

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

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

R E S E A R C H R E S U L T

Том 3 | № 4
Volume 3 | 2018

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULTS.
INFORMATION TECHNOLOGY

Сайт журнала:
rrinformation.ru

сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal



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

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



Том 3, № 4. 2018

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 3, № 4. 2018

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWEDJOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL TEAM:

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

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Senior Lecturer, Belgorod State National Research University

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.
Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education
«Belgorod State National Research University»
Publisher: Belgorod State National Research University
Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
Publication frequency: 4 /year

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

COMPUTER SIMULATION HISTORY

Гасилов А.В., Фролов А.И. Эвристический алгоритм сегментации облака точек	3	Gasilov A.V., Frolov A.I. Heuristic algorithm of point cloud segmentation	3
--	----------	--	----------

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

Гонеев А.Д., Беленко В.А., Гальцев О.В., Шкуропат Д.О. Информационная система проведения всероссийского конкурса «Лучший проект модели профессионального воспитания»	9	Goneev A.D., Belenko V.A., Galtsev O.V., Shkuropat D.O. Information system of the all-russia contest "The best project of the model of professional education"	9
Ломакин В.В., Михайлова С.В., Маркова З.А. Анализ информационных средств ведения индивидуальных планов развития	17	Lomakin V.V., Mihajlova S.V., Markova Z.A. Analysis of information means of management of individual development plans	17
Кузнецов Д.А., Киселёв Ю.В., Кравченко В.Р. Выбор технических средств реализации подсистемы оповещения интеллектуального зала совещаний	25	Kuznetsov D.A., Kiselev U.V., Kravchenko V.R. Choice of technical means of realization of the subsystem of the notification of the intellectual hall of meetings	25
Бузов А.А., Жихарев А.Г., Маторин С.И. О построении библиотек в системно- объектных имитационных моделях	32	Buzov A.A., Zhikharev A.G., Matorin S.I. About the construction of libraries in system-object simulation models	32
Смирнов А.В., Басов О.О. Методика выбора технических средств для реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи	41	Smirnov A.V., Basov O.O. Technique selection technique for implementing the device intended for causing fault in the electrical communication cable	41

ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

Ижболдина В.В., Будков В.Ю., Денисов А.В. Анализ траектории движения конечности на основе данных с микромеханических датчиков	48	Izhboldina V.V., Budkov V.Yu., Denisov A.V. Analysis of the trajectory of motion of the limbs based on data from micromechanical sensors	48
---	-----------	--	-----------

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.421: 004.925.82

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-1

Гасилов А.В.
Фролов А.И.

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКА ТОЧЕК

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, ул. Комсомольская, д. 95, г. Орел, 302026, Россия

e-mail: gasilov.av@ya.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается эвристический алгоритм сегментации облака точек, описывающего предмет интерьера, с целью получения сегментации, близкой к разбиению объекта на функциональные элементы. Данный алгоритм применяется как часть метода улучшения результатов трехмерной реконструкции на основе известной структуры объекта для структуризации облака точек, получаемого на одном из этапов метода. Алгоритм заключается в рекурсивном разбиении облака точек на две части, вплоть до достижения заданного критерия остановки разбиения. В статье рассмотрена структура алгоритма, проанализирована его вычислительная сложность, проведены примеры результатов работы, определено направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: облако точек; сегментация.

UDC 004.421: 004.925.82

Gasilov A.V.
Frolov A.I.

HEURISTIC ALGORITHM OF POINT CLOUD SEGMENTATION

Oryol State University named after I.S. Turgenev, 95 Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russia

e-mail: gasilov.av@ya.ru

Abstract

The algorithm of point cloud segmentation is proposed in the article. This algorithm aimed to get segmentation similar to segmentation of object by his functional elements in field of interior design. The given algorithm is used as a part of method of dense 3D reconstruction enhancing for point cloud structuration at some point. Main idea of proposed algorithm is recursive division of parent cloud by two parts until exit conditions are met. Algorithm structure is reviewed, computing complexity is analyzed. The field for further investigations of given problems and their solution is suggested.

Keywords: point cloud; segmentation.

ВВЕДЕНИЕ

Построение трехмерных моделей на основе изображений – одна из задач компьютерного зрения, заключающаяся в распознавании образов в поданных на вход алгоритму изображениях и построении на их основе трехмерных моделей.

Задача трехмерной реконструкции уже давно решена в общем виде [1]. Однако, есть пути для улучшения качества существующих технологий по таким параметрам, как точность и полнота реконструкции. Одним из таких путей является применение априорно известной структуры

реконструируемого объекта для улучшения полноты реконструкции. В рамках конкретной предметной области, в данном случае – дизайна интерьера, возможен следующий подход:

- Описание оператором структуры объекта;
- Проведение плотной трехмерной реконструкции по снимкам объекта с результатом в виде облака точек;
- Автоматическая сегментация полученного облака точек и получение структуры облака точек в таком же виде, как и структура, описанная оператором;
- Сравнение двух структур и выполнение операций для улучшения полноты реконструкции на основе результатов сравнения.

При этом структура объекта описывается оператором на уровне «стул состоит из сиденья, 4 ножек, спинки, имеющих заданные относительные размеры и положения». Таким образом, одним из этапов данного процесса является сегментация реконструированного облака точек с целью получения его структуры в виде похожего на структуру, задаваемую оператором.

В данной статье предлагается эвристический алгоритм решения данной задачи, рассматриваются особенности его реализации, проводится его анализ, строятся предположения о возможных дальнейших его улучшениях.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача заключается в приведении входной информации в виде облака точек к виду графа структуры объекта, в котором каждая вершина соответствует некоторому элементу логически цельному элементу объекта, описываемому облаком точек, а ребра будут означать факт соседства элементов графа в пространстве.

Например, разбиение стула, изображенного на рисунке 1а может представлять деление на такие элементы как: «сиденье» - вершина v_1 , «ножки» - вершины v_2, v_3, v_4, v_5 и «спинка» - вершина v_6 (рисунок 1б).

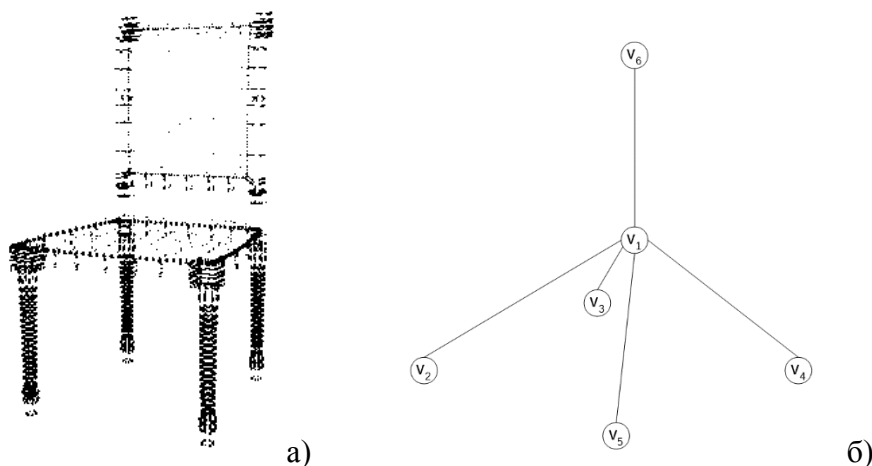


Рис. 1. а – пример входных данных, б – пример требуемых выходных данных
Fig. 1. a – example input data, b – example of required output sample data

Таким образом можно выделить две подзадачи: получение вершин графа и определение наличия ребер между полученными вершинами.

2. ПОЛУЧЕНИЕ ВЕРШИН ГРАФА

Для получения вершин графа предлагается сегментировать облако точек и сопоставить вершину графа каждому полученному сегменту.

В качестве отправной точки было решено применить подход, рассмотренный в [2], заключающийся в аппроксимации облака точек ограничивающим прямоугольным параллелепипедом минимального объема (MVBB)[3] с последующим рекурсивным разбиением «сверху-вниз» полученного объема на две части с минимизацией целевого функционала на каждом шаге.

Однако, при анализе данного подхода выяснилось, что существуют проблемы, препятствующие его использованию для решения данной задачи. Изначальная цель разработки [2] была задана как «быстрое получение более оптимальной модели для использования ее в алгоритмах координации работы роботизированных манипуляторов». Наиболее важная проблема, которая следует из цели – данный алгоритм оптимизирует разбиение объема с целью аппроксимации его формы в общих чертах, в то время как в данной задаче необходимо сегментировать имеющийся объем на основе семантики его частей.

Коротко алгоритм [2] можно описать следующим образом:

- Вычислить MVBB облака;
- Вычислить наиболее оптимальный разрез полученного MVBB:
 - Спроецировать все точки объема на каждую из сторон MVBB;
 - Провести разрез параллельно границам MVBB через каждую спроецированную точку;
 - Вычислить описывающие прямоугольники для двух наборов точек на плоскости;
 - Из всех возможных разбиений выбрать такое, для которого сумма площадей двух описывающих прямоугольников по отношению к площади исходного описывающего прямоугольника - минимальна.
- Разбить входное облако точек на два по вычисленному разрезу и, если критерий остановки еще не достигнут, запустить алгоритм рекурсивно для обоих потомков.

При этом, критерием остановки является выполнение одного из двух условий:

- 1) Отношение нового объема после разбиения к объему до разбиения достигло порогового значения:

$$\Theta = \frac{V(C_1) + V(C_2) + V(A \setminus P)}{V(P) + V(A \setminus P)},$$

где Θ – проверяемый параметр, рекомендуемое значение порога: 0.80-0.95;

$V(x)$ – функция, возвращающая объем MVBB облака точек;

P – исходное облако точек, подлежащее разбиению;

C_1, C_2 – облака точек, части полученного разбиения;

$A \setminus P$ – остальные листья дерева разбиения на текущий момент, за исключением вершины P .

Что означает, что прирост уменьшения объема с последнего разбиения оказался незначительным

- 2) Количество точек в одной из частей разбиения оказалось меньше порогового значения.

При анализе алгоритма было выдвинуто предложение, что с некоторыми модификациями он может быть применен к данной задаче, при учете особенностей предметной области, главной из которых является то, что предметы интерьера зачастую имеют большое количество прямых углов и прямых линий и многие части объектов могут быть аппроксимированы параллелепипедом не захватывая объем других частей.

Такой предлагаемой модификацией является улучшение способа вычисления оптимального разреза. В текущей вариации разбиение происходит строго вдоль трех сторон MVBB. Таким образом, в приведенном примере (рисунок 2) он найдет далекий от оптимального результат.

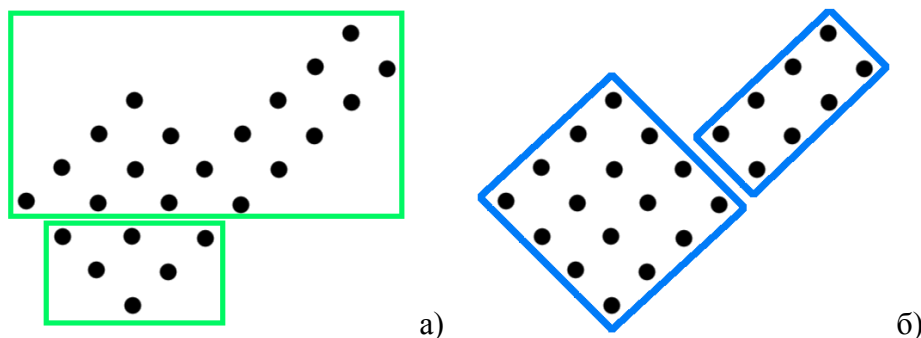


Рис. 2. а – разрез согласно исходному алгоритму, б – разрез согласно оптимизированному алгоритму

Fig. 2. a – sectional view according to the original algorithm, b – section according to the optimized algorithm

Можно модифицировать алгоритм поиск разреза добавив к каждому просматриваемому разрезу поворот. Таким образом значительно увеличивается качество находимых разрезов, а с учетом специфики предметной области – получаемые разрезы с большой вероятностью будут оптимальны. Тем не менее, подобное улучшение приведет к повышению вычислительной сложности с дополнительным множителем $O(2\pi/k)$, где k – шаг поворота разреза.

Однако, в постановке [2] важным критерием стоит возможность выполнения в реальном времени, в то время как в поставленной задаче такой критерий не является обязательным, в следствие чего появляется возможность повышать вычислительную сложность алгоритма в некоторых разумных пределах.

Кроме того, как вспомогательное средство повышение производительности, ко входным данным применяется фильтрация на основе дискретизации воксельным объемом.

В результате работы модифицированного алгоритма получается дерево разбиения общего объема на несколько подобъемов. Однако, нас интересуют только листья полученного дерева разбиения, поэтому эти листья и будут вершинами результирующего графа структуры объекта.

Исходный алгоритм [2] состоит из таких этапов как построение MVBB, которое имеет вычислительную сложность $O(n \log n + n/\varepsilon^3)$, где n – количество вершин в облаке точек, $0 < \varepsilon \leq 1$ – некоторый параметр алгоритма, а так же вычисления оптимального разреза за $O(n \log n)$ например, с помощью дерева отрезков[4], что в сумме дает оценку $O(n \log n + n/\varepsilon^3)$. Модифицированный же алгоритм за счет дополнительной операции будет иметь сложность $O(n \log n \cdot 2\pi/k + n/\varepsilon^3)$.

3. НАХОЖДЕНИЕ РЕБЕР ГРАФА

Исходя из определения ребра как «факта соседства описываемых объектов в пространстве», можно получать ребра путем анализа декартова расстояния между описывающими кубами соответствующих вершин: в случае если данное расстояние равно нулю, либо значительно меньше некоторого порогового значения (например, зависящего от размера описывающих кубов вершин), то считается что ребро между двумя данными вершинами присутствует в графе, иначе – нет.

Задача нахождения расстояния между двумя параллелепипедами решается аналитически и имеет сложность $O(1)$ для одной пары параллелепипедов. Так как необходимо проверить существование каждого ребра в графе, вычислительная сложность данного этапа достигает $O(m^2)$, где m – количество вершин полученного графа.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Пример работы предложенного алгоритма представлен на рисунке 3.

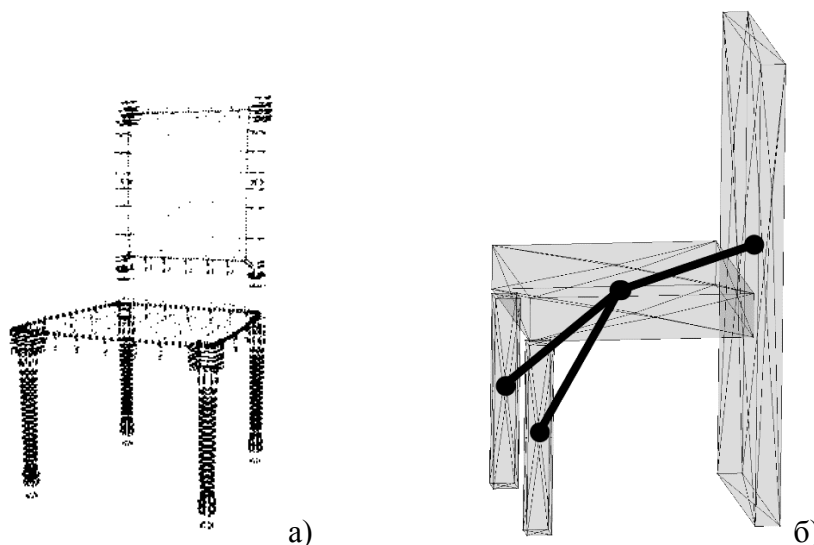


Рис. 3. пример работы алгоритма: а – исходные данные, б – результат работы алгоритма
Fig. 3. example of the algorithm: a – the original data, b – the result of the algorithm

Как можно заметить, в результате, в данном примере спинка стула и задние его ножки оказались одним единым объектом. Это можно объяснить тем фактом, что на каждом этапе каждый объем бьется ровно на две части, не учитывая тот факт, что одна из частей может быть заполнена у краев и абсолютно не иметь точек в центре объема. Решение данной проблемы является одним из возможных направлений дальнейших исследований.

В виду того, что в рамках задачи $m \ll n$, в оценке вычислительной сложности алгоритма в целом, параметром m можно пренебречь. Таким образом, финальная оценка сложности алгоритма составляет $O(n \log n \cdot 2\pi/k + n/\varepsilon^3)$.

ВЫВОДЫ

В ходе данной статьи был рассмотрен эвристический алгоритм сегментации облака точек в рамках заданной предметной области. Рассмотрены возможные подходы к реализации поставленных подзадач. На основе проведенного анализа исходного алгоритма был предложен и реализован способ его улучшения. Перспективным направлением исследования является поиск других возможных путей улучшения качества сегментации, например, учет возможности разбиения элемента на три различных подобъекта.

Список литературы

1. Bradski G.R., Kaehler A. Learning OpenCV. – O'Reilly Media, 2008. – 556 p.
2. Huebner K., Ruthotto S., Kragic D. Minimum volume bounding box decomposition for shape approximation in robot grasping / In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008. – P. 1628-1633.
3. Barequet G. and Har-Peled S. Efficiently. Approximating the minimum-volume bounding box of a point set in three dimensions. – J. Algorithms, 2001. – Vol. 38(1). – P. 91-109
4. Алгоритм построения дерева отрезков [Электронный ресурс]. – URL: http://e-maxx.ru/algo/segment_tree (Дата обращения 05.09.2018)

References

1. Bradski G.R., Kaehler A. Learning OpenCV. – O'Reilly Media, 2008. – 556 p.
2. Huebner K., Ruthotto S., Kragic D. Minimum volume bounding box decomposition for shape approximation in robot grasping / In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008. – P. 1628-1633.

3. Barequet G. and Har-Peled S. Efficiently. Approximating the minimum-volume bounding box of a point set in three dimensions. – J. Algorithms, 2001. – Vol. 38(1). – P.91-109
4. Algorithm for constructing a tree of segments [Electronic resource]. – URL: http://e-maxx.ru/algo/segment_tree (date access 05.09.2018)

Гасилов Артур Владимирович, аспирант

Фролов Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой программной инженерии

Gasilov Artur Vladimirovich, graduate student

Frolov Alexey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head Department of Software Engineering

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 002.6:025.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-2

Гонеев А.Д.¹
Беленко В.А.²
Гальцев О.В.²
Шкуропат Д.О.²

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСЕРОССИЙСКОГО
КОНКУРСА «ЛУЧШИЙ ПРОЕКТ МОДЕЛИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ВОСПИТАНИЯ»**

¹) Курский государственный университет, ул. Радищева д. 33, г. Курск, 305000, Россия

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

e-mail: pedagogy@kursksu.ru, vbelenko@bsu.edu.ru, galtsev_o@bsu.edu.ru, shkuropat@bsu.edu.ru

Аннотация

В статье представлено описание разработанной информационной системы организации проведения всероссийского конкурса достижений профессионального воспитания в образовательных организациях среднего профессионального образования. Информационная система обеспечивает в условиях ограниченного времени реализацию всех этапов всероссийского конкурса в дистанционном режиме, обеспечивая высокую степень открытости и доступности конкурсных процедур.

Ключевые слова: всероссийский конкурс; модель профессионального воспитания; информационная система; конкурсная работа.

UDC 002.6:025.4

Goneev A.D.¹
Belenko V.A.²
Galtsev O.V.²
Shkuropat D.O.²

**INFORMATION SYSTEM OF THE ALL-RUSSIA CONTEST "THE BEST
PROJECT OF THE MODEL OF PROFESSIONAL EDUCATION"**

¹) Kursk state University, 33 Radishcheva St., Kursk, 305000, Russia

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

e-mail: pedagogy@kursksu.ru, vbelenko@bsu.edu.ru, galtsev_o@bsu.edu.ru, shkuropat@bsu.edu.ru

Abstract

The article presents description of the developed information system for organizing the all-Russian contest for the achievements of professional education in educational institutions of secondary vocational education. The information system provides, under conditions of limited time, the implementation of all stages of the all-Russian contest in remote mode, ensuring a high degree of openness and availability of competitive procedures.

Keywords: all-Russian contest; model of professional education; information system; competitive work.

ВВЕДЕНИЕ

В законе об образовании в РФ [1] воспитание определяется как первостепенная функция образования. В настоящее время в образовательных организациях среднего профессионального образования особое внимание уделяется воспитанию обучающихся. Воспитательный компонент при реализации программ СПО является обязательным в соответствии с требованием ФГОС.

Процесс воспитания в профессиональном образовании является сложным и многомерным, характеризующейся зачастую неопределенность подходов к построению системы воспитания в учреждениях СПО. Вместе с тем перед организациями СПО стоит серьезная задача воспитание профессионала, которому предстоит работать в условиях динамично развивающейся и во многом противоречивой рыночной экономики [2].

Поиск новых моделей профессионального воспитания, соответствующих новым вызовам современного общества, развивающейся цифровой экономики представляет собой сложную научно-практическую задачу. Именно на решение задачи разработки новых, актуальных моделей профессионального воспитания в образовательных организациях среднего профессионального образования, способных обеспечить потребности общества в компетентных гармонично развитых специалистах, обладающих широким общим кругозором и умением быстро адаптироваться к новым условиям производства, направлен всероссийский конкурс «Лучший проект модели профессионального воспитания», реализуемый Белгородским государственным национальным исследовательским университетом в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации.

Всероссийский конкурс актуальных моделей профессионального воспитания в образовательных организациях СПО проводится в следующих определяющих условиях: сжатые сроки (немногим более двух месяцев) и с максимальным охватом регионов Российской Федерации. В соответствии с действующими ограничениями решение задачи проведения мероприятия становится практически невозможным без использования современных информационных технологий. Таким образом, цель нашей работы была разработка информационной системы организации и проведения всероссийского конкурса «Лучший проект модели профессионального воспитания».

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- выявить основные информационные процессы проведения конкурса и осуществить проектирование информационной системы;
- разработать информационную систему проведения всероссийского конкурса и реализовать в ИС информационное сопровождение всех этапов проведения мероприятия.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНТЕРНЕТ-СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА ДОСТИЖЕНИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВОСПИТАНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Решить задачу проведения в сжатые сроки всероссийского конкурса с максимальным охватом образовательных учреждений среднего профессионального было невозможно без использования информационных технологий. Поэтому с целью обеспечения возможности реализации всех конкурсных процедур в дистанционном режиме было принято решение разработать информационную систему проведения всероссийского конкурса «Лучший проект модели профессионального воспитания».

Информационная система проведения всероссийского конкурса должна обеспечить техническое и информационное сопровождение следующих основных этапов реализации мероприятия:

- информационное сопровождение конкурса;
- регистрация участников и подачи заявки;
- техническая экспертиза конкурсных материалов на соответствие требованиям Положения о конкурсе;
- удаленная оценка конкурсных работ экспертами;
- подведение итогов.

Для информационного сопровождения проведения конкурса запланировали следующую структуру сайта информационной системы: Главная, Календарь событий, Фото, Видео, Медиа, Контакты.

Информационная модель процесса регистрации и подачи заявок представлена на рис. 1. Участники конкурса после получения информации о проведении мероприятия регистрируются на сайте информационной системы проведения всероссийского конкурса, информация о зарегистрированных участниках сохраняется в базе данных системы. После регистрации участникам конкурса доступна возможность подачи заявки. Поданные заявки сохраняются в базу данных ИС проведения конкурса.



Рис. 1. Информационная модель подсистемы регистрации и подачи заявок на конкурс
Fig. 1. Information model subsystem of registration and filing of applications for the competition

После завершения этапа регистрации и приема конкурсных работ начинается этап оценки заявочных материалов экспертами всероссийского конкурса «Лучший проект модели профессионального воспитания». К оценочным мероприятиям допускаются работы прошедшие техническую экспертизу на соответствие требованиям Положения о проведении конкурса. На рисунке 2 отражены информационные процессы этапов технической экспертизы и проверки конкурсных работ. Каждая конкурсная работа, прошедшая техническую экспертизу, случайным образом попадает 3-м экспертам из разных групп. Результаты оценивания сохраняются в базу данных ИС. На основании результатов оценивания строятся отчеты, формируется рейтинговый лист и определяются победители по номинациям.

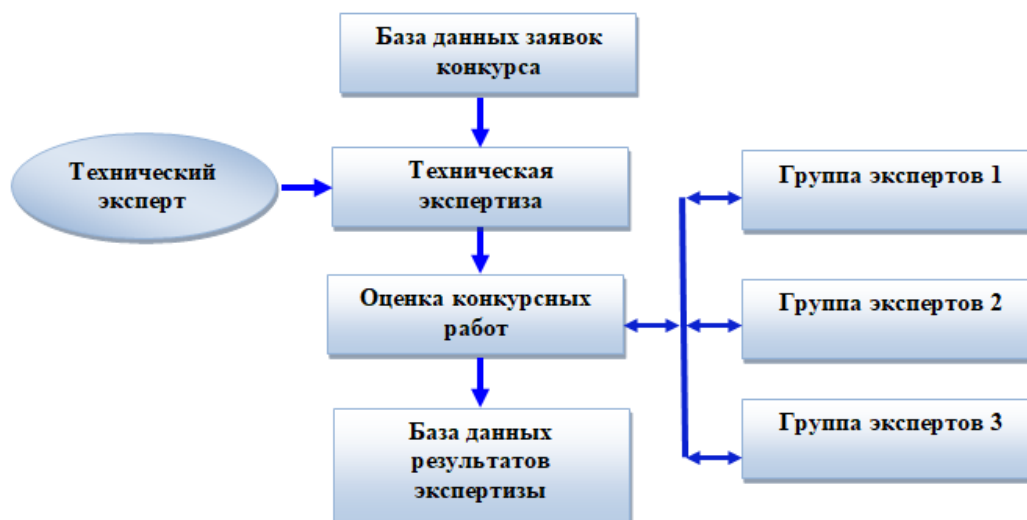


Рис. 2. Процесс технической экспертизы и оценки конкурсных работ
Fig. 2. The process of technical expertise and evaluation of competitive works

Для веб-ориентированной информационной системы проведения всероссийского конкурса «Лучший проект модели профессионального воспитания» была разработана логическая схема базы данных (БД), которая включает в себя ряд сущностей. Физическая интерпретация этих сущностей составляет структуру взаимосвязанных таблиц БД. Основными сущностями являются: «Участники» (описывает участников конкурса. Основные атрибуты: id участника, Ф.И.О, адрес электронной почты, регион, организация, почтовый адрес, телефон, номинация); «Регионы» (представляет собой справочник регионов. Основные атрибуты: Название региона, Номер и др.); «Номинации» (описывает номинации конкурса. Атрибуты: id номинации, номер и др.); «Критерии» (описывает критерии оценивания конкурсных работ. Атрибуты: id критерия, название, минимальное значение, максимальное значение, номер); «Результаты оценивания» (описывает результаты экспертной оценки конкурсных работ. Атрибуты: id оценки, id эксперта, оценки по критериям (рис. 3).

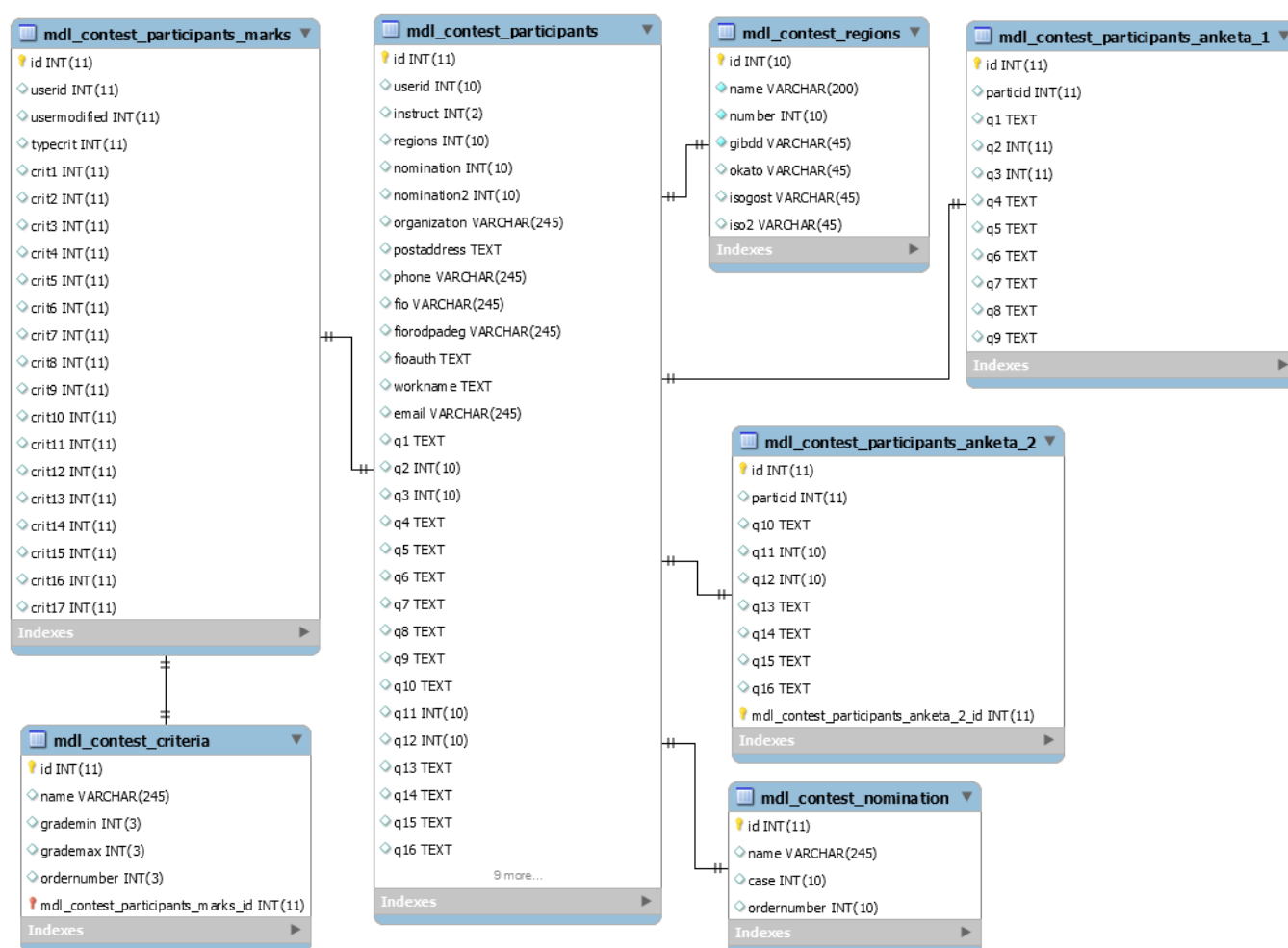


Рис. 3. Логическая схема базы данных разрабатываемой ИС
Fig. 3. Logical diagram of the database of the developed IS

2. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ КОНКУРСА. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ

Реализация информационного сопровождения организации конкурса в виде статичного веб-сайта не соответствовала задаче дистанционного проведения мероприятия в сжатые сроки, поэтому использовали (с учетом имеющегося опыта разработок [3-5]) реализовать

информационную среду всероссийского конкурса в виде автоматизированной информационной интернет-системы.

Для оптимизации трудозатрат на разработку информационной системы, реализации системы ролей пользователей и предоставления определённых функциональных возможностей в качестве ядра системы было принято решение использовать систему управления контентом (CMS). В качестве CMS-системы использовали систему Moodle [6]. Одним из значительных преимуществ системы Moodle по сравнению с другими системами электронного обучения является открытость кода и возможность расширения функциональности системы путем создания новых блоков, модулей, элементов и т.п. Фактически, используя функции ядра системы и её многочисленные библиотеки, можно создавать блоки для решения любых задач. Коллектив разработчиков имеет огромный опыт разработки информационных систем на базе Moodle [7,8].

Разработанная информационная система проведения всероссийского конкурса «Лучший проект модели профессионального воспитания», обеспечивает:

- информационное сопровождение проведения конкурса;
- удаленную регистрацию участников конкурса, хранение информации об участниках конкурса;
- дистанционную отправку электронных конкурсных материалов;
- возможность проведения удаленной технической экспертизы конкурсных работ;
- возможность проведения оценочных процедур в удаленном режиме;
- автоматизацию формирования отчетной и статистической информации о ходе проведения конкурса.

В разработанной информационной системе предусмотрена система ролей пользователей. В зависимости от роли пользователю доступны различные функции. Незарегистрированный пользователь может знакомиться с информацией о проведении конкурса, нормативной документацией (рис.4). После регистрации пользователь получает роль участника и может заполнить электронный бланк заявки и отправить файл с конкурсной работой.

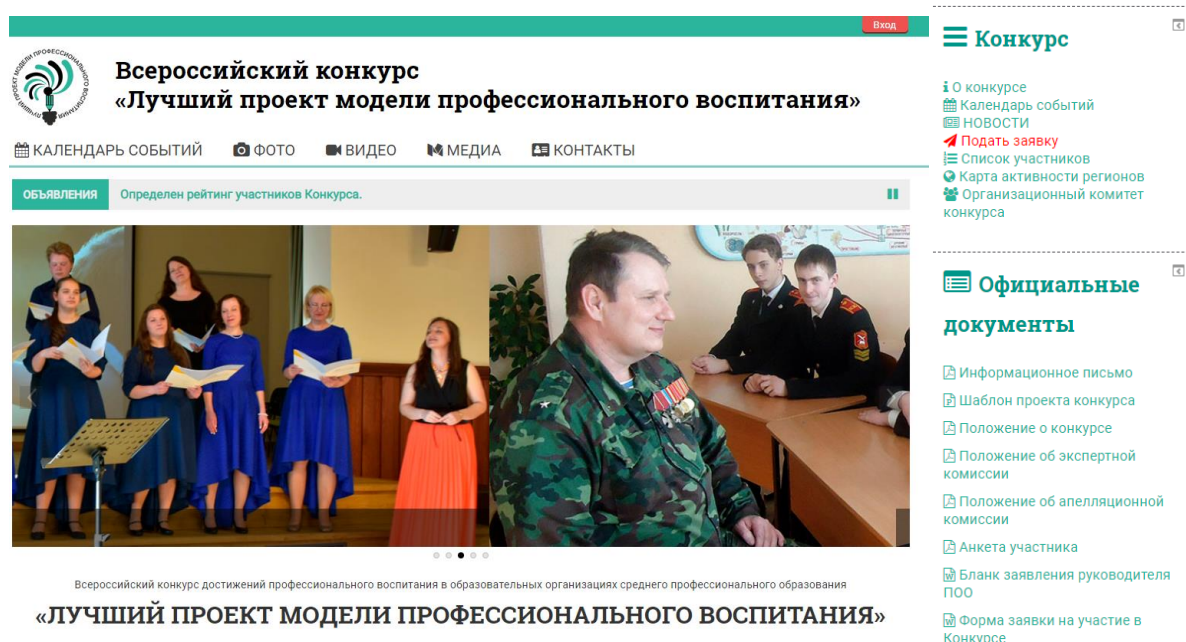


Рис. 4. Стартовая страница информационной системы
Fig. 4. Information system start page

Технические эксперты имеют функционал, позволяющий отправить конкурсную работу на этап оценивания или отклонить в случае несоответствия заявки требованиям Положения о конкурсе. Информационная система позволяет в удаленном режиме с доступом через сеть Интернет пользователям, имеющим роль эксперта анализировать конкурсные работы и выставлять оценки по установленным критериям. Система позволяет одновременно работать нескольким экспертам. 15 экспертов в течение нескольких дней оценили 534 конкурсных работ. Каждую работу анализировали 3 эксперта из разных групп.

Отчеты о результатах конкурса представлены в разделе Статистика. Данный раздел доступен пользователям с ролью администратора, технического эксперта и эксперта. Он имеет 3 вкладки. На вкладке Ход проведения конкурса отображаются результаты работы экспертов по оцениванию конкурсных работ. Вкладка участники формирует подробный список участников с конкурсными работами, в том числе в разрезе номинаций. На вкладке Рейтинг автоматически формируется рейтинг конкурсных работ в зависимости от набранных баллов (рис.5). Формируется как общий рейтинг, так и рейтинг по номинациям.

id	Баллы	Оценки экспертов	Субъект РФ	Образовательная организация	Конкурсные материалы
199	262	Погорелова: 91 Шеховская: 88 Михайлова: 83	Тюменская область	ГАПОУ ТО «Тюменский техникум строительной индустрии и городского хозяйства»	ТТСИИГХ Проект Моя карьера 2018.pptx

Рис. 5. Просмотр отчетов
Fig. 5. View reports

Для незарегистрированных пользователей и участников помимо информационных разделов сайта ИС доступен раздел Участники в котором в разрезе регионов представлен список участников конкурса. В разделе Карта активностей регионов показана интерактивная карта РФ, которая в режиме онлайн показывает количество поданных заявок из регионов России (рис. 6).

> Карта активности регионов

Карта активности регионов



Всего подано 561 заявка

Рис. 6. Интерактивная карта активности регионов

Fig. 6. Interactive map of regional activity

Заключение

В работе приводится описание проектирования и разработки информационной системы, которая позволила в условиях ограничения временных ресурсов организовать проведение всероссийского конкурса достижений профессионального воспитания в образовательных организациях среднего профессионального образования «лучший проект модели профессионального воспитания». В течении двух месяцев в дистанционном режиме был реализован всероссийский конкурс начиная от этапа регистрации и подачи заявок, до оценивания и подведения итогов конкурса. За время конкурса было подана 561 заявка из 66 регионов РФ от образовательных организаций СПО, 534 заявки прошли техническую экспертизу и были оценены экспертами в удаленном режиме. Разработанная информационная система позволила повысить степень доступности и открытости проведения конкурса и автоматизировать процессы, связанные с организацией и проведением мероприятия.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 № 273-ФЗ.
2. Афанасьева А.А. Модель управления процессом воспитания в региональной системе профессионального образования//Научные исследования: от теории к практике. 2016. № 3 (9). С. 69-76.
3. Немцев А.Н., Штифанов А.И., Беленко В.А., Загороднюк Р.А., Немцев С.Н., Гальцев О.В. Проектирование автоматизированной информационной системы мониторинга деятельности образовательных учреждений и предоставления «электронных услуг» в сфере образования // Научные ведомости БелГУ. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. – №13(108) Выпуск 19/1, стр.150-160.
4. Жиялков Е.Г., Бороховский Е.Ф., Боруха С.Ю., Беленко В.А., Немцев А.Н., Штифанов А.И., Гальцев О.В., Загороднюк Р.А., Немцев С.Н. Разработка интернет-портала для аккумуляции и количественного синтеза экспериментальных результатов. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия. История. Политология. Экономика. Информатика. Вып.15/1. – №13(84). – 2010. – С.150-162.

5. Маматов А.В., Немцев А.Н., Штифанов А.И., Беленко В.А., Загороднюк Р.А., Немцев С.Н. Автоматизированная система ЭМОУ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009610581/ Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 января 2009 г., М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2009.

6. Learning Management System Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment – moodle.org.

7. Немцев А.Н., Беленко В.А., Штифанов А.И., Немцев С.Н., Федосеев А.Э., Загороднюк Р.А., Гальцев О.В. Информационное обеспечение деятельности диссертационных советов в НИУ «БелГУ». Открытое и дистанционное образование. Томск, 2013 №4(52), С.81-87.

8. Немцев А.Н., Загороднюк Р.А., Немцев С.Н., Штифанов А.И., Гальцев О.В., Федосеев А.Э. Подсистема рейтингования образовательных учреждений (из опыта разработки информационных систем с использованием LMS Moodle). Информационные технологии в науке и образовании. Материалы конференции. Междунар. науч.-прак. конференции, и VI Всерос. семинара «Применение MOODLE в сетевом обучении» – М: НОУ ИКТ, 2013. – С. 142-146.

References

1. Federal Law "On Education in the Russian Federation" dated December 29, 2012 No. 273-FZ.
2. Afanasyev A.A. Management model of education process in the regional system of vocational training // Scientific research: from theory to practice. 2016. № 3(9). Pp. 69-76.
3. Nemtsev A.N., Shtifanov A.I., Belenko V.A., Zagorodnyuk R.A., Nemtsev S.N., Galtsev O.V. Designing an automated information system for monitoring the activities of educational institutions and the provision of "electronic services" in the field of education. Scientific Reports of BelSU. Series History. Political science. Economy. Computer science. 2011. - №13 (108) Issue 19/1, pp. 150-160.
4. Zhilyakov E.G., Borokhovskiy E.F., Boruha S.Y., Belenko V.A., Nemtsev A.N., Shtifanov A.I., Galtsev O.V., Zagorodnyuk R.A., Nemtsev S.N. Development of an Internet portal for the accumulation and quantitative synthesis of experimental results. // Scientific statements of Belgorod State University. Series History. Political science. Economy. Computer science. Issue 15/1. - №13 (84) - 2010 - С.150-162.
5. Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Shtifanov A.I., Belenko V.A., Zago-Rodnyuk R.A., Nemtsev S.N. Automated system EMOU. Certificate of state registration of computer programs №2009610581 / Registered in the Register of computer programs January 26, 2009, Moscow: Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks, 2009.
6. Learning Management System Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment – moodle.org.
7. Nemtsev A.N., Belenko V.A., Shtifanov A.I., Nemtsev S.N., Fedoseyev A.E., Zagorodnyuk R.A., Galtsev O.V. Information support for the activities of dissertation councils at the National Research University "BelSU". Open and distance education. Tomsk, 2013 No. 4 (52), P.81-87.
8. Nemtsev A.N., Zagorodnyuk R.A., Nemtsev S.N., Shtifanov A.I., Galtsev O.V., Fedoseev A.E. The subsystem of rating educational institutions (from the experience of developing information systems using LMS Moodle). Information technology in science and education. Conference proceedings. International Scientific and Practical Conference, and VI Vseros. of the seminar "Application of MOODLE in network education" - M: NOU ICT, 2013. - P. 142-146.

Гонеев Александр Дмитриевич, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой педагогики

Беленко Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Гальцев Олег Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Шкуропат Денис Олегович, аспирант кафедры теоретической и математической физики

Goneev Alexander Dmitrievich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Pedagogics

Belenko Vladimir Alekseevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Technologies

Galtsev Oleg Vladimirovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotic Systems

Shkuropat Denis Olegovich, graduate student of the Department of Theoretical and Mathematical Physics

УДК 004.03

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-3

Ломакин В.В.¹
Михайлова С.В.²
Маркова З.А.²

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ВЕДЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПЛАНОВ РАЗВИТИЯ

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

²) ООО «Сайнер», пер. Харьковский 36Д, г. Белгород, 308000, Россия

e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, Mihajlova_SV@sciener.ru, Markova_ZA@sciener.ru

Аннотация

В современном мире процесс управления человеческими ресурсами признан одним из важнейших факторов, влияющих на успешность организации на рынке. При этом большое значение придаётся профессиональному развитию сотрудников организации и индивидуальному подходу к этому процессу. Как и другие HR-процессы, развитие персонала зачастую автоматизируется с помощью специальных информационных средств. Данная статья посвящена анализу систем управления персоналом и систем управления талантами с точки зрения возможности ведения индивидуальных планов развития сотрудников организации. Разработана методика двухэтапного анализа систем. На первом этапе анализируется и сравнивается модульная структура исследуемых систем. На втором этапе функционал систем оценивается и сравнивается по ряду критериев. Для критериев рассчитаны коэффициенты значимости с помощью метода парных сравнений с использованием СППР «Решение». По результатам анализа выбрана система, рациональным образом подходящая для целей ведения индивидуальных планов развития.

Ключевые слова: анализ информационных систем; индивидуальный план развития; управление персоналом; управление талантами; системы поддержки принятия решений.

UDC 004.03

Lomakin V.V.¹
Mihajlova S.V.²
Markova Z.A.²

ANALYSIS OF INFORMATION MEANS OF MANAGEMENT OF INDIVIDUAL DEVELOPMENT PLANS

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

²) LLC "Sciener", 36D Har'kovskij lane, Belgorod, 308000, Russia

e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, Mihajlova_SV@sciener.ru, Markova_ZA@sciener.ru

Abstract

In the modern world, the process of human resource management is recognized as one of the most important factors affecting the success of an organization on the market. At the same time, great importance is attached to the professional development of employees of the organization and to the individual approach to this process. Like other HR processes, staff development is automated with the help of special information tools. This article is devoted to the analysis of personnel management systems and talent management systems in terms of the possibility of management of individual development plans of employees of the organization. A method for two-step analysis of systems has been developed. At the first stage, the modular structure of the studied systems is analyzed and compared. At the second stage, the systems functional is evaluated and compared according to a number of criteria. Significance coefficients of criteria were calculated using the DSS "Solution". According to the results of the analysis, we chose a system that is rationally suitable for the purposes of management of individual development plans.

Keywords: analysis of information systems; individual development plan; personnel management; talent management; decision support systems.

ВВЕДЕНИЕ

Для любой современной организации залогом успешной деятельности является грамотное управление человеческими ресурсами. И одним из важнейших процессов, входящих в управление человеческими ресурсами, является процесс управления талантами.

Управление талантами – это набор инструментов HR-менеджмента, позволяющие компании эффективно использовать и развивать те способности и умения сотрудников, которые дают им возможность вносить вклад в развитие организации [5]. Неотъемлемой частью управления талантами является ведение индивидуальных планов развития (ИПР) сотрудников.

ИПР – это программа мероприятий, которая помогает сотруднику целенаправленно развивать у себя навыки и качества; документ, описывающий цели развития и конкретные действия, позволяющие достичь поставленных целей [1, 4].

Индивидуальный план развития составляется, как правило, по результатам оценки компетентности, в ходе которой фактическая компетентность сотрудника сравнивается с профилем компетенций, требуемых для его текущей должности или для должности, на которую сотрудник претендует.

Связанные с созданием ИПР процессы обработки информации (создание, изменение, хранение, систематизация и т.д.) могут быть автоматизированы с помощью специальных информационных систем. А поскольку ведение ИПР относится к управлению персоналом, то и информационные средства, поддерживающие данный процесс, как правило, являются одним из модулей информационных систем управления персоналом (HRM-систем, HRIS-систем).

HRM-система – это система, предназначенная для автоматизации работы с сотрудниками на всех уровнях, от оперативного (повседневный учёт данных) до стратегического (принятие решений по развитию бизнеса) [3].

Помимо систем управления персоналом, существуют программные продукты и с более узким функционалом – это системы управления талантами (talent management system, TMS).

TMS-система – это комплекс технологий, автоматизирующих процессы в четырёх ключевых областях: рекрутмент, управление эффективностью, обучение и развитие, формирование компенсаций [11].

На мировом и отечественном рынках существует множество HRM-систем и TMS-систем, но реализованный в них функционал не всегда включает в себя достаточно инструментов для ведения ИПР сотрудников.

Таким образом, возникает потребность в проведении анализа существующих программных продуктов. Цель данного анализа – выяснить, какая информационная система наилучшим образом подходит для ведения индивидуальных планов развития.

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Чтобы достигнуть поставленной цели, необходимо провести анализ тех HRM и TMS систем, которые признаны лучшими – т.е. наиболее распространены на российском рынке и имеют наиболее полный функционал с точки зрения ведения ИПР. Для определения таких систем обратимся к исследованиям аналитических организаций.

По данным компании Gartner, на мировом рынке HRM-систем много лет подряд лидерами в данном направлении становятся продукты зарубежных компаний Lumesse, Saba Software, SuccessFactors, Taleo, Workday, Infor [13]. В России получили распространение продукты только первых трёх.

По результатам исследований TAdviser, на отечественном рынке HRM-систем лидерами по количеству проектов внедрения являются российские компании 1С, Компас, Корпорация Галактика, БОСС.Кадровые системы и немецкая компания SAP SE [8].

Что касается TMS-систем, согласно исследованиям компаний Forrester Research, IDC и Gartner, лучшими системами управления талантами являются продукты компаний Oracle, SAP SuccessFactors, Cornerstone OnDemand. Следом за ними идут компании Kenexa, Halogen Software, ADP, Peoplefluent [5].

Для проведения анализа были выбраны следующие системы:

- Lumesse ETWeb [14];
- Saba Cloud [16];
- SAP SuccessFactors HCM Suite [17];
- Oracle Talent Management Cloud [15];
- «1С: Зарплата и управление персоналом 8», версия КОРП [9];
- «Галактика HRM» [2];
- «Компас: Управление персоналом» [10];
- «БОСС-Кадровик» [12].

Чтобы определить, какие из перечисленных продуктов могут быть использованы для ведения индивидуальных карт развития сотрудников, проведём двухэтапный анализ.

На первом этапе исследуем структуру участвующих в анализе систем на предмет наличия ключевых функциональных возможностей, необходимых для ведения ИПР сотрудника. Такими возможностями являются:

- оценка компетентности;
- составление ИПР;
- карьерное планирование.

Результаты первого этапа анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Анализ структуры HRM- систем и TMS- систем

Table 1

Analysis of the structure of HRM and TMS systems

Название системы	Полный перечень модулей/подсистем	Наличие требуемого функционала:	
Lumesse ETWeb	– базовая информация о сотруднике и должности; – управление эффективностью; – управление навыками и компетенциями; – управление обучением и развитием; – планирование карьеры и преемственности; – оценка 360 градусов; – управление вознаграждениями.	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	+
		Карьерное планирование	+
Saba Cloud	– базовый HR модуль (управление данными сотрудников (профили), должностями, компетенциями); – обучение; – управление эффективностью; – сообщества; – построение карьеры.	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	-
		Карьерное планирование	+
SAP SuccessFactors HCM Suite	– базовое управление персоналом и расчёт зарплаты; – обучение и повышение квалификации; – эффективность и вознаграждение; – подбор и адаптация персонала;	Оценка компетентности	-
		Составление ИПР	+
		Карьерное планирование	+

Название системы	Полный перечень модулей/подсистем	Наличие требуемого функционала:	
	– управление учётом рабочего времени; – планирование персонала и аналитика.		
Oracle Talent Management Cloud	– рекрутинг; – управление производительностью; – карьера и преемственность (профиль сотрудника, развитие карьеры, оценка компетентности, управление преемственностью); – обучение;	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	-
		Карьерное планирование	+
«1С: Зарплата и управление персоналом 8 КОРП»	– учёт кадров и персонифицированный учёт; – расчёт и учёт заработной платы; – выплаты и депонирование; – исчисление налогов и страховых взносов; – подготовка регламентированной отчётности; – учёт деятельности нескольких организаций; – набор персонала с поиском кандидатов в интернете; – грейды и KPI; – социальные льготы и компенсации; – адаптация, обучение и развитие персонала; – кадровый резерв и управление талантами; – учёт расходов по направлениям и проектам; – охрана труда, допуски, медосмотры, инструктажи.	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	+
		Карьерное планирование	+
«Галактика HRM»	– управление персоналом (организационно-штатная структура; управление подбором кадров; кадровый учёт; аттестация кадров, повышение квалификации и развитие персонала; планирование и предоставление отпусков); – табельный учёт; – заработная плата.	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	-
		Карьерное планирование	+
«Компас: Управление персоналом»	– расчёт заработной платы; – кадровый учёт; – управление трудовыми ресурсами (штатное расписание; история сотрудника; профилирование должностей; система грейдов; мотивация; обучение и переподготовка; управление карьерой; оценка и аттестация; рекрутинг) – расчёт нарядов (для производственных предприятий); – электронные индивидуальные сведения для ПФ и МНС	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	-
		Карьерное планирование	+
«БОСС-Кадровик»	– планирование и учёт персонала; – расчёт заработной платы и отчётность; – профессиональный подбор персонала; – эффективная система обучения; – оценка сотрудников; – комплексная система мотивации; – управление кадровым резервом; – оптимизация затрат на персонал; – анализ состояния трудовых ресурсов.	Оценка компетентности	+
		Составление ИПР	+
		Карьерное планирование	+

По результатам первого этапа для дальнейшего анализа были отобраны следующие системы:

- Lumesse ETWeb;
- «1С: Зарплата и управление персоналом 8 КОРП»;
- «БОСС-Кадровик».

На втором этапе анализа исследуем функционал отобранных систем и оценим его по ряду критериев. Критерии были сформулированы по результатам тщательного изучения функционала систем Lumesse ETWeb, «1С: Зарплата и управление персоналом 8 КОРП» и «БОСС-Кадровик». При этом были выбраны только те критерии, которые позволяют выявить и оценить различия между перечисленными системами. Таким образом, те критерии, по которым характеристики сравниваемых систем совпадают, не были включены в список. Подробное описание критериев, варианты и правила оценивания приведены в таблице 2.

Таблица 2

Критерии оценки систем

Table 2

System Evaluation Criteria

Наименование критерия	Описание критерия	Баллы
Метод оценки	Для оценки компетентности используется: - матричный метод, при этом оценку производит руководитель сотрудника или HR-менеджер; - оценка 360° – оценку производят руководитель и сам сотрудник, а также (по возможности) коллеги и подчинённые. Правило оценки: выбирается один вариант.	1 балл 2 балла
Право на ИПР	Индивидуальные планы развития составляются: - только для сотрудников, включённых в кадровый резерв; - для всех сотрудников. Правило оценки: выбирается один вариант.	1 балл 2 балла
Карьерное планирование	Планирование карьеры осуществляется путём: - включения сотрудника в кадровый резерв; - фиксирования карьерных ожиданий сотрудника; Правило оценки: можно выбрать несколько вариантов, баллы суммируются.	1 балл 1 балл
Профиль оценки	Имеется возможность оценки компетентности сотрудника: - по профилю компетенций для текущей должности; - по общекорпоративному профилю компетенций; - по профилю компетенций для любой должности; Правило оценки: можно выбрать несколько вариантов, баллы суммируются.	1 балл 1 балл 1 балл
Подбор мероприятий	При составлении ИПР мероприятия по развитию: - подбираются вручную; - возможен поиск мероприятий; Правило оценки: выбирается один вариант.	1 балл 2 балла
Подтверждение обучения	При реализации сотрудником ИПР факт обучения: - может подтверждаться или не подтверждаться каким-либо документом; - обязательно фиксируется документально; Правило оценки: выбирается один вариант.	1 балл 2 балла

Для получения объективного результата оценки систем введём весовые коэффициенты значимости каждого критерия (см. таблица 3).

Таблица 3

Коэффициенты значимости критериев

Table 3

Significance coefficients of criteria

№ п/п	Критерий	Коэффициент значимости
1	Метод оценки	0,278
2	Право на ИПР	0,393
3	Карьерное планирование	0,063
4	Профиль оценки	0,152
5	Подбор мероприятий	0,039
6	Подтверждение обучения	0,075
	Всего:	1

Коэффициенты значимости были рассчитаны с помощью метода парных сравнений с использованием программы СППР «Решение» (см. рисунок 1) [6, 7].

Рис. 1. Расчёт коэффициентов значимости

Fig. 1. Calculation of significance coefficients

Сравнительный анализ систем Lumesse ETWeb, «1С: Зарплата и управление персоналом 8 КОРП» и «БОСС-Кадровик» приведён в таблице 4. Наименования систем представлены в сокращённом виде.

Таблица 4

Сравнительный анализ систем

Table 4

Comparative analysis of systems

Критерий	ETWeb		1С		БОСС-Кадровик	
	Баллы	Оценка	Баллы	Оценка	Баллы	Оценка
Метод оценки	2	0,556	2	0,556	1	0,278
Право на ИПР	2	0,786	2	0,786	1	0,393
Карьерное планирование	2	0,126	1	0,063	1	0,063
Профиль оценки	3	0,456	1	0,152	2	0,304
Подбор мероприятий	2	0,078	1	0,039	1	0,039
Подтверждение обучения	1	0,075	2	0,15	1	0,075
Итого:		2,077		1,746		1,152

Таким образом, после проведения анализа установлено, что наилучшим вариантом является система Lumesse ETWeb, набравшая 2,077 балла. Данная система обладает наиболее полным функционалом и является рациональным вариантом с точки зрения реализации функций оценки компетентности, составления ИПР и планирования карьеры сотрудников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена процедура двухэтапного анализа систем управления персоналом и систем управления талантами с точки зрения возможности ведения индивидуальных планов развития сотрудников организации. Определены функциональные возможности, характеризующие процесс создания и ведения ИПР, и предложены критерии анализа, позволяющие сравнить системы на предмет полноты такого функционала. В ходе проведения анализа выбрана система Lumesse ETWeb, которая содержит наиболее полный набор инструментов, необходимых для ведения ИПР. Следовательно, цель анализа можно считать достигнутой.

Список литературы

1. Ананьева Е. Индивидуальный план развития // Сайт компании «Психология и бизнес». 1992–2018. URL: <https://psycho.ru/library/3799> (дата обращения 01.11.2018)
2. Галактика HRM // Сайт «Корпорация «Галактика». 2018. URL: <https://www.galaktika.ru/hrm/> (дата обращения 10.11.2018)
3. Доскова Л.С. Управление персоналом: шпаргалки. М.: Эксмо, 2008. 100 с.
4. Каштанова Е.В. Роль внутренней корпоративной программы обучения персонала в развитии компании // Вестник университета. 2016. №3. С. 203–210.
5. Краснов С.В., Куралесова Н.О., Садова К.В. Управление эффективностью работы высококвалифицированных специалистов Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2015. №1 (23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-effektivnostyu-raboty-vysokokvalifitsirovannyh-spetsialistov> (дата обращения 05.11.2018)
6. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования. 2013. №11-19. С. 1798-1803.
7. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Оценка инновационных проектов с использованием системы поддержки принятия решений «Решение» // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: «Воспроизводство интеллектуального капитала в системе высшего профессионального образования». – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. С. 267-270.
8. Российский рынок HRM-систем // Портал TAdviser. 2017. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_HRM-систем (дата обращения 09.11.2018)
9. «1С: Зарплата и управление персоналом 8» КОРП // Сайт «1С: Предприятие 8». 2018. URL: http://v8.1c.ru/hrm/corp_versiya.htm (дата обращения 10.11.2018)
10. Управление персоналом // Сайт «Компас». 2010–2018. URL: https://compas.ru/solutions/pers_full.php (дата обращения 10.11.2018)
11. Управление талантами // Портал TAdviser. 2014. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Управление_талантами_\(talent_management\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Управление_талантами_(talent_management)) (дата обращения 09.11.2018)
12. Функциональные возможности «БОСС-Кадровик» // Сайт «БОСС. Кадровые системы». 2018. URL: <https://boss.ru/products/bk-about/functionality/> (дата обращения 10.11.2018)
13. Шаршун Т. Автоматизация HR процессов в России и Море – обзор практик // Сайт компании AXES Pro. 2015. URL: https://axes.pro/news/2015/01/15/Avtomatizaciya_HR_processov_v_Rossii_i_Mire_-_obzor_praktik (дата обращения 09.11.2018)
14. ETWeb-система управления персоналом // Сайт AXES Pro. 2011–2016. URL: <https://axes.pro/etweb> (дата обращения 10.11.2018)
15. Oracle Talent Management Cloud // Сайт Oracle Cloud. 2018. URL: https://cloud.oracle.com/en_US/talent-management-cloud/features (дата обращения 10.11.2018)

16. Saba Cloud // Сайт AXES Pro. 2011–2016. URL: <https://axes.pro/saba/sabacloud> (дата обращения 10.11.2018)
17. SAP SuccessFactors HCM Suite // Сайт SAP SuccessFactors. 2018. URL: https://www.successfactors.com/ru_ru/solutions.html (дата обращения 10.11.2018)

References

1. Ananeva E. Individual development plan // Website of the company “Psychology and business”. 1992–2018. URL: <https://psycho.ru/library/3799> (date of the address 11/01/2018)
2. Galaxy HRM // Site “Corporation “Galaxy”. 2018. URL: <https://www.galaktika.ru/hrm/> (date of the address 10.11.2018)
3. Doskova L.S. Human Resource Management: cheat sheets M.: Eksmo, 2008. 100 p.
4. Kashtanova E.V. The role of the internal corporate training program for staff in the development of the company // University Bulletin. 2016. №3. Pp. 203–210.
5. Krasnov S.V., Kuralesova N.O., Sadova K.V. Performance management work of highly qualified specialists Bulletin of the Volga University. V.N. Tatishcheva. 2015. № 1(23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-effektivnostyu-raboty-vysokokvalifitsirovannyh-spetsialistov> (date of the address 05.11.2018)
6. Lomakin V.V., Lifirenko M.V. Algorithm for increasing the degree of consistency of the matrix of pairwise comparisons when conducting expert surveys // Fundamental research. 2013. № 11-19. Pp. 1798-1803.
7. Lomakin V.V., Lifirenko M.V. Evaluation of innovative projects using the decision support system “Decision” // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation: “Reproduction of intellectual capital in the system of higher professional education”. - Belgorod: Belgorod Publishing House, BelSU National Research University, 2013. p. 267-270.
8. The Russian market of HRM-systems // Portal TAdviser. 2017. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Article: Russian_HRM-system_market (date of the address 09.11.2018)
9. "1C: Salary and personnel management 8" CORP. // Site "1C: Enterprise 8". 2018. URL: http://v8.1c.ru/hrm/corp_versiya.htm (date of the address 10/11/2018)
10. Human resource management // Compass website. 2010–2018. URL: https://compas.ru/solutions/pers_full.php (date of the address 10.11.2018)
11. Talent Management // Portal TAdviser. 2014. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Article: Talent_management_\(talent_management\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Article: Talent_management_(talent_management)) (date of the address 09.11.2018)
12. Functionality of BOSS-Kadrovik // Site “BOSS. Personnel systems. 2018. URL: <https://boss.ru/products/bk-about/functionality/> (date of the address 10.11.2018)
13. Sharshun T. Automation of HR processes in Russia and the World - review of practices // AXES Pro company website. 2015. URL: https://axes.pro/news/2015/01/15/Avtomatizaciya_HR_processov_v_Rossii_i_Mire_—_obzor_praktik (date of the address 09.11.2018)
14. ETWeb - personnel management system // AXES Pro website. 2011–2016. URL: <https://axes.pro/etweb> (date of the address 10.11.2018)
15. Oracle Talent Management Cloud // Oracle Cloud website. 2018. URL: https://cloud.oracle.com/en_US/talent-management-cloud/features (date of the address 10.11.2018)
16. Saba Cloud // AXES Pro Site. 2011–2016. URL: <https://axes.pro/saba/sabacloud> (date of the address 10/11/2018)
17. SAP SuccessFactors HCM Suite // SAP SuccessFactors website. 2018. URL: https://www.successfactors.com/ru_ru/solutions.html (date of the address 10.11.2018)

Ломакин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий.

Михайлова Светлана Валерьевна, руководитель практики решений для энергетики ООО «Сайнер».

Маркова Зинаида Александровна, консультант 3-ей категории практики решений для энергетики ООО «Сайнер».

Lomakin Vladimir Vasilyevich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of applied informatics and information technologies.

Mikhailova Svetlana Valeryevna, head of the practice of solutions for the energy of LLC "Sciener".

Markova Zinaida Aleksandrovna, 3rd category consultant of the practice of solutions for the energy of LLC "Sciener".

УДК 004.75

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-4

Кузнецов Д.А.
Киселёв Ю.В.
Кравченко В.Р.

**ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ
ОПОВЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗАЛА СОВЕЩАНИЙ**

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

e-mail: wvxp@mail.ru

Аннотация

Проведенные исследования в области развития интеллектуальных залов совещаний показали наличие у них ряда недостатков. С целью их устранения была предложена концепция интеллектуального зала совещаний, в которой реализованы различные подсистемы под управлением общего устройства управления. Важной составляющей данной концепции является подсистема оповещения, реализующая функции речевого сообщения информации пользователям. В качестве механизма оповещения используется оптимальный синтезатор речи, выбранный исходя из критериев доступности, количества голосов, гибкости настроек и типа программного ядра. Для непосредственной передачи синтезированной речи необходимо наличие громкоговорителей. Для эффективного и качественного оповещения требуется выбрать конкретные образцы технических устройств оповещения. В связи с этим стоит задача расчета необходимого количества громкоговорителей и их мощности, а также выбора конкретного образца из имеющихся в продаже. Первая часть задачи решается путем использования известных методов расчета количества громкоговорителей и требуемой мощности. Для решения второй части необходимо выделить наиболее существенные критерии для сравнения конкретных образцов и, используя известный метод сравнения, выявить оптимальное техническое устройство.

Ключевые слова: интеллектуальное пространство; зал; исполнительные модули; звук; автоматизация; громкоговорители, оповещение.

UDC 004.75

Kuznetsov D.A.
Kiselev U.V.
Kravchenko V.R.

**CHOICE OF TECHNICAL MEANS OF REALIZATION
OF THE SUBSYSTEM OF THE NOTIFICATION OF THE INTELLECTUAL
HALL OF MEETINGS**

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

e-mail: wvxp@mail.ru

Abstract

The conducted researches in the field of development of intellectual halls of meetings have shown presence of a number of shortcomings at them. For the purpose of their elimination the concept of the intellectual hall of meetings in which various subsystems under control of the general control unit are realized has been offered. An important component of this concept is the notification subsystem realizing functions of speech reporting of information to users. As the mechanism of the notification the optimum synthesizer of the speech chosen proceeding from criteria of availability, number of votes, customizability and type of a program kernel is used. Direct transfer of the synthesized speech requires existence of loudspeakers. For the effective and qualitative notification it is required to choose concrete samples of technical devices of the notification. In this regard there is a problem of calculation of necessary number of loudspeakers and their power and also the choice of a concrete sample from available on sale. The first part of a problem is solved by use of the known methods of calculation of number of loudspeakers and the required

power. For the solution of the second part it is necessary to mark out the most essential criteria for comparison of concrete samples and, using the known method of comparison, to reveal the optimum technical device.

Keywords: intellectual space; room; executive modules; sound; automation, loudspeakers, notification.

ВВЕДЕНИЕ

Проведенный анализ прототипов интеллектуальных залов совещаний [1] выявил ряд недостатков, одним из которых является отсутствие в них подсистемы оповещения [2]. Данная подсистема предназначена для информирования пользователей о различных событиях в интеллектуальном зале. В частности, важную роль она играет в подсистеме аутентификации и управления доступом, например, подсистема оповещения может использоваться для приветствия участников совещания и сообщения им необходимой информации, такой как место участника в зале, повестки дня и т.п. В таком случае элементы подсистемы оповещения устанавливаются в холле перед конференц-залом, что определяет необходимость расчета требуемого количества громкоговорителей и их мощности, которые обеспечат оптимальный по качеству и громкости звук.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи

Расчет параметров подсистемы оповещения будет производиться для холла кафедры института. Назначением подсистемы оповещения является приветствие сотрудников кафедры, механизм оповещения – синтезатор речи [3]. Имеется помещение площадью 30 м² и высотой потолка 2,6 м. Необходимо рассчитать требуемое количество и мощность громкоговорителей, обоснованно выбрать их конкретную модель.

Решение поставленной задачи

Необходимое количество громкоговорителей определим по имеющейся таблице [4]:

Таблица 1

Требуемое количество громкоговорителей в зависимости от размеров помещения

Table 1

The required number of loudspeakers depending on the room sizes

Высота потолка, м	Полезная площадь помещения, м ²						
	25	35	50	80	100	150	200
3	4	5	7	11	14	20	27
3,5	2	3	4	6	8	11	15
4	1	2	3	4	5	7	10
4,5	1	1	2	3	4	5	7
5	1	1	2	2	3	4	5
5,5	1	1	1	2	3	3	4
6	1	1	1	1	2	3	3

Имеющиеся данные позволяют сделать вывод, что для рассматриваемого помещения достаточно использовать 4 громкоговорителя. Рассчитаем необходимую мощность громкоговорителей.

Типовой уровень шума в помещении типа «Тихий офис» составляет 63 дБ [5]. Для качественного оповещения уровень трансляции должен превышать уровень шума на 15 дБ. Учитывая высоту потолка 2,6 м, примем ослабление сигнала равным 6 дБ (худший случай).

Следовательно, требуемая мощность громкоговорителя:

$$P_T = P_{ш} + P_{осл} + 15 = 84, \text{ дБ} \quad (1)$$

где P_T – уровень мощности громкоговорителя, дБ; $P_{ш}$ – уровень шума в помещении, дБ; $P_{осл}$ – запас на ослабление, дБ.

Зная номинальную мощность громкоговорителя и чувствительность, рассчитаем уровень его звукового давления:

$$P_d = SPL + 10 \lg(P_r), \text{ дБ} \quad (2)$$

где P_d – мощность громкоговорителя, Вт; SPL – чувствительность громкоговорителя, дБ; P_r – мощность громкоговорителя, Вт.

Выражение (2) означает, что при каждом удвоении мощности источника уровень его звукового давления увеличивается на 3 дБ. Критерием выбора громкоговорителя является выполнение условия:

$$P_d \geq P_r. \quad (3)$$

Указанному требованию соответствуют следующие модели громкоговорителей: АРТ-01А (Inter-M) [6], АРТ-03А (Inter-M) [7], РС-06Т (Roxton) [8], РА-03Т (Roxton) [9], КС-813 [10], АСК-530 [11].

С учетом изложенного для выбора технических средств предлагается методика выбора, включающая следующие этапы [12]:

1) выполняются попарные сравнения элементов каждого уровня. Результаты сравнений переводятся в числа с помощью таблицы 2;

Таблица 2

Шкала относительной важности

Table 2

Scale of relative importance

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Значительное превосходство	7
Очень большое превосходство	9

2) вычисляются веса критериев ω_i и коэффициенты важности для элементов каждого уровня V_{ij} :

$$\omega_i = \frac{W}{\sum_{i=0}^N W_i}, \quad (4)$$

где W_i – собственный вектор, определяемый как корень n -й степени (n – размерность матрицы) из произведений элементов каждой строки матрицы сравнений для критериев; N – число критериев.

$$V_{ij} = \frac{W_i}{\sum_{j=0}^M W_{ij}}, \quad (5)$$

где W_{ij} – собственный вектор матрицы сравнений альтернатив по i -му критерию; M – число альтернатив.

3) подсчитывается количественный показатель качества V_j каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива:

$$V_{ij} = \sum_{i=0}^N \omega_i V_{ij}, \quad (6)$$

где V_j – показатель качества j -й альтернативы; ω_i – вес i -го критерия; V_{ij} – коэффициент важности j -й альтернативы по i -му критерию.

Ниже рассмотрим эти этапы применительно к решаемой задаче. Составим матрицу сравнений для избранных критериев (табл. 3).

Таблица 3

Матрица сравнений для критериев

Table 3

Matrix of comparisons for criteria

Критерий	Цена	Уровень давления	Мощность	Частотный диапазон	Собственный вектор	Вес критерия
Цена	1	3	3	5	2,59	0,072
Уровень давления	1/3	1	3	3	1,31	0,036
Мощность	1/3	1/3	1	3	0,759	0,021
Частотный диапазон	1/5	1/3	1/3	1	0,38	0,010

Матрицы сравнений альтернатив по каждому из критериев приведены в таблицах 4–7.

Таблица 4

Матрица сравнений альтернатив по критерию частотного диапазона

Table 4

Matrix of comparisons of alternatives by criterion of frequency range

Альтернатива	APT-01A	APT-03A	PC-06T	PA-03T	KS-813	ASK-530	Собственный вектор	Вес
APT-01A	1	1	1/3	1/3	1	1/3	0,577	0,08
APT-03A	1	1	1/3	1/3	1	1/3	0,577	0,08
PC-06T	3	3	1	1	3	1	1,73	0,245
PA-03T	3	3	1	1	3	1	1,73	0,245
KS-813	1	1	1/3		1	1/3	0,69	0,098
ASK-530	3	3	1	1	3	1	1,73	0,245

Таблица 5

Матрица сравнений альтернатив по критерию цены

Table 5

Matrix of comparisons of alternatives by criterion of the price

Альтернатива	APT-01A	APT-03A	PC-06T	PA-03T	KS-813	ASK-530	Собственный вектор	Вес
APT-01A	1	3	5	1/3	1	3	1,57	0,024
APT-03A	1/3	1	5	1/3	1/3	1/3	0,62	0,009
PC-06T	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	0,26	0,004
PA-03T	3	3	5	1	1	3	2,26	0,035
KS-813	1	3	5	1	1	1	1,57	0,024
ASK-530	1/3	3	5	1/3	1	1	1,08	0,016

Таблица 6

Матрица сравнений альтернатив по критерию уровня звукового давления

Table 6

Matrix of comparisons of alternatives by criterion of level of sound pressure

Альтернатива	APT-01A	APT-03A	PC-06T	PA-03T	KS-813	ASK-530	Собственный вектор	Вес
APT-01A	1	1	1	3	3	1/3	1,20	0,030
APT-03A	1	1	1	3	3	1/3	1,20	0,030
PC-06T	1	1	1	3	3	1/3	1,20	0,030
PA-03T	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3	0,48	0,012
KS-813	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3	0,48	0,012
ASK-530	3	3	3	3	3	1	2,49	0,063

Таблица 7

Матрица сравнений альтернатив по критерию мощности

Table 7

Matrix of comparisons of alternatives by criterion of power

Альтернатива	APT-01A	APT-03A	PC-06T	PA-03T	KS-813	ASK-530	Собственный вектор	Вес
APT-01A	1	3	1/3	1/3	3	5	1,30	0,203
APT-03A	1/3	1	3	1/5	1	3	1,20	0,185
PC-06T	3	5	1	1/5	3	5	1,88	0,293
PA-03T	1/3	1	1/3	1	1	3	0,83	0,129
KS-813	1/3	1	1/3	1	1	3	0,83	0,129
ASK-530	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	0,36	0,056

На основе этих таблиц могут быть рассчитаны показатели качества каждой из альтернатив. Проведенные вычисления позволяют определить:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 0,072 \times 0,024 + 0,036 \times 0,030 + 0,021 \times 0,203 + 0,010 \times 0,08 = 0,007 \\
 V_2 &= 0,072 \times 0,009 + 0,036 \times 0,030 + 0,021 \times 0,185 + 0,010 \times 0,08 = 0,006 \\
 V_3 &= 0,072 \times 0,004 + 0,036 \times 0,030 + 0,021 \times 0,293 + 0,010 \times 0,245 = 0,009 \\
 V_4 &= 0,072 \times 0,035 + 0,036 \times 0,012 + 0,021 \times 0,129 + 0,010 \times 0,245 = 0,005 \\
 V_5 &= 0,072 \times 0,024 + 0,036 \times 0,012 + 0,021 \times 0,129 + 0,010 \times 0,098 = 0,005 \\
 V_6 &= 0,072 \times 0,016 + 0,036 \times 0,063 + 0,021 \times 0,056 + 0,010 \times 0,245 = 0,007
 \end{aligned} \quad (7)$$

Полученные значения позволяют определить, что наилучшей является альтернатива 3. Соответственно, для разрабатываемой подсистемы оповещения целесообразно применять 4 громкоговорителя PC-06T (Roxton) [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, произведя расчет необходимого количества громкоговорителей и их мощности, осуществлен выбор оптимального по критериям цены, мощности, уровня звукового давления и диапазона частот изделия, отвечающего требованиям поставленной задачи. Данное устройство позволит добиться максимальной эффективности с точки зрения показателя цена-качество и обеспечит необходимый уровень громкости в соответствии с действующими стандартами.

Список литературы

1. Кузнецов Д.А. Предпосылки создания интеллектуального зала совещаний / Кузнецов Д.А., Офицеров А.И., Кузнецов А.В., Чистяков С.В., Басов О.О. // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Том 3. Вып. 2. С. 44-50.
2. Кузнецов Д.А. Подсистемы Жизнеобеспечения интеллектуального зала совещаний / Кузнецов Д.А., Безручко В.В., Кузнецов А.В., Басов О.О., // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Том 3. Вып. 3. С. 28-36.
3. Кузнецов Д.А. Сравнительный анализ синтезаторов речи для подсистемы оповещения интеллектуального зала совещаний / Кузнецов Д.А., Кузнецов А.В., Басов О.О., Тезин А.В. // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Том 3. Вып. 3. С. 9 – 13.
4. Методика расчета количества громкоговорителей при озвучивании различных помещений: [Электронный ресурс] // Системы оповещения TOA. 2018. URL: <http://www.toa-sound.ru/articles/more.html?id=851> (Дата обращения 1.10.2018).
5. Методика расчета системы громкого оповещения и трансляции: [Электронный ресурс] // Системы оповещения TOA. 2018. URL: <http://www.toa-sound.ru/articles/more.html?id=850> (Дата обращения 1.10.2018).
6. Громкоговоритель потолочный АРТ-01А: [Электронный ресурс] // Торговый дом «Тинко». 2018. URL: <https://www.tinko.ru/catalog/product/077015/#> (Дата обращения 1.10.2018).
7. Громкоговоритель потолочный АРТ-03А: [Электронный ресурс] // Торговый дом «Тинко». 2018. URL: <https://www.tinko.ru/catalog/product/077014/#> (Дата обращения 1.10.2018).
8. Громкоговоритель потолочный РА-03Т: [Электронный ресурс] // Системы оповещения «Escort group» 2018. URL: http://www.escortpro.ru/498_roxton-pa-03t.htm (Дата обращения 1.10.2018).
9. Громкоговоритель потолочный РА-06Т: [Электронный ресурс] // Системы оповещения «Escort group» 2018. URL: http://www.escortpro.ru/957_roxton-pc-06t.htm (Дата обращения 1.10.2018).
10. Громкоговоритель потолочный KS-813: [Электронный ресурс] // AliExpress 2018. URL: <https://ru.aliexpress.com/item/KS-813-Hifi-DJ/32889262118.html> (Дата обращения 1.10.2018).
11. Громкоговоритель потолочный ASK-530: [Электронный ресурс] // AliExpress. 2018. URL: <https://ru.aliexpress.com/item/530-10-Hifi/32890499898.html> (Дата обращения 1.10.2018).
12. Зацаринный А.А. Методика выбора технических средств для построения телекоммуникационных сетей / Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С. // Системы и средства информации. 2009, дополнительный выпуск. С. 4-14.

References

1. Kuznetsov D. A. Prerequisites of creation of the intellectual hall Meetings / Kuznetsov D.A., Ofitserov A.I., Kuznetsov A.V., Chistyakov S.V., Basov O.O. // Scientific result. Information technologies. 2018. Volume 3. Issue 2. Page 44-50.
2. Kuznetsov D. A. Subsystems of Life support of the intellectual hall Meetings / Kuznetsov D.A., Bezruchko V.V., Kuznetsov A.V., Basov O.O. //Scientific result. Information technologies. 2018. Volume 3. Issue 3. Page 28–36.
3. Kuznetsov D. A. The comparative analysis of synthesizers of the speech for a subsystem of the notification of the intellectual hall of meetings / Kuznetsov D.A., Kuznetsov A.V., Basov O.O., Tezin A.V. // Scientific result. Information technologies. 2018. Volume 3. Issue 3. Page 8–13.
4. Method of calculation of number of loudspeakers when scoring various rooms: [Electronic resource] // TOA Warning systems. 2018. URL: <http://www.toa-sound.ru/articles/more.html?id=851> (Date of the address 10/1/2018).
5. Method of calculation of system of the loud notification and broadcasting: [Electronic resource] // TOA Warning systems. 2018. URL: <http://www.toa-sound.ru/articles/more.html?id=850> (Date of the address 10/1/2018).
6. Loudspeaker ceiling ART-01A: [Electronic resource] // Tinko Trading house. 2018. URL: <https://www.tinko.ru/catalog/product/077015/#> (Date of the address 10/1/2018).
7. Loudspeaker ceiling ART-03A: [Electronic resource] // Tinko Trading house. 2018. URL: <https://www.tinko.ru/catalog/product/077014/#> (Date of the address 10/1/2018).
8. Loudspeaker ceiling PA-03T: [Electronic resource] // Escort group Warning systems. 2018. URL: http://www.escortpro.ru/498_roxton-pa-03t.htm (Date of the address 10/1/2018).

9. Loudspeaker ceiling PA-06T: [Electronic resource] // Escort group Warning systems. 2018. URL: http://www.escortpro.ru/498_roxton-pa-06t.htm (Date of the address 10/1/2018).
10. Loudspeaker ceiling KS-813: [Electronic resource] // AliExpress. 2018. URL: <https://ru.aliexpress.com/item/KS-813-Hifi-DJ/32889262118.html> (Date of the address 10/1/2018).
11. Loudspeaker ceiling ASK-530: [Electronic resource] // AliExpress. 2018. URL: <https://ru.aliexpress.com/item/530-10-Hifi/32890499898.html> (Date of the address 10/1/2018).
12. Zatsarinny A.A. A technique of the choice of technical means for creation of telecommunication networks / Zatsarinny A.A., Ionenkov U.S. // Systems and media. 2009, additional release. Page 4–14.

Кузнецов Денис Андреевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Киселёв Юрий Владимирович, аспирант Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кравченко Вадим Романович, кандидат технических наук, доцент, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Kuznetsov Denis Andreevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kiselev Uriy Vladimirovich, graduate student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kravchenko Vadim Romanovich, candidate of technical sciences, associate professor, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

УДК 004.94; 658.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-5

Бузов А.А.¹
Жихарев А.Г.²
Маторин С.И.²

О ПОСТРОЕНИИ БИБЛИОТЕК В СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

¹) ЗАО «СофтКоннект», ул. Студенческая д. 19, корпус 1, г. Белгород, 308023, Россия

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

e-mail: buzov@mail.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросам разработки методики создания библиотек узловых объектов для реализации компонентного подхода в системно-объектном имитационном моделировании. С применением исчисления функциональных объектов – аппарата, формализующего процедуры системно-объектного моделирования процессов и систем, авторами сформулированы теоретические положения процедур построения библиотек узловых объектов, а также дальнейшего их использования в системно-объектных моделях. Рассматриваются формальные описания процесса создания библиотеки, операции импорта и экспорта узловых объектов. Сформулировано определение интерфейса узлового объекта, что, в свою очередь, позволяет автоматически подбирать узловые объекты, находящиеся в библиотеке для использования в системно-объектной модели. Кроме того, авторами рассматриваются формальные основы процедур анализа элементов библиотеки на соответствие конкретному месту в системно-объектной модели. Это достигается за счет использования алгоритма расчета коэффициента системности, показывающего степень соответствия системы запросам надсистемы. Таким образом, сформулированные теоретические положения механизмов формирования библиотек узловых объектов позволяют реализовать программные механизмы хранения отдельных частей системно-объектной модели в специальной библиотеке-репозитории для дальнейшего их использования.

Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект»; имитационное моделирование; библиотека элементов; внутренние параметры системы; УФО-элемент; узловой объект; потоковый объект.

UDC 004.94; 658.5

Buzov A.A.¹
Zhikharev A.G.²
Matorin S.I.²

ABOUT THE CONSTRUCTION OF LIBRARIES IN SYSTEM-OBJECT SIMULATION MODELS

¹) «SoftConnect» Ltd., 19 Studencheskaya St., building 1, Belgorod, 308023, Russia

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

e-mail: buzov@mail.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru

Abstract

The article is devoted to the development of methods for creating libraries of nodal objects for implementing the component approach in system-object simulation modeling. With the use of calculus of functional objects - the apparatus, which formalizes the procedures of the system-object modeling of processes and systems, the authors formulated the theoretical provisions of the procedures for constructing libraries of node objects, as well as their further use in system-object models. We consider the formal description of the process of creating a library, the operation of

import and export of node objects. The definition of the node object interface is formulated, which, in turn, allows you to automatically select the node objects that are in the library for use in the system-object model. In addition, the authors consider the formal foundations of the procedures for analyzing library elements for compliance with a specific place in the system-object model. This is achieved through the use of an algorithm for calculating the coefficient of systemicity, which shows the degree of compliance of the system with the requirements of the super-system. Thus, the formulated theoretical positions of the mechanisms for the formation of libraries of nodal objects make it possible to implement software mechanisms for storing individual parts of the system-object model in a special library-repository for further use.

Keywords: system-object approach "Node-Function-Object"; simulation modeling; element library; internal system parameters; UFO-element; node object; streaming object.

Ввиду бурного развития науки и техники, в современном мире, разработчики, проектировщики, инженеры все чаще прибегают к применению имитационного моделирования как метода исследования объектов и процессов окружающего мира. Причем следует отметить, что исследуемые объекты с каждым годом усложняются с точки зрения их структуры, поведения и управления такими объектами. И для исследования и управления такими сложными системами требуются соответствующие средства и методики. Одной из таких методик является – имитационное моделирование, благодаря которому имеются возможности построения специальных симуляторов – программно-аппаратных комплексов замещающих объект или процесс реального мира с достаточной степенью точности. Большинство современных программных средств, позволяющих строить имитационные модели, содержат встроенные библиотеки готовых компонентов модели, что позволяет существенно сократить и упростить процедуру разработки имитационной модели. Наличие библиотек готовых элементов модели позволяет строить имитационную модель – как конструктор - из готовых частей, что естественно проще для разработчика, чем программировать модель «с нуля».

Системно-объектный метод имитационного моделирования представляет собой современную технологию описания функционирующих систем, в основу которой положен системный подход «Узел-Функция-Объект». С целью формализации процедур имитационного моделирования процессов и систем авторами разработаны положения исчисления функциональных объектов [1,2], в рамках которого системно-объектная модель представляется как:

$$M=(L,S), \quad (1)$$

где: M – модель системы;

L – множество потоковых объектов модели, элементы которого представляют собою объект, которые не имеет методов и имеет лишь поля (2):

$$l=[r_1, r_2, \dots, r_k], \quad (2)$$

где:

$$l \in L;$$

k – количество полей потокового объекта l ;

$r_1, r_2, \dots, r_k$ – поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение».

S – множество узловых объектов модели, элементы которого описываются следующей формой (3):

$$s=[U, f, O], \quad (3)$$

где:

U – представляет собою множество полей для описания интерфейсных потоковых объектов узлового объекта s .

f – представляет собою метод узлового объекта s , описывающий функцию преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы) $L?$ в выходящие - $L!$.

О - представляет собою множество полей для описания объектных характеристик узлового объекта (системы) s.

Причем, узловые объекты модели М представляют собой ключевые элементы модели, а множество потоковых объектов – определяет отношения между узловыми объектами модели [3, 4].

Библиотека готовых элементов системно-объектной модели в таком случае будет иметь вид (1), причем $|L|=0$. То есть, модель-библиотека будет иметь лишь узловые объекты, и не будет иметь в своем составе потоковые объекты [5]. Тогда библиотеку системно-объектной модели можно рассматривать как множество узловых объектов следующего вида:

$$S'=[s_1, s_2, \dots, s_n], \quad (4)$$

где n – количество узловых объектов, хранящихся в библиотеке.

Рассмотрим подробнее элемент библиотеки, а точнее его формальную сторону [6, 7]. Как было отмечено выше, элемент библиотеки будет представлять собой отдельную смоделированную систему. В рамках исчисления функциональных объектов систему, описанную выражением (3), будем представлять в виде следующего выражения:

$$s_n=[L?, L!; f(L?)L!; O?, O!, Of] \quad (5)$$

Графический формализм, представляющий собою элемент библиотеки, представим в следующем виде:

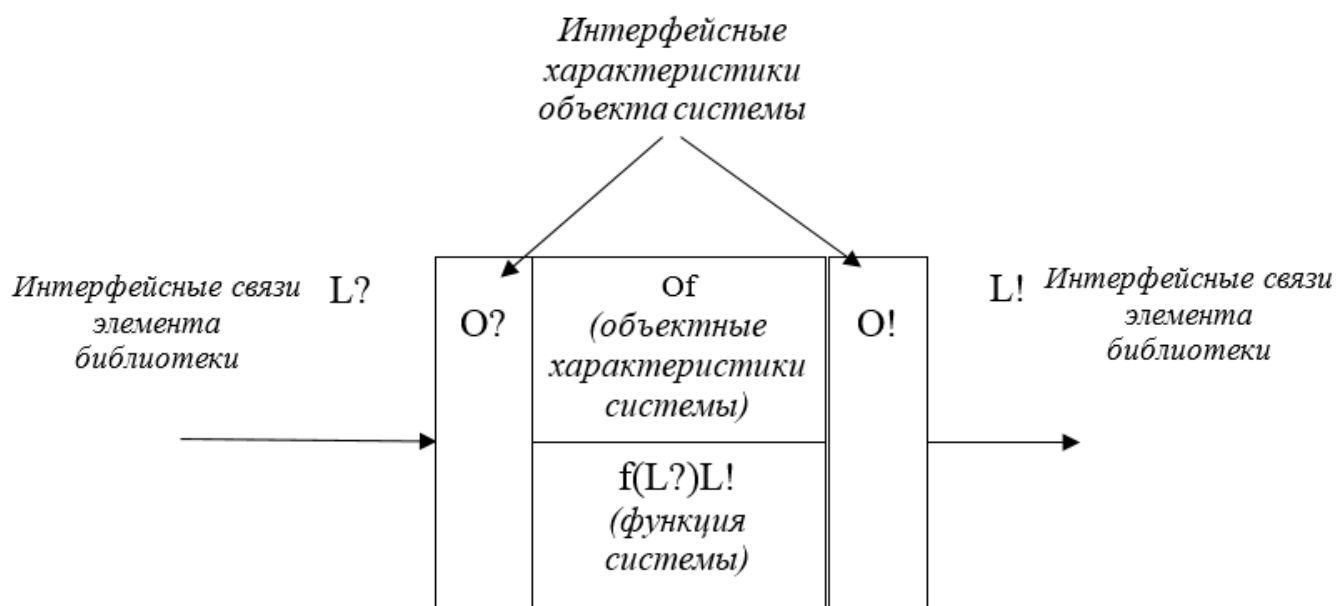


Рис. 1. Графический формализм элемента библиотеки
Fig. 1. Graphical formalism of the library element

Как видно из рисунка 1, каждый элемент библиотеки представляет собой УФО-элемент с соответствующими интерфейсными связями, по которым и проводится анализ на соответствие текущего элемента заданным характеристикам. Соответственно, библиотека элементов будет представлять собою набор узловых объектов, не связанных между собой [8].

Рассмотрим абстрактную библиотеку S_M состоящую из следующих элементов, как показано на рисунке 2.

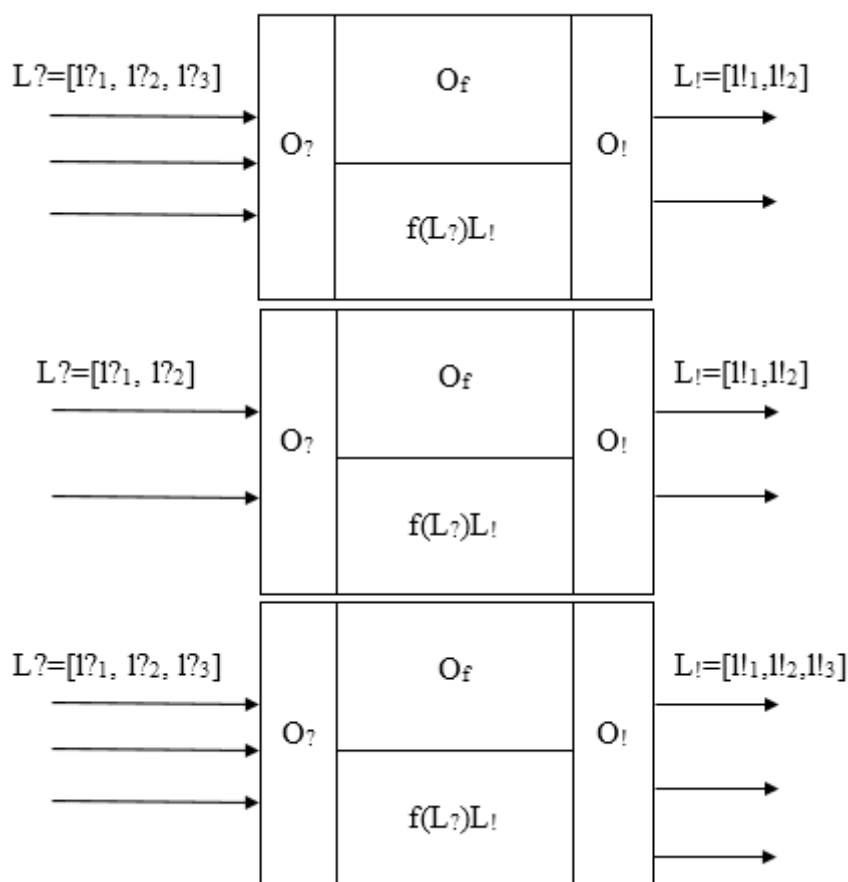


Рис. 2. Графический формализм абстрактной библиотеки узловых объектов
Fig. 2. Graphical formalism of the abstract library of nodal objects

Очевидно, что для пополнения библиотеки и ее дальнейшего использования, необходимо рассмотреть как минимум две операции на системно-объектных моделях: добавление узлового объекта в библиотеку – экспорт элемента и импорт узлового объекта из библиотеки [9]. Для описания данных операций, исчерпывающим набором параметров являются интерфейсы импортируемых и экспортируемых узловых объектов. Внутренняя организация таких объектов (функция и объект системы) для рассматриваемых операций не имеет значения. Из рисунка 2 видно, что для каждого отдельного узлового объекта интерфейсом является его идентификатор, то есть имя и наборы входных и выходных потоковых объектов с учетом их структур и типов полей. Рассмотрим в качестве примера узловой объект со структурой интерфейсных связей, как показано на рисунке 2 – первый элемент. Формальный вид данного узлового объекта представлен ниже:

$$s_n = [L? = \{l?_1, l?_2, l?_3\}, L! = \{l!_1, l!_2\}; f(L?)L!; O?, O!, O_f] \quad (6)$$

Тогда, интерфейс узлового объекта соответствует структурной характеристике системы U из выражения 3, что соответствует основным положениям методологии «Узел-Функция-Объект». Однако, помимо структурной составляющей интерфейса узлового объекта, в случае импорта и экспорта элементов, важную роль имеет типовая структура интерфейсных потоковых объектов, т.е. необходимо учитывать типы данных полей потоковых объектов, составляющих интерфейсную часть узлового объекта [10]. Таким образом, если в узловом объекте, описанном в выражении 5, интерфейсные потоковые объекты имеют следующую структуру:

- $l?_1=(r_1, r_2)$
- $l?_2=(r_1)$
- $l?_3=(r_1)$
- $l!_1=(r_1, r_2, r_3)$
- $l!_2=(r_1, r_2)$,

тогда интерфейс узлового объекта запишем в следующем виде:

$$U_s = \begin{cases} L? = \begin{cases} l?_1 = (r_1, r_2) \\ l?_2 = (r_1) \\ l?_3 = (r_1) \end{cases} \\ L! = \begin{cases} l!_1 = (r_1, r_2, r_3) \\ l!_2 = (r_1, r_2) \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

В общем виде выражение 7 можно записать следующим образом:

$$U_s = \begin{cases} L? = \begin{cases} l?_1 = (r_1, \dots, r_{i_1}) \\ \dots \\ l?_n = (r_1, \dots, r_{i_n}) \end{cases} \\ L! = \begin{cases} l!_1 = (r_1, \dots, r_{j_1}) \\ \dots \\ l!_m = (r_1, \dots, r_{j_m}) \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

Рассмотрим подробнее операцию импорта узлового объекта s из системно-объектной модели M в библиотеку S . Пусть дана иерархия потоковых объектов модели, содержащая три вещественных потоковых объекта со своими полями следующего вида:

$$L_M = [l_1^v = \{r_1^1, r_2^1\}, l_2^v = \{r_1^2, r_2^2, r_3^2\}, l_3^v = \{r_1^3\}] \quad (9)$$

Множество потоковых объектов модели, описанное выражением 9, имеет следующий вид:

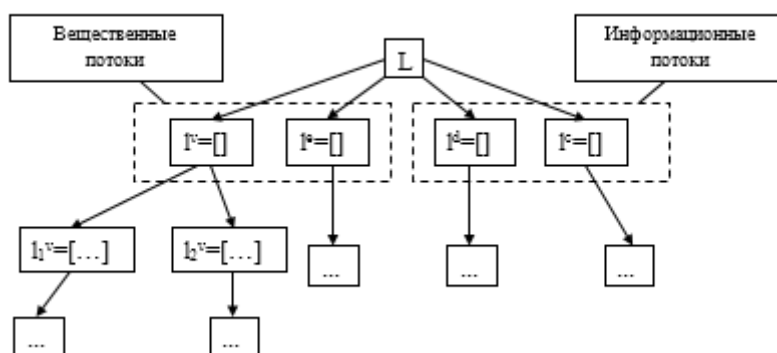


Рис. 3. Множество потоковых объектов системы в виде иерархии

Fig. 3. Set of stream objects of the system in the form of hierarchy

Также пусть дана соответствующая системно-объектная модель $M=(L,S)$, причем множество узловых объектов имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} S &= [s_1=(L?=\emptyset, L!={l!_1}); f(L?)L!; O?, O!, Of), \\ s_2 &= (L?={l?_1, l?_3}, L!={l!_2}); f(L?)L!; O?, O!, Of), \\ s_3 &= (L?={l?_2}, L!={l!_3}); f(L?)L!; O?, O!, Of) \end{aligned} \quad (10)$$

Множество потоковых объектов имеет следующий вид:

$$L=[l_1=\{s_1,s_2\}, l_2=\{s_2,s_3\}, l_3=\{s_3,s_2\}] \quad (11)$$

Графически пример описанный выражениями 9,10 и 11 имеет следующий вид:

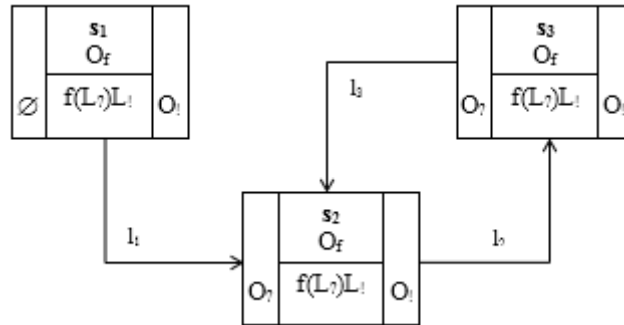


Рис. 4. Пример системно-объектной модели

Fig. 4. An example of a system-object model

Тогда, для импорта узлового объекта s_2 системно-объектной модели M в библиотеку L_M опишем оператор в следующем формате:

$L_M^* = \text{import}(M, s_2, L_M) \rightarrow (L^* = \emptyset; S^* = [s_1 = (L^? = \emptyset, L^! = \{l_1\}; f(L^?)L^!; O^?, O^!, O^f), s_3 = (L^? = \{l_2\}, L^! = \{l_3\}; f(L^?)L^!; O^?, O^!, O^f)];$
 $L_M^* = [s_2 = (L^? = \{l_1, l_3\}, L^! = \{l_2\}; f(L^?)L^!; O^?, O^!, O^f)]$.

Результатом данной операции является библиотека L_M^* , пополненная узловым объектом s_2 и системно-объектная модель $M^*(\emptyset, S^*)$ следующего вида:



Рис. 5. Результат импорта узлового объекта в библиотеку

Fig. 5. Result of importing a node object to the library

Как было отмечено выше, для работы с узловым объектом, помещаемым в библиотеку, необходимо также учитывать его интерфейс. Для рассматриваемого примера, интерфейс объекта s_2 примет следующий вид:

$$U_{s_2} = \begin{cases} L^? = \begin{cases} l_1^? = (r_1^1, r_2^1) \\ l_3^? = (r_1^3) \end{cases} \\ L^! = \{l_2^! = (r_1^2, r_2^2, r_3^2)\} \end{cases} \quad (12)$$

Следует отметить, что описанная операция импорта узлового объекта в примере предполагает извлечение вышеупомянутого элемента из модели в библиотеку, однако же, в процессе моделирования пользователь может сохранить узловой объект в библиотеку путем копирования, то есть без удаления первого из исходной модели и освобождения соответствующих потоковых объектов. В таком случае исходная модель из которой экспортируется элемент в библиотеку остается в неизменном виде, как показано на рисунке 4.

Далее рассмотрим операцию экспорта узлового объекта s_2 из библиотеки L_M^* в системно-объектную модель $M^*(\emptyset, S^*)$. Сформулируем описание оператора экспорта в следующем виде:

$M^* = \text{export}(M, s_2, L_M^*) \rightarrow (L^* = \emptyset; S^* = [s_1 = (L^* = \emptyset, L! = \{l_1\}); f(L?)L!; O?, O!, Of), s_2 = (L^* = \{l_1, l_3\}, L! = \{l_2\}); f(L?)L!; O?, O!, Of), s_3 = (L^* = \{l_2\}, L! = \{l_3\}); f(L?)L!; O?, O!, Of]; L_M^* = [s_2 = (L^* = \{l_1, l_3\}, L! = \{l_2\}); f(L?)L!; O?, O!, Of]).$

Как видно из описания операции экспорта, соответствующий узловой объект был добавлен в модель, однако его необходимо соединить с существующими узловыми объектами модель. Для этого применим операцию соединения двух узловых объектов, описанных в работе [2]. Тогда получим модель в исходном виде, как представлено в выражении 10,11.

Для подбора элементов из библиотеки имеется возможность анализировать специальный количественный показатель «мера системности».

Для описания алгоритма расчета меры системности для узлового объекта с одним входом и одним выходом, как представлено на рисунке 1, введем следующие обозначения: FRFSs – (область) множество требуемых функциональных состояний узлового объекта [2] и FPSs – (область) множество возможных функциональных состояний [2]. Причем элементы данных множеств имеют вид:

$$a_s = [A^1, A^2], \quad (13)$$

где:

A^1 – состояние входного потокового объекта l_1 ;

A^2 – состояние исходящего потокового объекта l_2 .

Переменная MOS – представляет собой искомый коэффициент соответствия области возможных состояний и области требуемых состояний. Алгоритм расчета меры системности будет представлять собою поочередное сравнение элементов множества FRFSs с элементами множества FPSs.

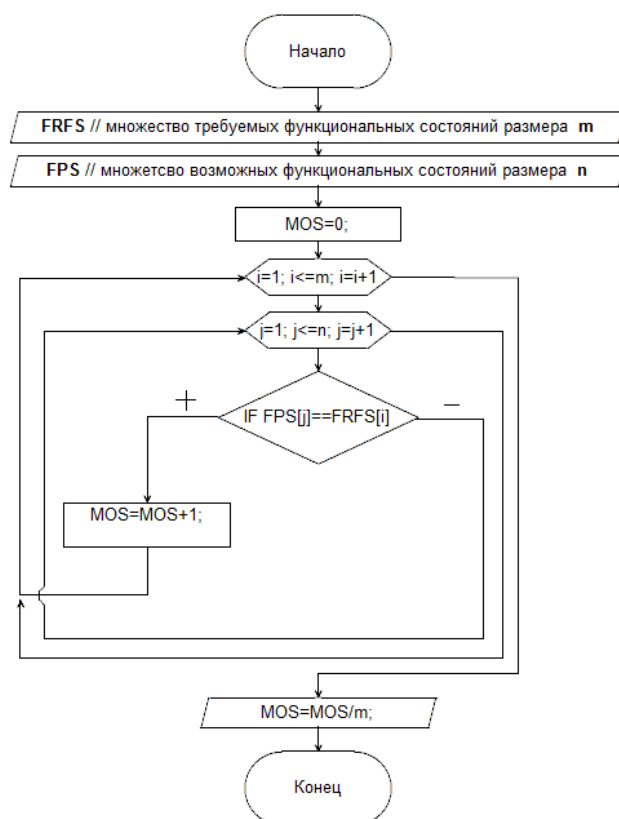


Рис. 6. Алгоритм расчета меры системности узлового объекта

Fig. 6. The algorithm for calculating the measure of the systemic nodal object

Как видно из рисунка 6, элемент из множества требуемых состояний поочередно сравнивается с элементами множества возможных состояний. Если идентичное состояние найдено, тогда переменная MOS увеличивается на единицу и далее осуществляется переход к новому требуемому состоянию, так как далее сравнивать текущее требуемое состояние не имеет смысла, оно уже найдено. По истечении работы внешнего цикла, в переменной MOS будет содержаться количество найденных требуемых функциональных состояний из множества возможных, после чего поделив данное количество на общее количество требуемых состояний, получим значение коэффициента системности в промежутке от нуля до единицы, причем, чем ближе коэффициент к единице, тем система более соответствует запросу надсистемы. Данный алгоритм будет работать для всех видов узловых объектов, главная проблема будет состоять в адекватном формировании множества требуемых функциональных состояний узлового объекта.

Как видно из описания алгоритма, представленную числовую характеристику системы можно использовать для экспорта элементов библиотеки в модель и определения наиболее подходящего.

Таким образом, рассмотренные теоретические положения процедур формирования библиотек узловых объектов, позволяю разработать программную подсистему для реализации вышеупомянутых процессов. Это, в свою очередь, позволит в процессе системно-объектного имитационного моделирования использовать ранее смоделированные системы в текущем проекте, что существенно ускорит процесс разработки системно-объектной имитационной модели. В перспективе, планируется программная реализация описанных выше процедур и создание библиотек готовых узловых объектов в различных предметных областях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 18-07-00355, 16-07-00193 и 16-07-00460.

Список литературы

1. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Kuznetsov, A.V., Zherebtsov, S.V., Tchekanov, N.A. To The Problem of the Coefficient Calculus of the Nodal Object in the System-Object Models // Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 10, 10-Special Issue, 2018. – P. 1813-1817.
2. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing 679, 2018, p. 182-191.
3. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev and O.A. Zimovets Object Calculus in the System–Object Method of Knowledge Representation // Scientific and Technical Information Processing, Vol. 45, No. 5, pp. 1–10, 2018.
4. С.И. Маторин, А.Г. Жихарев Учет закономерностей при системно-объектном моделировании организационных знаний // Искусственный интеллект и принятие решений, № 03 - 2018, с. 57-68.
5. С.И. Маторин, А. Г. Жихарев Формализация системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» // Прикладная информатика, том. 13, № 3(75), с. 124-135, 2018 г.
6. Егоров И.А., Жихарев А.Г., Маторин С.И. К вопросу оптимизации системно-объектных имитационных моделей // Тезисы XIX Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, г. Кемерово, 29 октября-02 ноября 2018 г, с. 61-62.
7. Егоров И.А., Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцев А.Н. Решение задач оптимизации в системно-объектных моделях // Научный результат. Информационные технологии, т. 3, № 2, с. 35-43, 2018 г.
8. С.И. Маторин, А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец Обоснование взаимосвязей общесистемных принципов и закономерностей с позиции системно-объектного подхода // Труды Института системного анализа Российской академии наук. - 2017. - №3. - Том 67.
9. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Kuprieva, I.A., Kulumbaev, E.B., Smirnova, S.B. The language of the description of the functional objects // Journal of Engineering and Applied Sciences 2017, 12 (Special issue 6), p. 7859-7864.
10. А.Г. Жихарев, И.А. Егоров, М.Ю. Манзулянич, С.И. Маторин Системно-объектное имитационное моделирование систем массового обслуживания // Сетевой журнал «Научный результат», серия «Информационные технологии», - Вып. № 4(4), 2016 г.

References

1. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Kuznetsov, A.V., Zherebtsov, S.V., Tchekanov, N.A. To The Problem of the Coefficient Calculus of the Nodal Object in the System-Object Models // Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 10, 10-Special Issue, 2018. – P. 1813-1817.
2. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing 679, 2018, p. 182-191.
3. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev and O.A. Zimovets Object Calculus in the System-Object Method of Knowledge Representation // Scientific and Technical Information Processing, Vol. 45, No. 5, pp. 1–10, 2018.
4. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev Uchet zakonomernostej pri sistemno-ob"ektnom modelirovanii organizacionnyh znanij // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij, № 03 / 2018, s. 57-68.
5. S. I. Matorin, A. G. Zhikharev Formalizaciya sistemno-ob"ektnogo podhoda «Uzel-Funkciya-Ob"ekt» // Prikladnaya informatika, tom. 13, № 3(75), str. 124-135, 2018 g.
6. Egorov I.A., Zhikharev A.G., Matorin S.I. K voprosu optimizacii sistemno-ob"ektnyh imitacionnyh modelej // Tezisy XIX Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh po matematicheskomu modelirovaniyu i informacionnym tekhnologiyam, g. Kemerovo, 29 oktyabrya-02 noyabrya 2018 g, str. 61-62.
7. Egorov I.A., Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zajcev A.N. Reshenie zadach optimizacii v sistemno-ob"ektnyh modelyah // Nauchnyj rezul'tat. Informacionnye tekhnologii, t. 3, № 2, str. 35-43, 2018 g.
8. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev, O.A. Zimovec Obosnovanie vzaimosvyazej obshchesistemnyh principov i zakonomernostej s pozicii sistemno-ob"ektnogo podhoda // Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk. - 2017. - №3. - Tom 67.
9. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Kuprieva, I.A., Kulumbaev, E.B., Smirnova, S.B. The language of the description of the functional objects // Journal of Engineering and Applied Sciences 2017, 12 (Special issue 6), p. 7859-7864.
10. A.G. Zhikharev, I.A. Egorov, M.YU. Manzulanich, S.I. Matorin Sistemno-ob"ektnoe imitacionnoe modelirovanie sistem massovogo obsluzhivaniya // Setevoj zhurnal «Nauchnyj rezul'tat», seriya «Informacionnye tekhnologii», - Vyp. № 4(4), 2016 g.

Бузов Андрей Анатольевич, аспирант

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем

Buzov Andrey Anatolyevich, graduate student

Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information and Robotic Systems

Matorin Sergey Igorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Information and Robotic Systems

УДК 621.316.824

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-6

Смирнов А.В.¹
Басов О.О.²

**МЕТОДИКА ВЫБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ**

¹ Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрены варианты построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи. С использованием метода аналитической иерархии обоснована целесообразность использования для его реализации: контактных реле – для имитации обрыва, переменных резисторов с сервоприводами – для имитации асимметрии жил, многопозиционных переключателей с шаговыми двигателями – для внесения неисправностей “нарушение изоляции между двумя жилами разных пар” и “нарушение изоляции по отношению к заземлению”. Оптимальный выбор осуществлён по пяти наиболее часто применяемым критериям: стоимость, массогабаритные показатели, оперативность (скорость имитации неисправностей), энергопотребление при внесенных неисправностях и универсальность применения.

Ключевые слова: метод аналитической иерархии, ручная коммутация, автоматическая коммутация, повреждение изоляции, короткое замыкание, асимметрия сопротивления.

UDC 621.316.824

Smirnov A.V.¹
Basov O.O.²

**TECHNIQUE SELECTION TECHNIQUE FOR IMPLEMENTING
THE DEVICE INTENDED FOR CAUSING FAULT
IN THE ELECTRICAL COMMUNICATION CABLE**

¹ Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostrleitnaya St, Orel, 302034, Russia

² Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract

The paper discusses the options for building a device for making failures in the electrical communication cable. Using the analytical hierarchy method, it is reasonable to use for its implementation: contact relays - to simulate a break, variable resistors with servo drives - to simulate the asymmetry of the wires, multi-position switches with stepper motors - to introduce faults “insulation failure between two wires of different pairs” and “violation insulation to earth ground”. The optimal choice was made according to the five most frequently used criteria: cost, weight and dimensions, efficiency (speed of fault simulation), power consumption in case of faults and versatility of use.

Keywords: analytical hierarchy method, manual switching, automatic switching, insulation damage, short circuit, resistance asymmetry.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных вопросов, решаемых в ходе проектирования различных устройств, является выбор способа их реализации, удовлетворяющего предъявляемым требованиям.

В качестве показателей для выбора способа реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи могут использоваться:

- техническая характеристика (характеристики), наиболее важная для конкретной области применения устройств внесения неисправностей (число имитируемых неисправностей, оперативность их внесения, поддерживаемые типы электрического кабеля связи и т. п.) [10];
- надежность;
- массогабаритные характеристики устройства;
- соответствие специфическим требованиям заказчика (наличие сертификатов, опыт применения в других областях, особенности программного обеспечения и т. п.);
- перспективы выпуска серии устройств, совместимость с другим телекоммуникационным оборудованием;
- стабильность технической поддержки производителя;
- наличие максимально полной технической документации;
- стоимостные характеристики и др.

Следует отметить, что для различных условий применения степень важности каждого из указанных показателей различна. Например, для применения проектируемого устройства внесения неисправностей в специализированных телекоммуникационных сетях наиболее важными являются показатели, характеризующие их надежность и безопасность; при решении учебных задач, в том числе в условиях, близких к реальным, наиболее важной является оперативность внесения неисправностей; при ограниченных финансовых возможностях наиболее важными являются стоимостные показатели и т.п. [9]

По результатам проведенной оценки по выбранным показателям может быть выбрано небольшое число (три–пять) способов внесения неисправностей в электрический кабель связи, которые наиболее соответствуют всем предъявляемым тактико-техническим требованиям и сопоставимы друг с другом по эксплуатационным показателям. Из этих оставшихся вариантов необходимо выбрать наиболее приемлемый с точки зрения технических и эксплуатационных показателей вариант для данной применения. При этом, как правило, невозможно найти вариант реализации (оборудование, компонентную базу), который являлся бы лучшим по всем приведенным выше показателям.

В частности, отдельные типы компонентной базы, обладающие наиболее высокой производительностью или надежностью, уступают по другим характеристикам; оборудование, лучшее по количеству поддерживаемых типов электрического кабеля связи, является более дорогим и т. п. Эти противоречия отражают типичный характер вариантов многокритериальных решений.

Для проведения сравнительной оценки и выбора лучшего варианта предлагается использовать один из методов оценки многокритериальных альтернатив – метод аналитической иерархии. Указанный метод достаточно широко используется как средство сравнения и выбора для небольшого числа заданных альтернатив. Он позволяет применить математические методы для обработки неизбежно субъективных предпочтений экспертов в задачах принятия решений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Выбор варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи

С учетом изложенного выше предлагается методика выбора варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи, включающая следующие этапы [2]:

- 1) выбор из всего множества технических средств данного назначения образцов, наиболее удовлетворяющих требованиям;
- 2) для отобранной группы технических средств реализации устройства с применением метода аналитической иерархии:
 - а) проводится структуризация задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цель–критерии–альтернативы (рис. 1);
 - б) выполняются попарные сравнения элементов каждого уровня. Результаты сравнений переводятся в числа с помощью таблицы 1.

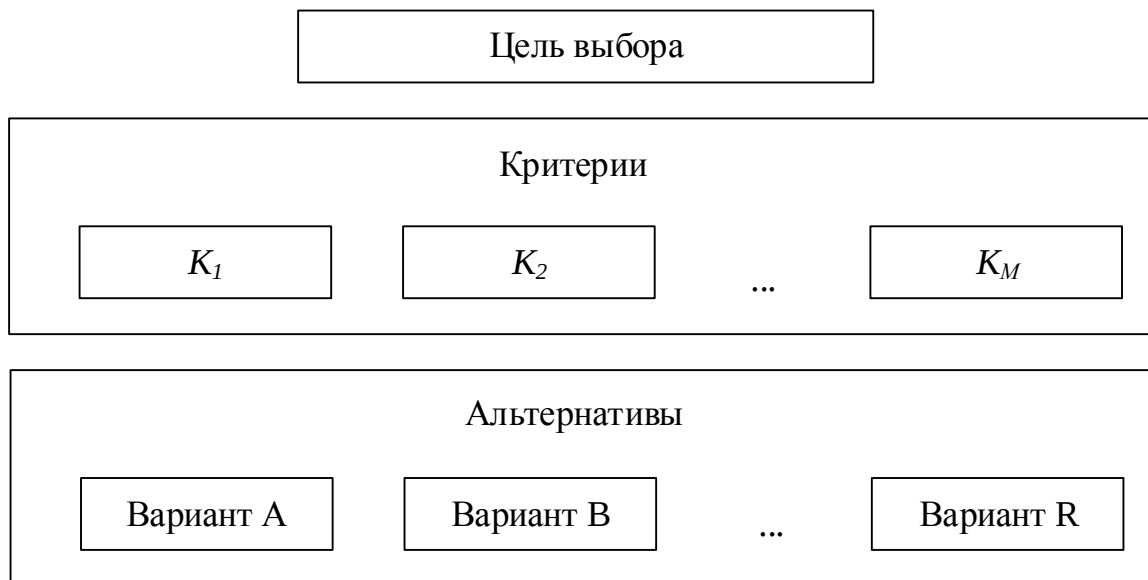


Рис. 1. Иерархическая схема проблемы выбора технических средств
Fig. 1. The hierarchical scheme of the problem of choosing hardware

Шкала относительной важности

Таблица 1

Table 1

Scale of relative importance	
Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Сильное превосходство	5
Значительно большее превосходство	7
Очень большое превосходство	9

- в) вычисляются веса критериев ω_i и коэффициенты важности для элементов каждого уровня V_{ij} :

$$\omega_i = \frac{W_i}{\sum_{i=0}^N W_i},$$

где W_i – собственный вектор, определяемый как корень n -й степени (n – размерность матрицы) из произведений элементов каждой строки матрицы сравнений для критериев; N – число критериев;

$$V_{ij} = \frac{W_i}{\sum_{j=0}^M W_{ij}},$$

где W_{ij} – собственный вектор матрицы сравнений альтернатив по i -му критерию; M – число альтернатив;

г) подсчитывается количественный показатель качества V_j каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива:

$$V_{ij} = \sum_{i=0}^N \omega_i V_{ij},$$

где V_j – показатель качества j -й альтернативы; ω_i – вес i -го критерия; V_{ij} – коэффициент важности j -й альтернативы по i -му критерию.

Ниже рассмотрим эти этапы применительно к решаемой задаче.

Для реализации выбора варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи рассмотрено четыре альтернативных варианта [2]:

1) ручная коммутация неисправностей (имитация короткого замыкания, обрыва цепи, подключения резисторов, изменяющих сопротивление изоляции) в схеме устройства (альтернатива 1);

2) автоматическая коммутация неисправностей с помощью набора контактных реле (альтернатива 2);

3) автоматическая коммутация неисправностей на основе аналоговых ключей (альтернатива 3);

4) имитация обрыва с помощью контактных реле, асимметрии жил с помощью переменных резисторов с сервоприводами, неисправностей “нарушение изоляции между двумя жилами разных пар” и “нарушение изоляции по отношению к заземлению” с помощью многопозиционных переключателей с шаговыми двигателями (альтернатива 4).

Анализ технических характеристик указанных альтернативных вариантов показывает, что каждый из них по отдельным показателям превосходит другие варианты, а по отдельным уступает им. В частности, альтернатива 1 обладает более высокой надежностью, для альтернативы 2 характерна наибольшая по сравнению с аналогами оперативность, альтернатива 3 обладает наименьшими массогабаритными показателями.

Предположим, что выбор средств реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи производится по пяти наиболее часто применяемым критериям: стоимость (критерий 1), массогабаритные показатели (критерий 2), оперативность (скорость имитации неисправностей) (критерий 3), энергопотребление при внесенных неисправностях (критерий 4) и универсальность применения (критерий 5). Матрица сравнений для критериев представлена в таблице 2. Шкала относительной важности критериев соответствует представленной в таблице 1.

Матрицы сравнений альтернатив по каждому из критериев приведены в таблицах 3–7.

Таблица 2

Матрица сравнений для критериев

Table 2

Scale of relative importance

Критерии	1	2	3	4	5	Собственный вектор	Вес критерия
1	1	3	1	7	1	1,8384	0,1521
2	1/3	1	1/5	1/3	1	0,4670	0,5761
3	1	5	1	1/3	1/3	0,8891	0,0736
4	1/7	3	3	1	1/3	0,8441	0,0698
5	1	1	3	3	1	1,5518	0,1284

Таблица 3

Матрица сравнений альтернатив по критерию “стоимость”

Table 3

Matrix of comparisons of alternatives by “the criterion of cost”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	9	7	5	3,1598	0,5860
2	1/9	1	5	1/3	0,7137	0,1324
3	1/7	1/5	1	1/3	0,3942	0,0731
4	1/5	3	3	1	1,1247	0,2086

Таблица 4

Матрица сравнений альтернатив по критерию “массогабаритные показатели”

Table 4

Matrix of comparisons of alternatives according to the criterion of “weight and dimensions”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	7	7	5	3,0049	0,5697
2	1/7	1	5	1/3	0,7505	0,1423
3	1/7	1/5	1	1/3	0,3942	0,0747
4	1/5	3	3	1	1,1247	0,2132

Таблица 5

Матрица сравнений альтернатив по критерию “оперативность”

Table 5

Matrix of comparisons of alternatives by the criterion of “efficiency”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	1/9	1/9	1/9	0,2676	0,0521
2	9	1	1	3	1,9332	0,3765
3	9	1	1	3	1,9332	0,3765
4	9	1/3	1/3	1	1	0,1948

Таблица 6

Матрица сравнений альтернатив по критерию “энергопотребление при внесенных неисправностях”

Table 6

Matrix of comparisons of alternatives according to the criterion “energy consumption in case of faults”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	9	9	9	3,7372	0,6308
2	1/9	1	1/7	1/5	0,3165	0,0534
3	1/9	7	1	1/3	0,7634	0,1289
4	1/9	5	3	1	1,1076	0,1869

Таблица 7

Матрица сравнений альтернатив по критерию “универсальность применения”

Table 7

Matrix of comparisons of alternatives according to the criterion “universality of application”

Альтернатива	1	2	3	4	Собственный вектор	Коэффициент важности
1	1	9	9	5	3,3227	0,5892
2	1/9	1	7	1	0,9510	0,1686
3	1/9	1/7	1	1/7	0,2959	0,0525
4	1/5	1	7	1	1,0696	0,1897

На основе этих таблиц могут быть рассчитаны показатели качества каждой из альтернатив. Проведенные вычисления позволяют определить:

$$V_1 = 0,1521 \cdot 0,5860 + 0,5761 \cdot 0,5697 + 0,0521 \cdot 0,0521 + 0,0698 \cdot 0,6308 + 0,1284 \cdot 0,5892 = 0,5409;$$

$$V_2 = 0,1521 \cdot 0,1324 + 0,5761 \cdot 0,1423 + 0,0521 \cdot 0,3765 + 0,0698 \cdot 0,0534 + 0,1284 \cdot 0,1686 = 0,1552;$$

$$V_3 = 0,1521 \cdot 0,0731 + 0,5761 \cdot 0,0747 + 0,0521 \cdot 0,3991 + 0,0698 \cdot 0,1289 + 0,1284 \cdot 0,0525 = 0,0976;$$

$$V_4 = 0,1521 \cdot 0,2086 + 0,5761 \cdot 0,2132 + 0,0521 \cdot 0,1948 + 0,0698 \cdot 0,1869 + 0,1284 \cdot 0,1897 = 0,2063.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выбора варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи было установлено следующее:

1. Наилучшим выбором является альтернатива 1 ($V_1 = 0,5409$), предусматривающая ручную коммутацию неисправностей. Однако её значительным недостатком является низкая оперативность (скорость внесения неисправностей), что вступает в противоречие с целью проектирования, в связи с чем, при выборе варианта построения устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи следует рассматривать альтернативы 2–4, предусматривающие автоматизацию основного процесса.

2. Исходя из описанных условий, лучшей является альтернатива 4 ($V_4 = 0,5409 > V_2 > V_3$), следовательно, для реализации устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи целесообразно использовать: контактные реле – для имитации обрыва, переменные резисторы с сервоприводами – для имитации асимметрии жил, многопозиционные переключатели с шаговыми

двигателями – для внесения неисправностей “нарушение изоляции между двумя жилами разных пар” и “нарушение изоляции по отношению к заземлению”.

Список литературы

1. Алиев А.А., 2014. Кабельные изделия: справочник. – 3-е издание. – М.: ИП РадиоСофт. 224 с.
2. Андреев В.А., Портнов Э.Л., 2011. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком. 424 с.
3. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И., 2000. Основы теории цепей. – М.: Радио и связь. 587 с.
4. Ионов А.Д., Попов Б.В., 1990. Линии связи. – М.: Радио и связь. 82 с.
5. Ксенофонтов А.А., Портнов Э.Л., 2009. Направляющие системы электросвязи: задачник. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком. 267 с.
6. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г., 2005. Цифровые сети доступа. – М.: Натекс-Экотрендз. 288 с.
7. Хернтер М.Е., Multisim 7, 2006: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. – М.: Издательский дом ДМК Пресс. – 488 с.: ил.
8. Рекомендация МСЭ-Т L.19. Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL.
9. Смирнов А.В., Безручко В.В., Басов О.О. Прототип устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи // Научный результат. Информационные технологии. – Том 3, №3, 2018. – С. 45-53.
10. Смирнов А.В., Басов О.О., Волощенко И.С., Кузнецов А.В. Имитационное и натурное моделирование устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи. – Том 3, №1, 2018. – С. 36-42.

References

1. Aliev A.A., 2014. Cable products: a guide. – 3rd edition. – M.: IP RadioSoft. 224 s.
2. Andreev V.A., Portnov, E.L., 2011. Guidelines for telecommunication: a textbook for universities. In 2 volumes. Volume 1 – Theory of Transmission and Influence. – 7th edition, revised and add. – M.: Hotline – Telecom. 424 s.
3. Bakalov V.P., Dmitrikov V.F., Kruk B.I., 2000. Fundamentals of the theory of chains. – M.: Radio and communication. 587 s.
4. Ionov A.D., Popov B.V., 1990. Communication lines. – M.: Radio and communication. 82 s.
5. Ksenofontov A.A., Portnov E.L., 2009. Telecommunication guide systems: a problem book. – 2nd ed., Stereotype. – M.: Hotline – Telecom. 267 s.
6. Parfenov Yu.A., Miroshnikov D.G., 2005. Digital Access Networks. – M.: Natex-Ecotrendz. 288 s.
7. Herniter M.E., Multisim 7, 2006: Modern system of computer simulation and analysis of electronic device circuits. – M.: Publishing House DMK Press. – 488 s., Ill.
8. ITU-T Recommendation L.19. Multi-pair copper network cables providing simultaneous operation of several services, such as POTS, ISDN and xDSL.
9. Smirnov A.V., Bezruchko V.V., Basov O.O. The prototype of the device for making faults in the electric communication cable // Scientific result. Information Technology. - Volume 3, No. 3, 2018. - s. 45-53.
10. Smirnov A.V., Basov O.O., Voloschenko I.S., Kuznetsov A.V. Simulation and full-scale simulation of the device for introducing faults in the electrical communication cable. - Volume 3, Number 1, 2018. - s. 36-42.

Смирнов Андрей Вячеславович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

Smirnov Andrey Vyacheslavovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 681.5.08

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-4-0-7

Ижболдина В.В.¹
Будков В.Ю.²
Денисов А.В.²

**АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОНЕЧНОСТИ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ
ДАТЧИКОВ**

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия

² Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии Наук,
лаборатория автономных робототехнических систем, 14 линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, Россия

e-mail: izhboldina.valeriia@gmail.com, budkov@iias.spb.su, sdenisov93@mail.ru

Аннотация

В данной работе представлено биотехническое устройство, предназначенное для регистрации и оценки физической нагрузки пациента, представляющее собой гантель, оснащенную платой с микропроцессором и инерциальными датчиками. Для восстановления траектории движения снаряда используются гироскоп и акселерометр. Траектория движения строится по координатам: углам поворота и перемещению. Перемещение вычисляется путем двойного интегрирования показаний акселерометра, углы поворота гантели определяются интегрированием угловой скорости вращения гироскопа. Данные, считанные с датчиков, поступают на плату с микропроцессором, где происходит их фильтрация и обработка. На основе обработанных данных строится траектория движения снаряда. Масса гантели составляет 0,50 кг, общая масса устройства 0,54 кг. Разработанное биотехническое устройство способно зарегистрировать патологии локтевого сустава верхнего плечевого пояса человека и производить оценку физических параметров пациента при травмах локтевого сустава.

Ключевые слова: «умные» спортивные снаряды; инерциальные датчики; анализ движений; фильтр Калмана; реабилитация.

UDC 681.5.08

Izhboldina V.V.¹
Budkov V.Yu.²
Denisov A.V.²

**ANALYSIS OF THE TRAJECTORY OF MOTION OF THE LIMBS BASED
ON DATA FROM MICROMECHANICAL SENSORS**

¹ Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67 Bolshaya Morskaya St., Saint-Petersburg, 190000, Russia

² Saint-Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,
39 14-th Linia VI, Saint-Petersburg, 199178, Russia

e-mail: izhboldina.valeriia@gmail.com, budkov@iias.spb.su, sdenisov93@mail.ru

Annotation

In this paper, a biotechnical device for recording and assessing a person's physical activity is presented, which is a dumbbell equipped with a microprocessor board and inertial sensors. To restore the trajectory of the projectile, a gyroscope and an accelerometer are used. The trajectory of the motion is based on the coordinates: the angles of rotation and displacement. The movement is calculated by double integration of the accelerometer readings, the angles of rotation of the dumbbell are determined by integrating the angular velocity of rotation of the gyroscope. The data read from the sensors is fed to the microprocessor board, where they are filtered and processed. Based on the processed data, the trajectory of the projectile's motion is constructed.

The weight of the dumbbell is 0.50 kg, the total mass of the device is 0.54 kg. The developed biotechnical device is able to detect the elbow joint pathology of the upper human shoulder girdle and to assess the physical parameters of the patient with injuries of the elbow joint.

Keywords: smart sports equipment; inertial sensors; motion analysis; Kalman filter; rehabilitation.

ВВЕДЕНИЕ

Спортивные снаряды для лечебной физкультуры все чаще применяются в медицинской практике для профилактики и лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата, а также в период медицинской реабилитации пациента. Анализировать информацию о физической нагрузке можно при помощи «умного» спортивного снаряда, который представляет собой традиционный спортивный снаряд, объединенный с электронными компонентами. «Умный» снаряд позволит повысить качество физической нагрузки спортсмена или пациента, проводить частичный мониторинг состояния человека, регистрируя показатели развития физических качеств, оперативно и грамотно регулировать нагрузку в течение занятия. Для удобства анализа и оценки данные, полученных в ходе выполнения упражнений, передаются на компьютер или специальное приложение на телефоне. Кроме того, измерительные приборы, встроенные в спортивный снаряд, а не закрепленные непосредственно на человеке, сохраняют необходимый компромисс между точностью измерений и эффективностью спортсмена или пациента, так как не создают дискомфорт при движении и не утяжеляют одежду. Вместе с тем, процесс крепления системы датчиков на теле человека может быть утомительным и занять много времени [Fuss, 2013].

Примером «умного» спортивного снаряда является «умная гантель», которая оснащена электронными и электромеханическими компонентами. Основная функция такого устройства – отслеживание корректной траектории движения при выполнении упражнений на определенную группу мышц. Кроме того, «умная» гантель может быть оборудована дисплеем для отображения данных, например, количества правильно выполненных упражнений, а также датчиками звука или вибрации для оповещения пользователя о нарушениях правильной траектории движения снаряда.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Обзор работ по созданию медицинских и спортивных биотехнических устройств

Биотехнические устройства имеют две основные области применения: медицина и спорт. Для медицинских целей используются системы мониторинга и диагностики походки и осанки, которые предназначены для оценки результатов хирургических операций, улучшения стабильности ходьбы и снижения нагрузки на суставы [Shull et al., 2014].

Авторы работы [Sun et al., 2014] предлагают систему для мониторинга походки пожилых людей, которая позволяет определять степень функциональной реабилитации. Устройство включает в себя бесконтактный сенсорный игровой контроллер Kinect, закрепленный на специальной колесной конструкции на уровне колен больного, и восьми меток, наклеенных на фронтальную поверхность нижних конечностей (по четыре на каждую). Колесная конструкция обеспечивает страховку при движении пациента и приводится в движение четырьмя шаговыми двигателями. Считывание данных о положении тела в пространстве происходит при помощи Kinect-контроллера, который включает в себя три камеры: цветную RGB, инфракрасную проекционную и КМОП инфракрасную. После полученные показания фильтруются фильтром Калмана.

Контроллер Kinect в совокупности с электромиографом также используется для имитации функций коленного сустава человека [Kundu et al., 2014]. Контроллер предназначен для определения угла сгиба колена пациента, а электромиограф регистрирует электрическую активность мышц. Данные, полученные от этих устройств, передаются на роботизированный экзоскелет нижних конечностей, который совершает движение в соответствии с намерениями пользователя. Разработанная система может быть использована для реабилитации пациентов

после инсульта, страдающих церебральным параличом и другими нервно-мышечными заболеваниями.

Однако использование инфракрасных камер требует дополнительной настройки, что препятствует их применению в мобильных системах. Устройства для анализа походки при помощи инерциальных датчиков не имеет данного недостатка и представлены в ряде исследований. В работе [Senanayake, Senanayake, 2009] авторами предлагается система для выявления аномалий походки, содержащая программное обеспечение и оборудование для получения характеристик походки. Элементарная база устройства состоит из стельки с четырьмя встроенными тензорезисторами с линейной обратной связью для определения давления, оказываемого стопой на активную поверхность, и двух инерциальных IMU-сенсоров (Inertial measurement unit — инерционное измерительное устройство) для нахождения углов сгиба коленного сустава при ходьбе. Один сенсор расположен на бедре, другой – на голени, а резисторы в области пятки, большого пальца стопы, первой и четвертой плюсневых костях. Тензорезисторы представляют собой полимерные пленки толщиной 0,5 мм, которые не создают дискомфорт при ходьбе. Их сопротивление снижается при силовом воздействии, что позволяет определить давление, оказываемое стопой.

Идея «умной» стельки описана также в статье [Wang et al., 2015]. Авторами статьи предлагается устройство над названием FreeWalker, которое состоит из восьми датчиков давления и двух датчиков движения, трехосевого акселерометра и трехосевого гироскопа. Основными достоинствами «умной» стельки FreeWalker являются низкая стоимость, возможность проводить анализ походки вне лаборатории и передавать данные на расстоянии до 20 м.

В статье [Jung et al., 2014] рассматривается аналогичное устройство. Подобно предыдущим разработкам система захвата движения основана на применении инерциальных датчиков и умной стельке. Пять IMU-датчиков, закрепленных на конечностях и на туловище человека, предназначены для определения ориентации сегментов тела в пространстве, а «умная» обувь позволяет обновлять точку отсчета.

Беспроводная система для анализа походки пациентов с нарушением баланса и предотвращения травм при падении, представленная в работе [Nukala et al., 2015], содержит трехосевой линейный акселерометр и гироскоп. Полученные данные по беспроводному каналу связи передаются на компьютер, где на их основе проводится статистический анализ. Тестирование устройства было проведено при двух вариантах его расположения: на задней части шеи и на спине в области четвертого грудного позвонка. Результаты исследования показали, что предпочтительным является крепление устройства на шее, так как при этом наблюдается большая изменчивость измеряемых параметров, чем в случае размещения системы датчиков на спине.

Инерциальные датчики также легли в основу системы обнаружения падения, работающей в режиме реального времени [Shibuya et al., 2015]. Устройство включает в себя трехосный акселерометр, два гироскопа и микроконтроллер. Тестирование устройства показало высокую эффективность выявления падений: 98,8% при креплении устройства на спине в области четвертого грудного позвонка и 98,7% при креплении на пояс.

Биотехнические устройства находят широкое применение в различных видах спорта: легкая атлетика, футбол, баскетбол, хоккей, плавание, велоспорт – и также основаны на технологии сочетания датчиков [Mendes et al., 2016]. В легкой атлетике система инерциальных датчиков, чаще всего включающая акселерометр, гироскоп, магнитометр, позволяет выявить причины различий в результативности двух спортсменов [Azcueta et al., 2014].

Портативное устройство SwimMaster, представленное в работе [Bächlin, Tröster, 2012], предназначено для контроля характеристик и техники плавания, а также обеспечения требуемой обратной связи. Элементарная база SwimMaster состоит из двух основных блоков: SwimRecorder для проведения измерений и записи полученных показаний и Swim-Feedback-System [Förster et al., 2009] для обеспечения обратной связи. SwimRecorder содержит в себе трехосевой акселерометр,

микроконтроллер, устройство флеш-памяти и перезаряжаемый аккумулятор, позволяющий системе автономно функционировать до 48 часов. Два датчика установлены на спине между лопатками и на уровне поясницы (SUBack, SLBack), другие два – зафиксированы на запястьях (SLWrist и SRWrist) как наручные часы. Swim-Feedback-System представлена устройствами визуальной (AVisual), тактильной (ATactile) и акустической (AAudio) обратной связи. Для повышения качества анализа физических параметров пловца портативное устройство может быть дополнено статичными системами мониторинга: камерой для высокоскоростной съемки и датчиками давления, встроенными в спортивную тумбу [Chakravorti et al., 2013].

Для реализации обратной связи в режиме реального времени при плавании может быть использован оптический беспроводной инфракрасный передатчик [Nagem et al., 2013]. После вычисления и анализа полученных характеристик ответный сигнал передается обратно спортсмену для активации светодиодов, встроенных в плавательные очки. По цвету индикатора пловец определяет правильность выполнения упражнений и корректирует свои действия. Зеленый свет показывает, что спортсмен достиг заданной скорости, если индикатор горит красным, необходимо увеличить скорость, пока не появится зеленый свет, синий цвет индикатора сигнализирует о необходимости снижения скорости.

Для повышения эффективности и сокращения травм в велоспорте авторами работы [Xu et al., 2015] была разработана система для определения профиля угла ноги, так как данный параметр непосредственно коррелирует с эффективностью езды на велосипеде. Акселерометр, закрепленный на обуви спортсмена, позволяет получить информацию о положении педали в пространстве относительно кривошипа. Каждый цикл вращения педали имеет две фазы: силовую, когда спортсмен толкает педаль (180° по часовой стрелке от центрального верхнего положения), и фазу восстановления, когда велосипедист расслабляется. Приложение силы в течение фазы восстановления свидетельствует о неэффективной езде.

В [Büthe et al., 2016] представлена портативная сенсорная система временного анализа для игры в теннис, которая состоит из трех IMU-сенсоров, закрепленных на ногах спортсмена и ракетке, и предназначена для улучшения координации движения игрока. Разработанное устройство позволяет классифицировать различные типы ударов и отображать перемещение ракетки и шаги спортсмена, что впоследствии поможет пользователю синхронизировать движения рук и ног. В совокупности с данными профессиональных спортсменов может быть разработано приложение, которое будет давать рекомендации в процессе тренировок без необходимости присутствия тренера. Кроме разработанных прототипов сенсорных устройств для анализа эффективности спортивных тренировок с ракеткой авторами работ [Shan et al., 2015; Sharma et al., 2017] используются коммерчески успешные спортивные гаджеты, которые позволяют детектировать фазы замаха ракеткой и определить ключевую точку дуги замаха для наиболее эффективного удара.

Помимо специализированных устройств для анализа эффективности спортсменов существуют также многофункциональные системы, предназначенные для анализа движения в целом. Сенсорная система для спорта и реабилитации ASSESSOR (Assistive Sensor System for Sports and Rehabilitation), представленная в работе [Azcueta et al., 2014], состоит из трех частей: IMU-сенсора для сбора данных о движении и ориентации человека в пространстве, камеры для высокоскоростной съемки (GoPro Hero3 Black Edition Action Camera) и Android-планшета с приложением ASSESSOR для записи, анализа и хранения данных. С одной стороны, приложение ASSESSOR предназначено для помощи тренеру или врачу в оценке физического состояния спортсмена или пациента, проходящего реабилитацию. Wi-Fi-соединение дает возможность делиться информацией в приложении, получать конструктивную критику от коллег-специалистов и проводить сравнительный анализ. С другой стороны, пациенты или спортсмены могут самостоятельно следить за прогрессом, что способствует дополнительной мотивации для дальнейших занятий.

Помимо повышения эффективности спортсмена и помощи в реабилитации пациентов, «умные» устройства помогают спортивным судьям принимать решения, например, в футболе. Системы автоматического определения используют технологию слияния датчиков могут быть реализованы двумя способами: при помощи трех камер, одновременно фиксирующих пересечение мячом линии ворот [Shan et al., 2014], и при помощи датчиков магнитного поля, установленный в трех стойках ворот [Psiuk et al., 2014]. Датчики реагируют на любое изменение магнитного поля за линией ворот и посылают сигнал посредством беспроводной связи судье. Основным достоинством данного подхода по сравнению с камерами является независимость точности обнаружения мяча от типа препятствий и возможность функционирования при полном заграждении датчика спортсменом во время игры. Подобные системы могут быть использованы и в других видах спорта, таких как хоккей, баскетбол, водное поло.

Рассмотрим основные коммерческие «умные» спортивные снаряды, которые на сегодняшний день доступны для покупки онлайн. В 2016 году на рынок фитнес-приложений успешно вышла «умная» гантель Helko. Устройство работает совместно с мобильным приложением и, по мнению разработчиков, способно мотивировать пользователя к занятиям спортом при помощи уведомлений, напоминающих о тренировках. В случае невыполнения упражнений устройство оставит соответствующую запись на странице пользователя в социальной сети. Снаряд представляет собой пластиковый корпус, внутри которого находится утяжелитель, датчики и Bluetooth-модуль, необходимый для передачи данных о тренировках на смартфон, где впоследствии формируется соответствующая статистика. Для индикации прогресса в развитии физических качеств используется светодиодная подсветка. Также с помощью синтезатора речи смартфона гантель может передавать пользователю звуковые сообщения.

Проект умной гантели GoTo Dumbbell был разработан в рамках направления IoT школы GoTo при поддержке компании Intel. Гантель представляет собой спортивный снаряд с дополнительными функциями персонального помощника-тренера, голосовым управлением, а также мобильным приложением для обучения и сбора статистики. В основе элементной базы умной гантели лежит плата Genuino 101 с модулем Intel Curie, на которой расположен акселерометр, гироскоп и модуль передачи данных Bluetooth. Для организации голосового канала обратной связи электронные компоненты платы дополнены системой воспроизведения звука.

При выполнении упражнения на сгибание-разгибание локтевого сустава траектория движения руки может отклоняться по причине неправильного выполнения упражнения, что, соответственно, влияет на снимаемые датчиками значения и может вызвать некорректное построение траектории на экране компьютера. В этом случае врач не способен верно оценить нагрузку. Восстановление траектории позволяет определить отклонение для внесения коррективов процесса реабилитации.

В последнее время в мире появился ряд комплексов для решения задач отслеживания траектории движения в лабораторных условиях. Большинство продуктов ориентированы главным образом на трекинг движений актера с целью последующего создания 3D-моделей с анимацией. В [Lochmatter et al., 2008] представлено гибкое программное обеспечение для одновременного визуального отслеживания объектов мультиагентной робототехнической системы. За каждым миниатюрным роботом (электронной шайбой) закрепляется камера и по установленному на роботе эллиптическому маркеру отслеживается его передвижение в пространстве. Полученный камерой снимок конвертируется в изображение в оттенках серого и далее при помощи сравнения с пороговым значением детектируются маркеры, что позволяет воссоздать траекторию движения каждого робота.

В работе [Yun et al., 2007] предложен метод автономного отслеживания перемещения человека при помощи инерциальных датчиков. Сенсорный модуль состоит из трех ортогонально расположенных гироскопов, трех линейных акселерометров и магнитометров, установленных аналогичным образом, и крепится на стопу. Сигнал фильтруется фильтром Калмана. Координаты

получают путем двойного интегрирования показаний акселерометра. Углы поворота вычисляются интегрированием угловых скоростей вращения гироскопа. Основной трудностью, с которой столкнулись авторы статьи, стало накопление ошибки в определении скорости при интегрировании ускорений. Решением проблемы корректировки данных стало обнуление скоростей в моменты покоя стопы.

Несмотря на обширный ряд работ в данной области, на данный момент, задачи, касающиеся восстановления траектории движения рук человека мало рассмотрены. На основе анализа публикаций можно сделать вывод, что наиболее эффективным и удобным для сбора информации для восстановления траектории движения являются инерциальные датчики. Далее рассмотрим разработанный подход к построению траектории движения, на основе разработанного биотехнического устройства.

Разработка биотехнического устройства

Предложенный спортивный снаряд не является полным замещением уже существующих тренажеров для реабилитации и представляет собой дополнение к уже имеющимся системам для более детального анализа состояния пациента. Реализацию устройства можно разделить на два этапа: разработка устройства для оценки физической пригодности спортсменов и разработка программного обеспечения (ПО), обеспечивающего проверку корректности траектории движения спортивного снаряда при выполнении упражнения на определенную группу мышц и отображение информации для анализа врачом-специалистом. К разработанному снаряду предъявлялось требование минимизации массогабаритных параметров, чтобы избежать в дальнейшем значительного влияния на момент инерции устройства, его аэродинамические свойства и, как следствие, эффективность выполнения спортивных упражнений. На рисунке 1 представлена структурная схема разработанного биотехнического устройства.



Рис. 1. Структурная схема биотехнического устройства
Fig. 1. Structural scheme of the biotechnical device

Структурная схема состоит из биотехнического устройства и его связи с пациентом и врачом. Разработанное биотехническое устройство включает в себя гантель весом 0,5 кг, печатную плату с микропроцессором, блоком питания и системой датчиков, считывающих положение снаряда в пространстве. Передача данных на компьютер осуществляется при помощи кабеля. Использование данного устройства позволит медицинским специалистам оценивать двигательные качества верхних конечностей пациента, выносить врачебное заключение и давать соответствующие рекомендации.

Система отслеживания движения гантели включает в себя плату Arduino Nano и IMU-сенсора. Схема подключения платы и сенсора биотехнического устройства показана на рисунке 2. Подключение осуществляется через выводы платы 5V, GND, A4 и A5 и сенсоры V, G, D и C с помощью проводов.

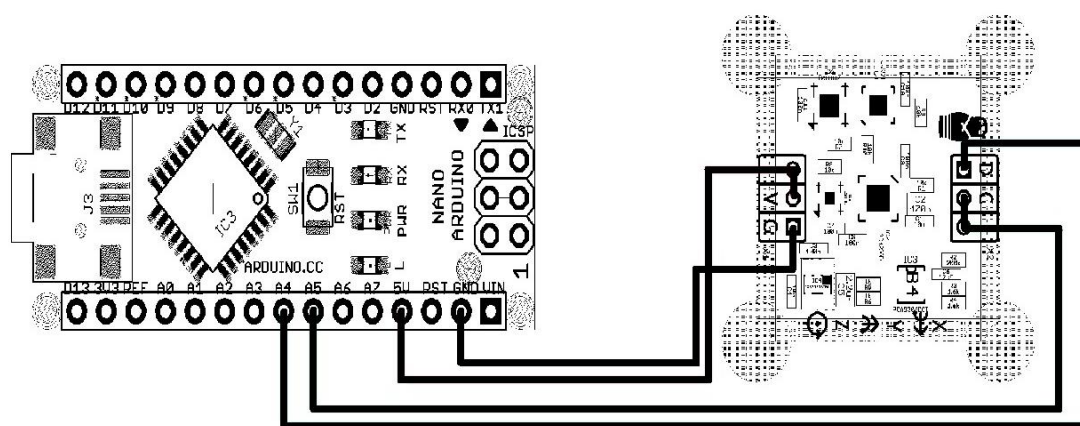


Рис. 2. Схема подключения платы Arduino Nano IMU-сенсора
Fig. 2. Connection scheme of the IMU-sensor Arduino Nano board

Ядром элементарной базы «умного» спортивного снаряда является IMU-сенсор, который позволяет определить положение устройства в пространстве. IMU-сенсор включает в себя: гироскоп, определяющий угловую скорость вокруг собственных осей X, Y, Z; акселерометр, считывающий величину ускорения свободного падения по осям X, Y, Z; компас для вычисления углов между собственными осями сенсора X, Y, Z и силовыми линиями магнитного поля Земли; барометр для определения атмосферного давления, высоты над уровнем моря и температуры. Построение траектории движения снаряда осуществляется по координатам: углу наклона и перемещению. Угол наклона гантели определяется интегрированием угловой скорости вращения снаряда, получаемой от гироскопа, а перемещение – при помощи двойного интегрирования ускорения, вычисляемого посредством акселерометра. На рисунке 3 представлена функциональная схема работы устройства.



Рис. 3. Функциональная схема устройства
Fig. 3. The functional scheme of the device

Выполнение упражнений лечебной физкультуры в процессе реабилитации с помощью «умной» гантели происходит следующим образом: пациент принимает исходное положение для выполнения упражнения, указанного врачом. Далее пациент выполняет это упражнение. Во время сгибания и разгибания микропроцессор начинает считывать значения с датчиков. Затем выполняется операция фильтрации полученных данных и вычисления. После обработки данные передаются на компьютер для построения графиков. Врач на экране компьютера видит полученные траектории движения снаряда при выполнении упражнения на сгибание-разгибание. Если в полученной траектории движения имеются отклонения или она сильно отличается от траектории движения снаряда у здорового человека, то врач дает пациенту рекомендации в целях быстрой реабилитации сустава. Если существенных отклонений не обнаружено, то процедура исследования завершается.

Фильтрация полученных данных

Так как данные, снимаемые с гироскопа и акселерометра сильно зашумлены, их необходимо подвергнуть фильтрации. В качестве алгоритма фильтрации был выбран фильтр Калмана в силу высокой эффективности его работы. Данный фильтр проявляется рекурсивным и использует зашумленные измерения, оперируя вектором состояния системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений [Kalman, 1960]. Оценка состояния системы в текущий момент времени основывается на оценке в предыдущий момент времени, а также на новых результатах измерения. Модель системы описывается следующим соотношением:

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k,$$

где F_k – матрица эволюции процесса/системы, которая воздействует на вектор x_{k-1} (в момент времени $k-1$); B_k – матрица управления, которая прикладывается к вектору управляющих воздействий; w_k – нормальный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей Q_k , который описывает случайный характер эволюции

системы/процесса. Алгоритм фильтрации состоит из двух повторяющихся фаз: предсказания и корректировки. На первом этапе рассчитывается предсказание состояния в следующий момент времени, на втором – новая информация с датчика корректирует предсказанное значение. Фильтрация данных является ресурсоемкой задачей для вычислительной системы, так как предполагает многошаговое рекуррентное определение математического ожидания квадрата ошибки, обусловленной погрешностью измерения.

Результаты тестирования биотехнического устройства

На рисунках 4 и 5 представлены результаты работы биотехнического устройства для регистрации и оценки физической нагрузки пациента. В качестве пациентов были выбраны два испытуемых: первый со здоровым локтевым суставом, второй с травмой сустава в виде сильного ушиба.

В таблице 1 показан пример вывода из COM-порта значений гироскопа по оси X в состоянии покоя. Такую процедуру вывода данных можно провести для всех значений, считываемых с датчиков, или только для определенных параметров.

Таблица 1

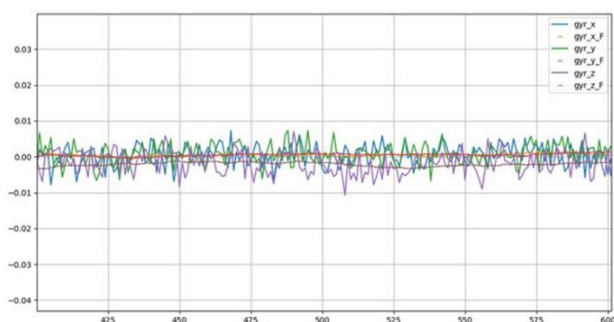
Пример вывода из COM-порта значений гироскопа по оси X в состоянии покоя

Table 1

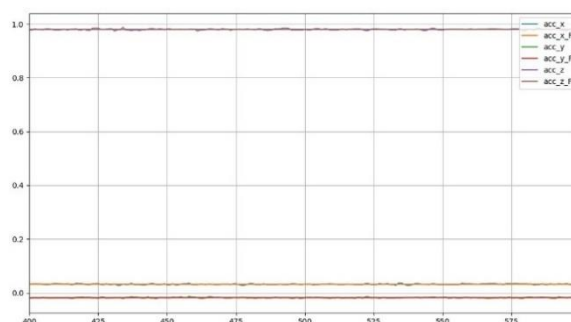
Example of output from the COM port of the gyroscope values along the X-axis at rest

Исходные значения	-0,0023	0,0021	0,0058	0,0058	0,0034	0,0034	0,0057	0,0058
Отфильтрованные значения	0,0021	0,0021	0,0022	0,0023	0,0024	0,0024	0,0025	0,0027

На рисунке 4, а показан результат фильтрации значений гироскопа по трем осям в положении покоя (gyr_x , gyr_y , gyr_z – исходные значения; gyr_x_F , gyr_y_F , gyr_z_F – отфильтрованные значения). В состоянии покоя в гироскопе постоянно присутствуют шумы, например, дрейф нуля. Результат фильтрации значений акселерометра по трем осям в положении покоя показан на рисунке 4, б (acc_x , acc_y , acc_z – исходные значения; acc_x_F , acc_y_F , acc_z_F – отфильтрованные значения).



а



б

Рис. 4. Результат фильтрации значений гироскопа (а) и акселерометра (б) по трем осям в положении покоя

Fig. 4. The result of filtering the gyro (a) and accelerometer (b) values along three axes at rest

На рисунке 5 показаны траектории движения снаряда при сгибании-разгибании локтевого сустава здорового человека и человека с травмой.

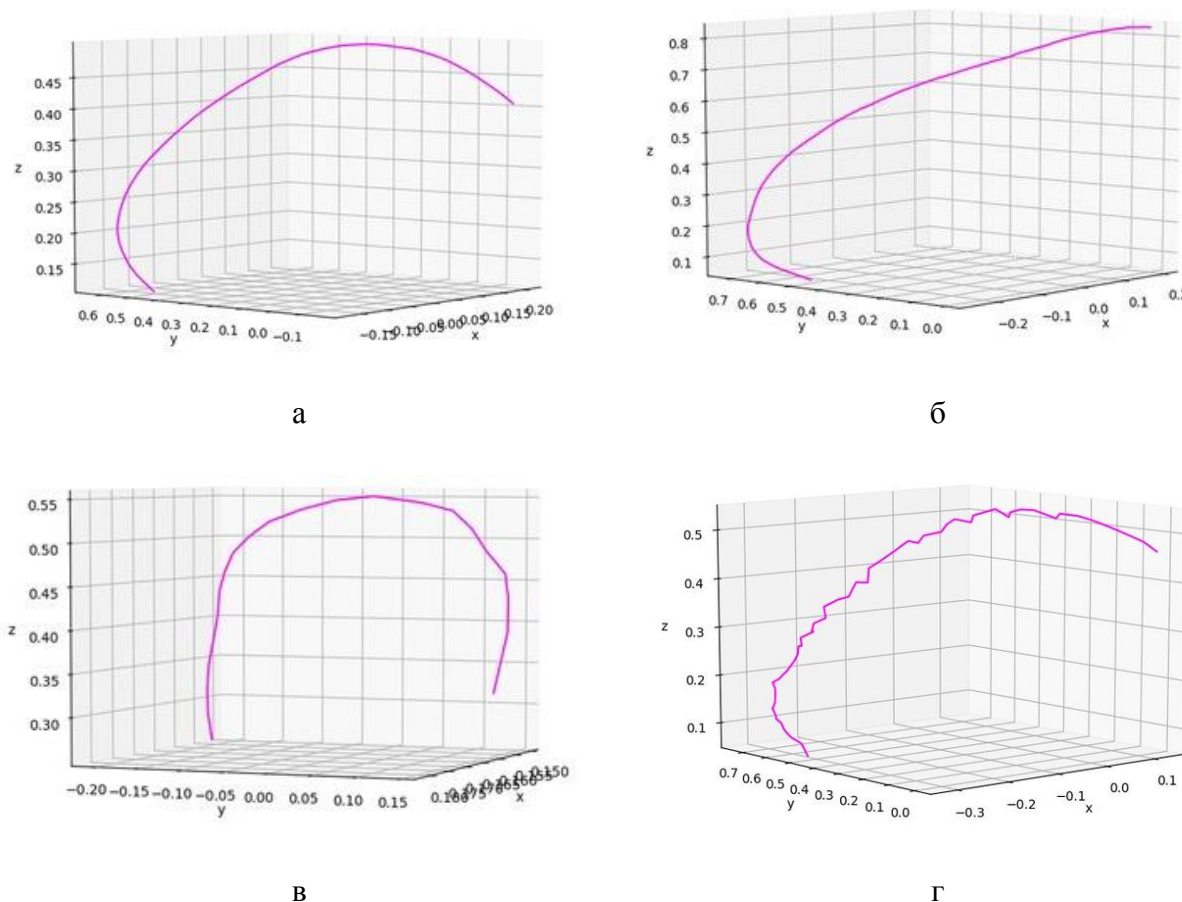


Рис. 5. Траектория движения гантели в трехмерном пространстве при выполнении упражнения на сгибание-разгибание локтевого сустава: здорового человека (исходное положение – локоть на столе) (а); здорового человека (исходное положение – рука прямая) (б); здорового человека, упражнение выполнено слишком быстро, рывком (исходное положение – рука прямая) (в); испытуемого с травмой локтевого сустава (г)

Fig. 5. The trajectory of dumbbell movement in three-dimensional space when performing the flexion-extension exercise of the elbow joint: a healthy person (the starting position is the elbow on the table) (a); healthy person (starting position - the arm is straight) (b); healthy person, the exercise is too fast, jerky (starting position - the arm is straight) (c); subject with an elbow joint injury (d)

При сравнении рисунков 5 (б) и 5 (в) очевидно нарушение правильности выполнения упражнения. В этом случае скорректировать движения пациента возможно сразу после выявления нарушения. При отсутствии каких-либо повреждений сустава кривые траектории движения имеют гладкую форму без отклонений. При выполнении упражнения пациентом с травмой локтевого сустава траектория движения перестает быть гладкой и свидетельствует о том, что рука пациента тряслась от напряжения. Следовательно, нагрузку на руку следует снизить, уменьшив массу спортивного снаряда или количество повторов и подходов упражнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное биотехническое устройство способно зарегистрировать патологии локтевого сустава верхнего плечевого пояса человека и производить оценку физических параметров пациента при травмах локтевого сустава. По выходным данным в виде графиков врач может оценить степень повреждения сустава и дать рекомендации в виде лечебных упражнений для дальнейшей реабилитации сустава. Предлагаемое устройство является востребованным в научно-исследовательской деятельности в связи с активно проводимыми изысканиями в области

инерциальной навигации, нацеленными на разработку методов определения положения объекта в пространстве. Кроме того, данное устройство имеет перспективу дальнейшего развития в компаниях, которые занимаются разработкой «умных» спортивных снарядов. Представленные разработки можно применить во всех областях, где необходима высокая точность отслеживания перемещения объекта в пространстве. Особенно данные системы представляют интерес при исследовании антропоморфных робототехнических систем [Pavluk, et al., 2016], при анализе движений конечностей робота по различным поверхностям, поддержания состояния устойчивости [Denisov et al.,] и перехода из одного положения в другое [Kodyakov et al., 2017].

Исследование выполнено при поддержке Федерального агентства научных организаций (№ AAAA-A16-116033110095-0).

Список литературы

1. Azcueta J.P.V., Libatique N.C., Tangonan G.L. In situ sports performance analysis system using inertial measurement units, high-fps video camera, and the Android platform / J.P.V. Azcueta, N.C. Libatique, G.L. Tangonan // In Proceedings of the 2014 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control Environment and Management. 2014. P. 12-16.
2. Bächlin M., Tröster G. Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors / M. Bächlin, G. Tröster // Pervasive and Mobile Computing. 2012. 8(1). P. 68-81.
3. Büthe L., Blanke U., Capkevics H., Tröster G. 2016. A wearable sensing system for timing analysis in tennis. In Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2016 IEEE 13th International Conference on, 43-48.
4. Design and implementation of an integrated performance monitoring tool for swimming to extract stroke information at real time / Chakravorti N., Le Sage T., Slawson S. E., Conway P.P., West A.A. // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2013. 43(2). P. 199-213.
5. Analysis of balance control methods based on inverted pendulum for legged robots / Denisov A., Iakovlev R., Mamaev I., Pavliuk N. // In MATEC Web of Conferences. 2017. 113: 02004.
6. Förster K., Bächlin M., Tröster G. Non-interrupting user interfaces for electronic body-worn swim devices / K. Förster, M. Bächlin, G. Tröster // In Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. 2009. 38.
7. Fuss F.K. Instrumentation of sports equipment: Routledge Handbook of Sports Technology and Engineering / F.K. Fuss // Routledge. 2013. P. 71-86.
8. Real-time swimmers' feedback based on smart infrared (SSIR) optical wireless sensor / Hagem R.M., Thiel D.V., O'Keefe S., Fickenscher T. // Electronics Letters. 2013. 49(5). P. 340-341.
9. A mobile motion capture system based on inertial sensors and smart shoes / Jung P.G., Oh S., Lim G., Kong K. // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 2014. 136(1): 011002.
10. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems / R.E. Kalman // Journal of basic Engineering. 1960. 82(1). P. 35-45.
11. Stability study of anthropomorphic robot antares under external load action / Kodyakov A.S., Pavlyuk N.A., Budkov V.Y., Prakupovich R.A. // In Journal of Physics: Conference Series. 2017. 803(1): 012074.
12. Trajectory generation for myoelectrically controlled lower limb active knee exoskeleton / Kundu A.S., Mazumder O., Chattaraj R., Bhaumik S., kumar Lenka P. // Contemporary Computing (IC3), Seventh International Conference on. 2014. P. 230-235.
13. Swistrack-a flexible open source tracking software for multi-agent systems / Lochmatter T., Roduit P., Cianci C., Correll N., Jacot J., Martinoli A. // In Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference on. 2008. P. 4004-4010.
14. Sensor fusion and smart sensor in sports and biomedical applications / Mendes Jr, J.J.A., Vieira M.E.M., Pires M.B., Stevan Jr, S.L. // Sensors. 2016. 16(10). P. 1569.
15. Comparing nape vs. T4 placement for a mobile Wireless Gait Analysis sensor using the Dynamic Gait Index test / Nukala B., Shibuya N., Rodriguez A., Tsay J., Nguyen T., Zupancic S., Lie D.Y. // Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU). 2015. P. 68-69.

16. Mechanical Engineering of Leg Joints of Anthropomorphic Robot / Pavluk N., Denisov A., Kodyakov A., Ronzhin A. // In MATEC Web of Conferences. 2016. 77: 04006.
17. Analysis of goal line technology from the perspective of an electromagnetic field-based approach / Psiuk R., Seidl T., Strauß W., Bernhard, J. // Procedia Engineering. 2014. 72: P. 279-284.
18. Senanayake C., Senanayake S. Human assisted tools for gait analysis and intelligent gait phase detection / C. Senanayake, S. Senanayake // Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications, CITISIA. 2009. P. 230-235.
19. Investigation of sensor-based quantitative model for badminton skill analysis and assessment / Shan C.Z., Sen S.L., Fai Y.C., Ming E.S.L. // Journal of TEKNOLOGI. 2015. 72(2).
20. Shan P., Muchhala R., Shan G. A Review Paper on Goal-Line Technology / P. Shan, R. Muchhala, G. Shan // Technol. 2014. 4. P. 3387–3390.
21. Wearable motion sensor based phasic analysis of tennis serve for performance feedback / Sharma M., Srivastava R., Anand A., Prakash D., Kaligounder L. // In Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017 IEEE International Conference on. 2017. P. 5945-5949.
22. A real-time fall detection system using a wearable gait analysis sensor and a support vector machine (svm) classifier / Shibuya N., Nukala B.T., Rodriguez A.I., Tsay J., Nguyen T.Q., Zupancic S., Lie D.Y. // Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2015 Eighth International Conference on. 2015. P. 66-67.
23. Quantified self and human movement: a review on the clinical impact of wearable sensing and feedback for gait analysis and intervention / Shull P.B., Jirattigalachote W., Hunt M.A., Cutkosky M.R., Delp S.L. // Gait & posture. 2014. 40(1). P. 11-19.
24. Human gait modeling and gait analysis based on Kinect / Sun B., Liu X., Wu X., Wang H. // Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference on. 2014. P. 3173-3178.
25. FreeWalker: A smart insole for longitudinal gait analysis / Wang B., Rajput K.S., Tam W.K., Tung A.K., Yang Z. // Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 37th Annual International Conference of the IEEE. 2009. P. 3723-3726.
26. Integrated inertial sensors and mobile computing for real-time cycling performance guidance via pedaling profile classification / Xu J.Y., Nan X., Ebken V., Wang Y., Pottier G.J., Kaiser W.J. // IEEE journal of biomedical and health informatics. 2015. 19(2). P. 440-445.
27. Self-contained position tracking of human movement using small inertial/magnetic sensor modules / Yun X., Bachmann E.R., Moore H., Calusdian J. // In Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on. 2007. P. 2526-2533.

References

1. Azcueta J.P.V., Libatique N.C., Tangonan G.L. In situ sports performance analysis system using inertial measurement units, high-fps video camera, and the Android platform / J.P.V. Azcueta, N.C. Libatique, G.L. Tangonan // In Proceedings of the 2014 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control Environment and Management. 2014. P. 12-16.
2. Bächlin M., Tröster G. Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors / M. Bächlin, G. Tröster // Pervasive and Mobile Computing. 2012. 8(1). P. 68-81.
3. Büthe L., Blanke U., Capkevics H., Tröster G. 2016. A wearable sensing system for timing analysis in tennis. In Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2016 IEEE 13th International Conference on, 43-48.
4. Design and implementation of an integrated performance monitoring tool for swimming to extract stroke information at real time / Chakravorti N., Le Sage T., Slawson S. E., Conway P.P., West A.A. // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2013. 43(2). P. 199-213.
5. Analysis of balance control methods based on inverted pendulum for legged robots / Denisov A., Iakovlev R., Mamaev I., Pavliuk N. // In MATEC Web of Conferences. 2017. 113: 02004.
6. Förster K., Bächlin M., Tröster G. Non-interrupting user interfaces for electronic body-worn swim devices / K. Förster, M. Bächlin, G. Tröster // In Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. 2009. 38.

7. Fuss F.K. Instrumentation of sports equipment: Routledge Handbook of Sports Technology and Engineering / F.K. Fuss // Routledge. 2013. P. 71-86.
8. Real-time swimmers' feedback based on smart infrared (SSIR) optical wireless sensor / Hagem R.M., Thiel D.V., O'Keefe S., Fickenscher T. // Electronics Letters. 2013. 49(5). P. 340-341.
9. A mobile motion capture system based on inertial sensors and smart shoes / Jung P.G., Oh S., Lim G., Kong K. // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 2014. 136(1): 011002.
10. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems / R.E. Kalman // Journal of basic Engineering. 1960. 82(1). P. 35-45.
11. Stability study of anthropomorphic robot antares under external load action / Kodyakov A.S., Pavlyuk N.A., Budkov V.Y., Prakupovich R.A. // In Journal of Physics: Conference Series. 2017. 803(1): 012074.
12. Trajectory generation for myoelectrically controlled lower limb active knee exoskeleton / Kundu A.S., Mazumder O., Chattaraj R., Bhaumik S., kumar Lenka P. // Contemporary Computing (IC3), Seventh International Conference on. 2014. P. 230-235.
13. Swistrack-a flexible open source tracking software for multi-agent systems / Lochmatter T., Roduit P., Cianci C., Correll N., Jacot J., Martinoli A. // In Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference on. 2008. P. 4004-4010.
14. Sensor fusion and smart sensor in sports and biomedical applications / Mendes Jr, J.J.A., Vieira M.E.M., Pires M.B., Stevan Jr, S.L. // Sensors. 2016. 16(10). P. 1569.
15. Comparing nape vs. T4 placement for a mobile Wireless Gait Analysis sensor using the Dynamic Gait Index test / Nukala B., Shibuya N., Rodriguez A., Tsay J., Nguyen T., Zupancic S., Lie D.Y. // Eighth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU). 2015. P. 68-69.
16. Mechanical Engineering of Leg Joints of Anthropomorphic Robot / Pavluk N., Denisov A., Kodyakov A., Ronzhin A. // In MATEC Web of Conferences. 2016. 77: 04006.
17. Analysis of goal line technology from the perspective of an electromagnetic field-based approach / Psiuk R., Seidl T., Strauß W., Bernhard, J. // Procedia Engineering. 2014. 72: P. 279-284.
18. Senanayake C., Senanayake S. Human assisted tools for gait analysis and intelligent gait phase detection / C. Senanayake, S. Senanayake // Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications, CITISIA. 2009. P. 230-235.
19. Investigation of sensor-based quantitative model for badminton skill analysis and assessment / Shan C.Z., Sen S.L., Fai Y.C., Ming E.S.L. // Journal of TEKNOLOGI. 2015. 72(2).
20. Shan P., Muchhala R., Shan G. A Review Paper on Goal-Line Technology / P. Shan, R. Muchhala, G. Shan // Technol. 2014. 4. P. 3387-3390.
21. Wearable motion sensor based phasic analysis of tennis serve for performance feedback / Sharma M., Srivastava R., Anand A., Prakash D., Kaligounder L. // In Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017 IEEE International Conference on. 2017. P. 5945-5949.
22. A real-time fall detection system using a wearable gait analysis sensor and a support vector machine (svm) classifier / Shibuya N., Nukala B.T., Rodriguez A.I., Tsay J., Nguyen T.Q., Zupancic S., Lie D.Y. // Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2015 Eighth International Conference on. 2015. P. 66-67.
23. Quantified self and human movement: a review on the clinical impact of wearable sensing and feedback for gait analysis and intervention / Shull P.B., Jirattigalachote W., Hunt M.A., Cutkosky M.R., Delp S.L. // Gait & posture. 2014. 40(1). P. 11-19.
24. Human gait modeling and gait analysis based on Kinect / Sun B., Liu X., Wu X., Wang H. // Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference on. 2014. P. 3173-3178.
25. FreeWalker: A smart insole for longitudinal gait analysis / Wang B., Rajput K.S., Tam W.K., Tung A.K., Yang Z. // Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 37th Annual International Conference of the IEEE. 2009. P. 3723-3726.
26. Integrated inertial sensors and mobile computing for real-time cycling performance guidance via pedaling profile classification / Xu J.Y., Nan X., Ebken V., Wang Y., Pottie G.J., Kaiser W.J. // IEEE journal of biomedical and health informatics. 2015. 19(2). P. 440-445.

27. Self-contained position tracking of human movement using small inertial/magnetic sensor modules / Yun X., Bachmann E.R., Moore H., Calusdian J. // In Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on. 2007. P. 2526-2533.

Ижболдина Валерия Валентиновна, магистрант кафедры электромеханики и робототехники

Будков Виктор Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории автономных робототехнических систем

Денисов Александр Вадимович, младший научный сотрудник лаборатории автономных робототехнических систем

Izhboldina Valeriia Valentinovna, Master student of Electromechanics and Robotics

Budkov Viktor Yur'evich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Autonomous Robotic Systems

Denisov Aleksandr Vadimovich, Junior Researcher, Laboratory of Autonomous Robotic Systems