

## СПОСОБ СБОРА ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КООРДИНАЦИОННО-РЕАБИЛИТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КООРДИНАЦИИ ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЕМ ОПОРНО- ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*Глушаченко Н.С.<sup>1</sup>, Деменковец Д.В.<sup>1</sup>, Куйко Н.С.<sup>2</sup>*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии<sup>2</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Аносов В.С.<sup>2</sup> – врач-ортопед, канд. мед. наук,*

**Аннотация.** В данной работе рассматривается аппаратная и программная реализация координационно-реабилитационного комплекса для исследования координации детей с нарушением опорно-двигательного аппарата. Отдельно рассмотрен игровой аспект при использовании комплекса.

**Ключевые слова.** Координационно-реабилитационный комплекс, нарушения опорно-двигательного аппарата, игровые методы сбора данных, реабилитация, преобразования координат, углы Эйлера, полярная система координат, оконная система координат.

Нарушения опорно-двигательного аппарата у детей являются актуальной проблемой, требующей комплексного подхода к реабилитации. В отличие от взрослых, большинство ортопедических нарушений детского возраста поддаются коррекции лечебной физической культурой. Низкая заинтересованность детей в качественном выполнении однотипных упражнений резко снижает эффективность лечения и реабилитации.

Одним из решений в этой области является использование координационно-реабилитационного комплекса, который в «игровой форме» применим для лечения и профилактики динамических ортопедических нарушений стоп и позвоночника, реабилитации после перенесенных травм, длительной иммобилизации конечности, тренировки вестибулярного аппарата, координации, равновесия и анализа динамики реабилитации и восстановления.

Использование программно-аппаратного комплекса предоставляет возможность сбора и анализа данных, а также формирования истории прогресса и эффективности. Полученные данные позволяют оценить клиническую эффективность применяемых методик, следить за «игровым» прогрессом и адаптировать программу реабилитации в соответствии с его потребностями.

Аппаратный комплекс представляет собой блок, встраиваемый в балансировочную платформу. Балансировочный диск с установленным на него аппаратным комплексом изображен на рисунке 1. При этом размер и форма балансировочной платформы не имеют значения, что делает данный блок легко переносимым. При реализации были учтены следующие требования: автономность, возможность передачи данных по локальной сети и удобство настройки с помощью устройства удаленной настройки Wi-Fi соединения.



Рисунок 1 – Внешний вид балансировочного диска с аппаратным комплексом

Для обеспечения автономности комплекс был оборудован 6 литий-ионными аккумуляторами, обеспечивающими до двух недель автономной работы. Также был установлен модуль для их зарядки.

Подобная реализация позволяет пациенту собирать данные без необходимости находиться под постоянным наблюдением в медицинском учреждении, что значительно упрощает сбор данных для жителей, не имеющих возможности постоянно находиться на стационарном лечении, а также позволяет анализировать данные за более длительный промежуток времени непрерывно. Компоненты комплекса изображены на рисунке 2.

При передаче данных возникает необходимость обеспечения их стабильной передачи без потерь и искажений, поскольку любое изменение передаваемых данных может повлиять на отображаемый результат и привести к неправильным результатам вычислений. По этой причине для связи с программным комплексом был использован протокол TCP, обеспечивающий гарантированную доставку данных без потерь. За сетевое взаимодействие отвечает отдельный Wi-Fi модуль. В связи с этим, для взаимодействия программного и аппаратного модулей необходимо наличие сетевого роутера. При этом, конфигурирование может выполняться при помощи мобильного телефона. IP адрес, выделенный устройству, дополнительно отображается на OLED дисплее для упрощения конфигурации программы.

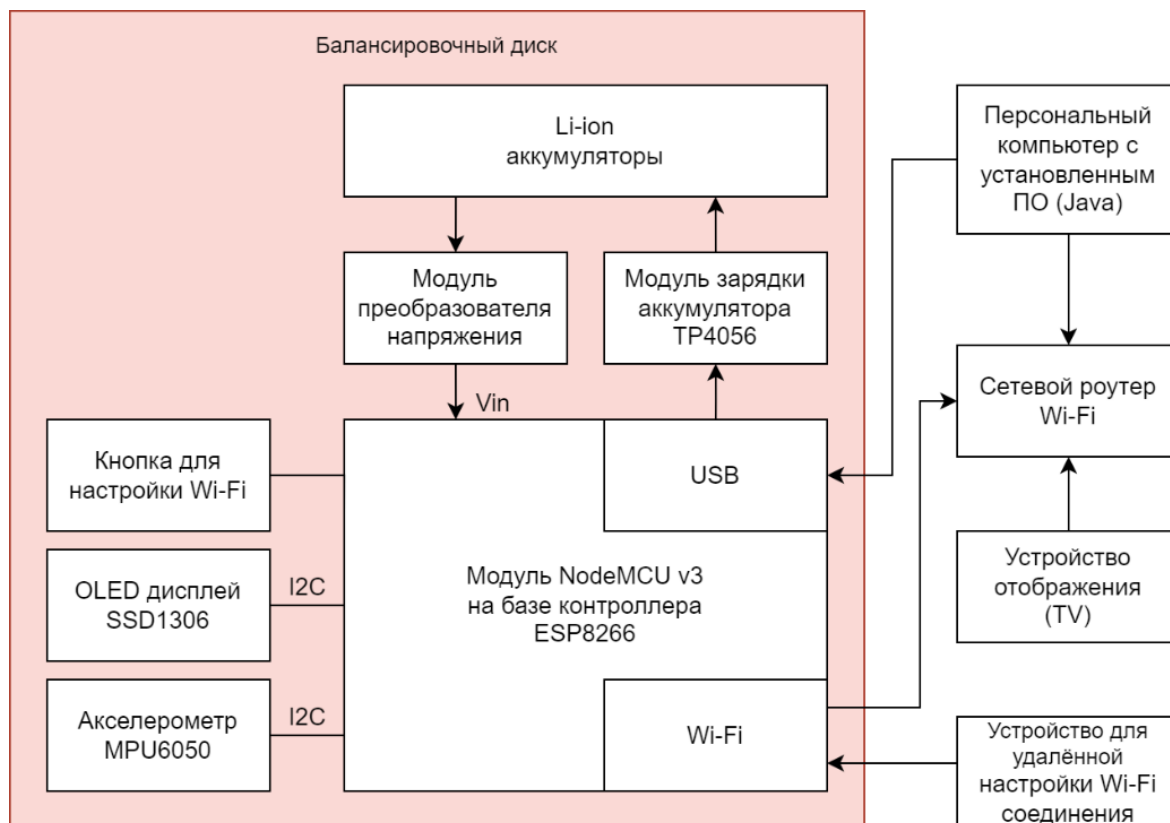


Рисунок 2 – Компоненты комплекса

Сбор данных осуществляется при помощи акселерометра, собирающего углы наклона по трем осям: крену, тангажу и рысканию – трем углам поворота, соответствующим трём углам Эйлера [1], которые задают ориентацию предмета относительно нормальной системы координат (относительно его центра инерции по трём осям), отображены на рисунке 3. Следует заметить, что для обеспечения переносимости данных между разными разрешениями экрана, вычисляемые числовые характеристики должны рассчитываться только в данных углах, поскольку вычисления в иных системах координат приведут к непереносимости результатов при изменении разрешения экрана. Угловые координаты в свою очередь никак не связаны с разрешением экрана пользователя и зависят только от заранее зафиксированных углов наклона.

При анализе можно использовать как все 3 угла, так и их попарные комбинации. Для графического представления в двумерном пространстве необходимо спроецировать пары углов на экран монитора. В случае анализа нарушений опорно-двигательного аппарата интерес представляют крен (наклон вправо и влево) и тангаж (наклон вперед и назад).

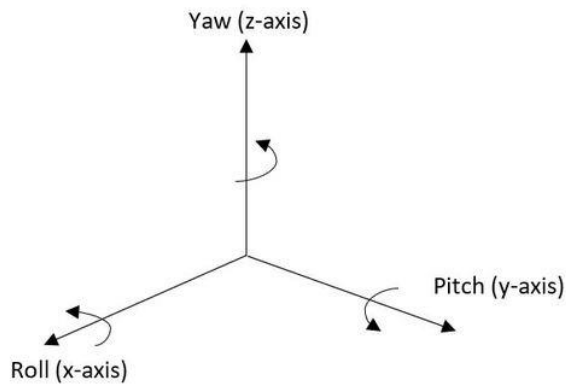


Рисунок 3 – Углы Эйлера

При выполнении проецирования углов на экран необходимо выполнять перевод в оконную систему координат [2]. Она изображена на рисунке 4. Эта система отличается тем, что центр в ней помещен в левый верхний угол окна, а размеры определяются размерами клиентской области.

Для выполнения преобразования потребуется зафиксировать максимальные углы наклона для избегания выхода координат за пределы окна. Таким образом, зная максимальный угол отклонения диска от своего положения равновесия  $\varphi_{max}$ , можно выполнить преобразование угла  $\varphi$  в координаты окна  $C$ .

$$C = \frac{\varphi + \varphi_{max}}{2 * \varphi_{max}} * L, \quad (1)$$

где  $L$  – размер окна.

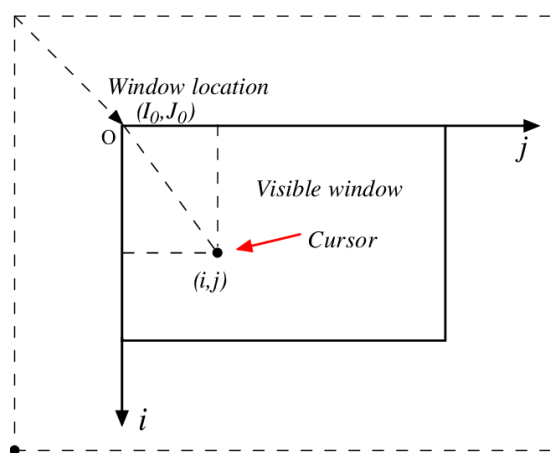


Рисунок 4 – Оконная система координат

Зная угловые координаты и учитывая, что данные от балансирующего диска приходят через равные промежутки времени, можно рассчитать интенсивность пребывания точки в заданной области экрана. Для этого требуется выполнить перевод в полярную систему координат [3]. Она изображена на рисунке 5.

Полярная система координат позволяет отнести заданную точку к углу. Разделив круг на заданное число областей, можно рассчитать количество точек, попадающих в каждый диапазон углов. Это количество можно интерпретировать как интенсивность пребывания испытуемого в определенном положении. Для визуализации этой интенсивности можно построить диаграмму.

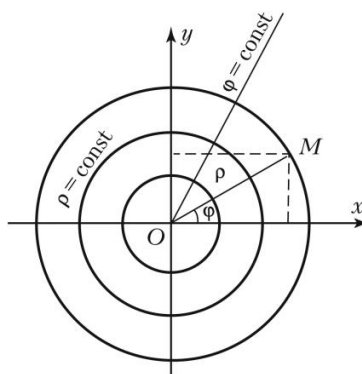


Рисунок 5 – Полярная система координат

При построении программным путем, диаграмму можно представить как многоугольник. Рассмотрим алгоритм построения: пусть задан радиус (расстояние от координатного центра до самой удаленной точки многоугольника). Вычисляя область с самым большим количеством точек (область, в которой точка находилась дольше всего) рассчитывается ее центр путем деления пополам суммы начального и конечного угла области. Под этим углом выполняется построение точки. Расстоянием от центра до точки принимается радиус. Далее на основании радиуса и угла точки получаются ее координаты относительно центра экрана, которые затем преобразуются в оконную систему координат. Для оставшихся областей также рассчитывается их центр. Расстоянием от центра до точки принимается произведение радиуса на отношение числа точек в данной области к числу точек в области с их наибольшим числом. Таким образом, получается прямая зависимость радиуса от числа точек, что позволяет визуализировать интенсивность. Примеры построенных диаграмм изображены на рисунке 6.

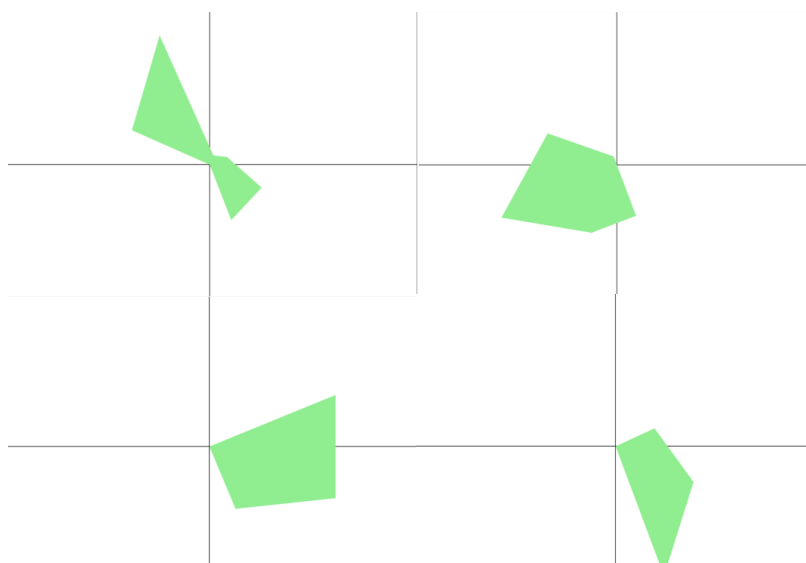


Рисунок 6 – Примеры диаграмм интенсивностей.

Вместо традиционных методов сбора данных, которые могут быть неприятными или утомительными для детей, в приложении были использованы игровые методы, так как они предлагают более привлекательный и мотивирующий подход к сбору информации. При реализации игрового аспекта в первую очередь была учтена необходимость демонстрации прогресса.

Сбор информации стал представлять собой игру, где пользователю необходимо разместить игрового персонажа в определенной области экрана (мишени) и удерживать его в ней определенной количество времени. Чем ближе игрок к центру требуемой области, тем большее количество очков он набирает. Область может представлять собой мишень с отображением заполнения прогресса, либо анимацию, воспроизводимую при нахождении внутри требуемой области.

Прогресс игры был представлен очками, которые набирает игрок за нахождение в требуемой области. При этом, диаграмму можно отдельно построить для каждой такой области, считая отклонения от ее центра. Для этого необходимо перенести центр координат в центр мишени и вычислять полярные координаты относительно этого центра, что позволит получить углы отклонения. При этом, возникает необходимость отсекал точки, которые находятся внутри области. Для этого

используется полярный радиус. Точки с радиусом меньшим, чем радиус области, не учитываются при формировании диаграммы.

Возможность выбора персонажа реализована при помощи добавления картинок. Таким образом, пользователь может добавлять собственных персонажей при необходимости, что обеспечивает индивидуальный подход. Игровой процесс с использованием заранее загруженного персонажа представлен на рисунке 7.

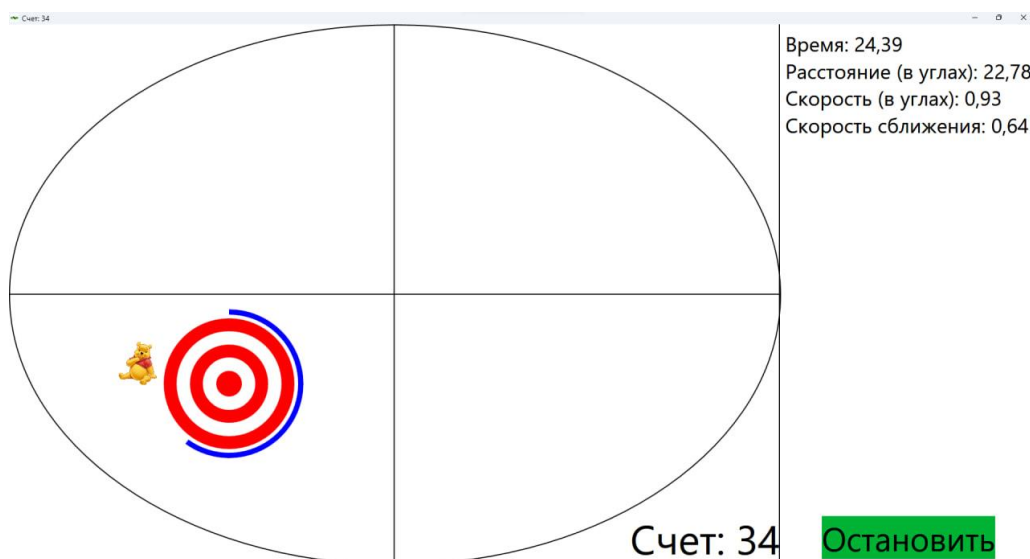


Рисунок 7 – Игровой процесс с использованием заранее загруженного персонажа.

По завершении игры для каждой такой области строится отдельная диаграмма, показывающая, в какую сторону чаще всего отклоняется испытуемый. При анализе движения количественной характеристикой была выбрана скорость сближения с мишенью. Эта скорость представляет собой отношение пройденного пути ко времени движения. Угловая скорость была выбрана по причине того, что углы наклона никак не связаны с разрешением экрана и позволяют наиболее точно измерить реакцию и способность менять угол наклона не теряя равновесия. При этом, скорость сближения не зависит напрямую от расстояния от центра координат до мишени.

Таким образом, на основании проведенной работы было создано аппаратно-программное средство, позволяющее визуализировать численные данные, получаемые от координационно-диагностического модуля. Создан режим, позволяющий проводить сбор данных в игровой форме у детей младшего возраста. При реализации данного режима был обеспечен индивидуальный подход к каждому ребенку посредством возможности выбора уникального игрового персонажа. Были выбраны и обоснованы требуемые для диагностики числовые характеристики, реализованы алгоритмы их расчета и графического представления, проведен анализ характеристик интенсивности. Эти данные могут в дальнейшем быть использованы при оценке нарушений опорно-двигательного аппарата и вестибулярной системы.

**Список использованных источников:**

1. Углы Эйлера [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://old.bigenc.ru/physics/text/4940239> — Дата доступа: 22.03.2024.
2. Оконная система координат [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/gdi/window-coordinate-system> — Дата доступа: 22.03.2024.
3. Полярная система координат [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/poliarnaia-sistema-koordinat-631683> — Дата доступа: 22.03.2024.

## **METHODS OF DATA COLLECTION BY USING A COORDINATION AND REHABILITATION COMPLEX TO EXAMINE THE COORDINATION OF CHILDREN WITH LOCOMOTOR DISORDERS**

*Glushachenko N.S.<sup>1</sup>, Demenkovets D.V.<sup>1</sup>, Kuiko N.S.<sup>2</sup>*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics<sup>2</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Anosov V.S.<sup>2</sup> – PhD in Medicine*

**Annotation.** This paper describes hardware and software implementation of a coordination and rehabilitation complex for diagnosing and preventing disorders of the musculoskeletal system. The game aspect of using the complex is examined individually.

**Keywords.** Coordination and rehabilitation complex, musculoskeletal disorders, game methods of data collection, rehabilitation, coordinate transformations, Euler angles, polar coordinate system, window coordinate system, frequency diagram.