

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-4-06

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЙ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА****Ю. Г. Бурыкин***Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»,
г. Сургут, Российская Федерация*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4765-1199>, bionbf@yandex.ru

Аннотация: автором предложен инструментальный способ регистрации движений верхних конечностей человека с количественной оценкой выполнения диагностических тестов, заключающихся в обведении контуров выбранных пользователем графических объектов при помощи устройств ввода графической информации, в частности мыши, графических планшетов и дисплеев со стилусом. С помощью созданного опытного образца аппаратно-программного комплекса была произведена регистрация и оценка кинематических характеристик (траектория и её отклонение от шаблона, скорость, ускорение) движения ведущей верхней конечности у детей дошкольного возраста в процессе формирования графических навыков, а также выполнена количественная оценка двигательной координации в процессе реабилитации после инсульта. Информация о параметрах статической и динамической координации человека актуальна для объективной оценки его психофизиологического состояния в области педагогики, спорта, медицинской диагностики, криминалистике.

Ключевые слова: треморометрия, координациометрия, кинематика, точность движений, диагностика.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН № 0065-2019-0007.

Для цитирования: Бурыкин Ю. Г. Аппаратно-программный комплекс для количественной оценки координации движений верхних конечностей человека. *Успехи кибернетики*. 2023;4(4):62–73. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-4-06.

*Поступила в редакцию: 25.09.2023.**В окончательном варианте: 13.12.2023.***EVALUATION OF THE COORDINATION OF THE HUMAN UPPER EXTREMITIES****Yu. G. Burykin***Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian
Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4765-1199>, bionbf@yandex.ru

Abstract: we proposed a method for registering human upper limb movements with diagnostic tests. The user outlines geometric shapes using a mouse, tablet, or stylus. The pilot system and software registered the kinematic characteristics (path and its deviation, velocity, acceleration) of the upper limb movements in preschool children as they develop drawing skills, and measured the motor coordination in stroke patients. The static and dynamic coordination characteristics can be used to objectively assess the psychophysiological state of the individual in education, sport, medical diagnostics and forensics.

Keywords: tremorometry, coordinationimetry, kinematics, diagnostics, accuracy of movements.

Acknowledgements: this study is a part of the No. 0065-2019-0007 government order contracted to the Scientific Research Institute for System Analysis, Russian Academy of Sciences.

Cite this article: Burykin Y. G. Evaluation of the Coordination of the Human Upper Extremities. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(4):62–73. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-4-06.

*Original article submitted: 25.09.2023.**Revision submitted: 13.12.2023.***Введение**

Определение понятия «координационные способности» имеет множество интерпретаций различных авторов, обусловленных неоднозначным пониманием сущности координационных способностей. Многие определения понятия «координационные способности» представлены в обзорных статьях ряда исследователей [1, 2].

По мнению О. А. Двейриной [2], основанном на положениях теории Н. А. Бернштейна [3] о многоуровневой системе построения движений и характеристике её отдельных уровней [4] очень ценным для определения сущности координационных способностей является утверждение о том, что движения каждого уровня обеспечивают определенные свойства организма человека. То есть, ключевым понятием при определении механизма координации, по мнению автора [2], следует считать не класс двигательных задач, а свойства организма, которые обеспечивают их решение. Далее автором приводится определение, отражающее суть явления: «Координационные способности – это совокупность свойств организма человека, проявляющаяся в процессе решения двигательных задач разной координационной сложности в соответствии с уровнем построения движений и обуславливающая успешность управления двигательными действиями [2, с. 36].

Большую роль в управлении движениями играет обратная связь, без которой таковое становится неэффективным. Информация о текущем положении конечностей в пространстве непрерывно поступает в нервную систему от проприорецепторов, обеспечивающих мышечно-суставную чувствительность: в мышцах — это мышечные веретена; в сухожилиях в местах их соединения с мышцами — сухожильные органы Гольджи; в суставных сумках — это рецепторы типа окончаний Руффини, сухожильных органов Гольджи и, в меньшем числе, рецепторы типа телец Пачини, а также свободные нервные окончания с немиелинизированными афферентами [5, с. 36].

Кроме того, на эффективность управления движениями влияет также информация, поступающая в нервную систему от рецепторов сетчатки глаз при выполнении действий под контролем зрения, например письма, рисования. В обзорной статье ряда авторов [1] приводится ссылка на В. Н. Платонова, который связывал координацию движений человека с возможностями и эффективной работой зрительного и вестибулярного анализаторов, быстротой прохождения импульсов, поступающих от проприорецепторов и выделял предпосылки к высокому качеству проявления координационных способностей: мышечно-суставную чувствительность; двигательную память, связанную с запоминанием двигательных форм с последующим их воспроизведением; эффективную внутримышечную и межмышечную координацию; совершенство механизма нервно-мышечной передачи импульсов [1].

Координация движений также связана с различительной способностью двигательного анализатора. Методика гониометрии направлена на измерение точности выполнения движений по заданной амплитуде. Порог мышечно-суставной чувствительности определяется минимальной величиной перемещения в суставе, выраженной в угловых градусах, которую испытуемый различает. Для измерения абсолютных и разностных порогов мышечно-суставной чувствительности используют кинематометры различных конструкций: для измерения точности выполнения движений в голеностопном суставе используется педальный кинематометр Шульте; в локтевом, коленном и тазобедренном суставах — кинематометр Жуковского; в плечевом — линейка Петрова [6]. Для определения точности движения кисти разработан механический кинематометр, а для оценки управления пространственными характеристиками движений в предплечье электронный кинематометр конструкции М. Жуковского [7]. Авторами исследований координационных способностей в группах юных танцоров также описана методика минимального приращения пространственного интервала (амплитуды) в лабораторном эксперименте по оценке точности параметров движения (различительной чувствительности пространства) с использованием курвиметра [8].

Динамическая и статическая координация верхних конечностей исследуются с помощью психологических методик диагностики, которые позволяют измерять точность управления движениями при решении двигательных задач, в частности, методика «Контактная треморометрия» позволяет исследовать статический тремор, а с помощью методики «Контактная координациометрия по профилю» проводятся исследования динамического тремора. Контактная треморометрия даёт информацию о среднем количестве касаний в секунду и средней продолжительности касаний, позволяет диагностировать мануальный тремор, координацию и сенсорный контроль над движениями. Контактная координациометрия по профилю даёт информацию о количестве касаний, среднем количестве касаний в секунду, средней продолжительности касаний, времени прохождения лабиринта и позволяет диагностировать мануальный тремор, координацию, сенсорный контроль над движениями и подвижность нервных процессов. Интерпретация результатов обследований испытуемых в норме и при наличии дисфункции опорно-двигательного аппарата, полученных с помощью данных методик представлена в работах ряда авторов [9–11]. В исследовании особенностей проявления пластики и точности движе-

ний женщин авторами [7] предлагается использование электронного тремометра, который позволяет определять точность обведения различных по сложности фигур: в форме квадрата, треугольника, двух концентрических кругов, зигзага, волны и прямой линии.

Наряду с вышеперечисленными способами оценки пространственной точности движений существуют тесты, где точность оценивается по вероятности попадания в заданную область [12], а также существует большое разнообразие тестов, связанных с манипуляциями мелкими предметами [13]. Многообразие видов деятельности, связанных с реализацией пространственной точности при выполнении движений не позволяет оценить их по унифицированному критерию, в связи с чем, рядом авторов [14] были разработаны способы для определения параметров точности движений, учитывающие специфику проявления мануальной точности в условиях конкретной профессии, а именно у будущих врачей-стоматологов. В данной работе [14] приводится описание прибора для измерения пространственно-временной точности двигательных действий в двух плоскостях. При исследовании ведется учет времени контактного взаимодействия щупа (стоматологического зонда) и контактной пластины с точностью до 0,01 с, учитывается динамика изменения количества касаний (темпа движений) за каждые 10 с выполнения тестирования.

Также авторами [14] описан способ контактной треморометрии, адаптированной для исследования координации врачей-стоматологов. Испытуемому во время обследования в положении стоя с прямой рукой, предлагалось вставить металлический щуп (стоматологический зонд с затупленным рабочим концом, имеющим диаметр 1 мм) в отверстие, расположенное на уровне груди диаметром 6 мм и продержать, стараясь не касаться краев отверстия в течение 30 с. Регистрировалось количество касаний и их продолжительность.

Наряду с регистрирующими устройствами для определения координации врачей-стоматологов использовались пространственный тест на миллиметровой бумаге и штырьковый тест. Тест на миллиметровой бумаге позволял определить величину ошибки при контролируемом перемещении руки из одной точки в другую на горизонтальной плоскости вправо, а штырьковый тест выполнялся путем перемещения штырей длиной 30 мм и диаметром 1,6 мм из ёмкости в сквозные отверстия диаметром 2 мм в форме, имитирующей расположение зубов на нижней челюсти человека [14].

Получение количественных данных о координации движений верхних конечностей человека инструментальными методами актуально для объективной оценки психомоторного развития детей, оценки координационных навыков спортсменов, в профессиональном и спортивном отборе, экспресс-диагностики психоэмоционального состояния человека-оператора, а также в целях медицинской диагностики в области неврологии и при патологиях со стороны опорно-двигательного аппарата.

Целью данной работы была разработка способа объективной оценки динамической и статической координации конечностей человека инструментальными методами и создание опытного образца аппаратно-программного комплекса для проведения диагностики. В ходе работы решались задачи, связанные с выбором наиболее информативных параметров оценки двигательной координации и реализацией вычислительных алгоритмов.

Основополагающими критериями оценки координационных способностей В. И. Лях считал: правильность, быстроту, рациональность и находчивость. В свою очередь вышеперечисленные критерии имеют количественные и качественные характеристики. К количественным характеристикам автор относит точность, скорость, экономичность и стабильность, к качественным характеристикам – адекватность, своевременность, целесообразность и инициативность [15].

При разработке аппаратно-программного комплекса для количественной оценки координации движений верхних конечностей человека предъявлялись требования максимально учитывающие количественные характеристики вышеперечисленных критериев, в частности, в диагностическом отчете, полученном после выполнения тестовых заданий содержатся сведения о точности (отклонении от координат точек шаблона), скорости, дисперсии и сигмы. Последние два параметра характеризуют стабильность двигательной координации.

Оснащение для проведения диагностического исследования

Количественная оценка двигательных функций посредством аппаратно-программных комплексов может применяться для получения объективной информации о сенсомоторной интеграции при проведении диагностических тестов, заключающихся в обведении контуров выбранных пользователем графических объектов при помощи устройств ввода графической информации, в частности мыши,

графических планшетов и дисплеев со стилусом.

Для проведения диагностики в условиях наиболее приближенных по биомеханическим параметрам к письму, рисованию предпочтительнее использовать стилусы, по форме и массе приближающиеся к предметам для письма (ручке, карандашу). В этом случае потребуется следующее оснащение:

- графический планшет (например, XP-Pen Star 03) или графический дисплей (например, XP-Pen Artist 15.6) и другие аналоги;
- стилус удобной формы;
- подставка для планшета с возможностью регулировки угла наклона рабочей поверхности;
- программное обеспечение для оценки координации движений верхней конечности при письме (рисовании).

Предъявление графической информации возможно как на экране в случае использования графического дисплея или монитора, так и на листе бумаги при использовании графического планшета. Графические объекты, выводимые на печать, создаются с помощью генератора изображений, выбираемого в меню программы.

При отсутствии графического планшета потребуется персональный компьютер с монитором, компьютерная мышь и программное обеспечение. Следует отметить, что результаты, полученные при использовании стилуса и мыши несопоставимы, т.к. изменяется биомеханика письма или рисования.

Области применения:

- оценка координации при формировании графических навыков у детей дошкольного и младшего школьного возраста (возможно проведение контрольных срезов в различные периоды обучения);
- количественная оценка показателей зрительно-моторной координации у детей, занимающихся художественным творчеством;
- оценка координации верхних конечностей после выполнения различных физических упражнений у детей и взрослых, занимающихся спортом (координационная проба с физической нагрузкой);
- оценка межмышечной и внутримышечной координации в процессе выполнения движений в условиях статической нагрузки на верхнюю конечность (актуально для силовых видов спорта, а также стрелков при длительном статическом удержании оружия в процессе тренировки);
- профессиональный отбор;
- спортивный отбор;
- оценка координации верхних конечностей у человека-оператора для допуска к работе;
- оценка восстановления двигательных функций верхних и нижних конечностей (стилус зажимается между пальцами ноги) в процессе реабилитации;
- определение межполушарной асимметрии по соотношению суммарных отклонений, полученных для правой и левой верхних конечностей.

Подготовительный этап

До начала диагностики необходимо создать комфортные условия: обеспечить оптимальный уровень освещённости и посторонних шумов, удобно расположить обследуемого за столом, соблюдая расстояние от графического объекта до глаз не менее 35–40 см. Планшет или коврик для мыши должен находиться на чистой ровной горизонтальной поверхности или на поверхности подставки под заданным углом наклона.

В случае использования графического планшета необходимо поместить распечатанное для проведения тестирования изображение под плёнку, как показано на рисунке 1. При использовании графического дисплея или монитора графический объект выбирается в меню пользователя из имеющихся в базе изображений.

Если необходимый графический объект отсутствует, то возможно создать его, используя вкладку меню: генератор изображений. Изображение сохраняется в нескольких вариантах, в программу необходимо загрузить тот, у которого отсутствует фон. Для оценки статической координации рекомендуется генерировать точку, относительно которой будут вычисляться среднее отклонение и другие параметры.

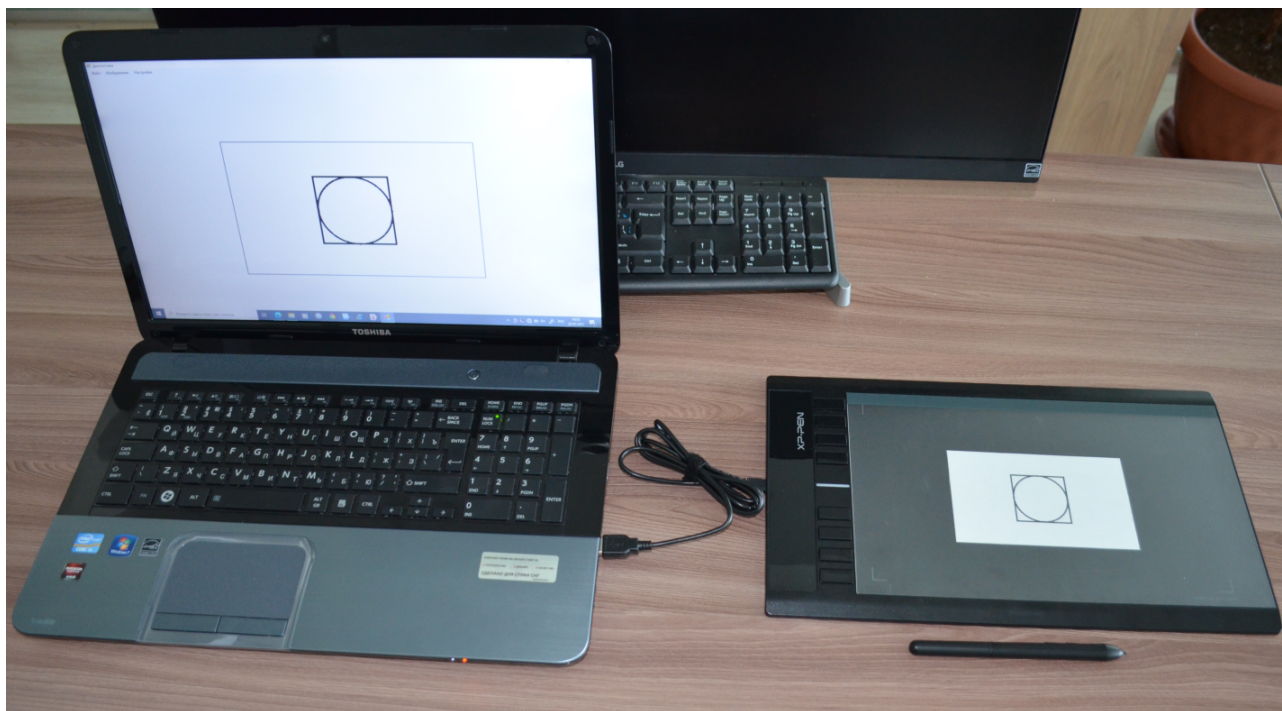


Рис. 1. Внешний вид аппаратно-программного комплекса при использовании графического планшета XP-Pen Star 03

Калибровка

Работа с программой начинается с ввода Ф.И.О. обследующего, Ф.И.О. обследуемого, даты рождения последнего. В меню программы выбирается вкладка: загрузить изображение. Выбор изображения, выводимого на экран монитора ПК, производится в соответствии с изображением, распечатанным на листе бумаги и размещённым под плёнкой на рабочей поверхности графического планшета. Для более точного определения местоположения изображения и нахождения среднего между координатами указанных точек используется четыре точки по углам листа бумаги.

Калибровка выполняется по следующему алгоритму:

- нажатие пробела для начала операции калибровки;
- последовательное касание стилусом в четырех точках по часовой стрелке, начиная с правого верхнего угла листа бумаги, расположенного под плёнкой графического планшета;
- по указанным точкам получаем позицию изображения, его ширину и длину.

Касание стилусом планшета в четырёх точках, соответствующих углам листа бумаги с изображением, позволяет более точно определять местоположение графического объекта по среднему между координатами указанных точек.

В случае использования графического дисплея или монитора ПК, выполнение калибровки не требуется, т.к. изображение графического объекта выводится непосредственно на экран.

Вычисление угла наклона изображения производится по нижеприведённому алгоритму, представленному на рисунке 2.

```
float angle1 = (float)(Math.Atan2(fp2.Y - fp1.Y, fp2.X - fp1.X) * (180 / Math.PI));
float angle2 = (float)(Math.Atan2(fp3.Y - fp4.Y, fp3.X - fp4.X) * (180 / Math.PI));

Console.WriteLine(angle1 + " " + angle2);
pictureBox1.Image = RotateImage(pictureBox1.Image, (angle1 + angle2) / 2);
```

Рис. 2. Вычисление угла наклона изображения

Поворачивание исходного изображения на найденный угол и его отображение на экране монитора (и графического дисплея) производится в соответствии с алгоритмом приведённым на рисунке 3.

```

public Image RotateImage(Image img, float rotationAngle)
{
    Bitmap bmp = new Bitmap(img.Width, img.Height);
    Graphics gfx = Graphics.FromImage(bmp);

    gfx.TranslateTransform((float)bmp.Width / 2, (float)bmp.Height / 2);
    gfx.RotateTransform(rotationAngle);
    gfx.TranslateTransform(-(float)bmp.Width / 2, -(float)bmp.Height / 2);

    gfx.InterpolationMode = InterpolationMode.HighQualityBicubic;

    gfx.DrawImage(img, new Point(0, 0));

    gfx.Dispose();

    return bmp;
}

```

Рис. 3. Поворачивание исходного изображения на найденный угол и его отображение на экране монитора

Настройка параметров

В процессе обведения контура графического объекта изображение в частности принимает вид, представленный на рисунке 4. Синим цветом выделены сегменты, которые отображаются через каждые n пикселей, проходимых стилусом или мышкой. Количество пикселей, которые являются промежутком, задаёт пользователь, как и размер сегмента.

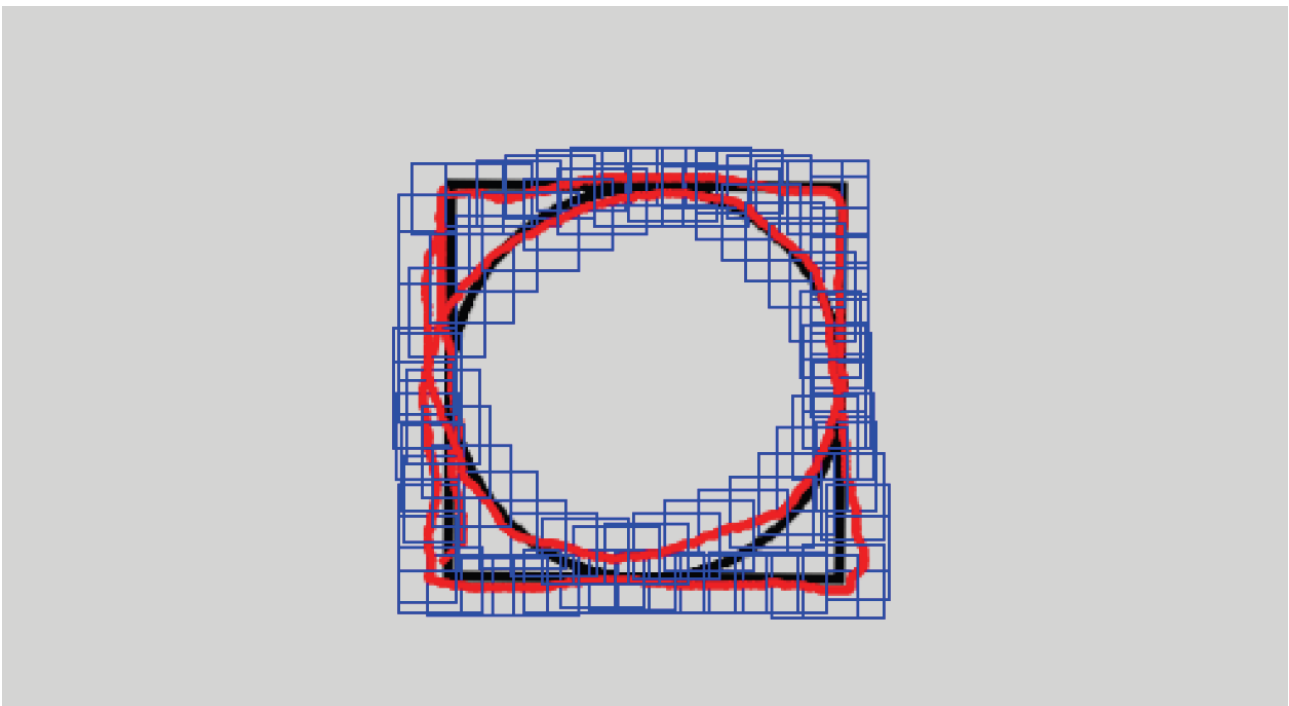


Рис. 4. Пример обведения контура графического объекта с отображением сегментов

На рисунке 5 представлены настройки параметров, задаваемые пользователем перед проведением обследования. При отключении функции «выводить сегменты» отображаться будет только траектория движения стилуса и исходный объект. Цвета линий и фона выбираются из палитры. Пользователем также задается шаг (в настройках обозначена как граница «прыжка») для исключения разрывов между графическими объектами, например, словами. Перенос стилуса между объектами в этом случае не учитывается как отклонение, в противном случае при вычислении отклонения и других параметров будут

вноситься погрешности. Размер шага также задается пользователем с учётом конкретной ситуации, т.е. расстояния между объектами.

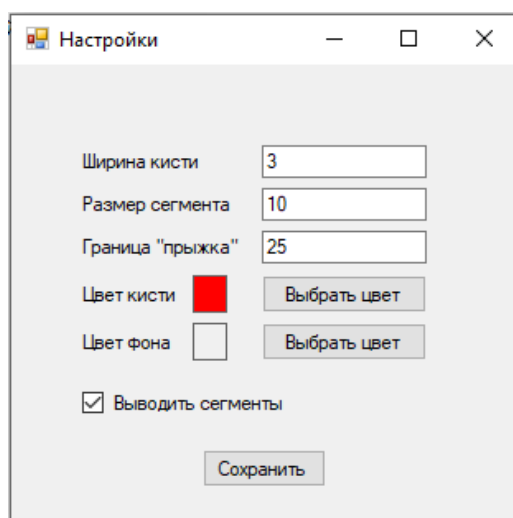


Рис. 5. Настройки параметров пользователем, задаваемые перед проведением обследования

Сегмент строится следующим образом: берется начальная точка, а после прохождения расстояния в n пикселей, устанавливается вторая точка. Далее вычисляются ещё две точки (рис. 6).

```
int maxPointX = Math.Max(analysPoint1.X, analysPoint2.X) + frameWidth;
int maxPointY = Math.Max(analysPoint1.Y, analysPoint2.Y) + frameWidth;
int minPointX = Math.Min(analysPoint1.X, analysPoint2.X) - frameWidth;
int minPointY = Math.Min(analysPoint1.Y, analysPoint2.Y) - frameWidth;
```

Рис. 6. Алгоритм построения сегмента

Описание процедуры диагностики

На мониторе ПК или дисплее графического планшета, расположенном под различными углами появляется графическая информация (изображение букв, цифр, простых или сложных геометрических фигур), которую, как можно точнее должен воспроизвести обследуемый. Графическое построение выполняется при помощи стилуса или мыши. При этом поверхность, на которой выполняется движение рукой при письме, рисовании располагается под различными углами наклона рабочей поверхности подставки. Тестирование выполняется в следующих условиях:

- при различных углах наклона плоскости графического планшета, расположенного на подставке;
- в произвольном режиме (письмо, рисование с индивидуальной скоростью);
- в условиях статической нагрузки (с отягощением, фиксируемом на активной верхней конечности);
- в условиях шумовых акустических и зрительных помех;
- для выявления асимметрии в управлении движениями правой и левой верхними конечностями обследуемого;

Обследуемый обводит стилусом или мышкой контур изображения, расположенного под пленкой графического планшета (на экране графического дисплея, монитора). Касание стилусом графического планшета или графического дисплея аналогично ведению курсора мыши с зажатой левой кнопкой в случае проведения тестирования с использованием экрана монитора ПК.

Полученные после обследования первичные данные сохраняются в два файла с расширением `.txt`. В файле `RawData` сохраняются: номер отсчёта; время в миллисекундах; координаты точек на плоскости (x , y), полученных при движении стилусом или мышкой во времени. В файл `SegmentData` записываются: номер сегмента; время для каждого сегмента в миллисекундах; общее время тестирования; отклонение, полученное в каждом сегменте изображения.

Вычисление отклонения и статистических параметров

Конструктор класса `bitImage` работает в несколько этапов.

1. Получение исходного изображения из файла через диалоговое окно выбора файла.
2. Формирование матрицы `sourceTable` из исходного изображения по следующим принципам:
 - размер матрицы равен высоте и ширине изображения в пикселях;
 - элемент матрицы принимает значение 0, если прозрачность (альфа) пикселя меньше или равна 200;
 - элемент матрицы принимает значение 1, если прозрачность (альфа) пикселя больше 200.

3. Создание второй матрицы `newBitmap`, имеющей такой же размер, что и матрица `sourceTable`, все значения которой изначально равны 0. Во время тестирования, в `bitImage.newBitmap`, в зависимости от места рисования, нули матрицы заменяются на единицы.

Точки обрабатываются классом `bitImage` в `PushData`. На рисунке 7 приведен программный код, по которому вычисляется отклонение.

```
for(int x = point1.X; x < point2.X; x++)
{
    for(int y = point1.Y; y < point2.Y; y++)
    {
        pixelCount += newBitmap.GetPixel(x, y).ToArgb() == penColor.ToArgb() ? 1 : 0;
        temp += (newBitmap.GetPixel(x, y).ToArgb() == penColor.ToArgb()) ^ sourceTable[x, y] ? sourceTable[x, y] : 0 : 1 : 0;
    }
}
analysTimeSet.Add(elapsedTime);
analysDataSet.Add(temp);
newBitmap = new Bitmap(sizeN, sizeM);
```

Рис. 7. Алгоритм вычисления отклонения

На рисунке 8 изображен принцип вычисления отклонения от шаблона, где последнее выделено желтым цветом. Черным цветом обозначена линия, принадлежащая графическому объекту (шаблону), красным цветом – траектория движения стилуса или мыши.

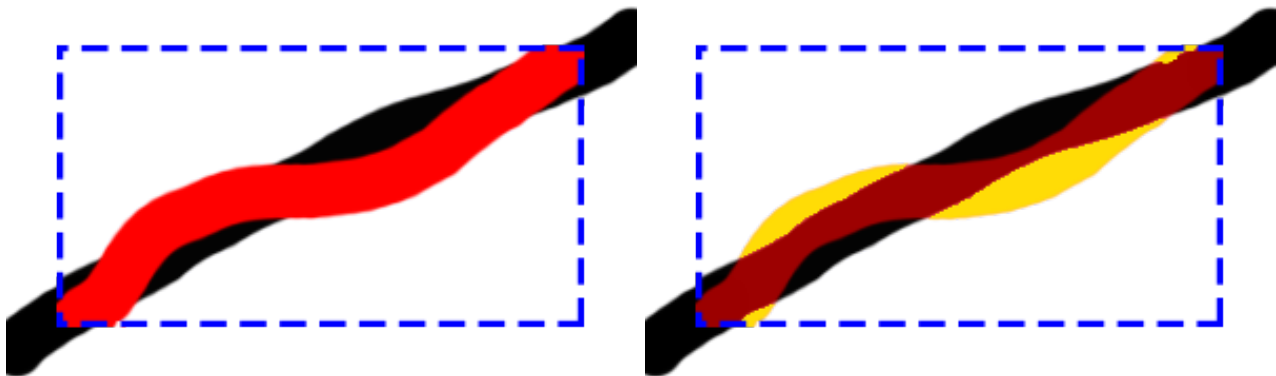


Рис. 8. Принцип вычисления отклонения

Для вычисления отклонения между матрицами `newBitmap` и `sourceTable` проводится вычисление побитого «или». Проверяется принадлежность пикселя из `sourceTable` матрице `newBitmap`. То есть, если оба элемента матриц с координатами $(x1, y1)$ являются 1, то значение будет равно 0. Если только элемент исходной матрицы равен 1, то значение также будет 0. Только в случае, когда в исходной матрице стоит 0, а в нарисованной 1, получается 1. Все вычисленные по этим правилам значения (0 или 1) складываются между собой. Эта сумма и представляет собой отклонение.

Далее, в поля класса `analysDataSet` для каждого сегмента записывается его отклонение и время, за которое он отрисовывался. В процессе тестирования, время, за которое отрисовывался каждый сегмент, фиксируется. Нарисованная матрица обнуляется.

Далее данные передаются в прототип класса `DataSet`, после работы которого мы получаем следующие статистические параметры: выборка, минимальное отклонение, среднее отклонение, максимальное отклонение, дисперсия, сигма, средняя скорость, мода, медиана.

Диагностический отчёт

В диагностическом отчёте, полученном в результате проведения тестирования отображаются статистические параметры, представленные на рисунке 9.

Выборка: 27
Минимальное отклонение: 13
Среднее отклонение: 43,444
Максимальное отклонение: 97
Дисперсия: 563,58
Сигма: 23,74
Средняя скорость: 102,7715
Мода: 35
Медиана: 35
Время рисования: 3,181 сек.

Рис. 9. Основные статистические параметры, получаемые в результате обследования

Для более наглядного представления данных, строятся графики, представленные на рисунках 10–14.

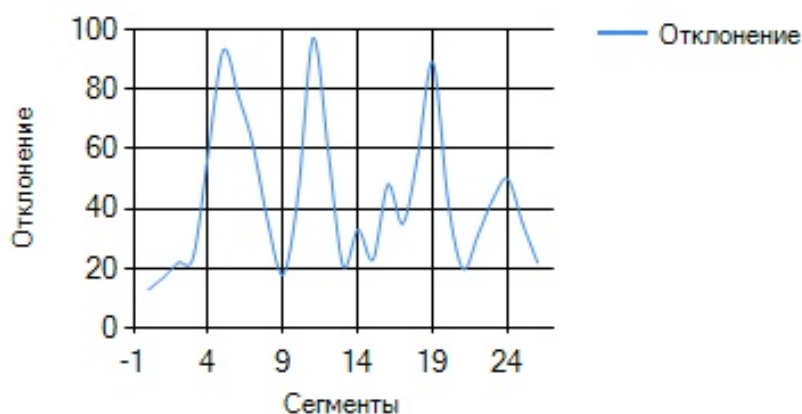


Рис. 10. График отклонений относительно сегментов

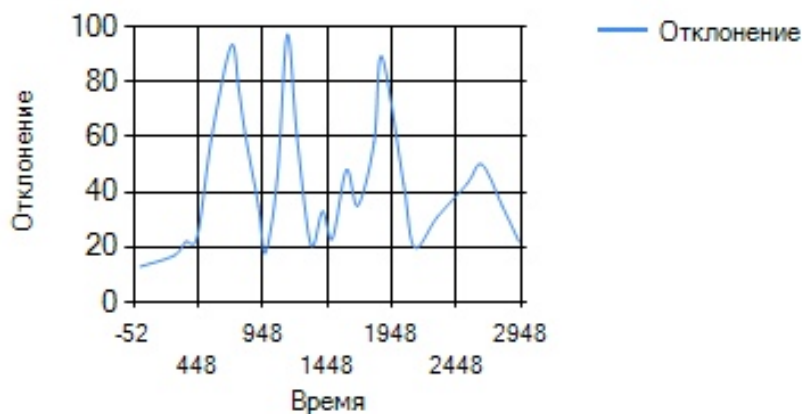


Рис. 11. График отклонений во времени (временная развертка)

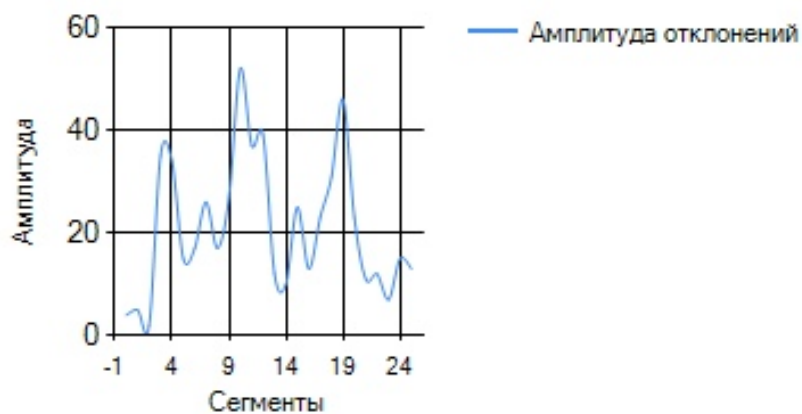


Рис. 12. График амплитуд отклонений относительно сегментов

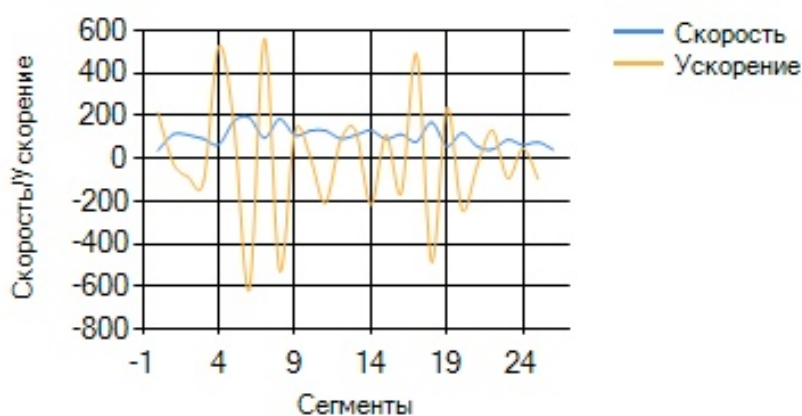


Рис. 13. График скорости и ускорения относительно сегментов

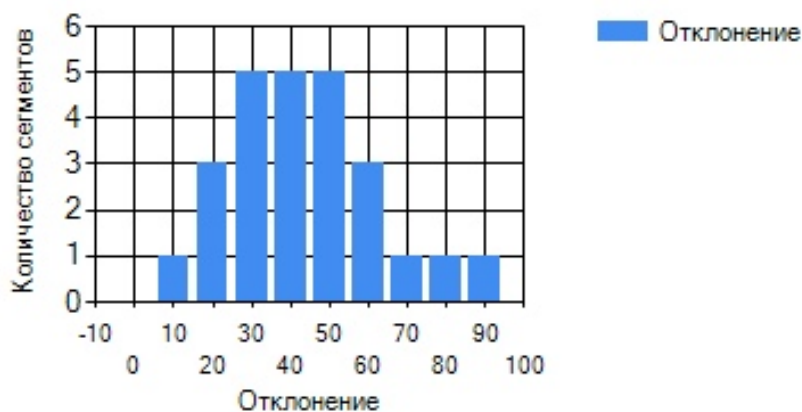


Рис. 14. Гистограмма частоты отклонений

Диагностические данные возможно сохранить в виде отчета в формате pdf. В отчет входят Ф.И.О. обследующего, Ф.И.О. обследуемого, дата рождения последнего и дата проведения диагностики, исходное изображение, итоговое изображение, вышеприведённые статистические данные и графики.

В качестве иллюстративного примера на рисунке 15 показаны данные из реального диагностического отчета (фрагмент отчета), полученные при обследовании детей дошкольного возраста в процессе освоения ими графических навыков и имеющих различный уровень динамической координации движений верхних конечностей.

Выборка: 174
Минимальное отклонение: 0
Среднее отклонение: 5,649
Максимальное отклонение: 17
Дисперсия: 11,17
Сигма: 3,342
Средняя скорость: 21,7781
Мода: 7
Медиана: 7
Время рисования: 77,343 сек.

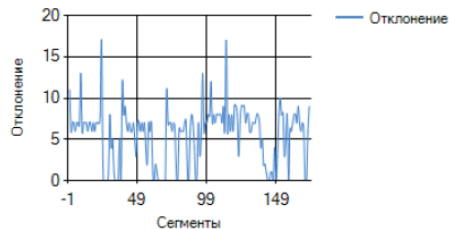


Рис. 1. График отклонений относительно сегментов

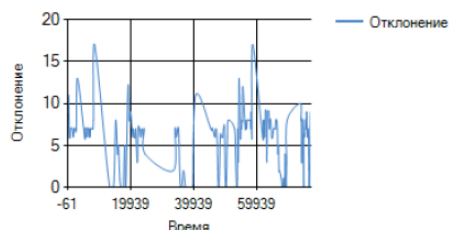


Рис. 2. График отклонений относительно времени

Выборка: 170
Минимальное отклонение: 0
Среднее отклонение: 4,182
Максимальное отклонение: 14
Дисперсия: 13,337
Сигма: 3,652
Средняя скорость: 38,6516
Мода: 0
Медиана: 5
Время рисования: 38,268 сек.

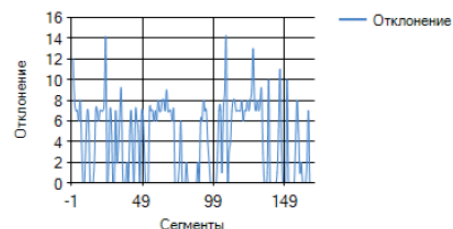


Рис. 1. График отклонений относительно сегментов

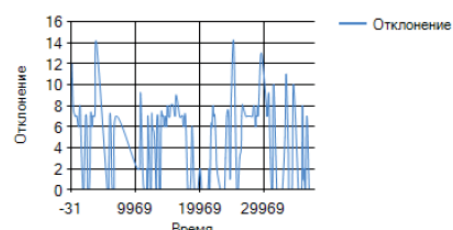


Рис. 15. Фрагменты диагностических отчетов при оценке динамической координации у двух детей дошкольного возраста при обведении ими квадрата и круга

Выборка: 219
Минимальное отклонение: 0
Среднее отклонение: 9,489
Максимальное отклонение: 34
Дисперсия: 58,98
Сигма: 7,68
Средняя скорость: 21,1955
Мода: 0
Медиана: 8
Время рисования: 64,471 сек.

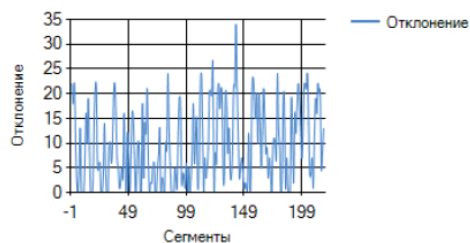


Рис. 1. График отклонений относительно сегментов

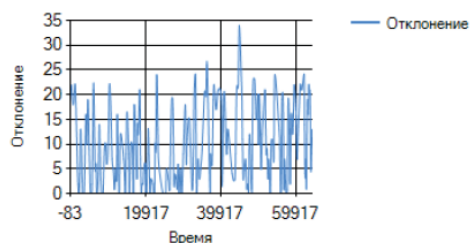


Рис. 2. График отклонений относительно времени

Выборка: 214
Минимальное отклонение: 0
Среднее отклонение: 8,051
Максимальное отклонение: 35
Дисперсия: 58,946
Сигма: 7,678
Средняя скорость: 26,6567
Мода: 0
Медиана: 6
Время рисования: 52,812 сек.

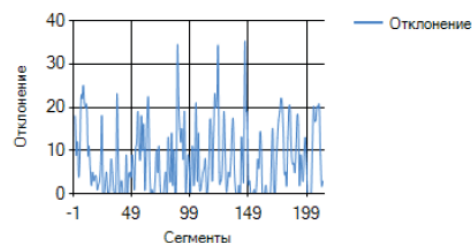


Рис. 1. График отклонений относительно сегментов

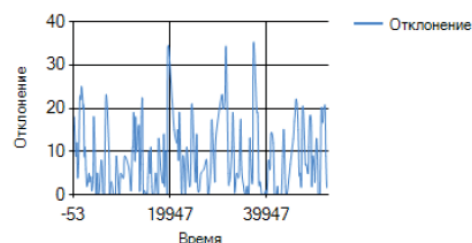


Рис. 2. График отклонений относительно времени

Рис. 16. Фрагменты диагностических отчетов при оценке динамической координации левой верхней конечности у пациента с правосторонним гемипарезом в разные периоды времени

На рисунке 16 Приведены данные обследования пациента, находящегося на реабилитации после инсульта в разные периоды времени. Пациент путем тренировки осваивал письмо левой верхней конечностью вследствие отсутствия необходимого объема движений и координации в правой. Регистрация произведена 27.03.2023 и 15.05.2023 года. Отмечается незначительная динамика при выполнении задания по одному шаблону в виде прописи.

Заключение

В ходе проведенной работы была создан опытный образец аппаратно-программного комплекса для проведения диагностики и объективной оценки динамической и статической координации конечностей человека. Полученные предварительные данные количественно показывают различия в функциональном состоянии обследуемых, отражают процесс изменения динамической координации, что создаёт предпосылки для проведения углубленных исследований в различных областях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серикова Ю. Н., Александрова В. А., Нечаева А. Ю. Координационные способности: определение, основные подходы к изучению, современные средства и методы развития. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*. 2018;6(160):224–231.
2. Двейрина О. А. Координационные способности: определения, классификация форм проявления. *Научно-теоретический журнал «Ученые записки»*. 2008;1(35):35–38.
3. Бернштейн Н. А. *О построении движений*. М.: Медгиз; 1947. 255 с.
4. Бернштейн Н. А. *Биомеханика и физиология движений: избранные психологические труды* / под ред. В. П. Зинченко. 2-е изд. М.: издательство Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК»; 2004. 688 с. (Серия «Психологи России»).
5. Вартанян И. А. *Физиология сенсорных систем: Руководство*. Серия «Мир медицины». СПб.: Издательство «Лань»; 1999. 224 с.
6. Тугунова Я. П. Повышение эффективности процесса обучения юных фигуристов с использованием специально подобранных средств. *Научно-теоретический журнал «Ученые записки»*. 2014;4(110):171–175. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2014.04.110.p171-175.
7. Акопян Е. С., Чатинян А. А., Ковалева А. А. Особенности проявления пластики и точности движений женщин: возрастной аспект и взаимосвязи. *Наука и спорт: современные тенденции*. 2021;1(9):44–52. DOI: 10.36028/2308-8826-2021-9-1-43-51.
8. Садовникова А. М., Афанасьева Н. В., Болотова Н. А. Сравнительный анализ уровня координационных способностей в группах юных танцоров, имеющих разный стаж занятий спортивными танцами. *Северный регион: наука, образование, культура*. 2012;1–2:105–108.
9. Баранов С. Н. Контактная треморометрия и контактная координациометрия по профилю как методы диагностики точности движения рук, нарушений нервной системы и психического состояния человека. *Интерактивная наука*. 2017;5(15):65–67. DOI 10.21661/r-130119.
10. Белоусова Н. А., Мальцев В. П., Матушак А. Ф., Солдатова Е. Л., Горелова Г. Г. Психофизиологические закономерности адаптации подростков с дисфункцией опорно-двигательного аппарата (профессионально-образовательный аспект). *Человек. Спорт. Медицина*. 2017;S(17):43–54. DOI: 10.14529/hsm17s05.
11. Васильева Ю. А. Уровень тремора и силы нервных процессов у лиц с различным исходным тонусом вегетативной нервной системы. *Вестник Курганского государственного университета. Серия «физиология, психология медицина»*. 2016;2(41):11–14.
12. Голомазов С. В. *Кинезиология точностных действий человека*. М.: СпортАкадемПресс; 2003. 228 с.
13. Козлов Р. С. О взаимосвязи показателей силы и точности движений рук у подростков 13–14 лет. *Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта*. 2011;8(78):87–90.
14. Миронов И. С., Правдов М. А., Правдов Д. М. Способы оценки точности движений студентов-стоматологов и их взаимосвязь. *Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта*. 2014;10:93–98. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2014.10.116.p93-98.
15. Лях В. И. *Координационные способности: диагностика и развитие*. М.: ТВТ Дивизион; 2006. 290 с.