

Разработка структуры информационной системы мониторинга данных о физической активности человека

Е. С. Абрамова¹ ✉, А. А. Орлов², К. В. Макаров²

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
ул. Горького, д. 87, г. Владимир 600000, Российская Федерация

² Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
ул. Орловская, д. 23, г. Муром 602224, Российская Федерация

✉ e-mail: abramova23es@yandex.ru

Резюме

Цель исследования заключается в проектировании информационной системы с учетом сформулированных требований и критериев, основанной на использовании новых методов и модулей обработки данных с датчиков смартфона, предназначенной для мониторинга физической активности и факторов риска для здоровья человека.

Методы. Работа системы мониторинга данных о физической активности человека базируется на методах распознавания простых и сложных видов физической активности человека с помощью датчиков носимых устройств, персонализированном анализе факторов риска и их влиянии на здоровье, отличающемся постоянным мониторингом за выполняемыми видами физической активности и окружающим пространством человека, на применении технологии, позволяющей совмещать выполняемую активность с элементами игры, а также интеллектуальных напоминаниях человеку о необходимости обратить внимание на свое здоровье, которые формируются с учетом физического состояния человека и окружающих факторов риска для его здоровья.

Результаты. Приведена структура предлагаемой системы и описан функционал программного обеспечения.

Заключение. Спроектированная система поможет осуществить разработку информационной системы мониторинга данных о физической активности человека.

Ключевые слова: персонализированная информационная система; физическая активность; распознавание активности; факторы риска; методы машинного обучения.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Абрамова Е. С., Орлов А. А., Макаров К. В. Разработка структуры информационной системы мониторинга данных о физической активности человека // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(4): 122-133. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-122-133>.

Поступила в редакцию 11.09.2021

Подписана в печать 09.10.2021

Опубликована 20.12.2021

Development of the Structure of an Information System for Monitoring Human Physical Activity Data

Elena S. Abramova ¹ ✉, Alexey A. Orlov ², Kirill V. Makarov ²

¹ Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs
87 Gorkogo str., Vladimir 600000, Russian Federation

² Murom Institute (branch) Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs
23 Orlovkaya str., Murom 602264, Russian Federation

✉ e-mail: abramova23es@yandex.ru

Abstract

Purpose of research is to design an information system taking into account the developed requirements and criteria, based on the use of new methods and modules for processing data from smartphone sensors, designed to monitor physical activity and risk factors for human health.

Methods. The work of the system for monitoring data on human physical activity is based on methods for recognizing simple and complex types of human physical activity using sensors of wearable devices, personalized analysis of risk factors and their impact on health, characterized by constant monitoring of the types of physical activity performed and the space surrounding human, on the use of technology that allows combination of the activity performed with elements of the game, as well as smart reminders to a person about the need to pay attention to their health, which are formed taking into account the physical condition of a person and the surrounding risk factors for his health.

Results. The structure of the proposed system is provided and the functionality of the software is described.

Conclusion. The designed system will help to develop an information system for monitoring data on human physical activity.

Keywords: personalized information system; physical activity; activity recognition; risk factors; machine learning methods.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Abramova E. S., Orlov A. A., Makarov K. V. Development of the Structure of an Information System for Monitoring Human Physical Activity Data. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(4): 122-133 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-122-133>.

Received 11.09.2021

Accepted 09.10.2021

Published 20.12.2021

Введение

Состояние и здоровье человека зависит от уровня физической активности человека. Зная информацию о выполняемых видах активности, ее количестве и факторах, окружающих человека, можно рекомендовать профилактику и лечение различных заболеваний.

Среди актуальных целей концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации

и национального проекта «Здравоохранение» можно выделить повышение продолжительности жизни граждан России. Таким образом, опираясь на данную цель, необходимо создать условия, которые позволят людям следить за своим здоровьем и влияющими на него факторами.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики заболеваемость людей, которые не занимаются физической культурой, превышает в

два раза заболеваемость людей, которые ведут активный образ жизни [1].

Для решения существующих проблем предлагается разработать структуру информационной системы мониторинга данных о физической активности человека.

Материалы и методы

В работах [2, 3] рассмотрены подходы к распознаванию простых видов активности с использованием датчиков носимых устройств. Оценив полученные результаты, можно сказать, что на сегодняшний день точность распознавания простых видов активности достаточно высока (91-93%).

Однако несмотря на высокую точность распознавания простых видов активности человека требуются большие вычислительные затраты на расчет признаков, необходимых для распознавания. Данные затраты ограничивают возможность применения распознавания активности на мобильных устройствах. Таким образом, становится актуальным проектирование, расчет и выбор информативных признаков, позволяющих увеличить значение точности распознавания видов активности человека и уменьшить вычислительные затраты [4-8].

Среди разработанных систем, позволяющих распознавать виды активности человека, стоит выделить «Fitbit» [9], «MiFit» [10], «URBAN FIT» [11]. Данные системы дают возможность распознавать от двух до восьми видов простых активностей. Однако приве-

денные системы имеют такие ограничения, как необходимость дополнительных устройств (фитнес-браслетов) для распознавания видов активности, также распознавание происходит только после продолжительного выполнения человеком вида активности (после 15 минут).

Виды сложных физических активностей и методы их распознавания представлены в работах [12-14]. Рассмотренные работы вносят большой вклад в данную область исследования, однако методы распознавания сложной активности не учитывают условия окружающей среды человека и его личные особенности. Таким образом, возникает необходимость в проектировании и разработке новых методов распознавания видов сложной физической активности человека, которые учитывают изменчивые окружающие условия и специфику жизнедеятельности человека.

Для выявления единичных факторов риска для здоровья человека существует большое количество мобильных приложений. Например, для мониторинга беговой активности человека – «Nike+RunClub» и «Runtastic», для контроля привычек – [15, 16], для определения показателей, влияющих на появление и развитие заболеваний – [17, 18]. Перечисленные технологии нацелены на определенный фактор риска для здоровья человека, наиболее часто требуют сбора, анализа и контроля показателей от самого человека или медицинского работника.

В настоящее время стали появляться работы [19-20], в которых использу-

ется инновационная технология «Exergames», позволяющая повысить мотивацию человека за счет внедрения игровых элементов при выполнении различных упражнений.

Результаты исследований показывают, что «Exergames» – это многообещающая технология для поддержания здорового образа жизни и повышения суточной физической активности у людей разных возрастных групп. Однако в существующих играх не предусмотрены индивидуальные тренировки с поправкой на уровень физической подготовки и, как правило, они являются стационарными, что не позволяет людям выполнять физические упражнения в любом месте и в любое удобное время.

Изучение материалов позволило сделать вывод о том, что существующие разработки направлены на решение одной выбранной задачи.

Таким образом, в настоящий момент времени не существует системы, одновременно позволяющей распознавать простые и сложные виды физической активности человека, выявлять и анализировать факторы риска для здоровья, мотивировать на выполнение упражнений, рассчитывать и анализировать коэффициент физической активности для определения группы активности человека, на ее основе предоставлять своевременные рекомендации и напоминания по поддержанию здорового образа жизни. В проектируемой системе будут учтены все необходимые требования.

Результаты и их обсуждение

Для мониторинга физической активности и состояния человека требуется мобильное устройство, которое содержит необходимые датчики. Программные модули сбора данных с датчиков смартфона и классификации видов физической активности получают данные с датчиков и автоматически без помощи человека определяют вид физической активности с помощью классических методов машинного обучения, например, метода опорных векторов:

$$F(x) = \text{sign}(\langle w \cdot x \rangle + b), \quad (1)$$

где $\langle \cdot \rangle$ – скалярное произведение;

w – нормальный вектор к разделяющей гиперплоскости;

b – вспомогательный параметр.

Целью классификации является определение физической активности человека для последующего анализа системой и расчета уровня активности человека. Для достижения более высокой точности и низких вычислительных затрат при решении задачи распознавания простых видов активности были спроектированы и выбраны информативные признаки методом Relief-F:

$$w_i = \sum_{j=1}^N [(x_i^j - nm(x^j)_i)^2 - (x_i^j - nh(x^j)_i)^2], \quad (2)$$

где x_i^j – значение i -ой функции для точки x^j ;

$nm(x^j)$ – ближайшая точка данных в разных классах;

$nh(x^j)$ – ближайшая точка данных в одинаковых классах.

Для распознавания сложных видов активности определяется семантика сложной активности, которая необходима для получения вероятностных зависимостей между простыми видами активности и информацией о контексте. Лексические данные о виде простой активности позволяют определить цель и значение сложной активности, а информация о контексте позволяет уточнить класс активности:

$$\hat{y} = \arg \min_{y \in \hat{S}} h(\hat{z}), \quad (3)$$

где \hat{y} – набор неопределенных классов сложной физической активности;

ts – тестирование,

$h(\hat{z})$ – классификационная функция;

\hat{z} – семантический вектор из пространства признаков.

Алгоритм обучения распознавания сложной неопределенной физической активности представим в виде функциональной схемы (рис. 1).

Этапы работы метода распознавания сложной неопределенной активности человека представлены на рис. 2.

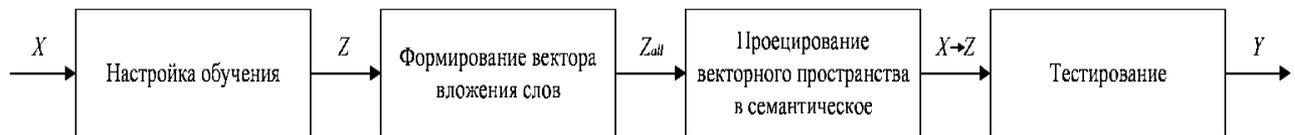


Рис. 1. Алгоритм обучения распознаванию сложной активности

Fig. 1. Learning algorithm for complex activity recognition

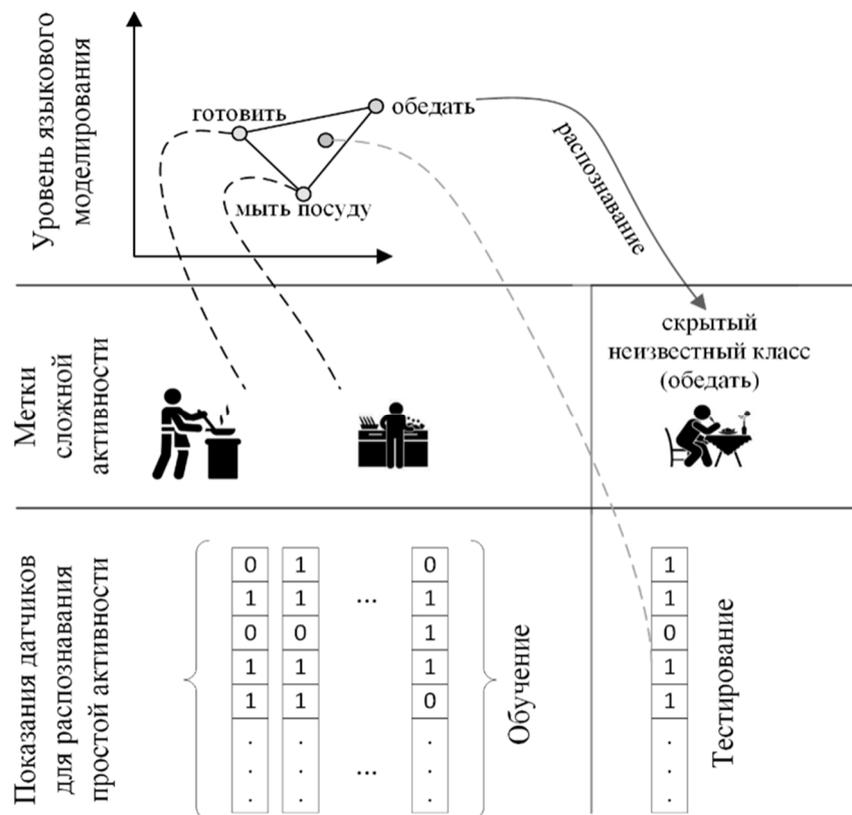


Рис. 2. Идея метода распознавания сложной неопределенной активности

Fig. 2. The idea of the method for complex undefined activity recognition

Модуль выявления и предупреждения факторов риска также анализирует полученные данные и определяет моменты возникновения и степень влияния факторов риска на здоровье человека. Установив взаимосвязи между видами активности человека и факторами риска, можно будет решать задачу предупреждения факторов риска на основе постоянного мониторинга физической активности человека.

При разработке структуры системы мониторинга данных о физической активности человека были учтены различные сценарии ее использования. Один из них связан с мониторингом данных, полученных со смартфона, закреплённого в любом удобном месте на теле человека. Программные модули мониторинга данных об активности и факторах риска и уведомления о результатах мониторинга предоставляют человеку информацию об уровне его активности и о факторах риска для здоровья.

По второму сценарию человек проходит задания, предусмотренные системой. Чтобы соревноваться с пользователями системы и открывать новые задания необходимо улучшать виртуального персонажа. Для его улучшения требуется выполнять различные физические упражнения. Физические упражнения для выполнения предлагаются с учетом физической группы человека. Таким образом, система позволит не только улучшить персонажа в игре, но и

повысить суточную физическую активность человека в реальной жизни.

Для обучения интеллектуальной системы используются данные об истории активности и состоянии человека. Выбранные данные для обучения системы способствуют персонализированному интеллектуальному анализу с учетом всех особенностей человека.

Для формирования рекомендаций по поддержанию здорового образа жизни проводится сравнение значений физиологических показателей организма человека с принятыми в медицине нормами и сведениями о субъективных ощущениях человека.

Решая задачу классификации значений в признаках факторов риска и выявляя аномальные значения, система формирует начальные рекомендации по профилактике факторов риска для здоровья человека.

Структура предлагаемой системы представлена на рис. 3.

Разработав структуру информационной системы мониторинга данных о физической активности человека, были проведены эксперименты по оценке точности распознавания простой и сложной физической активности человека.

Результаты распознавания простой физической активности человека в зависимости от разного места крепления смартфона и выбранного информативного набора признаков представлены в табл. 1.

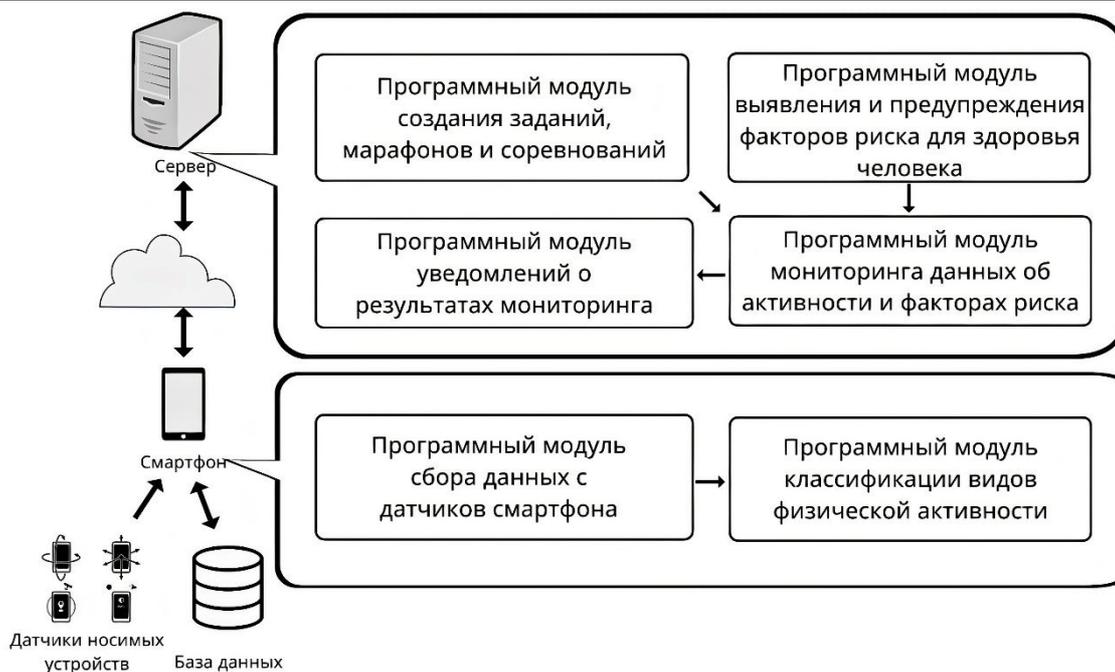


Рис. 3. Структура предлагаемой системы

Fig. 3. The proposed system structure

Таблица 1. Результаты распознавания простой физической активности

Table 1. Results of simple physical activity recognition

Место крепления смартфона / Smartphone attachment position	Точность распознавания при использовании подмножества информативных признаков / Accuracy of recognition while using subsets of informative features
В правом кармане джинсов	94,4 %
В левом кармане джинсов	97,6 %
На правом плече	95,7 %
На поясе	97,5 %

Для оценки сложной неопределенной активности человека был выбран сценарий поведения, который содержит такие виды активности, как «готовить завтрак, мыть посуду, разговаривать по телефону, одеваться и ужинать» для обучения и таких, как «готовить обед, личная гигиена и обедать» в качестве неопределенных классов соответственно.

Метрики качества распознавания для неопределенных классов сложной активности человека представлены в табл. 2.

Сравнивая разработанный метод с другими методами, основанными на визуальных данных (табл. 3), можно утверждать, что лучшая точность обусловлена тем, что объем входных данных намного меньше, чем при использовании визуальных данных датчиков.

Таблица 2. Результаты распознавания сложной физической активности**Table 2.** Results of complex physical activity recognition

Вид активности / Activity	Точность распознавания / Recognition accuracy
Готовить обед	95,85 %
Личная гигиена	96,15 %
Обедать	95,95 %

Таблица 3. Результаты других исследований**Table 3.** Results from other papers

Публикация / Published paper	Точность распознавания / Recognition accuracy
Alex, P.M.D. A. Research on Human Activity Identification Based on Image Processing and Artificial Intelligence	86%
Štuliene, A. Research on human activity recognition based on image classification methods	90,78%
Cao, X.H. A Simple yet Effective Model for Zero-Shot Learning	85%
Mishra, A. A Generative Approach to Zero-Shot and Few-Shot Action Recognition	73%

Выводы

Мониторинг и анализ данных о физической активности человека и факторов риска для его здоровья является важной задачей, так как позволяет оценить состояние здоровья, выявить его изменения, а также оценить влияние факторов на состояние человека.

Проведя обзор технологий для мониторинга физической активности человека, можно сделать вывод, что существующие решения позволяют решать только единичные задачи и обладают большим числом недостатков.

В данной работе с учетом всех необходимых требований к системе мони-

торинга физической активности человека была разработана структура системы. Также были проведены эксперименты по оценке точности распознавания простой и сложной активности человека. Эксперименты показали, что точность распознавания простой активности в среднем достигает 96%, а сложной неопределенной активности при известной семантике поведения человека – 95%.

Разработка и внедрение в жизнь человека системы мониторинга данных о физической активности, включающей себя инновационные технологии и методы, положительно повлияет на состояние и здоровье человека.

Список литературы

1. Занятия физической культурой и спортом и заболеваемость (в %) // Федеральная служба государственной статистики. URL: www.rosstat.gov.ru (дата обращения: 01.09.2021).
2. Godwin Ogbuabor and Robert La. 2018. Human Activity Recognition for Healthcare using Smartphones. In Proceedings of the 2018 10th International Conference on Machine Learning and Computing (ICMLC 2018). ACM, New York, NY, USA, 41-46.
3. Jordao, Artur & Antonio C. Nazare, Jr & Sena de Souza, Jessica & Schwartz, William. Human Activity Recognition Based on Wearable Sensor Data: A Standardization of the State-of-the-Art. 2018
4. Hasan S.S. et al. Human Activity Recognition using Smartphone Sensors with Context Filtering // ACHI 2016: The Ninth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions. 2016. Vol. 571–572. P. 1019–1029.
5. Attila Reiss. Personalized mobile physical activity monitoring for everyday life (Doctoral Thesis, Technical University of Kaiserslautern). 2014
6. Jorge Luis Reyes Ortiz. Smartphone-based human activity recognition (Doctoral Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). 2015
7. He Y., Li Y. Physical activity recognition utilizing the built-in Kinematic sensors of a smartphone // International Journal of Distributed Sensor Networks. SAGE Publications Sage UK: London, England, 2013. Vol. 2013. № 4. P. 481-580.
8. Miao F. et al. Identifying typical physical activity on smartphone with varying positions and orientations // Biomed. Eng. Online. BioMed Central, 2015. Vol. 14, № 1. P. 32-46.
9. Fitbit SmartTrack // Fitbit (дата обращения: 01.09.2021).
10. Mi Fit // Google Play Market (дата обращения: 01.09.2021).
11. Urban fit // Google Play Market (дата обращения: 01.09.2021).
12. Liangying Peng, Ling Chen, Zhenan Ye, and Yi Zhang. 2018. AROMA: A Deep Multi-Task Learning based Simple and Complex Human Activity Recognition Method Using Wearable Sensors. Proceedings of the ACM on Interactive Mobile Wearable and Ubiquitous Technologies. 2, 2, Article 74 (June 2018), 16 pages.
13. Li Liu, Yuxin Peng, Ming Liu, Zigang Huang, Sensor-based human activity recognition system with a multilayered model using time series shapelets. Knowledge-Based Systems. 2015. Vol. 90. P. 138-152.
14. Sakr N.A., Abu-Elkheir, M & Atwan, A & Soliman H.H. Current trends in complex human activity recognition // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2018. № 96. P. 4564-4583.

15. Higgins J.P. Smartphone applications for patients' health and fitness // *Am J Med.* 2016; 129(1): 11–9.
16. Buller D.B., Borland R., Bettinghaus E.P. et al. Randomized trial of a smartphone mobile application compared to text messaging to support smoking cessation // *Telemed J E Health.* 2014; 20(3): 206–14.
17. Vohralik S.L., Bowen A.R., Burns J. et al. Reliability and validity of a smartphone app to measure joint range // *Am J Phys Med Rehabil* 2015; 94(4): 325–30.
18. Показатели сердечно-сосудистой системы при физических нагрузках у спортсменов / Д.А. Усанов, А.А. Протопопов, А.В. Скрипаль и др. // *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2013; 9(1): 64–8.
19. Rosney D.M., Horvath P.J. Exergaming Intervention in Sedentary Middle-Aged Adults Improves Cardiovascular Endurance, Balance and Lower Extremity Functional Fitness // *Heal. Sci J.* 2018. Vol. 12, № 6. P. 601.
20. YMoham T., Binti Alahad N. A Model for Mobile Exergame Development to Promote Anti-Sedentary Behaviour // *J. Inf. Syst. Res. Innov.* 2017. Vol. 11, № 3. P. 1–6.

References

1. Zanyatiya fizicheskoy kul'turoj i sportom i zaboлеваemost' (v %) [Physical culture and sports and morbidity (in %)]. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki* [Federal State Statistics Service]. Available at: www.rosstat.gov.ru (accessed: 01.09.2021).
2. Godwin Ogbuabor and Robert La. 2018. Human Activity Recognition for Healthcare using Smartphones. *In Proceedings of the 2018 10th International Conference on Machine Learning and Computing (ICMLC 2018)*. ACM, New York, NY, USA, 41-46.
3. Jordao, Artur & Antonio C. Nazare, Jr & Sena de Souza, Jessica & Schwartz, William. Human Activity Recognition Based on Wearable Sensor Data: A Standardization of the State-of-the-Art. 2018.
4. Hasan S.S. et al. Human Activity Recognition using Smartphone Sensors with Context Filtering. *ACHI 2016: The Ninth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, 2016, vol. 571–572, pp. 1019–1029.
5. Attila Reiss. Personalized mobile physical activity monitoring for everyday life (Doctoral Thesis, Technical University of Kaiserslautern). 2014.
6. Jorge Luis Reyes Ortiz. Smartphone-based human activity recognition (Doctoral Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). 2015.

7. He Y., Li Y. Physical activity recognition utilizing the built-in Kinematic sensors of a smartphone. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 2013, vol. 2013, no. 4, pp. 481-580.
8. Miao F. et al. Identifying typical physical activity on smartphone with varying positions and orientations. *Biomed. Eng. Online. BioMed Central*, 2015, vol. 14, no. 1, pp. 32-46.
9. Fitbit SmartTrack. Fitbit (accessed: 01.09.2021).
10. Mi Fit. Google Play Market (accessed: 01.09.2021).
11. Urban fit. Google Play Market (accessed: 01.09.2021).
12. Liangying Peng, Ling Chen, Zhenan Ye, and Yi Zhang. 2018. AROMA: A Deep Multi-Task Learning based Simple and Complex Human Activity Recognition Method Using Wearable Sensors. *Proceedings of the ACM on Interactive Mobile Wearable and Ubiquitous Technologies*. 2, 2, Article 74 (June 2018), 16 pages.
13. Li Liu, Yuxin Peng, Ming Liu, Zigang Huang, Sensor-based human activity recognition system with a multilayered model using time series shapelets. *Knowledge-Based Systems*, 2015, vol. 90. pp. 138-152.
14. Sakr N.A., Abu-Elkheir M., Atwan A., Soliman H.H. Current trends in complex human activity recognition. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2018, 96, pp. 4564-4583.
15. Higgins J.P. Smartphone applications for patients' health and fitness. *Am J Med*. 2016, 129(1):11-9.
16. Buller D.B., Borland R., Bettinghaus E.P. et al. Randomized trial of a smartphone mobile application compared to text messaging to support smoking cessation. *Telemed J E Health*. 2014; 20(3): 206-14.
17. Vohralik S.L., Bowen A.R., Burns J. et al. Reliability and validity of a smartphone app to measure joint range. *Am J Phys Med Rehabil*. 2015; 94(4): 325-30.
18. Usanov D.A., Protopopov A.A., Skripal' A.V. i dr. Pokazateli serdechno-sosudistoj sistemy pri fizicheskikh nagruzkah u sportsmenov [Indicators of the cardiovascular system during physical exertion in athlete]. *Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal = Saratov Scientific and Medical Journal*. 2013;9(1):64-8.
19. Rosney D.M., Horvath P.J. Exergaming Intervention in Sedentary Middle-Aged Adults Improves Cardiovascular Endurance, Balance and Lower Extremity Functional Fitness. *Heal. Sci J*, 2018, vol. 12, № 6. P. 601.
20. Ymohan T., Binti AIahad N. A Model for Mobile Exergame Development to Promote Anti-Sedentary Behaviour. *J. Inf. Syst. Res. Innov*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 1-6.

Информация об авторах / Information about the Authors

Абрамова Елена Сергеевна, аспирант кафедры информационных систем и программной инженерии, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Российская Федерация, e-mail: abramova23es@yandex.ru

Elena S. Abramova, Post-Graduate Student, Information Systems and Software Engineering Department, Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs, Vladimir, Russian Federation, e-mail: abramova23es@yandex.ru

Орлов Алексей Александрович, доктор технических наук, заведующий кафедрой физики и прикладной математики, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Муром, Российская Федерация, e-mail: alexeyalexorlov@gmail.com

Alexey A. Orlov, Dr. of Sci. (Engineering), Head of Physics and Applied Mathematics Department, Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs, Murom, Russian Federation, e-mail: alexeyalexorlov@gmail.com

Макаров Кирилл Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры физики и прикладной математики, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Муром, Российская Федерация, e-mail: kondistance@gmail.com

Kirill V. Makarov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of Physics and Applied Mathematics Department, Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs, Murom, Russian Federation, e-mail: kondistance@gmail.com