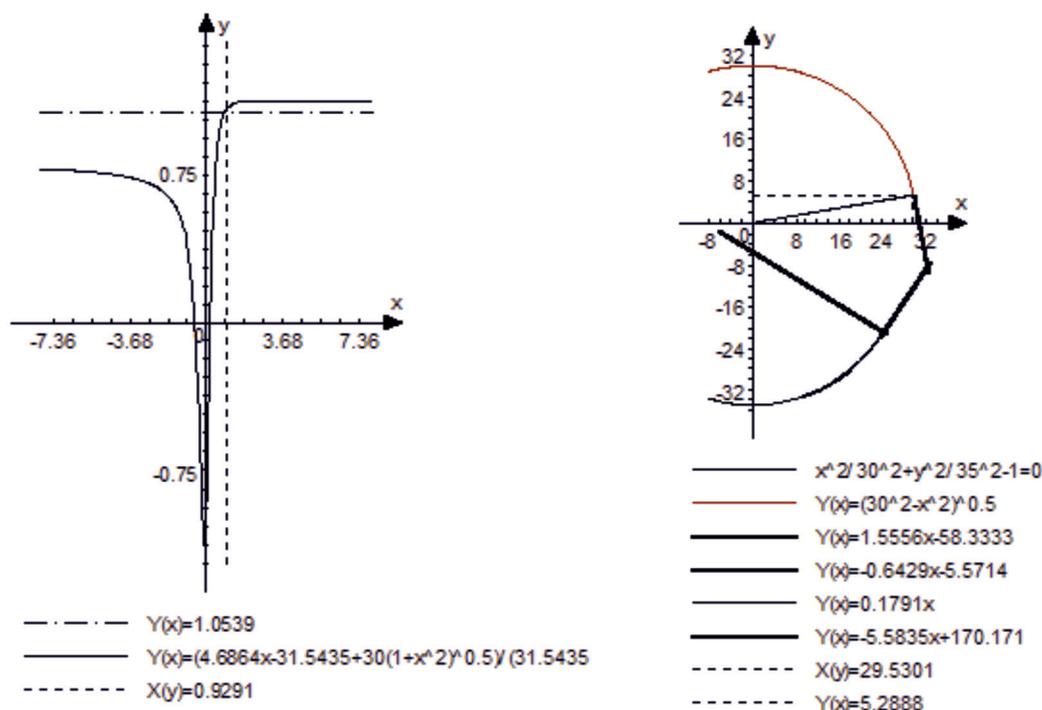


Рис. 3. Построения для определения финишной точки

Пересечение прямой $y = k_{Bn}x$ с окружностью $x^2 + y^2 = r^2$ определяет финишную точку B :

$$\begin{cases} y = \sqrt{r^2 - x^2} \\ y = k_{Bn}x \end{cases}$$

Пример. Пусть нам дана комбинированная траектория, состоящая из полу-дуг окружности $x^2 + y^2 = 30^2$ и эллипса $\frac{x^2}{30^2} + \frac{y^2}{35^2} = 1$. Чтобы в точках $(-30; 0)$ и $(30; 0)$ не было скачка кривизны, между дугами двух кривых нужно вставить переходную конику. Для этого выберем на эллиптической дуге некоторую стартовую точку $A(24; -21)$, где $\rho_A = 35,1253$. Тогда $\eta = 1,054$. Вычислим необходимые величины и изобразим на рис. 3.

$$L_{At}: y = 1,5556x - 58,3333,$$

$$k_{At} = 1,5556, D(26,5332; -17,0582),$$

$$m_A = 4,6864;$$

$$L_{An}: y = -0,6429x - 5,5714,$$

$$k_{An} = -0,6429, M(-2,5342; -3,8422),$$

$$d_A = 31,5435.$$

Тогда

$$\begin{cases} \eta = \frac{4,6864k - 31,5435 + 30\sqrt{1+k^2}}{31,5435\sqrt{1+k^2} - 30} \\ \eta = 1,0539 \end{cases}$$

По найденному решению $k = 0,9291$ вычислим угловой коэффициент нормали к окружности, т.е. $k_{Bn} = 0,1791$. Следовательно, пересечение окружности с нормалью

$$\begin{cases} y = \sqrt{30^2 - x^2} \\ y = 0,1791x \end{cases}$$

определяет положение финишной точки $B(29,5301; 5,2888)$.

Производим проверку. $T(32; -8,5425)$ – точка пересечения касательных, проведенных через точки A и B . Тогда $AT = 14,51$, $BT = 14,5$, следовательно, $\eta = \frac{AT}{BT} = 1,0547$.

Заключение

При выполнении условий плавности сопряжения можно осуществить вставку переходной кривой, дуга которой находится внутри базисного треугольника с точками соединения и пересечения касательных. Применяя способ определения положения начальных и конечных точек соединения на

основе кинематики кулисного механизма, можно осуществить плавное соединение конических дуг, удовлетворяющих условиям непрерывности, касания и равенства кривизны, и создать на их основе новые модели траектории из конических дуг, которые позволяют исключить нежелательные скачкообразные эффекты.

Список литературы

1. Муфтеев В.Г., Марданов А.Р. Изогеометрическое моделирование кривых линий и поверхностей высокого качества по базовым критериям плавности / Сборник трудов ДонНТУ серии «Информатика, кибернетика

и вычислительная техника». – 2009. – Вып. 10(153). – С. 131–145.

2. Бостанов Б.О. Условия плавного сопряжения переходного участка / Б.О. Бостанов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 2. – С. 164–167.

3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для вузов. – 20-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2010. – 416 с.

4. Берг М., Чеонг О., Кревельд М., Овермарс М. Вычислительная геометрия. Алгоритмы и приложения = Computational Geometry: Algorithms and Applications. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 438 с.

5. Краткий справочник для инженеров и студентов: Высшая математика. Физика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов / А.Д. Полянин и др. – М.: Международная программа образования, 2008. – 432 с.

УДК 681.7:[617.7+535]

ОПТИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР СТИМУЛА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛИЯНИЯ МЕЛЬКАНИЙ

Оруджова О.Н.

*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: o.orudjova@narfu.ru*

В качестве критерия утомления может быть использован показатель критической частоты световых мельканий (КЧСМ), который объективно характеризует динамику работоспособности и развитие утомления организма. В настоящее время при исследовании КЧСМ широко применяются различные приборы, как заводского изготовления, так и оригинальные разработки. Поэтому исследование по определению оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты световых мельканий, при котором значения показателя КЧСМ будут сопоставимы со значениями КЧСМ, полученными с помощью заводских приборов, является актуальным. Приведены некоторые свойства фотопического (колбочкового) и скотопического (палочкового) зрения человека. В сетчатке содержатся колбочки трех видов, каждый из которых обладает максимальной чувствительностью к свету с определенной длиной волны. Световые лучи с разными длинами волн активируют колбочки разных видов по-разному. Целью исследования является подбор оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты слияния мельканий. В соответствии с этой целью определена критическая частота слияния мельканий с помощью оригинальных КЧСМ-очков для коротко-, средне- и длинноволновой частей спектра, в том числе и для полихроматического белого света при различных размерах стимула.

Ключевые слова: критическая частота слияния мельканий, диаметр стимула, сетчатка, фоторецепция, длина волны

THE OPTIMUM SIZE OF AN INCENTIVE OF THE DEVICE FOR DEFINITION OF CRITICAL FREQUENCY OF MERGE OF FLASHINGS

Orudzhova O.N.

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: o.orudjova@narfu.ru*

As criterion of exhaustion the indicator of the critical frequency of light flashings (CFLF) which objective characterizes dynamics of serviceability and development of exhaustion of an organism can be used. Now at research CFLF various devices as factory manufacture, and original developments are widely used. Therefore the research on determination of the optimum size of an incentive of the original device for definition of a critical frequency of light flashings at which values of an index of CFLF will be comparable to the CFLF values received by means of factory devices is relevant. Some properties of photopic (conea) and skotopichesky (bacillary) vision of the person. The retina contains flasks of three types, each of which has the maximal light sensitivity with a particular wavelength. Light rays with different lengths of waves activate flasks of different types differently. A research objective is selection of the optimum size of an incentive of the original device for definition of a critical frequency of merge of flashings. According to this purpose a critical frequency of merge of flashings is defined by original CFLF-points for short, average and long-wave parts of a range including for polychromatic this world at various sizes of an incentive.

Keywords: critical frequency of merge of flashings, diameter of an incentive, retina, photoreception, wavelength

Население Крайнего Севера является наиболее чувствительной группой к неблагоприятным климатическим влияниям, испытывающей дополнительные физиологические и психоэмоциональные стрессы, которые негативно отражаются на их здоровье. Специфичность воздействующих факторов и экологии северных районов вызывает необходимость исследования экологии, биологии, психофизиологии, патологии человека, организации здравоохранения. Эта проблема имеет особое значение для районов Крайнего Севера в связи с достаточно трудоемким освоением природных ресурсов, например вахтовыми методами освоения нефтяных месторождений, научно-исследовательскими экспедициями в арктические

моря. В связи с этим актуальной становится задача контроля уровня зрительного утомления у моряков, летчиков, авиадиспетчеров, операторов ЭВМ, водителей транспортных средств и других профессий.

Цель исследования

В качестве критерия утомления может быть использован показатель критической частоты световых мельканий (КЧСМ), который объективно характеризует динамику работоспособности и развитие утомления организма. КЧСМ – это минимальная частота мелькания прерывистого светового излучения в единицу времени, при которой наблюдатель перестает видеть понижения и повышения яркости, источник света вос-

принимается им как монотонное светлое пятно. В настоящее время при исследовании КЧСМ широко применяются различные приборы, как заводского изготовления, так и оригинальные разработки. Поэтому исследование по определению оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты световых мельканий, при котором полученные значения показателя КЧСМ будут сопоставимы со значениями КЧСМ, полученными

необходимо знать размер проекции изображения на ней. Очевидно, что в случае, когда проекция изображения производится на сферическую поверхность, число фоторецепторов будет больше, чем на плоской поверхности.

Различают зрение фотопическое (колбочковое), в котором основную роль играют колбочки, и скотопическое (палочковое). Сведения о свойствах палочек и колбочек представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства фотопического (колбочкового) и скотопического (палочкового) зрения человека

Характеристика	Фотопическое зрение	Скотопическое зрение
Вид рецептора	Колбочки (количество около 7 млн)	Палочки (количество около 125 млн)
Положение на сетчатке глаза	Сконцентрированы в центральной ямке	Расположены на периферии сетчатки
Уровень светимости, необходимый для функционирования	Дневной свет	Ночной свет
Максимальная длина волны, нм	550	500
Цветное зрение	Да	Нет
Темновая адаптация	Быстро (примерно 5 мин)	Медленно (примерно 30 мин)
Пространственное разрешение	Низкая чувствительность, высокая острота	Высокая чувствительность, низкая острота

с помощью заводских приборов, является актуальным. Целью исследования является подбор оптимального размера стимула оригинального прибора для определения критической частоты слияния мельканий.

Материалы и методы исследования

Оптическая система глаза – сложная структура. Свет, пройдя сквозь роговую оболочку глаза, строит изображение в среде с показателем преломления, отличающимся от показателя преломления воздуха, равного единице. Поэтому для глаза переднее фокусное расстояние отличается от заднего как по знаку, так и по абсолютному значению. В глазе несколько преломляющих поверхностей, причем форма каждой из них отличается от сферической, а центры их не лежат на одной прямой, т.е. такая система – нецентрирована.

В связи с этим для упрощения принимают преломляющие поверхности в глазе сферическими, центры сфер лежат достаточно близко к некоторой линии, которую считают оптической осью глаза. Фоторецепция – восприятие света и переработка его энергии в другие виды энергии (химическую и электрическую) – происходит в сетчатке. В сетчатке имеются два вида фоторецепторов – палочки и колбочки. Для оценки доли вовлеченных в процесс восприятия фоторецепторов сетчатки глаза,

Наивысшей чувствительностью обладают те участки сетчатки, на которых плотность палочек максимальна. Таким образом, абсолютный световой порог зависит от того, какой участок сетчатки глаза стимулируется (т.е. палочки или колбочки), а также от длины волны светового стимула. Кроме того, в сетчатке содержатся колбочки трех видов, каждый из которых обладает максимальной чувствительностью к свету с определенной длиной волны:

1. Колбочки S-типа лучше всего поглощают коротковолновой свет с длиной волны примерно 445 нм.

2. Колбочки M-типа лучше всего поглощают средневолновой свет с длиной волны примерно 535 нм.

3. Колбочки L-типа лучше всего поглощают длинноволновой свет с длиной волны примерно 570 нм.

Колбочки всех трех типов поглощают световые лучи с длинами волн, лежащими в широком диапазоне, их абсорбционные кривые накладываются друг на друга (рис. 1), т.е. многие длины волн активируют колбочки разных видов.

Колбочковые фотопигменты, максимально поглощающие средне- и длинноволновой свет (фотопигменты колбочек M- и L-типа), чувствительны по отношению к большей части видимого спектра, а колбочковый пигмент, чувствительный к коротковолновому

свету (пигмент колбочек S-типа), реагирует меньше чем на половину волн, входящих в спектр. Поэтому световые лучи с разными длинами волн активируют колбочки разных видов по-разному. Три разных вида колбочек, для каждого из которых характерен свой определенный фотопигмент, отличаются друг от друга по количеству, по местоположению в центральной ямке сетчатки глаза. Колбочки, содержащие фотопигменты, чувствительные к средне- и длинноволновому свету, сконцентрированы в середине центральной ямки, а колбочки, чувствительные к коротковолновому свету сосредоточены на ее периферии, в центре их очень мало. Полное рецептивное поле включает две перекрывающиеся системы (рис. 2). Колбочки М- и L-типа распределены по широкой круговой области, причем их количество максимально в центре и убывает по мере удаления

от него. В центре колбочки L-типа сильно преобладают, но к периферии их количество падает значительно быстрее числа колбочек М-типа. Поэтому небольшое пятнышко, вспыхивающее в центре и содержащее длинноволновую компоненту, будет мощным стимулом именно для красной системы, несмотря на то, что происходит стимулирование и «зеленых колбочек».

В настоящее время при исследовании показателя КЧСМ широко применяются различные приборы и аппараты: «Свето-Тест», «Хиазма-01», «Хиазма-02», «КЧСМ-цвет», «КЧСМ – У» и «КЧСМ – Д» и другие. Указанные приборы позволяют исследовать показатель КЧСМ при воздействии стимулом разного цвета: красным, синим, зеленым и другими. Цвет сигнала стимула для регистрации показателя КЧСМ определяется в соответствии с целью и задачами исследования [1].

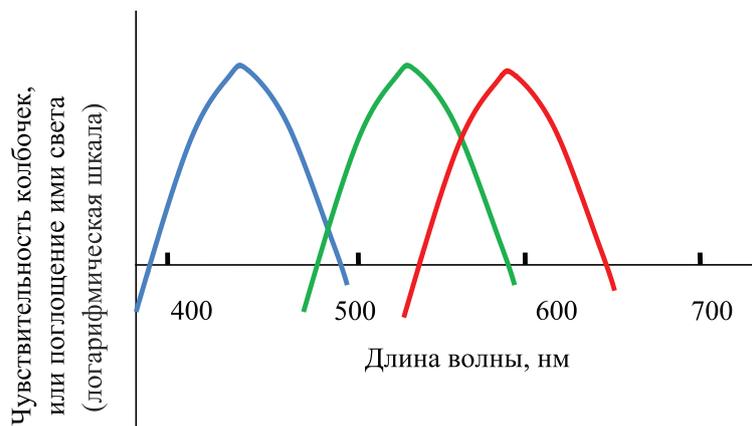


Рис. 1. Чувствительность колбочек

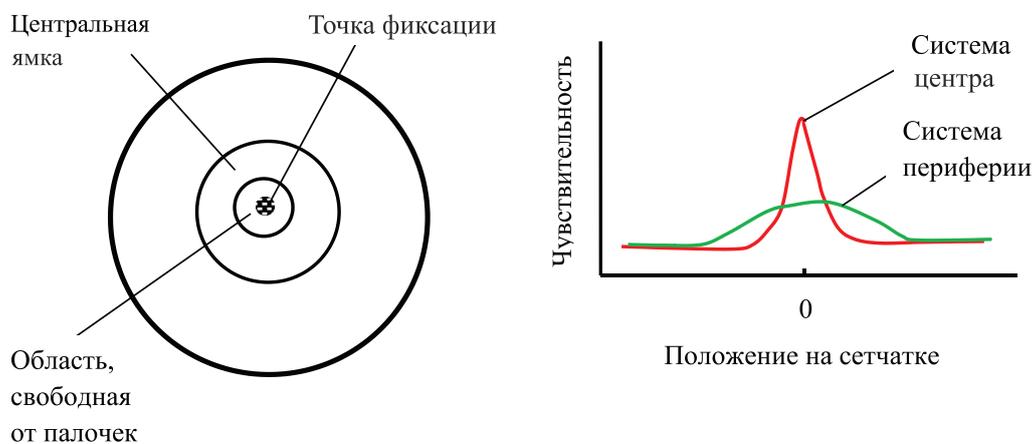


Рис. 2. Зависимость чувствительности нейрона от положения стимула на сетчатке вдоль линии, проходящей через центр рецептивного поля

Исследуемому последовательно предъявляются дискретные световые сигналы определенного цвета (красного, зеленого, оранжевого, синего, белого или другого) по возрастающей от 10 до 70 Гц или убывающей частоте от 70 до 10 Гц. Значимым критерием диагностики заболеваний является отклонение полученных показателей КЧСМ от нормы, а также величина разницы показателей КЧСМ, полученных при стимуляции импульсами красного и зеленого света. Нормальной считается разница между показателями КЧСМ, полученными при стимуляции красным и зеленым цветом, равная 3–4 Гц; она является достоверной для всех возрастных групп, за исключением исследуемых старше 50 лет. В табл. 2 представлены средние значения и диапазоны изменения показателя КЧСМ, указанные в описании прибора «Свето-Тест» (фирмы «Окулюс») и основанные на измерениях показателя КЧСМ для нескольких тысяч исследуемых.

Показатель КЧСМ зависит от таких факторов, как размер стимула прибора для определения показателя КЧСМ, размер проекции источника стимула на сетчатке глаза, освещенности, интенсивности, спектрального состава источника стимула и другими. Значение показателя КЧСМ зависит от функционального физиологического состояния испытуемого, параметров, характеризующих среду, в которой находится человек [2, 3]. Известно, что колбочки определенного фотопигмента отличаются как по количеству, так и по местоположению в центральной, парацентральной и периферической зонах сетчатки глаза.

В центральной зоне большее количество колбочек, отвечающих за восприятие красного (2/3 общего числа) и зеленого (1/3 общего числа) цветов, в парацентральной зоне увеличивается количество колбочек, ответственных за средневолновое излучение, при движении к периферии увеличивается количество колбочек, отвечающих за вос-

приятие коротковолнового излучения. Такое неравномерное расположение колбочек различных типов влияет на значения показателя КЧСМ для зеленого и красного цветов.

Для определения критической частоты слияния мельканий используем метод, основанный на применении оригинальных КЧСМ-очков [4, 5]. Длина волны для красного источника составляла 630 ± 15 нм, для зеленого источника 525 ± 15 нм, для синего источника 470 ± 10 нм. Расстояние источника до поверхности глаза составляет в среднем 20 мм. Для всех режимов работы трехцветного светодиода яркость составляла 30% от номинальной, что составляет, в среднем, 4–5 Кд/м². В качестве испытуемых выступали юноши и девушки возрастом от 18 до 20 лет в равном количестве, общее число которых составило 40 человек. КЧСМ-очки имеют подключение к персональному компьютеру посредством USB-интерфейса, управление осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения «Eye Light» (рис. 3), позволяющего задавать спектральный состав, интенсивность, глубину и длительность стимула. Метод исследований заключается в том, что перед глазами испытуемого размещается светозащитная очковая оправа со встроенными в переднюю панель трехцветными светодиодами.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проводились в сторону увеличения частоты при скорости 1 Гц/с при стимулировании белым, красным, зеленым и синим цветами отдельно для правого и левого глаза при диаметрах стимула 4,0; 3,2; 2,8; 2,2; 1,8; 1,4; 1,0; 0,6 мм. Зависимость показателя КЧСМ от размера диаметра стимула при предъявлении световых сигналов красного, зеленого, синего и белого цветов представлена в табл. 3, величина разности показателей КЧСМ в табл. 4.

Таблица 2

Средние значения и диапазоны изменения показателя КЧСМ при некоторых патологиях зрительной системы

Диагноз	Острота зрения			Диапазон изменения показателя КЧСМ, Гц
	<0,1	0,1–0,5	0,6–1	
Норма	–	–	43	40–45
Катаракта	40	40	40	36–45
Заболевание сетчатки	31	34	38	28–41
Ретикулярный неврит	19	25	32	15–36
Атрофия зрительного нерва	22	29	31	18–35
Нарушение кровообращения в зрительном нерве	20	26	31	18–35

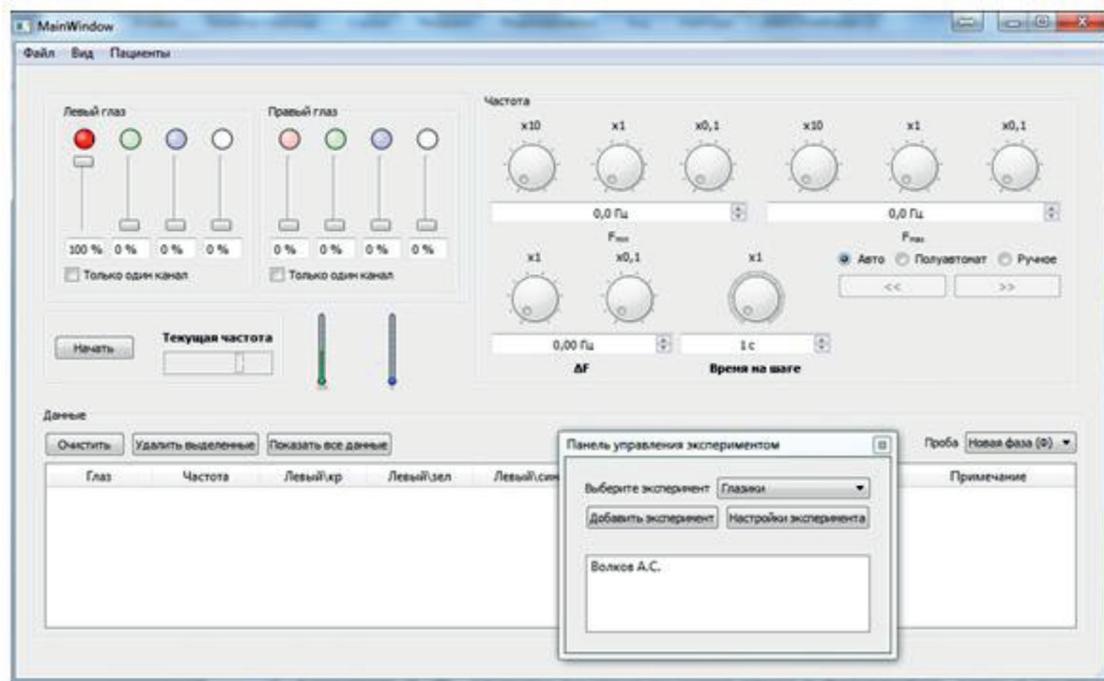


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения «Eye Light»

Таблица 3

Зависимость показателя КЧСМ от диаметра стимула

Размер диаметра стимула, мм	Показатель КЧСМ, Гц, при предъявлении стимула по цвету			
	красный	зеленый	синий	белый
4,0	45,5	47,6	43,4	47,8
3,2	39,6	42,7	37,1	42,3
2,8	33,9	34,9	34,1	36,1
2,2	34,7	36,5	34,2	37,1
1,8	33,3	34,5	34,1	36,0
1,4	33,9	35,2	34,6	35,2
1,0	34,0	34,9	34,9	35,2
0,6	30,8	32,4	31,9	32,0

Таблица 4

Величина разности показателей КЧСМ, Гц

Размер диаметра стимула, мм	Величина разностей показателя КЧСМ, Гц		
	красный – зеленый	зеленый – синий	красный – синий
4,0	2,1	4,2	2,1
3,2	3,1	5,6	2,5
2,8	1,0	0,8	0,2
2,2	1,8	2,3	0,5
1,8	1,2	0,4	0,8
1,4	1,3	0,6	0,7
1,0	0,9	0	0,9
0,6	1,6	0,5	1,1

Заключение

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. При исследовании показателя КЧСМ с помощью оригинальных очков при размере диаметра стимула равного 3,2 мм значения показателя КЧСМ сопоставимы со средними значениями, полученными при обследовании большой выборки (согласно табл. 2).

2. Величина разности показателей КЧСМ, полученных при стимуляции красным и зеленым цветом при диаметре стимула 3,2 мм, является нормальной, так как находится в диапазоне 3–4 Гц.

3. Оптимальным размером стимула прибора для определения показателя КЧСМ является значение 3,2 мм.

Список литературы

1. Рогатина Е.В. Критическая частота слияния мельканий на цветные стимулы в диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва у детей: пособие для врачей / Е.В. Рогатина, А.А. Яковлева, Т.С. Егорова, А.В. Хватова, К.В. Голубцов. – М., 2001. – 16 с.

2. Волков А.С. КЧСМ как метод психофизиологического исследования зрительного анализатора / А.С. Волков, Л.В. Морозова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 2–3. – С. 310–312.

3. Морозова Л.В. Особенности чтения текста с бумажных и электронных носителей / Л.В. Морозова, Ю.В. Новикова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 1. – С. 81–88.

4. Лагунов А.Ю. Программный комплекс для управления блоком для измерения КЧСМ / А.Ю. Лагунов, Д.А. Федин, А.В. Орлов // Научные труды SWorld. – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 89–93.

5. Лагунов А.Ю. Полихромный светодиодный блок для измерения КЧСМ / А.Ю. Лагунов, Д.А. Федин, А.В. Орлов // Научные труды SWorld. – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 83–89.

УДК 004.08

ВОПРОСНО-ОТВЕТНАЯ СИСТЕМА, УЧИТЫВАЮЩАЯ СЕМАНТИКУ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Попов С.В.

ООО «Научно-внедренческая фирма БП+», Москва, e-mail: s-v-popov@yandex.ru

Информация обладает собственной ценностью, иногда существенно превышающей ценность материальных объектов. Быстрый релевантный поиск дает возможность не только приобретать новые знания, но и обогащаться материально. Поэтому поисковые системы (поисковики) информации в интернете представлены в изобилии. Как правило, в них используется разновидность поиска по ключевым словам, что связано с недостаточной развитостью в настоящее время семантического анализа и автоматического логического вывода, позволяющих получать следствия из полученных данных. Основная сложность поиска необходимой информации в большом объеме данных состоит в том, что, как правило, при поиске определенного объекта имеется еще большая совокупность объектов, которые отличаются от искомого «немного», «чуть-чуть», «самую малость» и пр. Поэтому с содержательной точки зрения они отличаются мало, и человеку с его образным мышлением трудно подобрать существенные признаки, выделяющие нужный ему объект. В таком случае реально полезна подсказывающая система, указывающая те признаки, которые в данной предметной области представляются наиболее существенными. Тем самым человеку предоставляется возможность не вспомнить необходимый признак, что сопряжено с определенными ресурсными затратами, а выбрать из представленного набора. В работе предпринята попытка, используя оригинальный формализм, построить теорию вопросно-ответных систем, которая базируется на семантике предметной области. Эта семантика выражается в терминах совместности / несовместности, что представляется достаточно универсальным механизмом для описания предметных областей и построения систем поиска информации.

Ключевые слова: поиск информации, предметная область, несовместимость элементов, семантика, граф ортогональности, единичный n -мерный куб

QUESTION-ANSWERING SYSTEM THAT TAKES INTO ACCOUNT THE SEMANTICS OF THE SUBJECT AREA

Popov S.V.

LLC «Nauchno-vnedrencheskaya firma BP+», Moscow, e-mail: s-v-popov@yandex.ru

Information has its own value, sometimes greatly exceeding the value of material objects. Fast, relevant search provides the opportunity not only to acquire new knowledge, but also to enrich themselves financially. Therefore, search engines (search engines) information on the Internet abound. Typically, they use a kind of keyword search, which is associated with underdevelopment at the present time semantic analysis and automatic logical inference, allowing the investigation of the obtained data. The main difficulty of finding the necessary information in big data is that, as a rule, when searching for a particular object, there is still a large set of objects, which differ from the desired «slightly», «slightly», «very little» and so forth. Therefore, from a substantive point of view, they differ little, and the man with his imaginative thinking is hard to find significant signs that produce the desired object. In this case, it is really useful prompting system that indicates those features that are in a given subject area appear to be the most significant. Thus, the man given the opportunity to remember the essential sign, which is associated with a defined resource costs, and to choose from the presented set. In the work the attempt is made, using the original formalism, to construct a theory of question-answering systems, which is based on the semantics of the subject area. This semantics is expressed in terms of a compatibility / not compatibility, that is quite a universal mechanism for the description of the subject areas and building systems for information retrieval.

Keywords: information search, the subject area, the incompatibility of the elements, semantics, orthogonally graph, the unit n -dimensional cube

В связи с глобальной информатизацией общества информация (хотя этот термин и не имеет четкого определения) ныне обладает собственной ценностью, иногда существенно превышающей ценность материальных объектов. Быстрый релевантный поиск дает возможность не только приобретать новые знания, но и обогащаться материально. Поэтому поисковые системы (поисковики) информации в интернете представлены в изобилии [1, 2]. Как правило, в них используется разновидность поиска по ключевым словам, что связано с недостаточной развитостью в настоящее время семантического анализа и автомати-

ческого логического вывода, позволяющих получать следствия из полученных данных. Последний механизм может как сократить множество выдаваемых статей, полученных только по ключевым словам, так и ускорить поиск необходимой информации.

Основная сложность поиска необходимой информации в большом объеме данных состоит в том, что, как правило, при поиске определенного объекта имеется еще большая совокупность объектов, которые отличаются от искомого «немного», «чуть-чуть», «самую малость» и пр. Поэтому с содержательной точки зрения они отличаются мало, и человеку с его образным мышлением

трудно подобрать существенные признаки, выделяющие нужный ему объект. В таком случае должна существовать подсказывающая система, указывающая те признаки, которые в данной предметной области представляются наиболее существенными. Тем самым человеку предоставляется возможность не вспоминать необходимый признак, что сопряжено с определенными ресурсными затратами, а выбирать из представленного набора. Однако такая система подсказок предполагает значительную проработку предметной области, так как иначе подсказки будут носить нерелевантный характер.

Основными типами запросов на поиск информации служат запрос на нахождение конкретного объекта, существование которого не вызывает сомнения, и объекта, обладающего определенными свойствами, наличие которого в информационной системе под вопросом. Например, такими объектами могут быть вычислительное устройство определенной конструкции, для которого указываются его конструктивные особенности, или авторского свидетельства на интересующую тему, в котором дается описание устройства с неточно заданными параметрами. Если в первом случае имеется гарантия, что такое устройство имеется и при достаточном терпении мы его найдем, то вторая ситуация характеризуется неопределенностью, устройство может не присутствовать в информационной системе. В качестве примера также можно упомянуть построение объекта, обладающего определенными свойствами, когда известно, какие составные элементы приносят то или иное свойство. Вопросам семантики посвящено очень много работ, с основополагающими идеями можно ознакомиться в [3, 4].

В этой работе предпринята попытка, используя оригинальный формализм, построить теорию вопросно-ответных систем, которая базируется на семантике предметной области. Эта семантика выражается в терминах совместимости / несовместимости, что представляется достаточно универсальным механизмом для описания предметных областей и построения систем поиска информации по семантическим признакам. В настоящей работе не затрагиваются вопросы нечеткого описания объектов, которые подразумевают градации присутствия признаков наподобие: присутствует всегда, присутствует иногда, встречается редко и т.п. Этот вопрос будет поднят в следующих публикациях.

Содержательное описание предметной области

Под *предметной областью* будем понимать пару $OR = (Elements, Objects)$, где

Elements есть конечное множество *базисных элементов*, а *Objects* – совокупность *объектов*, которые суть подмножества множества базисных элементов, т.е. $Objects \subseteq 2^{Elements}$. Один базисный элемент может входить в несколько объектов в качестве составной части. Если два базисных элемента одновременно не принадлежат никакому объекту, то они называются *несовместимыми*, в противном случае – *совместимыми*. Содержательно несовместимость базисных элементов может интерпретироваться по-разному: это может быть несовместимость двух признаков при описании понятий, двух химических элементов при попытке создать новое соединение или двух разных команд в одном управляющем устройстве и т.п. Например, две команды ускорение и торможение, выполняемые одновременно, несовместимы. Два химических элемента, вступающие в реакцию, несовместимы при попытке создать устойчивое соединение, в которое они входят. Два признака молока – кислое и парное – также несовместимы. Два пользователя распределенной информационной системы несовместимы, если они не имеют доступа к одинаковой информации. Более подробно семантика предметной области, основанная на несовместимости, описана в [5].

Тем самым на множестве *Elements* задано бинарное коммутативное отношение $Ort \subseteq Elements \times Elements$ – описывающее отношение *несовместимости*.

Базисные элементы можно представлять обладающими определенными значениями ряда элементарных признаков. Признаки суть элементы конечного алфавита, значения каждого признака также принадлежат конечному множеству. Поэтому базисный элемент можно мыслить как вектор, каждый компонент которого указывает на наличие / отсутствие определенного признака. Тем самым признак однозначно соответствует компоненту вектора, разным компонентам соответствуют разные признаки и наоборот. Значения признаков, в свою очередь, бывают *совместимыми* и *несовместимыми*. Разные значения одного признака – *несовместимы*, они не встречаются в описании одного элемента. Это вполне естественно, так как в предметной области желательно максимально разделять базисные элементы, используя один признак. Предполагаем, что признаки, участвующие в описании базисных элементов, независимые, поэтому значения разных признаков совместимые.

В данном случае используется некоторая условность, так как несовместимые значения признаков при описании одной предметной области могут быть совместимыми

при описании другой предметной области. Но такая условность оправдана тем, что мы априорно фиксируем последнюю. Таким образом, исследование предметной области сводится к изучению базисных элементов, с определенным на них отношением совместности / несовместности.

Построим по множеству *Elements* и отношению *Ort* граф G_{Ort} несовместности: его узлы суть элементы множества *Elements*, и два узла b_1, b_2 смежные тогда и только тогда, когда выполняется отношение $Ort(b_1, b_2)$. Мы несколько усилим понятие объектов ПО: множество *Objects* – совокупность объектов, которые суть максимальные подмножества базисных элементов, то есть к условию $Objects \subseteq 2^{Elements}$ добавляется требование, чтобы каждый объект нельзя было расширить за счет добавления какого-либо элемента из *Elements*. Такое усиление объяснимо с содержательной точки зрения, если подмножество множества *Elements* расширяется, то такой объект можно считать лишь промежуточным, не несущей всей информацией. С другой стороны, совокупность максимальных подмножеств является полной характеристикой предметной области в терминах отношения несовместности.

Введенное определение предметной области будем называть *содержательным*, так как отношение несовместности может носить неформальный характер и определяться, исходя из содержательных соображений. Сейчас мы не рассматриваем разновидности определения понятия несовместности. Так несовместность может быть: всегда, в большинстве случаев, как правило, иногда, редко и т.п. Мы вводим предикат *Ort*, чтобы сделать изложение достаточно прозрачным.

Нетрудно увидеть, что каждому объекту $B \in Objects$ в графе G_{Ort} соответствует максимальный пустой подграф G_B и наоборот, каждому максимальному пустому подграфу графа G_{Ort} соответствует единственный объект из *Objects*. Таким образом, мы можем говорить не об объектах предметной области, а о пустых подграфах графа G_{Ort} .

Логическая семантика предметной области

Введем понятие *логической матрицы*, строки которых соответствуют переменным, а столбцы – дизъюнктам или конъюнктам в зависимости от того, представляет матрица КНФ или ДНФ логической функции. Элементы логической матрицы суть 0, 1, $_$ (обозначая соответственно отрицательную литеру, положительную или

отсутствие ее). Поэтому каждый столбец матрицы с n строками можно рассматривать как интервал в единичном n -мерном кубе E^n , а произвольная совокупность M^* столбцов определяет интервал $I^* \subseteq E^n$, который есть пересечение интервалов, определяемых этой совокупностью. Будем называть этот интервал I^* *определяемым* подматрицей M^* . Это пересечение может быть как пустым, так и не пустым, что определяется видом M^* .

В [5] показано, что по графу G_{Ort} строится логическая матрица с n строками и m столбцами, где $m = |Elements|$, и столбцы которой помечены разными элементами множества *Elements*, которая обладает следующими свойствами.

1. Два разных столбца b_1 и b_2 помечены интервалами σ_1 и σ_2 единичного n -мерного куба, пересечение которых $\sigma_1 \cap \sigma_2$ пусто тогда и только тогда, когда $Ort(b_1, b_2)$. Будем называть такие столбцы матрицы – *ортогональными*.

2. Каждый пустой подграф $G_0 \subseteq G_{Ort}$, $G_0 = \{b_1, b_2, \dots, b_q\}$ определяет подматрицу $M(b_1, b_2, \dots, b_q)$ такую, что определяемый ею интервал n -мерного единичного куба не пуст. Для непустых графов определяемые ими интервалы пусты.

Отметим, что при разных способах построения матрицы по графу G_{Ort} количество строк может варьироваться, тем самым поразному определяются интервалы единичного куба, соответствующие столбцам матрицы.

Получаем, что семантика несовместности элементов предметной области формально описывается в логических терминах, и отношению несовместности однозначно соответствует отношение ортогональности столбцов матрицы или пустоты пересечения интервалов.

Фильтрация столбцов логической матрицы

Введем операцию умножения векторов одинаковой длины в базисе 0, 1, $_$.

1. Значения 0 и 1 назовем *ортогональными*.

2. Если векторы в одном компоненте содержат ортогональные элементы (т.е. векторы ортогональные), то их произведение пусто.

3. В противном случае осуществляется компонентное умножение, на основе следующих базисных операций: $1 \times 1 = 1$, $1 \times _ = _ \times 1 = _$, $0 \times 0 = 0$, $_ \times _ = _ \times 0 = 0$, $_ \times _ = _$.

Так как векторы в базисе 0, 1, $_$ определяют интервалы единичного куба, то очевидно, что операция умножения векторов однозначно определяет пересечение соответствующих интервалов.

Пусть M есть логическая матрица с n строками и m столбцами, столбцы поименованы b_1, b_2, \dots, b_m , и каждый из них определяет интервал $I(b_1), I(b_2), \dots, I(b_m)$ единичного n -мерного куба E^n . Введем операцию *фильтрация матрицы M произвольным вектором b длины n* . Ее результатом $\Phi(M, b)$ является матрица, которая получается из M заменой каждого ее столбца b_i на произведение $b \times b_i, i = 1, 2, \dots, m$. Пустые произведения в результирующую матрицу $\Phi(M, b)$ не включаются. Легко обобщить операцию фильтрации на множество $\mathbf{b} = \{b^1, b^2, \dots, b^q\}$ фильтрующих векторов: $\Phi(M, \mathbf{b}) = \Phi(\dots \Phi(\Phi(M, b^1), b^2, \dots, b^q)$.

Построение объекта предметной области по заданным характеристикам

Пусть из информационной системы надо выделить объект, обладающий заданными характеристиками, причем практически невозможно перечислить в точности все его свойства в силу того, что они составляют представительное множество и не всегда можно указать их все сразу. Однако в процессе уточнения в диалоге с вопросно-ответной системой такая задача вполне решаема и в конечном итоге удастся получить искомый объект. Для определенности будем считать, что на начальном этапе имеется перечисление некоторого подмножества свойств, которые позволяют выделять подмножество объектов, обладающих этими свойствами, и задача вопросно-ответной системы состоит в том, чтобы подсказать, какие еще свойства необходимо указать, чтобы получить искомый ответ.

Сформулируем задачу в терминах предметной области, для которой задано отношение Ort на множестве элементов. Содержательно ее элементами могут трактоваться как конкретные сущности, так и признаки, позволяющие однозначно идентифицировать искомый объект. Тем самым для элементов предметной области задана содержательная семантика. Рассматриваемая предметная область характеризуется графом совместимости G_{Ort} , по которому в соответствии с описанной выше процедурой строится логическая матрица M . Теперь задача поиска искомого объекта состоит в построении максимального пустого подграфа, узлы которого суть элементы предметной области, имеющие содержательную интерпретацию и удовлетворяющие содержательным критериям принадлежности искомому объекту.

Полагаем, что исходно пользователь знает некоторые свойства искомого объекта. Пусть им соответствуют элементы из $Elements$, образующие множество $\mathbf{b} = \{b^1, b^2, \dots, b^q\}$,

в соответствии с которым вычисляется матрица $\Phi(M, \mathbf{b})$. В графе G_{Ort} элементы b^1, b^2, \dots, b^q выделяют пустой подграф, в общем случае он не максимальный, так как искомый объект еще не построен, и может расширяться разными способами. Однако, такое расширение происходит только за счет элементов, которым соответствуют столбцы матрицы $\Phi(M, \mathbf{b})$.

Поэтому задача поиска состоит в том, чтобы путем поставленных вопросно-ответной системой вопросов построить максимальный пустой подграф, который и описывает искомый объект. То есть обладает содержательными характеристиками, соответствующими элементам предметной области, которые суть узлы пустого графа. Поэтому диалог пользователя и вопросно-ответной системы сводится к формулировке последних вопросов, на которые пользователь отвечает ДА/НЕТ. Вопросы касаются включения в описание искомого объекта тех элементов или признаков, которые представлены столбцами в матрице $\Phi(M, \mathbf{b})$. Поэтому вопросно-ответная система может задать любой из таких вопросов. Выбор признака, по которому задается вопрос о включении его в искомый объект, может происходить в соответствии с определенной стратегией, однако здесь мы не останавливаемся на ее представлении. Считаем, что априорно все признаки, представленные матрицей $\Phi(M, \mathbf{b})$, равноправны и вопрос может касаться любого из них.

Тем самым поиск искомого объекта в заданной предметной области состоит в последовательном включении новых элементов и фильтрации матрицы с учетом вхождения этих элементов в объект.

Построение объекта с определенными свойствами

Рассмотрим еще одну задачу, которая также успешно решается в рамках вопросно-ответной системы, базирующейся на представлении предметной области в виде множества элементов и отношения ортогональности. Пусть имеется несколько свойств, образующих множество $S = \{S_1, S_2, \dots, S_r\}$, которыми должен обладать конструируемый объект. Каждое свойство S_i достигается включением в объект хотя бы одного элемента из определенного множества $b_p, i = 1, 2, \dots, r$. Как и прежде, обозначим множество всех элементов через $Elements$, на котором задано отношение несовместимости Ort . Напомним, что пара несовместимых элементов не может входить в один объект, они взаимоисключающие. Соответственно, имеется граф G_{Ort} и соответствующая ему логическая матрица M .

Построим по паре $(\mathbf{S}, Elements)$ двудольный граф G_{SE} , одна его доля состоит из свойств S_1, S_2, \dots, S_r , а вторая – из элементов множества $Elements$. Узлы S_i и b_j смежные в точности в том случае, если $b_j \in S_i$, $i = 1, 2, \dots, r, j = 1, 2, \dots, m$. Тогда искомым объектом будет существовать в случае, если в графе G_{SE} существует двудольный подграф, включающий все узлы множества \mathbf{S} и некоторое множество узлов E^* , $E^* \subseteq Elements$, обладающих следующим свойством: для каждого $i = 1, 2, \dots, r$, пересечение $S_i \cap E^*$ не пусто. Тем самым можно констатировать, что искомым объектом обладает свойством \mathbf{S} и конструктивно состоит из элементов E^* . Описание объекта в виде совокупности E^* элементов предполагает, что множество E^*

выделяет в графе G_{Ort} пустой подграф, узлами которого служат элементы E^* .

Список литературы

1. Ашманов Н., Иванов А. Оптимизация и продвижение сайтов в поисковых системах. – СПб.: Питер, 2008. – 400 с.
2. Константинова Н.С., Митрофан О.А. Онтологии, как системы хранения знаний. – СПб.: СПбГУ, 2006. – 125 с.
3. Карнап Р. Значение и необходимость. Исследование по семантике и модальной логике. – М.: ЛКИ, 2007. – 215 с.
4. Сокулер Е.А. Семантика и онтология: к интерпретации некоторых моментов концепций Р. Карнапа и Л. Витгенштейна // Труды научно-исследовательского семинара Логического центра Института философии РАН. – М., 1999. – С. 49–59.
5. Попов С.В. Синтез предметных областей. Решение одного класса переборных задач. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 96 с.

УДК 626.022:551.46.09

ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Лискин В.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Газовые гидраты (газогидраты) – твердые льдоподобные образования, состоящие из воды и низших углеводородов, в основном метана, устойчивые при низких температурах (как правило, менее 50 °С) и высоких давлениях (более 30 атм). Подобные условия характерны для 90 % площади дна Мирового океана, но образование газогидратов возможно лишь при наличии достаточного количества гидратообразующего газа (метана), поступающего из осадочной толщи. Месторождения газогидратов на морском дне рассматриваются в качестве перспективных источников экологически чистого энергетического сырья в будущем (в каждом кубометре газогидратов содержится 160 кубометров метана). По существующим оценкам содержание метана в морских газогидратах по энергетическому ресурсу может превышать запасы всех горючих полезных ископаемых вместе взятых. За последние 20 лет газогидраты глубоководных морских осадков обнаружены приблизительно в 30 районах Мирового океана, еще в 30 районах газогидраты обнаружены по косвенным признакам. Несмотря на мощный прогресс в изучении геологии природных газогидратов реальные их ресурсы остаются предметом оживленных дискуссий, что обусловлено неразработанностью до сих пор методов добычи этого нетрадиционного вида топлива.

Ключевые слова: газогидраты, шельф, донные осадки, водорастворенный метан, геохимические донные станции

REVIEW AND SUBSTANTIATION OF GASHYDRATES DETECTION AND RESEARCH METHODS

Rimskiy-Korsakov N.A., Egorov A.V., Liskin V.A.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

Gas hydrates are solid ice-like formations consisting of water and lower hydrocarbons, mainly methane, which are stable at low temperatures (typically less than 50 °С) and high pressures (more than 30 atm). Similar conditions are typical for 90 % of the bottom of the World Ocean, but the formation of gas hydrates is possible only if there is a sufficient amount of hydrate-forming gas (methane) coming from the sedimentary strata. Deposits of gas hydrates on the seabed are considered as promising sources of environmentally friendly energy raw materials in the future (each cubic meter of gas hydrates contains 160 cubic meters of methane). According to the existing estimates of methane content in marine gas hydrates, the energy resource may exceed the reserves of all combustible minerals combined. Over the past 20 years, gas hydrates of deep-sea sediments have been found in approximately 30 regions of the World Ocean, and in 30 regions gas hydrates have been discovered for indirect signs. Despite the great progress in the study of the geology of natural gas hydrates, their real resources remain the subject of lively discussions, which is due to the fact that methods of extracting this unconventional fuel have not yet been developed.

Keywords: gas hydrates, shelf, bottom sediments, water-soluble methane, geochemical bottom stations

Для решения задач освоения континентального шельфа необходимо располагать данными о термогидродинамических и гидрохимических процессах, происходящих у дна в обширных акваториях длительное время. В настоящее время, в широких масштабах ведутся поисковые и промышленные работы, осуществляется сброс отходов хозяйственной деятельности и нефтепродуктов при авариях судов, что ведет к значительному загрязнению вод шельфовой зоны и наносит экономический, экологический и социальный урон. В связи с изложенным остро встает вопрос о необходимости изучения пространственно-временной структуры гидрофизических и гидрохимических полей и их изменчивости под действием различных причин, в том числе антропогенных, в шельфовой зоне моря. Такие исследования необходимы как с практической точки зрения, так и

с научной, в частности, для разработки математических моделей шельфа. Для решения всех этих задач необходима разработка и создание нового поколения методов и инструментальных средств долговременного мониторинга состояния и взаимодействия вод и дна морей России.

Все это предполагает измерения гидрофизических и гидрохимических параметров в толще вод и у дна, а также процессов химического массообмена на поверхности раздела «вода – дно», что может выполняться различными типами станций. В процессе исследований была предложена возможность и целесообразность, разработки и создания станций с блочно-модульной структурой. Это позволяет совместить измерение обоих типов параметров (гидрофизические и гидрохимические) в единой конструкции донной станции. Такая схема существенно увеличивает функциональные

возможности донных, в том числе геохимических, станций. При этом сохраняется возможность функционального и технологического разделения измерений различных параметров. В процессе исследований выполнен анализ достоинств и недостатков существующих автономных станций и обоснованы требования как к конструкции, так и функционированию донных станций.

К основным требованиям к донным станциям относятся: высокая надежность работы, постановки и подъема станции, максимально возможная простота изготовления, калибровки, подготовки к постановке, съема информации. Необходимы минимально возможные размеры и вес станции, минимально возможная стоимость изготовления и эксплуатации станции, соответствие международным стандартам по точности измеряемых параметров.

Необходимость прямого измерения химических потоков

На основании обзора научных публикаций в открытых источниках установлено, что:

– газовые гидраты являются эффективным резервуаром экологически чистого топлива (метана). В каждом кубометре газовых гидратов содержится 160 м³ метана;

– из всех ресурсов на Земле 98% находится в акваториях;

– газовые гидраты стабильны при низких температурах, высоких давлениях и высоком содержании гидратообразующего газа – метана. Эти условия характерны для акваторий с мощной толщей осадочных отложений и глубинами воды более 270–700 метров (в зависимости от температуры придонной воды). Зона стабильности газовых гидратов находится в верхней части осадков и имеет мощность в среднем порядка 500 метров, газогидраты встречаются как в нижней части зоны стабильности газовых гидратов, так и в верхней, иногда выходя на поверхность раздела вода – дно;

– существуют целый комплекс методов, применяемый для поиска газовых гидратов. Они делятся на прямые, – глубоководное бурение, пробо-отбор геологическими трубками и т.п., визуальное наблюдение, и косвенные, – сейсмический и сейсмоакустические исследования дна и толщи осадков, геохимические исследования осадков и флюидов, геотермические и биологические исследования;

– к настоящему времени в акваториях открыто более 70-ти газогидратных районов по косвенным признакам, а в 30-ти районах газовые гидраты подняты непосредственно на борт судна в результате геологического пробоотбора.

Отсюда следует обоснование необходимости прямых измерений химических потоков метана и других газообразных углеводородов из донных осадков, и в пограничной области вода – дно для исследования месторождений газовых гидратов. В данной статье объектом разработки являются технические средства для поиска газовых гидратов, выходящих непосредственно на поверхность морского дна или прикрытые незначительным слоем осадка. Обоснованием этого служит тот факт, что около половины газовых гидратов, обнаруженных в осадках акваторий, приурочены к поверхностным осадкам. Газовые гидраты, расположенные глубоко под дном, требуют дорогостоящих методов глубоководного подводного бурения, которые недоступны пока российским геологам [1, 2].

Методы исследований газовых гидратов

Для исследования газовых гидратов, выходящих на морское дно, используют как традиционные методы геологических и сейсмоакустических исследований, которыми оснащены российские научно-исследовательские суда, так и самые современные, к которым относятся донные геохимические станции, с помощью которых возможно измерять поток химических соединений через поверхность раздела вода – дно. Для формирования газовых гидратов, выходящих на морское дно, необходим высокий поток метана из глубины осадочной толщи. Величина этого потока и определяет масштабы накопления газовых гидратов в донных осадках. Существуют два механизма выноса метана: вынос в самостоятельной фазе (пузырьковая разгрузка) и вынос водорастворенного метана. В последних случаях помимо метана к поверхности выносятся тепло и другие водорастворимые компоненты (различные соли). Измерение интенсивности выноса вод является важнейшей задачей, для оценки возможных масштабов образования газовых гидратов, которая решается с помощью специальных донных станций.

Все это диктует необходимость создания технических средств нового поколения, в том числе донных станций, что позволит создавать и использовать распределенные сети автономных донных станций для измерения гидрохимических и гидрофизических характеристик среды. Модульно-блочная концепция построения таких станций позволит повышать экономическую эффективность получения океанологических данных, за счет адаптации к решаемой задаче, программно-аппаратных средств, обеспечивает гибкость внедрения перспективных средств

наблюдений нового поколения в практику океанологических исследований.

Новизна предлагаемых научных и технологических решений

Российским ученым принадлежит приоритет в разработке теоретических моделей, для описания процессов образования и разложения газовых гидратов на морском дне. И лишь сейчас зарубежные исследователи начинают решать подобные задачи. Однако зарубежные исследователи одновременно используют современные технические средства – лендеры, которых до последнего времени в России не было.

Модернизация российских донных станций и оснащение их необходимым оборудованием, в сочетании с уникальными теоретическими разработками по моделированию процессов формирования газовых гидратов на морском дне позволит занять России лидирующее направление в области разведки газогидратных залежей в акваториях. Использование таких станций для решения различных задач поиска и исследования масштабов образования газовых гидратов в акваториях относится к самым современным направлениям в изучении газогидратов.

Проведенный анализ результатов исследований такого потенциально значимого геологического явления, как природные газовые гидраты в донных осадках Мирового океана, показал необходимость создания технических средств нового поколения для измерения придонных потоков углеводородов (метана), с помощью прямого боксового метода измерения придонных потоков, который заложен в основу использования донных станций для исследования газовых гидратов. Для комплексного решения задачи поиска и оценки ресурсов газовых гидратов, обоснована необходимость разработки в составе донных станций блоков видеомодуля, специального грунтового пробоотборника и термо-градиентографа [3–5].

Области и масштабы использования полученных результатов

В первую очередь полученные результаты могут быть использованы в той части океанологии, которая занимается оценкой энергетических ресурсов Мирового океана. Ресурсная оценка метана, связанного в газовые гидраты, находящихся в морских осадках, является одной из основных задач в национальных программах по изучению природных газогидратов, принятых в США, Канаде, Японии, Индии и Южной Корее. Исследования таких новых энергетических источников, как газовые гидраты,

стимулируют развитие новых технологий, которые могут быть использованы и для других задач, связанных с изучением Мирового океана. В частности, современные донные станции могут быть использованы, при экологическом мониторинге акваторий, подвергшихся воздействию мощной антропогенной нагрузки.

Исследование газовых гидратов помимо энергетической направленности, имеет важное значение для оценок устойчивости склонов, для оценок стабильности основания морских буровых установок, для оценки роли газовых гидратов в глобальном потеплении климата. Немаловажную роль газовые гидраты играют в глобальном цикле углерода и в создании глубоководных «оазисов жизни», где основным энергетическим ресурсом может служить метанотрофия. Исследования в этой области могут помочь в раскрытии такой фундаментальной задачи науки, как выяснение механизмов зарождения жизни на Земле. Практическое значение полученных на данном этапе работ результатов заключается в подготовке публикаций по вопросам проведения ресурсной оценки в акваториях.

На современном этапе, основной интерес к природным газовым гидратам в акваториях сконцентрирован на энергетической значимости газогидратов, как источника экологически чистой энергии в будущем. И хотя прогнозные оценки этих ресурсов все еще остаются предметом научных дискуссий, все исследователи сходятся на большой значимости этого источника и на необходимости проведения работ, как по оценке ресурсов, так и по разработке технологий поиска разведки и разработки залежей газовых гидратов в акваториях. Безусловно, в ходе этих работ будут проведены важные исследования природы Мирового океана, включающие процессы нефтегазообразования на континентальном склоне и его подножии. Ресурсы газогидратов связаны с ресурсами обычного газа и нефти в акваториях и многие результаты по исследованию газовых гидратов будут использованы для задач расширения традиционных нефтегазовых ресурсов на все большие глубины морей и океана.

Помимо традиционных методов, используемых для поиска газовых гидратов, таких как глубоководное бурение, пробоотбор геологическими трубками, черпаками и т.п., визуальное наблюдение, сейсмическое и сейсмоакустическое исследование дна и толщи осадков, геохимические исследования осадков и флюидов, геотермические и биологические исследования, используются специализированные донные

станции и аппаратурные комплексы. Эти комплексы на базе специализированных донных станций позволяют проводить длительные исследования (мониторинг) газовыделяющих объектов на морском дне, которые связаны с газовыми гидратами. Так, например, при исследовании газовых гидратов в подводном гравезом вулкане Хаакон Мосби использовался шведский лендер Гетборгского университета, донная станция французского института IFRIMER. Установка этих приборов на дно происходила с использованием как глубоководных обитаемых аппаратов, так и необитаемых глубоководных телеуправляемых аппаратов.

Здесь следует отметить то, что с помощью донных станций можно исследовать не только геохимические и гидрологические условия, при которых газовые гидраты формируют скопления на дне океана, но изучать процесс разложения таких газогидратных скоплений, что крайне важно для разработки технологий добычи природного газа при разложении природных газовых гидратов. В то же время важно понимать, что на современном уровне ни один метод исследования не обеспечивает результативность поисково-разведочных работ, только разумное комплексирование всего набора современных методов может обеспечить успех. Использование новых технологических возможностей разрабатываемой аппаратуры в составе телеуправляемых донных комплексов, предназначенных для измерений потоков вещества в придонной области морей и океанов, должно быть увязано с совокупностью традиционных геофизических, геологических и геохимических методов исследования акваторий направленных на поиски скоплений газовых гидратов [6].

Рекомендации по конкретному использованию

Ухудшение экологической ситуации вод шельфовой зоны вызывает необходимость изучения с помощью донных станций, пространственно-временной структуры и изменчивости параметров морской воды под действием различных причин, в том числе антропогенных.

Выполнение долговременного мониторинга состояния и взаимодействия вод и дна морей России с помощью распределенных сетей автономных океанологических станций в течение года или более позволит отслеживать пространственную изменчивость необходимого перечня океанологических параметров.

При определенных условиях особую важность приобретает экологическая направленность использования донных стан-

ций в местах захоронения в осадках снарядов с химическим оружием, металлическая оболочка которых в этих условиях интенсивно корродирует, делая со временем доступным прямой контакт химической начинки снарядов с донными осадками, а возможно, и с придонными водами (Балтийское море).

Выводы

Проведен аналитический обзор отечественных и зарубежных результатов применения донных станций и аппаратурных комплексов для поиска газообразных углеводородов, в том числе газовых гидратов, на морском дне. Рассмотрены методы выявления газовых гидратов и обосновано направление работ по созданию технических устройств в составе донных станций для решения задачи выявления газовых гидратов в донных осадках акваторий Мирового океана и морей России. Показана высокая научная значимость выбранного направления работ, его новизна, соответствие современному международному уровню. В области разработок математических моделей образования и разложения газовых гидратов в донных осадках данное исследование определяет международный уровень.

Особенность проводимых на данном этапе исследований заключается во всестороннем анализе мировых достижений в области использования современных технических средств и методов, применяемых для поиска и исследования газогидратов в донных осадках Мирового океана. По результатам аналитического обзора предложена оптимальная методика использования как традиционного, так и вновь разрабатываемого оборудования, в которой учитываются все самые современные теоретические разработки в области поиска и разведки скоплений газовых гидратов на морском дне. Предлагаемый концептуальный подход соответствует мировому уровню. Разрабатываемый донный комплекс найдет свое применение в практике морских океанологических исследований, при оценке ресурсов природного газа в газогидратах континентального склона, он может быть использован в нефтегазовой промышленности, в МЧС для проведения аварийно-спасательных работ в глубоководных акваториях.

Принятый блочно-модульный подход к созданию автономной донной станции с общей информационной шиной, объединяющей в сеть измерительные модули, позволяет эффективно изменять на унифицированной основе состав измерительных модулей, обеспечивая требуемый набор измеряемых физико-химических параме-

тров морской среды. Выбранный способ программно-аппаратной и конструктивной реализации измерительных модулей, в качестве интеллектуальных датчиков с микропроцессорным управлением позволяет использовать модули комплекса автономно. На унифицированной программно-аппаратной базе донной станции был создан волнограф-мареограф. С его помощью проведены экспериментальные исследования и получены новые данные о временных рядах характеристик поверхностного волнения в районе Голубой бухты Черного моря, включающие характерные высоты волн, средние периоды, периоды спектрального пика, средние длины волн, длины волн спектрального пика. Все это позволяет обеспечить минимальные затраты на создание донных станций, ориентированных на определенную проблему, на создание сети станций и сокращает временные и ценовые затраты на создание новых измерительных комплексов для других задач океанологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект № P20 a 17-05-41041) и РНФ (проект 14-50-00095).

Список литературы

1. Macdonald I.R., Leifer I., Sassen R., Stine P., Mitchell R., Guinasso N. jr. Transfer of hydrocarbons from natural seeps to the water column and atmosphere // *Geofluids*. – 2002. – V. 2. P. 95–107.
2. Torres M.E., Wallmann K., Trehu A.M., Bohrmann G., Borowski W.S., Tomaru H. Gas hydrate growth, methane transport, and chloride enrichment at the southern summit of Hydrate Ridge, Cascadia margin off Oregon // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2004. – № 226. – P. 225–241.
3. Авилов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в придонной среде акваторий // Доклады академии наук. – 2009. – Т. 427, № 6. – С. 821–825.
4. Берлин Ю.М., Верховская З.И., Егоров А.В. Газы донных осадков Балтийского моря // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы: материалы Всероссийской конференции «ГЕОС 2008». – Москва, 2008. – С. 72.
5. Розанов А.Г., Егоров А.В. Оценки химического обмена между донными осадками и морской водой (метод иловых вод, боксовые эксперименты, лендеры) // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII междунар. научн.-техн. конф. «МСОИ-2013». – Москва, 2013. – Т. 1. – С. 288–292.
6. Вайнерман М.И., Минин М.В., Пономарев Л.О., Эделев О.К. Многофункциональная подводная станция, обеспечивающая выполнение поисковых, научно-исследовательских работ, а также обследование грунтов при работе на глубоководных шельфовых месторождениях // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII междунар. научн.-техн. конф. «МСОИ-2011». – Москва, 2011. – Т. 2. – С. 28–30.

УДК 004.032.26:004.85

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО И ЯЗЫКОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Хлопенкова А.Ю., Белов Ю.С.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: annakhl@yandex.ru

Данная статья посвящена системе автоматического распознавания речи на основе различных алгоритмов. Выделяются и описываются такие алгоритмы, как Dynamic Time Warping (DTW), Hidden Markov Models (HMM), Artificial Neural Networks (ANN), Deep Neural Network (DNN), Likelihood Ascent Search (LAS). Анализируется работа каждого из них. Рассматривается процесс преобразования речевого сигнала в набор чисел посредством сэмплирования. Описывается построение скрытых марковских моделей для различных типов фонем. Объясняется трёхслойная архитектура алгоритма глубоких нейронных сетей. Выделяются недостатки алгоритма нейронных сетей. На основе анализа делаются выводы о достоинствах и недостатках автоматического распознавания в целом, а также демонстрируется область применения систем распознавания речи. В заключение прогнозируется дальнейшая область развития распознавания речи и требования, которые будут предъявляться к новым методам.

Ключевые слова: распознавание речи, алгоритм, сэмплирование, нейронные сети, DTW, HMM, ANN, DNN, LAS

INVESTIGATION OF ALGORITHMS OF AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION BASED ON ACKUSTIC AND LANGUAGE SIMULATION

Khlopenkova A.Yu., Belov Yu.S.

*Kaluga branch of the federal state budget education institution of higher education
«Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)»,
Kaluga, e-mail: annakhl@yandex.ru*

This article is devoted to the system of automatic speech recognition, based on various algorithms. Such algorithms as Dynamic Time Warping (DTW), Hidden Markov Models (HMM), Artificial Neural Networks(ANN), Deep Neural Network (DNN), Likelihood Ascent Search (LAS) are identified and described. The work of each of them is analyzed. Considered the process of converting a speech signal into a set of numbers by means of sampling. Described the construction of hidden Markov models for different types of phonemes. Explained the three-layer architecture of the algorithm of deep neural networks. Deficiencies of the neural network algorithm are highlighted. Based on the analysis, conclusions are drawn about the advantages and disadvantages of automatic recognition in general and demonstrated the field of application of speech recognition systems. In conclusion, the further development of speech recognition is predicted and the requirements, that will be presented to new methods.

Keywords: speech recognition, algorithm, sampling, phonemes, neural networks, DTW, HMM, ANN, DNN, LAS

Распознавание речи – это возможность машины или программы идентифицировать слова и фразы на устном языке и преобразовать их в машиночитаемый формат [1]. Речь представляет собой последовательность звуков. Звук, в свою очередь, представляет собой суперпозицию звуковых волн разных частот. Волна, как известно из физики, характеризуется двумя атрибутами – амплитудой и скоростью. Чтобы сохранить аудиосигнал на цифровом носителе, его необходимо разделить на несколько промежутков и принять определенное «усредненное» значение для каждого из них. Таким образом, механические колебания преобразуются в набор чисел, подходящих для обработки на современных компьютерах. Рудиментарное программное обеспечение для распознавания речи имеет ограниченный словарный запас слов и фраз, и поэтому оно может идентифицировать слова, только если произношение

очень четкое. Более сложное программное обеспечение имеет возможность принимать естественную речь.

Распознавание речи работает на основе двух алгоритмов: акустического и языкового моделирования. Акустическое моделирование представляет собой взаимосвязь между лингвистическими единицами речи и аудиосигналов; языковое моделирование соответствует звукам с последовательностями слов, чтобы помочь различать слова, которые звучат одинаково. Процесс автоматического преобразования речи в текст может быть представлен в виде выражения

$$W = \arg \max P(A|W) * P(W),$$

где $\arg \max$ – значение аргумента, при котором выражение достигает максимума, $P(A|W)$ – вероятность появления гипотезы по оценке акустической модели при условии появления гипотезы по оценке языко-

вой модели, $P(W)$ – вероятность появления гипотезы W по оценке языковой модели [1–2].

Речь захватывается чувствительным к звуку элементом в микрофоне, который преобразует переменное звуковое давление в эквивалентные изменения электрического сигнала, то есть тока или напряжения. Затем этот аналоговый сигнал отбирается и квантуется в цифровой бит-поток (формат). Далее происходит сэмплирование – процесс получения значений аналогового сигнала в отдельные моменты времени T , где квантование достигается путем преобразования амплитуды в каждый момент выборки в дискретное двоичное число с заданной длиной бит. Этот двухступенчатый процесс иногда называют модуляцией импульсного кода – РСМ (Pulse Code Modulation). Количество выборок в секунду (частота) f_s в Гц равно обратному периоду выборки, то есть $f_s = 1/T$. Теорема выборки утверждает, что частота дискретизации должна быть как минимум в два раза выше самой высокой частотной составляющей, присутствующей в сигнале. Если используется меньшее количество образцов, возникает явление, известное как сглаживание, когда при повторной конструкции может появляться сигнал с более низкой частотой. Частота дискретизации для типичной речи приблизительно равна 3,3 кГц. Уже при 6–20 кГц требуется фильтр предварительной выборки или сглаживания, чтобы удалить частотные компоненты выше частоты Найквиста.

Производительность систем распознавания речи обычно оценивается с точки зрения точности и скорости. Точность оценивается как количество ошибок в слове, тогда как скорость измеряется с коэффициентом реального времени. Другие меры точности включают единичную ошибку и коэффициент успеха команды.

В процессе развития системы распознавания речи постепенно появлялись новые алгоритмы работы, такие как динамическое временное деформирование, скрытые марковские модели, нейронные сети и распознавание речи end-to-end [1, 3–4].

Dynamic Time Warping

Одним из самых ранних алгоритмов является алгоритм распознавания речи на основе динамического временного деформирования (DTW – Dynamic Time Warping). В анализе временных рядов динамическое временное деформирование является одним из алгоритмов для измерения сходства между двумя временными последовательностями. DTW применяется к временным последовательностям видео-, аудио- и гра-

фических данных. Действительно, любые данные, которые могут быть преобразованы в линейную последовательность, могут быть проанализированы с помощью DTW.

DTW заключается в измерении сходства между двумя последовательностями, которые могут меняться во времени или скорости. Для двух временных последовательностей $Q = q_1, q_2, \dots, q_n$ и $C = c_1, c_2, \dots, c_m$ это просто сумма квадратов расстояний от каждой k -ой точки одной последовательности до соответствующей точки другой. Расстояние DTW между двумя временными рядами рассчитывается на основе этого оптимального пути деформации, используя следующее уравнение:

$$DWT(Q, C) = \min \left\{ \frac{\sum_{k=1}^K d(w_k)}{K} \right\},$$

где $d(w_k) = d(q_i, c_j) = (q_i - c_j)^2$ – матрица расстояний [5–6].

K в знаменателе используется для нормализации различных путей деформации с разной длиной. Поскольку DTW должен потенциально исследовать каждую ячейку в матрице деформирования, ее пространственная и временная сложность – $O(nm)$

Hidden Markov Model

На смену алгоритма DTW пришел более совершенный подход – скрытые Марковские модели (НММ – Hidden Markov Model). НММ являются статистическими моделями, которые выводят последовательность символов или величин и используются для распознавания речи, поскольку речевой сигнал можно рассматривать как кусочно-стационарный сигнал или кратковременный стационарный сигнал [6–7]. НММ определяется как совокупность $\lambda = (A, B, \pi)$, где A – матрица вероятностей переходов, состоящая из элементов a_{ij} – вероятностей перехода из состояний i в j , B – матрица вероятностей наблюдения выходных значений, состоящая из элементов $b_j(o_k)$ – вероятностей наблюдения в состоянии j вектора признаков o_k , π – вектор вероятностей начальных состояний, состоящий из компонентов π_i – вероятностей нахождения в i -ом состоянии в начальный момент времени. Находясь в состоянии j в момент времени t , функция прямого пространства вероятностей определяется как вероятность наблюдения последовательности $O = (o_1, o_2, \dots, o_t)$ [6]

$$\alpha_1(j) = \pi_j b_j(o_1),$$

$$\alpha_t(j) = \left[\sum_{i=1}^{N_s} \alpha_{t-1}(i) a_{ij} \right] b_j(o_t).$$

Вычисление $\alpha_t(j)$ происходит рекурсивно. Дойдя до конца наблюдаемой по-

следовательности, $\alpha_\tau(j)$ складывается для всех состояний, получив вероятность наблюдения исходной последовательности $O = (o_1, o_2, \dots, o_T)$ [6],

$$P(O|\lambda) = \sum_{j=1}^{N_s} \alpha_\tau(j).$$

Данная вероятность используется при распознавании изолированных слов:

$$W^* = \arg \max P(O|\lambda).$$

Каждое слово или фонема имеет различное распределение выходных данных. Фонемы моделируются с использованием трех различных состояний – начального, среднего и конечного. Существует два типа фонем: монофонемы и трифонемы. У монофонем наложение артикуляции игнорируется, собираются модели фонем, стоящих отдельно. У трифонем наложение артикуляции учитывается, при этом происходит построение отдельной модели для фонем, окруженных другими фонемами. Скрытая марковская модель для ряда слов или фонем создается путем объединения отдельных скрытых марковских моделей для каждого слова или фонемы [1, 7].

Artificial Neural Networks

Для оптимизации алгоритма НММ часто используют нейронные сети, которые предвзято обрабатывают речевой сигнал, например преобразование объектов или уменьшение размерности. Искусственные нейронные сети (ANN – Artificial Neural Networks) – это вычислительные системы, основанные на биологических нейронных сетях, которые составляют мозг животных. Такие системы изучают (постепенно улучшают производительность) задачи, рассматривая примеры, как правило, без специального программирования. Нейронные сети представляют собой устройства для сопоставления образцов с архитектурой обработки, основанной на нейронной структуре человеческого мозга [2, 7]. Они состоят из простых взаимосвязанных блоков обработки (нейронов). Каждое соединение (синапс) между нейронами может передавать сигнал от одного к другому. Приемный (постсинаптический) нейрон может обрабатывать сигнал, а затем подключать к нему нейроны. В обычных реализациях ANN синапсовый сигнал является реальным числом, а выход каждого нейрона вычисляется нелинейной функцией суммы его входов [8].

$$p_j(t) = \sum_i o_i(t) w_{ij},$$

где w_{ij} – вес соединений.

Нейроны и синапсы обычно имеют вес, который корректируется по мере продолжения обучения. Вес увеличивает или умень-

шает силу сигнала, который он посылает через синапс. Нейроны могут иметь такой порог, что только в том случае, если совокупный сигнал пересекает это пороговое значение, посылаемый сигнал.

Как правило, нейроны организованы в слои. Различные слои могут выполнять различные виды преобразований на своих входах. Сигналы перемещаются от первого (входного) к последнему (выходному) слою. При оценке вероятности сегмента речи нейронные сети позволяют проводить тестирование естественным и эффективным образом. Недостатком нейронных сетей является неспособность моделировать временные зависимости [1–2].

Deep Neural Network

Разновидностью нейронных сетей являются глубокие нейронные сети (DNN – Deep Neural Network). Данный алгоритм представляет собой искусственную нейронную сеть с несколькими скрытыми слоями единиц между входным и выходным уровнями. Подобно мелким нейронным сетям, DNN могут моделировать сложные нелинейные отношения. Архитектуры DNN создают композиционные модели, в которых дополнительные слои позволяют составлять элементы из нижних слоев, обеспечивая огромную учебную способность и, следовательно, потенциал моделирования сложных моделей речевых данных. DNN сеть имеет входной слой x , скрытый слой s и выходной слой y . Входной слой состоит из вектора $x(t)$, который является объединением вектора $w(t)$, представляющим собой текущее слово, и вектора $s(t-1)$, который представляет собой выходные значения скрытого слоя, полученные на предыдущем шаге. Размер вектора $w(t)$ равен размеру словаря. Выходной слой $y(t)$ имеет тот же размер, что и $w(t)$, и после изучения нейронной сети представляет собой вероятностное распределение следующего слова при данном предыдущем слове и состоянии скрытого слоя в предшествующий временной шаг [1–2]. Размер скрытого слоя обычно выбирается эмпирически. Все слои можно вычислить следующим образом:

$$s(t) = w(t) + s(t-1),$$

$$s_j(t) = f\left(\sum_i x_i(t)u_{ji}\right),$$

$$y_k(t) = g\left(\sum_j s_j(t)u_{kj}\right),$$

где $f(z)$ – сигмоидальная активационная функция:

$$f(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

$g(z)$ – функция softmax:

$$g(z_m) = \frac{e^{z_m}}{\sum_k e^{z_k}}$$

Алгоритм End-To-End

На сегодняшний день наиболее современным алгоритмом является алгоритм End-to-End поиска вероятности возрастания, называемый LAS (Likelihood Ascent Search). LAS – это модель распознавания речи от конца до конца. LAS учится транскрибировать аудиопоследовательность сигнала к последовательности слов, по одному символу за раз, без использования явных языковых моделей, таких как НММ. Он состоит из энкодера, который называется listener, и декодера, который назван speller. LAS моделирует каждый выход символа y_i как условное распределение по сравнению с предыдущим символом [8–10]

$$p(y|x) = \prod_i p(y_i|x),$$

где $x = (x_1, \dots, x_T)$ – входная последовательность, $y = (y_1, \dots, y_S)$ – выходная последовательность, причём элемент множества y может являться любым значением из букв, цифр или знаков. Данная модель является дискриминирующей и сквозной, поскольку она непосредственно предсказывает условную вероятность последовательности символов, учитывая акустический сигнал [10].

Главным преимуществом систем распознавания речи стала дружелюбность к пользователю. Они позволяют вводить данные или команды посредством речи без использования сенсорных или иных методов [3]. Недостаток же заключается в неспособности распознавать некоторые вариации произношения, а также отсутствие поддержки большинства языков за пределами английского языка и невозможности сортировать фоновый шум. Такие факторы могут привести к неточностям [7, 9].

Распознавание речи имеет широкий спектр применения. Простые голосовые команды могут использоваться для иницирования телефонных звонков, выбора радиостанций или воспроизведения музыки с совместимого смартфона или MP3-плеера. Так же распознавание речи позволяет общаться на разных языках.

Система распознавания речи также используется в военных нуждах. Распознаватели речи успешно работают на военных

самолетах с приложениями, включающими: настройку радиочастот, управление системой автопилота, настройку координатных частот и параметров выпуска оружия и контроль полета. За последние десятилетия на вертолетах были проведены значительные программы испытаний систем распознавания речи, в частности в рамках исследований и разработок авионики США (AVRADA – Aviation Research And Development Activity) и Королевского аэрокосмического учреждения (RAS – Royal Aeronautical Society) в Великобритании. В ходе исследований была выявлена основная проблема – достижения высокой точности распознавания при шуме. Эта проблема является неразрешенной и по сей день.

Подводя итоги, следует отметить, что, хотя система распознавания речи уже развивается давно, ее нельзя назвать совершенной, поскольку она имеет ограниченный потенциал из-за своей тривиальности. Хотя автоматические системы распознавания речи далеко не идеальны с точки зрения точности слова или задачи, надлежащим образом разработанные приложения все еще могут эффективно использовать существующую технологию для предоставления реальной ценности клиенту, о чем свидетельствует количество таких систем, которые ежедневно используются миллионами пользователей. Для оптимизации распознавания речи необходимо иметь большую базу данных слов, произносимых разными людьми в различном эмоциональном состоянии, используя разные записывающие устройства (телефон, микрофон, прослушивающее устройство). На сегодняшний день развитие алгоритмов распознавания речи не прекращается. В дальнейшем можно прогнозировать развитие систем распознавания речи в области усовершенствования нейронных сетей. Также обязательным требованием станет наличие обратных связей на различных уровнях и разработкой новых методов обучения таких нейронных сетей.

Список литературы

1. Juang B.H., Lawrence R. Rabiner. Automatic Speech Recognition – A Brief History of the Technology Development, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ece.ucsb.edu/Faculty/Rabiner/ece259/Reprints/354_LALI-ASRHistory-final-10-8.pdf (дата обращения: 17.12.2017).
2. Кипяткова И.С., Карпов А.А., Разновидности глубоких искусственных нейронных сетей для систем распознавания речи // Труды СПИИРАН. – 2016. – № 6(49). – С. 80–103.
3. Белов Ю.С., Либеров П.В. Подходы и проблемы распознавания личности по голосу // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2015. – № 3 (3). – С. 68–77.

4. Зулкарнеев М.Ю., Репалов С.А., Шамраев Н.Г. Система распознавания русской речи, использующая глубокие нейронные сети и преобразователи на основе конечных автоматов // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. – 2013. – № 10. – С. 40–46.
5. Ghazi Al-Naymat, Sanjay Chawla, Javid Taheri, SparseDTW: A Novel Approach to Speedup Dynamic Time Warping, The University of New South Wales Sydney, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1201.2969v1.pdf> (дата обращения: 17.12.2017).
6. Огнев И.В., Парамонов П.А. Распознавание речи методами скрытых Марковских моделей в ассоциативной осцилляторной среде // *Технические науки. Информатика, вычислительная техника*. – 2013. – № 3(27). – С. 115–126.
7. Нифонтов С.В., Белов Ю.С. Применение скрытых марковских моделей в текстонезависимых системах идентификации пользователей по голосу // *Электронный журнал: наука, техника и образование*. – 2016. – № 2 (6). – С. 116–124.
8. Zell Andreas. «chapter 5.2». *Simulation Neuronaler Netze [Simulation of Neural Networks]*, Addison-Wesley. – 1994.
9. Белов Ю.С., Нифонтов С.В., Азаренко К.А. Применение Вейвлет-фильтрации для шумоподавления в речевых сигналах // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 4–1. – С. 29–33.
10. William Song, Jim Cai. End-to-End Deep Neural Network for Automatic Speech Recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cs224d.stanford.edu/reports/SongWilliam.pdf> (дата обращения: 17.12.2017).