

А.А. Егорчев, Д.Е. Чикрин, Д.М. Пашин, А.Ф. Фахрутдинов, П.А. Кокунин

**АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ
НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ОТ СЕНСОРОВ СМАРТФОНА**

Цифровизация является ведущим трендом современности человечества. Она позволяет решать многие бытовые задачи с помощью устройств со специализированными алгоритмами облегчая быт, а также решать ряд задач, для которых еще вчера требовались квалифицированные специалисты. Одной из таких задач является самостоятельная предварительная диагностика пациентов в медицине. Возможность выполнять такую диагностику позволяет сократить время на выявление проблем при различных заболеваниях, в частности неврологических, в том числе таких случаях, как дефект мелкой моторики, как следствие такой вид диагностики позволяет уменьшить нагрузку на медицинских специалистов. Стоит отметить, что время играет решающую роль в процессе оказания медицинской помощи, и своевременное оказание медицинской помощи может спасти жизнь человека. Таким образом, разработка решения, позволяющего проводить самостоятельную предварительную диагностику дефектов мелкой моторики используя технические средства, которые имеются почти у всех, является актуальной задачей на сегодняшний день. Целью работы является расширение методов диагностики наличия дефектов мелкой моторики. Для достижения данной цели были поставлены задачи по исследованию имеющихся решений по теме и разработке специализированного алгоритма, предназначенного для использования в смартфонах в рамках системы биомедицинского мониторинга. В статье представлен алгоритм определения дефектов мелкой моторики человека по данным кинематического датчика смартфона – трехосевого акселерометра. Представленное решение основано на анализе углов отклонений, получаемых от акселерометра смартфона при выполнении пациентом поставленного задания (упражнения). Задание требует от пациента принять исходное положение в течение трех секунд и, затем, удерживать смартфон на вытянутой руке в течение 10 секунд, в течение которых выполняется измерение показаний трехосевого акселерометра. Результаты испытаний разработанного решения показали точность на уровне 0,05 для ошибок первого рода и 0,09 для ошибок второго рода. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования решения для предварительной самодиагностики и может быть использовано как элемент модуля диагностики в крупных системах биомедицинского мониторинга.

Неинвазивный мониторинг; биомедицинских мониторинг; мелкая моторика; дефект мелкой моторики; обработка показаний акселерометра; неврологические расстройства; акселерометр.

A.A. Egorchev, D.E. Chickrin, D.M. Pashin, A.F. Fahrutdinov, P.A. Kokunin

**ALGORITHM FOR DETECTING FINE MOTOR DEFECTS BASED ON
INFORMATION FROM SMARTPHONE SENSORS**

Digitalization is the leading trend of modern humanity. It allows you to solve many everyday tasks with the help of devices with specialized algorithms, facilitating everyday life, as well as solving a number of tasks for which qualified specialists were needed yesterday. One of these tasks is the independent preliminary diagnosis of patients in medicine. The ability to perform such diagnostics allows you to reduce the time to identify problems with various diseases, in particular neurological disorders, including cases such as a defect of fine motor skills, this allows you to reduce the burden on medical specialists. It is worth noting that time plays a crucial role in the process of providing medical care, and the timely provision of medical care can save a person's life. Thus, the development of a solution that allows independent preliminary diagnosis of fine motor defects by using technical tools that almost everyone has is an urgent task today. The aim of the work is to expand the methods for diagnosing the presence of defects in fine motor skills. To achieve this goal, the tasks were set to study the available solutions on the topic and develop a specialized

algorithm intended for use in smartphones as part of a biomedical monitoring system. The article presents an algorithm for determining the defects of fine motor skills of a person according to the kinematic sensors of a smartphone – a three-axis accelerometer. The presented solution is based on the analysis of the deviation angles obtained from the smartphone accelerometer when the patient performs the assigned task (exercise). The task requires the patient to take a starting position for three seconds and then hold the smartphone at arm's length for 10 seconds, during which the readings of the three-axis accelerometer are measured. The test results of the solution showed the accuracy of the solution at the level of 0.05 of the alpha error and 0.09 of the beta error. The results obtained indicate the possibility of using the solution for preliminary self-diagnosis and can be used as an element of the diagnostic module in large biomedical monitoring systems.

Non-invasive monitoring; biomedical monitoring; fine motor skills; fine motor defect; smartphone diagnostics; processing of accelerometer readings; neurological disorders; accelerometer.

Введение. Мелкая моторика – совокупность скоординированных действий человека, направленных на выполнение точных мелких движений кистями и пальцами рук и ног. К мелкой моторике относится большое количество движений: жесты, захват и удержание объектов, а также мелкие и точные движения. В целом, нарушения мелкой моторики можно разделить на 3 типа:

- 1) нарушения подачи сигнала на выполнение действия (могут возникать при органических поражениях головного мозга, инсульте, а также травмах головы);
- 2) нарушения передачи сигнала (могут возникать при болезни Паркинсона, в постинсультном состоянии (в том числе в результате микроинсультов));
- 3) нарушения в приеме и выполнении сигнала (могут возникать при ДЦП, травмах конечностей, недостаточной степени развития ловкости).

Своевременное обнаружение дефектов мелкой моторики позволяет вовремя оказать помощь человеку, как для начала лечения, так и во избежание фатальных последствий, как, например, в случае с травмами головы или инсультом. Стоит отметить, что, когда речь идет об инсульте, каждая секунда на счету и необходимо всеми способами бороться за драгоценное время, чтобы спасти жизнь человека.

Активное развитие смартфонной техники и их повсеместная распространенность, позволяет использовать современные мобильные телефоны как инструмент предварительной диагностики состояния здоровья человека [3, 7, 10, 17], и, следовательно, у смартфонов есть потенциал для проведения предварительной диагностики симптомов наличия неврологических расстройств, в частности, наличия дефектов мелкой моторики. На сегодняшний день, кроме широкого распространения мобильной техники растет и количество пользователей устройств, имеющих доступ к интернету, это открывает возможность отправлять результаты предварительных обследований на централизованный сервер с базой данных пациентов в рамках большой системы биомедицинского мониторинга, где врач в удаленном режиме может контролировать показания метрик здоровья пациентов и вовремя реагировать в случае отклонений от нормы [1], что позволяет потенциально снижать уровень смертности. В [13] авторы подняли вопрос о, так называемом, стационаре на дому, где предлагается реализовать часть системы обслуживания населения в дистанционном режиме. На примере пациентов, страдающих нарушением углеводного обмена и гипертонией, которые, по результатам проведенного социологического опроса, нуждаются в более эффективном оказании медицинской помощи, авторы представили расчеты затрат, необходимых для усовершенствования системы на амбулаторно-поликлиническом уровне с помощью внедрения дистанционного мониторинга. Эти расчеты показали потенциал повышения медико-социальной и экономической эффективности. Таким образом, необходимость проведения самостоятельной диагностики дефектов мелкой моторики в системе биомониторинга состояния здоровья человека, делает расширение методов диагности-

ки наличия дефектов мелкой моторики актуальным, что и является целью данной работы. Для достижения поставленной цели в рамках данной статьи решается задача по разработке алгоритма, предназначенного для проведения самостоятельной предварительной диагностики дефектов мелкой моторики кистей рук.

В первой части рассмотрены исследования по теме работы. Во второй части представлен метод и описание алгоритма определения дефектов мелкой моторики. В третьей части представлены результаты испытаний разработанного алгоритма. В четвертой проводится обсуждение результатов. В заключении приведены выводы и обозначено направление дальнейших исследований.

Обзор литературы. Основные работы по теме мелкой моторики посвящены различным видам терапии, необходимым для правильного развития мелкой моторики у человека [11, 14]. В целом тема определения дефектов мелкой моторики хорошо исследована. Основные исследования посвящены самим дефектам, которые возникают при заболеваниях. Авторы [9] описывают возникающие проблемы мелкой моторики, которые имеют место при наличии центрального и периферического пареза верхних конечностей. Пациент с данной патологией теряет возможность работы двумя руками, которая в основном необходима для манипуляций предметами и множества социальных и профессиональных функций. Авторы сообщают, что одним из методов оценки измерения функционирования кисти и подвижности суставов является динамометрия и углометрия. В патенте [20] предлагается решение по оценке состояния двигательной функции с помощью анализа видеоданных с частотой кадров 120 Гц получаемых с камер, на которых запечатлена двигательная функция кисти с 23 светоотражающими полусферическими маркерами. Данное решение в большей степени предназначено для оценки объема движений кисти. В работе [2] авторы предложили пространственно-временную сеть для точной регрессии трехмерного положения суставов рук используя видеосъемку в инфракрасном диапазоне. Оценка работы предложенного решения по критерию Пирсона находится диапазоне от 0,82 до 0,86. В статье [5] авторы применяли магнитные датчики для оценки мелкой моторики у развивающихся детей. Участники экспериментов получали задание постукивать большими и указательными пальцами левой и правой руки друг о друга в течение 10 секунд. Авторами был использован двусторонний дисперсионный анализ для оценки влияния возраста на развитие мелкой моторики. Авторы заключили, что данный способ потенциально может быть использован для оценки нарушений мелкой моторики. В работе [4] авторы применили анализ изображений для отслеживания выполнения заданий для мелкой моторики у детей. При анализе полученных данных использовался сверточный тип нейронных сетей, метод К-ближайших соседей, метод опорных векторов, а также решающие деревья. Результаты испытаний показали самую высокую точность 82.5% по метрике ассигасу среди рассмотренных решений. В работе [8] авторы предлагают перечень заданий, которые должны выполнять пациенты – дети для развития мелкой моторики. Авторы предлагают выполнять следующие задания (упражнения): под счет сжимать пальцы в кулак; под счет соединять и разъединять пальцы, держа ладони на столе; под счет попеременно соединять пальцы в кольцо, при этом раскрыв ладонь; под счет попеременно соединять все пальцы руки с большим пальцем, как отдельно каждой рукой, так и одновременно двумя; под счет на обеих руках одновременно показать второй и третий пальцы, второй и пятый пальцы по подражанию и по словесной инструкции; под счет на обеих руках одновременно положить вторые пальцы на третьи и, наоборот, третьи на вторые. Авторы определяют дефекты путем выявления таких ошибок, как ошибки синхронного выполнения задания обеими руками, замедленное либо ускоренное выполнение задания, количество движений.

Анализ представленных решений показал потенциальную возможность использования различных технических средств, таких как видеосъемка для оценки состояния мелкой моторики, при этом использование решений на основе смартфонов с инерциальными датчиками широко не представлено. Стоит отметить, что при диагностике дефектов мелкой моторики обычно пациент должен выполнить определенные упражнения, по результатам выполнения которых делаются выводы о развитии мелкой моторики, данный подход может быть реализован основе смартфона с инерциальными датчиками, данные от которых будут проанализированы, а результаты анализа могут использоваться в системе биомониторинга.

Основная часть. Современные смартфоны в своем составе имеют большое количество датчиков: акселерометры, гироскопы, видеокамеры, лидары и т.д. Для решения поставленной в данной работе задачи могут быть использованы данные, получаемые от акселерометра мобильного телефона. Акселерометры, устанавливаемые на мобильных телефонах, работают с частотой дискретизации порядка 100 Гц. Однако не все устройства поддерживают работу с такой частотой дискретизации. Более того, особенность работы мобильного программиста с акселерометрами на мобильных телефонах с операционной системой Android, имеет несколько нюансов, согласно официальной документации, предоставляемой в открытом виде от компании разработчика Google [6]. *Во-первых*, программист мобильных приложений не может напрямую задавать любую частоту считывания данных с акселерометра и быть уверенным, что устройство будет выполнять чтение данных с заданной частотой, ввиду ограничений по частоте различных акселерометров. Google представляет на выбор программиста следующие опции по выбору частоты считывания данных сенсора:

- ◆ `SENSOR_DELAY_NORMAL` – используемая по умолчанию настройка считывания данных, которая подразумевает считывание показателей с 200000 микросекундной задержкой между измерениями.

- ◆ `SENSOR_DELAY_UI` – настройка, как правило рекомендуемая к использованию, в случае отображения данных в реальном времени на экране графического интерфейса приложения. Данная настройка подразумевает чтение показателей датчиков с 60000 микросекундной задержкой, что в частотной диапазоне соответствует частоте 16,6 Гц.

- ◆ `SENSOR_DELAY_GAME` – настройка, как правило рекомендуемая для использования в таких типах приложений как игры. Данная настройка подразумевает чтение показателей датчиков с 20000 микросекундной задержкой, что в частотном диапазоне соответствует частоте 50 Гц.

- ◆ `SENSOR_DELAY_FASTEST` – настройка, рекомендуемая для получения данных сенсорики с максимально возможной частотой. Данная настройка подразумевает чтение показателей с нулевой задержкой (0 микросекунд).

Во-вторых, верхняя частота ничем не ограничивается и зависит от аппаратного датчика, в случае использования `SENSOR_DELAY_FASTEST`, что создает необходимость выполнения процедуры передискретизации сигнала. Эта проблема решается путем применения сглаживающего фильтра, например, фильтра Чебышева, АЧХ которого представлена в формуле (1):

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)}}, \quad (1)$$

где ω – частота сигнала,

ω_c – частота среза фильтра,

ε – показатель пульсаций,

$T_n(x)$ – многочлен Чебышева n-го порядка.

С учетом вышеописанного, в предлагаемом решении принято выполнять чтение данных с частотой 50 Гц, используя опцию `SENSOR_DELAY_GAME`.

Система определения дефектов мелкой моторики, предлагаемая в данной работе, строится на решении, которое может работать на смартфоне пользователя, а также пригодно для встраивания в систему биомедицинского мониторинга. Решение основано на анализе данных акселерометра смартфона, реализация выполнена на языке Kotlin [12] для устройств, работающих на операционной системе Android. Система представляет собой программный модуль, который используется в мобильном приложении для проведения измерения биомедицинских показателей. Приложение разработано по принципу объектно-ориентированного программирования с применением шаблона проектирования MVP (Model-View-Presenter (Модель-Отображение-Представление)) [15, 18], а также методы реактивного программирования из библиотеки RxKotlin [19]. Схема решения представлена на рис. 1.

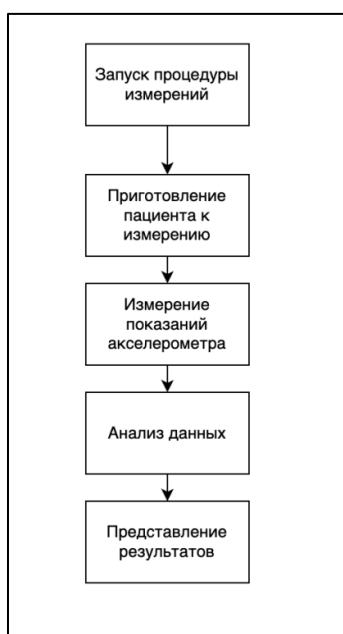


Рис. 1. Схема системы определения наличия дефектов мелкой моторики

Система определения дефектов мелкой моторики, выполнена в виде модуля и состоит из блока запуска процедуры измерений, блока приготовления пациента к измерению, блока измерения показаний акселерометра, блока анализа данных и блока представления результатов.

Блок запуска процедуры измерений работает следующим образом. Он обрабатывает нажатие пациентом кнопки запуска процедуры на графическом интерфейсе смартфона. Кнопка изображена на рис. 2.

Далее для определения дефектов мелкой моторики, пациенту предлагается выполнить следующее задание по удержанию смартфона:

- 1) пациент должен вытянуть руку со смартфоном вперед на уровне плеч, при этом он должен находиться либо в положении стоя, либо в положении сидя;
- 2) пациент должен расположить смартфон перпендикулярно полу, лицом к себе – это положение является исходным для проведения измерений;
- 3) пациент должен принять исходное положение в течение 3 секунд;
- 4) в течение 10 секунд пациент должен не изменять свое положение.

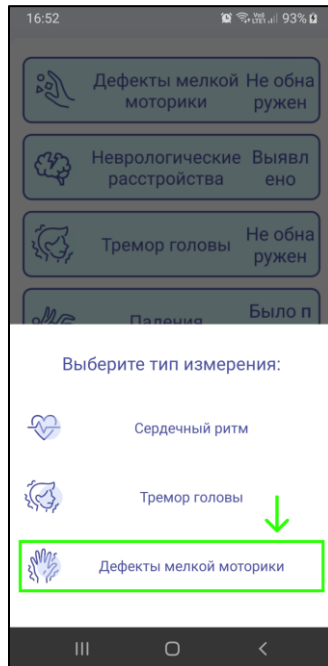


Рис. 2. Кнопка запуска процедуры измерений

Блок приготовления пациента к измерению дает пациенту время на принятие необходимого исходного положения для начала процедуры измерений, в соответствии с вышеописанным заданием, а именно в течении трех секунд.

Блок измерений показаний акселерометра выполняет чтение данных трехосевого акселерометра и предоставляет данные блоку анализа данных.

Блок анализа данных выполняет обработку результатов измерений, полученных с помощью трехосевого акселерометра при помощи алгоритма определения дефектов мелкой моторики. Структурная схема алгоритма определения дефектов мелкой моторики кистей рук по результатам выполнения задания представлена на рис. 3.

Алгоритм определения наличия дефектов мелкой моторики работает следующим образом:

1) данные акселерометра смартфона Android подаются на вход алгоритма, в них содержатся значения проекций ускорений по осям X, Y и Z, полученные с частотой 50 Гц, в соответствии с режимом SENSOR_DELAY_GAME;

2) выполняется корректировка значений проекций ускорений по оси Y: значение равные 0 заменяются на значения, близкие к нулю (0,000001), во избежания деления на ноль в формуле (2) и в формуле (3);

3) выполняется расчет отклонений вектора ускорения от оси Y акселерометра для всех показаний по формуле (2):

$$\alpha Y = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}{a_{y^*}} \right), \quad (2)$$

где a_x – проекция ускорения на ось X акселерометра,
 a_z – проекция ускорения на ось Z акселерометра,
 a_{y^*} – скорректированное значение проекции ускорения на ось Y.

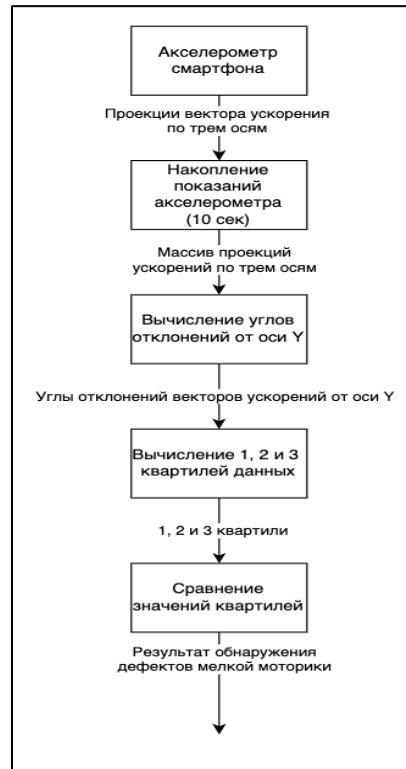


Рис. 3. Структурная схема алгоритма определения наличия дефектов мелкой моторики

Если значение проекции ускорения на ось X больше или равно 0, то расчет угла выполняется по формуле (3):

$$\alpha Y = -\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}{a_{y^*}} \right). \quad (3).$$

Выбор оси Y обусловлен расположением датчиков акселерометра на смартфонах с ОС Android, который изображен на рис. 4.

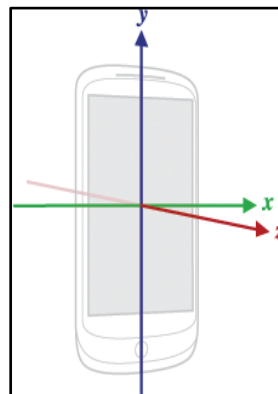


Рис. 4. Ориентация осей акселерометра смартфонов с ОС Android [6]

4) для полученных значений вычисляются 1, 2 и 3 основные квартили [16]. Для этого данные упорядочиваются в порядке возрастания.

5) для полученных квартилей выполняется проверка отклонений от пороговых значений. Если модуль разницы между значением первого основного квартиля и второго основного квартиля больше 20 или модуль разницы между значением третьего квартиля и второго квартиля больше 20, то фиксируется наличие дефектов мелкой моторики. В противном случае считается, что дефектов обнаружено не было. Пороговое значение определено эмпирическим путем.

Блок представления результата отображает на экране смартфона результат диагностики пользователя, а также выполняет отправку результатов на сервер хранения данных, который используется в рамках системы биомедицинского мониторинга.

Результаты испытаний. Для определения качества разработанного решения был проведен ряд испытаний. В качестве испытуемых приглашено 20 человек. Для испытаний использовалась клиент-серверная система. В качестве сервера выступал персональный компьютер Forsite (Intel® Core™ i9-9920X, NVIDIA Quadro RTX 6000; ОП 64 Гб; SSD 1Тб; клавиатура; мышь; монитор). Серверный персональный компьютер работал с СУБД PostgreSQL, в таблицы базы данных которого записывались результаты измерений посредством выполнения SQL запросов, получаемых от клиентского устройства. В качестве клиентских устройств использовались смартфоны моделей: Huawei nova 8i, Samsung A8 (2018), Xiaomi Mi 9 Lite, Redmi Note 9S, POCO X3 Pro, Samsung SM-A515F. На клиентских устройствах было установлено разработанное в рамках настоящей работы приложение. Каждый испытуемый проводил не менее 10 испытаний на обнаружение дефектов мелкой моторики. Результаты испытания представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний по метрике – ошибки 1 и 2 рода.

Показатель	α (ошибки 1 рода)	β (ошибки 2 рода)
Не обнаружен	0.05	0.09
Обнаружен	0.09	0.05

Обсуждение. Результаты испытаний разработанного алгоритма и его программной реализации позволяют сделать вывод о пригодности его использования для определения дефектов мелкой моторики. Стоит отметить, что в рамках данной работы рассматривались лишь дефекты с точки зрения выполнения задачи на удержание предмета в определенном неподвижном положении (удержание смартфона на вытянутой руке перпендикулярно полу, лицом к пациенту, в ладони) и скорости реакции для принятия исходного положения до начала проведения измерений. Полученное решение дает возможность самостоятельной предварительной (доврачебной) диагностики наличия дефектов мелкой моторики, в соответствии с разработанной методикой проведения измерений.

Выводы. Рассмотрев тему определения наличия дефектов мелкой моторики кисти, разработан алгоритм определения наличия дефектов мелкой моторики. Результаты испытаний показали, что при работе полученного решения уровень ошибок 1 рода составляет 0,05, а ошибок 2 рода 0,09. Предлагаемое решение может использоваться в качестве предварительного осмотра, результат которого помогает принять решение о необходимости обращения к специалисту в рамках системы биомедицинского мониторинга. Полученное решение так же может быть реализо-

вано на устройствах, работающих на операционной системе iOS. Дальнейшее развитие решения возможно в направлении использования других типов датчиков, при этом в ходе работы могут использоваться данные, как отдельно каждого датчика, так и в совокупности с использованием подходов sensor fusion, например, совместная обработка данных таких датчиков как гироскоп и видекамера. Также следующим этапом развития проекта предполагается разработка более сложных комплексов упражнений, направленных на проверку других аспектов мелкой моторики человека. Стоит отметить, что предложенное решение может служить базисом для разработки системы, выполняющей задачу развития мелкой моторики у пациентов и лечения после неврологических заболеваний.

Благодарность. Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета ("ПРИОРИТЕТ-2030").

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Axak N.* Разработка мультиагентной системы нейросетевой диагностики и удаленного мониторинга пациента // ВЕЖПТ. – 2016. – № 9 (82). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-multiagentnoy-sistemy-neyrosetevoy-diagnostiki-i-udalennogo-monitoringa-patsienta> (дата обращения: 22.04.2023).
2. A hand motion capture method based on infrared thermography for measuring fine motor skills in biomedicine // ScienceDirect. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365722002263> (дата обращения: 08.04.2023).
3. *Chandrasekaran V., Dantu R., Jonnada S., Thiyagaraja S., Subbu K.* Cuffless Differential Blood Pressure Estimation Using Smart Phones // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2013. – No. 60. – P. 1080-1089.
4. Image Classification Methods Applied in Immersive Environments for Fine Motor Skills Training in Early Education // EBSCO. – URL: <https://web.s.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrnl=19891660&AN=140078842&h=b9CK%2f78tXjJg%2fm5DrFr6Df07B%2brpUDwK4%2f%2ftx5aagyZ7wpshADB%2fgPhsVR6oZ%2bK3yBe%2bpaogj7ArpC8KNWg%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=logi.n.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d19891660%26AN%3d140078842> (дата обращения: 30.04.2023).
5. Quantitative assessment of fine motor skills in children using magnetic sensors // ScienceDirect. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0387760420301108> (дата обращения: 08.04.2023).
6. Sensors Overview // Developer Android. – URL: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview (дата обращения: 08.04.2023).
7. *Богомолов А.И., Небезин В.П.* Мобильная персональная медицинская система для выявления предвестников кризиса сердечно-сосудистой системы // Хроноэкономика. – 2018. – № 4 (12). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnaya-personalnaya-meditsinskaya-sistema-dlya-vyyavleniya-predvestnikov-krizisa-serdechno-sosudistoy-sistemy> (дата обращения: 22.04.2023).
8. *Блинова А.К., Добря М.Я.* Диагностика развития связной речи и мелкой моторики у детей старшего дошкольного возраста с общим недоразвитием речи III уровня // Форум молодых ученых. – 2018. – № 6-1 (22). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-razvitiya-svyaznoy-rechi-i-melkoj-motoriki-u-detey-starshego-doshkolnogo-vozrasta-s-obshchim-nedorazvitiem-rechi-iii> (дата обращения: 30.04.2023).
9. *Бут-Гусаим В.В., Ярош А.С.* Методы оценки мелкой моторики и силы кисти у пациентов с центральными и периферическими парезами, возможности их использования // Журнал ГрГМУ. – 2017. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-melkoj-motoriki-i-sily-kisti-u-patsientov-s-tsentralnymi-i-perifericheskimi-parezami-vozmozhnosti-ih-ispolzovaniya> (дата обращения: 29.09.2022).
10. *Гайдина Т.А., Дворникова Е.Г.* Эффективность использования оптической системы смартфона для оценки злокачественности меланотитарных невусов // Вестник РГМУ. – 2020. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-ispolzovaniya-opticheskoy-sistemy-smartfona-dlya-otsenki-zlokachestvennosti-melanotsitarnyh-nevusov> (дата обращения: 22.04.2023).

11. Гришкина Д.А. Оценка степени развития крупной моторики у детей первых трёх лет жизни по мюнхенской системе функциональной диагностики развития ребёнка // Кросс. – 2022. – № 4 (66). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stepeni-razvitiya-kрупной-motoriki-u-detey-pervykh-tryoh-let-zhizni-po-myunhenskoy-sisteme-funktsionalnoy-diagnostiki> (дата обращения: 10.10.2022).
12. Гриффитс Д. Head First. Kotlin. – СПб.: Питер, 2020. – 464 с.
13. Калининко А.В., Борцов В.А., Симонов Д.С., Куликовская И.В., Романенко М.Ю., Зулин Я.В. Организация системы дистанционного мониторинга пациентов в условиях стационара на дому // Journal of Siberian Medical Sciences. – 2013. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-sistemy-distantsionnogo-monitoringa-patsientov-v-usloviyah-statsionara-na-domu> (дата обращения: 01.05.2023).
14. Маслешов Л.А. Разработка программной системы для тренировки двигательной активности и идентификации жестов мелкой моторики рук, считываемых с перчатки виртуальной реальности // Решетневские чтения. – 2015. – № 19. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnoy-sistemy-dlya-trenirovki-dvigatelnoy-aktivnosti-i-identifikatsii-zhestov-melkoy-motoriki-ruk-schityvaemyh-s> (дата обращения: 20.09.2022).
15. Моху – реализация MVP под Android с шепоткой магии // Habr. – URL: <https://habr.com/ru/post/276189/> (дата обращения: 11.09.2022).
16. Сальникова К.В. Анализ массива данных с помощью инструмента визуализации «ящик с усами» // Universum: экономика и юриспруденция. – 2021. – № 6 (81). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiza-massiva-dannyh-s-pomoschyu-instrumenta-vizualizatsii-yaschik-s-usami> (дата обращения: 10.10.2022).
17. Федорович А.А., Горшков А.Ю., Королев А.И., Драккина О.М. Смартфон в медицине – от справочника к диагностической системе. Обзор современного состояния вопроса // КВТИП. – 2022. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/smartfon-v-meditsine-ot-spravochnika-k-diagnosticheskoy-sisteme-obzor-sovremennogo-sostoyaniya-voprosa> (дата обращения: 17.04.2023).
18. Хаменюк В. Android Architecture Comparison: MVP vs. VIPER // KB URN resolver. – URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-80819> (дата обращения: 11.09.2022).
19. Чакраборти Д. Reactive Programming in Kotlin. – Бирмингем: Packt Publishing, 2017. – 299 с.
20. Шавловская О.А. Способ оценки состояния двигательной функции кисти // Национальная электронная библиотека. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002371088_20091027_C1_RU/ (дата обращения: 08.04.2020).

REFERENCES

1. Axak N. Razrabotka multiagentnoy sistemy neyrosetevoy diagnostiki i udalennogo monitoringa patsienta [Development of a multi-agent system for neural network diagnostics and remote patient monitoring], *VEZhPT* [East European Journal of Advanced Technologies], 2016, No. 9 (82). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-multiagentnoy-sistemy-neyrosetevoy-diagnostiki-i-udalennogo-monitoringa-patsienta> (accessed 22 April 2023).
2. A hand motion capture method based on infrared thermography for measuring fine motor skills in biomedicine, *ScienceDirect*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365722002263> (accessed 08 April 2023).
3. Chandrasekaran V., Dantu R., Jonnada S., Thiagaraja S., Subbu K. Cuffless Differential Blood Pressure Estimation Using Smart Phones, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2013, No. 60, pp. 1080-1089.
4. Image Classification Methods Applied in Immersive Environments for Fine Motor Skills Training in Early Education, *EBSCO*. Available at: <https://web.s.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrnl=19891660&AN=140078842&h=b9CK%2f78tXjJg%2fm5DrFr6Df07B%2brpUDwK4%2f1%2ftlx5aagyZ7wpshADB%2fgPhsVR6oZ%2bK3yBe%2bpaog7ArpC8KNWg%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authype%3dcrawler%26jrnl%3d19891660%26AN%3d140078842> (accessed 30 April 2023).
5. Quantitative assessment of fine motor skills in children using magnetic sensors, *ScienceDirect*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0387760420301108> (accessed 08 April 2023).

6. Sensors Overview, *Developer Android*. Available at: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview (accessed 08 April 2023).
7. Bogomolov A.I., Nevezhin V.P. Mobil'naya personal'naya meditsinskaya sistema dlya vyavleniya predvestnikov krizisa serdechno- sosudistoy sistemy [Mobile personal medical system for identifying precursors of a crisis in the cardiovascular system], *Khronoekonomika* [Chronoeconomics], 2018, No. 4 (12). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnaya-personalnaya-meditsinskaya-sistema-dlya-vyyavleniya-predvestnikov-krizisa-serdechno-sosudistoy-sistemy> (accessed 22 April 2023).
8. Blinova A.K., Dobrya M.Ya. Diagnostika razvitiya svyaznoy rechi i melkoy motoriki u detey starshego doshkol'nogo vozrasta s obshchim nedorazvitiem rechi III urovnya [Diagnosis of the development of coherent speech and fine motor skills in children of senior preschool age with general speech underdevelopment of level III], *Forum molodykh uchenykh* [Forum of young scientists], 2018, No. 6-1 (22). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-razvitiya-svyaznoy-rechi-i-melkoy-motoriki-u-detey-starshego-doshkolnogo-vozrasta-s-obshchim-nedorazvitiem-rechi-iii> (accessed 30 April 2023).
9. But-Gusaim V.V., Yarosh A.S. Metody otsenki melkoy motoriki i sily kisti u patsientov s tsentral'nymi i perifericheskimi parezami, vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya [Methods for assessing fine motor skills and hand strength in patients with central and peripheral paresis, the possibilities of their use], *Zhurnal GrGMU* [Journal of GrSMU], 2017, No. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-melkoy-motoriki-i-sily-kisti-u-patsientov-s-tsentralnymi-i-perifericheskimi-parezami-vozmozhnosti-ih-ispolzovaniya> (accessed 29 September 2022).
10. Gaydina T.A., Dvornikova E.G. Effektivnost' ispol'zovaniya opticheskoy sistemy smartfona dlya otsenki zlokachestvennosti melanotsitarnykh nevusov [The effectiveness of using the optical system of a smartphone to assess the malignancy of melanocytic nevi], *Vestnik RGMU* [Bulletin of the Russian State Medical University], 2020, No. 5. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-ispolzovaniya-opticheskoy-sistemy-smartfona-dlya-otsenki-zlokachestvennosti-melanotsitarnykh-nevusov> (accessed 22 April 2023).
11. Grishkina D.A. Otsenka stepeni razvitiya krupnoy motoriki u detey pervykh trekh let zhizni po myunkhenskoj sisteme funktsional'noy diagnostiki razvitiya rebenka [Assessment of the degree of development of gross motor skills in children of the first three years of life according to the Munich system of functional diagnostics of child development], *Kronos* [Kronos], 2022, No. 4 (66). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stepeni-razvitiya-krupnoy-motoriki-u-detey-pervykh-trekh-let-zhizni-po-myunkhenskoj-sisteme-funktsionalnoy-diagnostiki> (accessed 10 October 2022).
12. Griffiths D. Head First. Kotlin. Saint Petersburg: Piter, 2020, 464 p.
13. Kalinichenko A.V., Bortsov V.A., Simonov D.S., Kulikovskaya I.V., Romanenko M.Yu., Zulin Ya.V. Organizatsiya sistemy distantsionnogo monitoringa patsientov v usloviyakh statsionara na domu [Organization of a remote monitoring system for patients in a hospital setting at home], *Journal of Siberian Medical Sciences*, 2013, No. 6. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-sistemy-distantsionnogo-monitoringa-patsientov-v-usloviyah-statsionara-na-domu> (accessed 01 May 2023).
14. Masleshov L.A. Razrabotka programmnoy sistemy dlya trenirovki dvigatel'noy aktivnosti i identifikatsii zhestov melkoy motoriki ruk, schityvaemykh s perchatki virtual'noy real'nosti [Development of a software system for training motor activity and identifying fine motor hand gestures read from a virtual reality glove], *Reshetnevskie chteniya* [Reshetnev Readings], 2015, No. 19. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnoy-sistemy-dlya-trenirovki-dvigatelnoy-aktivnosti-i-identifikatsii-zhestov-melkoy-motoriki-ruk-schityvaemykh-s> (accessed 20 September 2022).
15. Moxy – realizatsiya MVP pod Android s shchepotkoy magii [Moxy – MVP implementation for Android with a pinch of magic], *Habr*. Available at: <https://habr.com/ru/post/276189/> (accessed 11 September 2022).
16. Sal'nikova K.V. Analiz massiva dannykh s pomoshch'yu instrumenta vizualizatsii «yashchik s usami» [Analysis of a data array using a “box with a mustache” visualization tool], *Universum: ekonomika i yurisprudentsiya* [Universum: экономика и юриспруденция], 2021, No. 6 (81). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiza-massiva-dannykh-s-pomoschyu-instrumenta-vizualizatsii-yashchik-s-usami> (accessed 10 October 2022).

17. *Fedorovich A.A., Gorshkov A.Yu., Korolev A.I., Drapkina O.M.* Smartfon v meditsine – ot spravochnika k diagnosticheskoy sisteme. Obzor sovremennogo sostoyaniya voprosa [Smartphone in medicine – from a reference book to a diagnostic system. Review of the current state of the issue], *KVTiP* [Cardiovascular therapy and prevention], 2022, No. 9. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/smartfon-v-meditsine-ot-spravochnika-k-diagnosticheskoy-sisteme-obzor-sovremennogo-sostoyaniya-voprosa> (accessed 17 April 2023).
18. *Khamenyuk V.* Android Architecture Comparison: MVP vs. VIPER, *KB URN resolver*. Available at: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-80819> (accessed 11 September 2022).
19. *Chakraborti D.* Reactive Programming in Kotlin [Reactive Programming in Kotlin]. Birmingham: Packt Publishing, 2017, 299 p.
20. *Shavlovskaya O.A.* Sposob otsenki sostoyaniya dvigatel'noy funktsii kisti [Method for assessing the state of motor function of the hand], *Natsional'naya elektronnyaya biblioteka* [National Electronic Library]. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002371088_20091027_C1_RU/ (accessed 08 April 2020).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Боженюк.

Егорчев Антон Александрович – Казанский (Приволжский) федеральный университет; e-mail: eanton090@gmail.com; г. Казань, Россия; тел.: +78432337609; к.т.н.; зам. директора по общим вопросам Института вычислительной математики и информационных технологий.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич – e-mail: dmitry.kfu@ya.ru; тел.: +78432337037; д.т.н.; директор Института вычислительной математики и информационных технологий.

Пашин Дмитрий Михайлович – e-mail: dmitry.m.pashin@gmail.com; тел.: +78432337871; д.т.н., проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности.

Фахрутдинов Адель Фердинандович – e-mail: timvaz@yandex.ru; тел.: +79872934153; ведущий инженер-программист сектора высокоуровневой разработки Научно-исследовательского центра «Центр превосходства Специальная робототехника и искусственный интеллект» Института вычислительной математики и информационных технологий.

Кокунин Петр Анатольевич – e-mail: pkokunin@mail.ru; тел.: +79178732217; к.т.н.; ведущий научный сотрудник лаборатории медицинского интернета вещей Института вычислительной математики и информационных технологий.

Egorchev Anton Aleksandrovich – Kazan (Volga Region) Federal University; e-mail: eanton090@gmail.com; Kazan, Russia; phone: +78432337609; cand. of eng. sc., deputy director for general affairs of the Institute of computer mathematics and information technologies.

Chickrin Dmitry Evgenevich – e-mail: dmitry.kfu@ya.ru; phone: +78432337037; dr. of eng. sc. director of the Institute of computer mathematics and information technologies.

Pashin Dmitry Mikhailovich – e-mail: dmitry.m.pashin@gmail.com; phone: +78432337871; dr. of eng. sc.; vice-rector for digital transformation and innovation.

Fahrutdinov Adel Ferdinandovich – e-mail: timvaz@yandex.ru; phone: +79872934153; Leading engineer-programmer of the high-level development sector of the Research center "Center of excellence special robotics and artificial intelligence" of the Institute of computer mathematics and information technologies.

Kokunin Petr Anatolevich – e-mail: pkokunin@mail.ru; phone: +79178732217; cand. of eng. sc.; leading researcher at the Laboratory of the medical internet of things of the Institute of computer mathematics and information technologies.