

Исследование подходов и разработка системы контроля качества выполнения физических упражнений

А.В. Большева, email: ann.bolsheva@gmail.com

Е. В. Полицына, email: kathrin.beaver@mail.ru

ФГБОУ ВО «Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет)»

***Аннотация.** Проведено исследование подходов и определён алгоритм решения задачи контроля качества выполнения физических упражнений. Спроектирована архитектура системы контроля физических упражнений на основе инерциальных модулей. Описано взаимодействие компонентов системы в целом и работа каждого из них.*

***Ключевые слова:** инерциальные измерительные модули, датчики, подходы, архитектура, алгоритм, выполнение физических упражнений.*

Введение

Физические тренировки являются неотъемлемым условием обеспечения здоровья и привлекательного внешнего вида человека. Однако, неверное выполнение упражнений не только не приносит ожидаемой пользы, но и оказывает негативное влияние на организм и приводит к травмам. В связи с этим являются полезными специальные устройства, способные оценить качество выполнения физических упражнений и выдать рекомендации по их корректировке в случае необходимости. Но несмотря на ряд преимуществ данных устройств они не решают полностью проблему контроля качества выполнения упражнений и не являются заменой профессионального тренера. Тогда как во время занятий с тренером использование данных устройств помогает в отслеживании численных данных и сбору статистики количества и качества сделанных упражнений.

Несмотря на наличие ряда устройств для оценки качества выполнения различных упражнений существует как проблема недостаточно точного измерения и контроля правильности выполнения физических упражнений, так проблема использования одного устройства для различных упражнений.

1. Подходы к решению задачи контроля качества выполнения физических упражнений

В различных исследованиях, например, в патентной заявке «Метод и система мониторинга упражнений» [1] используются портативные и стационарные сенсоры, обеспечивается распознавание упражнения и обратная связь пользователю. В опубликованном патенте «Сенсорная система управления тренировкой» [2] несколькими сенсорами осуществляется сбор данных и их интерпретация. В патенте [3] была разработана система на основе камеры и инерциального измерительного модуля, навигационные данные отслеживают характеристики и обеспечивается обратная связь.

В большинстве статей о подобных исследованиях предлагается решение проблемы контроля физических упражнений только в отношении какого-то их класса. Например, в статье «GymCam: одновременное обнаружение, распознавание и отслеживание упражнений в неограниченных сценах» проводится идентификация нескольких людей в зале по количеству и характеру выполнения упражнений всего одной камерой [4]. В статье «Технология в S&C: отслеживание упражнений нижних конечностей с помощью носимых датчиков» предложено использовать 5 устройств, инерциальных измерительных модулей (IMU), расположенных на поясничном отделе позвоночника, бедрах и голених [5]. В статье «Обработка данных совместного отслеживания с помощью датчиков Kinect с использованием регрессии кластерного гауссова процесса» описано одно из подобных исследований. В нём на территории лаборатории одновременно использовались объединённая система захвата движения в виде 14 камер и сенсор «Kinect V2». Собирались данные по физической активности людей и представлялись в виде метода регрессии Гаусса [6]. В статье «Оценка реабилитационных упражнений с использованием инерционных датчиков: перекрестное аналитическое исследование» [7] инерциальные датчики использовались в реабилитации пациентов дома, при выполнении упражнений в домашних условиях. Три блока инерционных датчиков прикреплялись к бедру, голени и ступне используемой ноги. Были применены методы классификации машинного обучения. В статье «Отслеживание упражнений для свободного веса» [8] используется перчатка, которая распознает тип упражнения и количество повторений.

Очень часто используется единственный инерциальный измерительный модуль, расположенный в одной части тела. Например, при оценивании выполнения приседаний [9]. В статье «Носимая на основе датчика система биологической обратной связи: смешанные

методы оценки Formulift» [10] разработано мобильное приложение «Formulift», связанное с единственным IMU, надетым на левое бедро. Анализируется классификация техники упражнения, количество повторов, обеспечивается обратная связь и руководство пользователям. В статье «Распознавание и подсчет повторов для сложных физических упражнений с глубоким обучением» [11] использовался единственный датчик на запястье и нейронная сеть, распознающая тип выполняемого упражнения и кол-во повторов.

В статье «К качественной оценке упражнений по поднятию тяжестей с использованием датчиков, носимых на теле» [12] датчики, расположенные на теле, взаимодействуют с тяжелым весом. На основе математической модели правильной техники и данных, записанных с различных частей тела, проводится оценка производительности пользователя и формулируются предложения по улучшению. В статье «SensX: об ощущении и оценке сложных движений человека» [13] проводится оценка движений человека, а также мониторинг, запись и анализ комплекса многомерных цепей движений. Использовались мобильные устройства, в том числе и в качестве датчиков. В дополнение к этому, также использовались дешевые датчики движения «MBIENTLAB Meta Wear CPRO» в количестве 4 штук. Два из них крепятся на запястья, два - к ногам внизу.

В ряде экспериментов по отслеживанию и контролю физических упражнений были использованы мобильное устройство и два датчика, расположенных на перчатке и бедре или торсе. Часто для тренировок применяется только фитнес-браслет. Подобными коммерческими продуктами, использующими инерциальные измерительные модули, являются «Fitbits» [14] и «Jawbones» [15]. Большим их недостатком является то, что они не позволяют максимально точно отследить все показатели выполняемого упражнения.

Проведенный анализ показал, что не существует единого решения задачи отслеживания правильности выполнения упражнений, все существующие технические средства ориентированы на отдельные действия и имеют разные аппаратные способы реализации, многие из которых являются достаточно громоздкими для массового использования. Использование IMU позволяет получать более точные результаты, чем использование камеры или не нательного сенсора.

2. Архитектура системы контроля качества выполнения физических упражнений

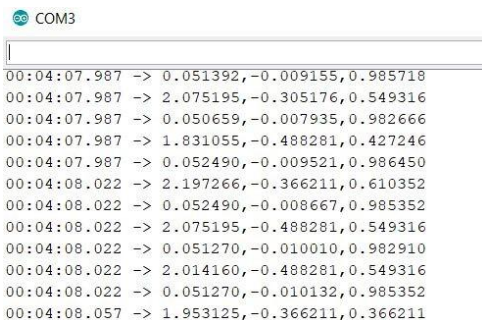
Для обеспечения максимальной компактности новой системы контроля качества выполнения физических упражнений выбран подход с использованием IMU, как позволяющий получать наиболее точные

данные. Кроме того, это также позволяет анализировать не только упражнения локального характера, какие проще регулировать с помощью датчиков, внедренных в тренажеры или свободные веса, но и более сложные упражнения. Особенно, если разместить датчики в нескольких частях тела.

Разработка системы контроля качества выполнения физических упражнений проводится с использованием аппаратных средств Arduino и соответствующей среды разработки Arduino IDE. Вначале работа со скетчами, их загрузкой проводилась на платах Arduino Nano CH340/ATmega328P и GY-85 BMP085. Впоследствии выяснилось, что плата Arduino Nano 33 Sense BLE имеет все необходимые датчики без необходимости дополнительного подключения сенсоров, в том числе включает в себя возможность соединения с сервером по беспроводному каналу, а также акселерометр и гироскоп.

Для разрабатываемой системы выбрана клиент-серверная архитектура. В ней система взаимодействует с серверной частью, размещенной на компьютере. Предложенная архитектура разрабатываемой системы состоит из клиента на основе следующих компонентов: встраиваемого вычислительного устройства Arduino; специализированных датчиков с девятью осями свободы, модуля радиосвязи и серверной части, расположенной на компьютере под управлением операционной системы Windows.

Данные, получаемые с датчиков, передаются на сервер, где осуществляется их анализ. На выходе работы датчика получаемые данные представлены в виде координат X, Y, Z (Рис. 1). Координаты считываются встроенными в IMU датчиками акселерометра и гироскопа. Акселерометр измеряет проекции ускорения по осям. Гироскоп реагирует на изменение углов ориентации датчика. Изменения ориентации конечности в пространстве отображены на рис. 1 и рис. 2.



```
COM3
00:04:07.987 -> 0.051392,-0.009155,0.985718
00:04:07.987 -> 2.075195,-0.305176,0.549316
00:04:07.987 -> 0.050659,-0.007935,0.982666
00:04:07.987 -> 1.831055,-0.488281,0.427246
00:04:07.987 -> 0.052490,-0.009521,0.986450
00:04:08.022 -> 2.197266,-0.366211,0.610352
00:04:08.022 -> 0.052490,-0.008667,0.985352
00:04:08.022 -> 2.075195,-0.488281,0.549316
00:04:08.022 -> 0.051270,-0.010010,0.982910
00:04:08.022 -> 2.014160,-0.488281,0.549316
00:04:08.022 -> 0.051270,-0.010132,0.985352
00:04:08.057 -> 1.953125,-0.366211,0.366211
```

Рис. 1. Получаемые с датчиков данные



Рис. 2. Данные в последовательном плоттере скетча

В скетче Arduino была реализована функция, объединяющая возможности считывания данных с гироскопа и акселерометра. Для взаимодействия датчиков с сервером устанавливается соединение по энергосберегающему протоколу Bluetooth Low Energy (BLE).

Серверная часть реализована на Python, скрипт взаимодействия с клиентским устройством реализован с использованием Python-библиотеки «Bleak». Обработчик уведомлений добавляет считываемые данные в массив. Пример данных, определяющих наклон IMU, которые передаются на сервер, показаны на рис 3.

```

main x
↑ 23:50:37.550892 6
↓ 23:50:37.611678 6
⏏ 23:50:37.732287 6
⏏ 23:50:37.851488 6
⏏ 23:50:37.970391 6
⏏ 23:50:38.030991 6
⏏ 23:50:38.151599 6
⏏ 23:50:38.271611 6
⏏ 23:50:38.331672 6
⏏ 23:50:38.450925 6
⏏ 23:50:38.571279 6
⏏ 23:50:38.690616 5
⏏ 23:50:38.750455 5
⏏ 23:50:38.870135 4
⏏ 23:50:38.990815 4
⏏ 23:50:39.050924 4

```

Рис. 3. Передаваемые на сервер данные

В системе предусмотрены два режима работы: запись эталонного выполнения при добавлении нового упражнения или корректировки существующего и анализ качества выполнения выбранного упражнения.

3. Алгоритм решения задачи контроля качества выполнения физических упражнений

Задача контроля качества выполнения физических упражнений решается с использованием машинного обучения. Алгоритм решения задачи включает следующие этапы:

1. Проводится запись эталонных данных упражнений, фиксируется правильное и неправильное выполнение упражнений.

2. На основе полученных массивов данных с помощью инструментов машинного обучения строятся модели упражнений на основе решения задачи классификации (правильное или неправильное выполнение).

В перспективе возможно расширение функциональности системы путем добавления моделей упражнений, выполненных с типичными ошибками для обеспечения возможности предоставления пользователю более развернутой обратной связи для дальнейшей корректировки выполнения упражнения.

Заключение

Проведенное исследование подходов к решению задачи контроля качества выполнения физических упражнений показало большую актуальность задачи и необходимость разработки компактного устройства с поддержкой возможности самостоятельного добавления необходимых упражнений и контроля качества их выполнения.

Разрабатываемая система даст возможность занимающемуся иметь возможность оперативного получения информации о качестве выполнения упражнения. Это позволит повысить эффективность тренировок при отсутствии контроля со стороны тренера, снизить риск получения различных травм. Кроме того, система контроля качества выполнения физических упражнений является полезным вспомогательным инструментом для сбора статистики и отслеживания правильности выполнения упражнений занимающимися для тренеров. Ее использование упростит сбор данных для анализа прогресса спортсменов и позволит точнее составлять план тренировок и оперативно корректировать его для улучшения результатов.

Литература

1. Kord A. Exercise monitoring system and method. Patent Application Publication [Электронный ресурс]. US, 2009. Patent US. No.

2009/0312152 A1. – 10 p. – Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/65/44/94/747e2cfec44aa6/US20090312152A1.pdf>

2. Nelson C.A., Ledet E.H., Devan W.J., Skrzypiec C.G., Kersch J.T., Arnott R.P., Wyler E.C., Morenski K.M., Kuttan K. Sensor based exercise control system. Patent Application Publication [Электронный ресурс]. Patent US, 2011. No. US 2011/0269601 A1. – 15 p. – Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/27/6c/82/c293624d724ecf/US20110269601A1.pdf>

3. Ma Y., Hawkinson W. J. Camera and inertial measurement unit integration with navigation data feedback for feature tracking [Электронный ресурс]. Patent US, 2014. No. 8,676,498 B2 – 10 p. – Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/e8/55/08/40299eb335750a/US8676498.pdf>

4. Khurana R., Ahuja K., Yu Z., Mankoff J., Harrison C., Goel M. GymCam: Detecting, Recognizing and Tracking Simultaneous Exercises in Unconstrained Scenes [Электронный ресурс]. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., 2018. V. 2, No. 4, Article 185. - 17 p. – Режим доступа: <http://smashlab.io/pdfs/gymcam.pdf>

5. O'Reilly M., Ward TE., Whelan D., Delahunt E. Technology in S&C: Tracking Lower Limb Exercises with Wearable Sensors [Электронный ресурс]. The Journal of Strength and Conditioning Research, 2017. V. 31. No. 6. - 35 p. doi: 10.1519/JSC.0000000000001852 – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/314031305_Technology_in_SC_Tracking_Lower_Limb_Exercises_with_Wearable_Sensors

6. Chiang A., Chen Q., Li S., Wang Y., and Fu M. Denoising of Joint Tracking Data by Kinect Sensors Using Clustered Gaussian Process Regression [Электронный ресурс]. Journal of MMHealth, 2017. V. 17. - pp. 19 – 25. doi: 10.1145/3132635.3132642 – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6420306/>

7. Giggins OM., Sweeney KT., Caulfield B. Rehabilitation exercise assessment using inertial sensors: a cross-sectional analytical study [Электронный ресурс]. Journal of Neuroeng Rehabil., 2014. V. 11. No. 158. - 10 p. doi: 10.1186/1743-0003-11-158 – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4280766/>

8. Chang K.-h., Chen M.Y., Canny J. Tracking Free-Weight Exercises. International Conference on Ubiquitous Computing [Электронный ресурс]. UbiComp 2007: Ubiquitous Computing, 2007. – pp. 19 – 37. – Режим доступа: <http://bid.berkeley.edu/files/papers/47170019.PDF.pdf>

9. O'Reilly M., Whelan D., Chaniyalidis C., Friel N., Delahunt E., Ward T., Caulfield B. Evaluating squat performance with a single inertial measurement unit [Электронный ресурс]. IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2015. - 7 p. doi: 10.1109/BSN.2015.7299380 – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/308545760_Evaluating_squat_performance_with_a_single_inertial_measurement_unit
10. O'Reilly M.A., Slevin M., Ward T., Caulfield B.A. Wearable Sensor-Based Exercise Biofeedback System: Mixed Methods Evaluation of Formulift [Электронный ресурс]. JMIR Mhealth Uhealth, 2018. V. 6. No. 1. - 23 p. doi: 10.2196/mhealth.8115 – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5812980/>
11. Soro A., Brunner G., Tanner S., Wattenhofer R. Recognition and Repetition Counting for Complex Physical Exercises with Deep Learning [Электронный ресурс]. Journal of Sensors, 2019. V. 19. I. 3. - 22 p. doi:10.3390/s19030714 – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/3/714/html>
12. Velloso E., Bulling A., Gellersen H. Towards qualitative assessment of weight lifting exercises using body-worn sensors [Электронный ресурс]. Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing. Beijing: UbiComp, 2011. – pp. 587-588. doi: 10.1145/2030112.2030226 – Режим доступа: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2030226>
13. Ebert A., Kiermeier M., Marouane C., Linnhoff-Popien C. SensX: About Sensing and Assessment of Complex Human Motion [Электронный ресурс]. Proceedings of 14th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC). Calabria, 2017. - 6 p. doi: 10.1109/ICNSC.2017.8000113 – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1703.02847>
14. Official website of «Fitbit» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fitbit.com/global/us/home>
15. Official website of «Jawbone» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jawbone.com/>