

# Создание мобильного приложения для исследования кинематического портрета человека

И. А. Токарева<sup>1</sup>, В. В. Алексеев<sup>2</sup>, Д. Суров<sup>3</sup>, О. А. Микус<sup>4</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>1</sup>ck\_tokareva3@mail.ru, <sup>2</sup>vvalekseyev@mail.ru, <sup>3</sup>dmitrsort20000@mail.ru, <sup>4</sup>sadalphamiks@gmail.com

**Аннотация.** Биомеханический анализ движений человека всегда начинается с определения различных характеристик движущегося тела. Этими характеристиками могут быть различные механические характеристики (например, перемещение, скорость, ускорение, сила тяги мышцы и т. д.). Некоторые из этих характеристик определяются экспериментально, а остальные – расчетным путем. В докладе описывается создание мобильного приложения для операционной системы iOS, предназначенного для передачи и обработки пространственных параметров движения человека с локальной измерительной системы на базе МЭМС, полученных экспериментально при анализе походки человека.

**Ключевые слова:** программное обеспечение; измерительная система; беспроводная передача данных; мобильное приложение; iOS

## I. ВВЕДЕНИЕ

Методика оценки кинематики локомоций, основанная на использовании регистрирующей аппаратуры, в англоязычной литературе получила название «захват движения» (motion capture) [1–3]. Системы захвата движений могут быть магнитными (вычисляют положение и ориентацию датчиков движения с помощью магнитных полей и имеют низкую помехоустойчивость), оптическими (анализируют видеоизображения объекта) и инерционными (анализ биомеханики движений проводится путем получения сигналов с надетых на обследуемого сенсорных датчиков различных модальностей: гониометрических, инклинометрических, акселерометрических, силовых, датчиков растяжения и др.) [4–5]. Именно для измерительной системы на базе инерциальных датчиков в рамках доклада создается мобильное приложение для операционной системы iOS, чтобы реализовать возможность передачи и обработки пространственных параметров движения человека.

Приложение разрабатывается на языке программирования Swift. Помимо этого, проектируется пользовательский интерфейс и дизайн-концепция приложения. В дальнейшем интеграция приложения с локальной измерительной системой позволит обрабатывать параметры ходьбы напрямую в мобильном

приложении, отслеживать графическое отображение поступающих данных и передавать полученные результаты на отдельную серверную базу данных, который будет обеспечивать хранение, обработку и управление структурированными полученными данными.

## II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Наиболее эффективным подходом к проектированию интерфейса пользователя является разработка с применением моделирования пользовательских сценариев, то есть с проработкой хода использования приложениями пользователем. Помимо этого, при разработке прототипа учитывались базовые принципы прототипирования, а именно [6]:

- принцип простоты и адекватности, то есть интерфейс должен быть интуитивно понятным. Таким, чтобы пользователю не требовалось объяснять, как им пользоваться;
- принцип стилистической целостности: стилистическая целостность пользовательского интерфейса достигается единообразием оформления, под которым подразумевается ограничения в выборе гарнитур и размеров шрифта, а также равномерное распределение свободного пространства;
- принцип использования привычных ассоциаций и стереотипов, то есть применение для пользовательских интерфейсов таких условных обозначений элементов, которые ассоциируются с общепринятыми буквенными или графическими обозначениями данных элементов.

Дизайн-концепция – совокупность дизайнерских решений при разработке продукта, которая даёт общее представление о нём. Здесь имеется в виду фирменный стиль приложения, который складывается из цветовой палитры, шрифта, иконок, иллюстраций и прочего [7].

Важным аспектом при разработке является юзабилити мобильного приложения. Юзабилити (от англ. usability – возможность использования, полезность, способность быть использованным) – качественная мера, определяющая удобство пользования интерфейсом. Основы юзабилити мобильных приложений заключаются в следующем [8]:

- проектирование понятной навигации и удержание пользователя в контексте задачи при переходе между экранами;

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №22-29-20123 (50 % вклада)

Работа выполнена при финансовой поддержке грант Санкт-Петербургского научного фонда в соответствии с соглашением от 14.04.2022 № 14/2022 (50 % вклада)

- соблюдение непрерывности работы с приложением;
- читабельность текста;
- оповещение о возникновении ошибок и т. д.

Учитывая выше сказанное, реализована дизайн-концепция будущего приложения (рис. 1–3).

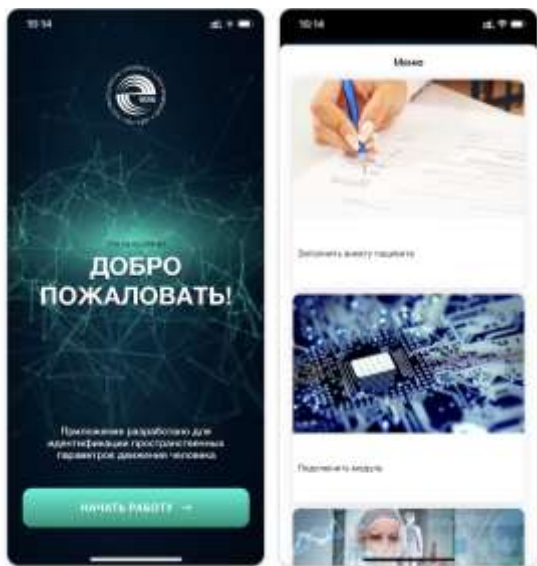


Рис. 1. Вид реализованного приложения, слева направо: стартовая страница, меню

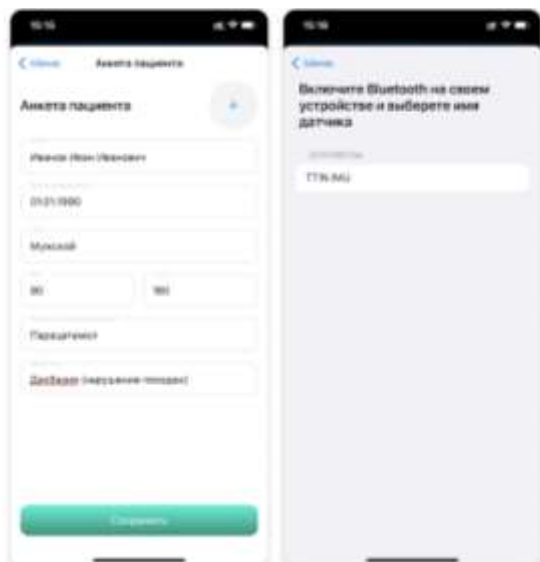


Рис. 2. Вид реализованного приложения, слева направо; пример заполнения анкеты пациента; экран подключения измерительной системы

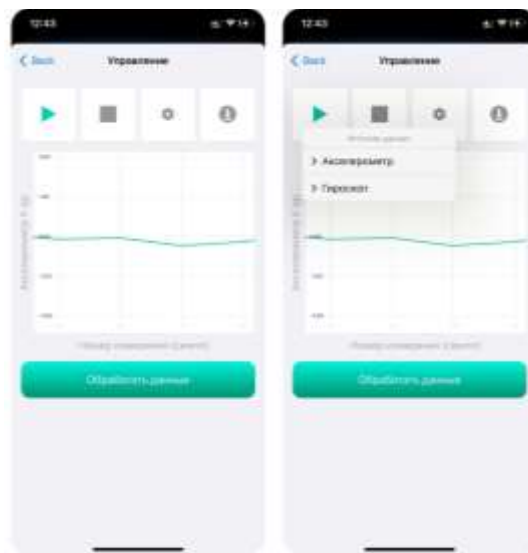


Рис. 3. Вид реализованного приложения, слева направо: блок управления передачей данных (график зависимости данных акселерометра по оси X); блок выбора источника данных

### III. СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ iOS

#### A. Инструменты для разработки

Главный инструмент разработчика под macOS и вместе с ней iOS – среда программирования Xcode. Она включает средства для создания приложений для Mac, iPhone, iPad, Apple TV, Apple Watch – все платформы Apple. Xcode содержит средство построения интерфейса (Interface Builder), редактор кода, поддерживающего все современные средства работы с кодом. Кроме того, не выходя из Xcode, можно протестировать приложение; если оно разрабатывается для внешнего устройства, то его можно запустить в эмуляторе.

Созданное приложение написано на языке программирования Swift. Swift – это новый язык программирования для разработки iOS и OS X приложений, который сочетает в себе все лучшее от C и Objective-C, но лишен ограничений, накладываемых из-за совместимости с C.

#### B. Ход программирования приложения

Принцип создания данного приложения на языке Swift заключается в выполнении для каждого экрана прототипа двух шагов:

- необходимо создать ViewModel – это модель, которая отвечает за бизнес-логику отображаемого View (экрана);
- верстка самого View по заданной дизайн-концепции, то есть создание ViewController.

Рассмотрим подробнее создание ViewModel и ViewController для экрана меню. Остальные экраны выполняются по аналогии с добавлением особенностей функционала того или иного экрана.

ViewModel для экрана меню содержит обработку нажатия на вкладку меню (реализуется с помощью функции didSelectItem) и выдачу самих вкладок с их наименованием (реализуется с помощью функции generateItems).

При создании ViewController инициализируются переменные, описывается класс MenuCollectionVC, создается layout для collectionView (класс, определяющий, как будут отображаться вкладки меню на экране). При реализации ViewController используются следующие функции:

- private func – приватная функция, которая доступна только внутри класса;
- функция setupUI – добавление элементов интерфейса на экран;
- функция setupConstraints, которая задает размер элементов и их положение;
- функция registerCells – регистрация переиспользуемых ячеек для collectionView, для оптимизации памяти устройства;
- функция bindViews – подписка на обновления viewModel, чтобы внесенные обновления сразу отображались на экране.

### С. Клиент – серверное взаимодействие

В данной концепции участвуют две стороны: клиент и сервер. В данном контексте: клиент – это созданное приложение и управляющим им оператор, а сервер – база данных. Клиент и сервер взаимодействуют друг с другом в сети Интернет или в любой другой компьютерной сети при помощи различных сетевых протоколов, например, IP протокол, HTTP протокол, FTP и другие. В рассматриваемом случае клиент и сервер взаимодействуют по сети Интернет и протоколу TCP. TCP – один из основных протоколов передачи данных интернета. Механизм TCP предоставляет поток данных с предвзвешенной установкой соединения, осуществляет повторный запрос данных в случае потери данных и устраняет дублирование при получении двух копий одного пакета, гарантируя тем самым целостность передаваемых данных и уведомление отправителя о результатах передачи.

Сообщения, которые посылает клиент в данном случае, представляет собой пользовательские данные (все поля во вкладке «Заполнить анкету пациента»), а также данные с датчика по 6 осям (данные с акселерометра и гироскопа по осям X, Y, Z). В дальнейшем передачу данных можно модернизировать в зависимости от исследуемых задач, например, передать данные с магнитометра или расширить информацию по пациенту. А сообщения, которые посылает сервер, представляют собой информацию об успешной отправке данных, помимо полезной информации они содержат еще и специальные коды состояния, которые позволяют клиенту узнать то, как сервер понял его запрос.

## IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ

### А. Описание разработанного алгоритмического обеспечения

Для получения пространственных координат движения человека требуется выявить алгоритм нахождения точек стационарности. Для этого необходимо найти длину результирующего вектора акселерометра для каждой точки измерения. Эта величина находится по формуле 1:

$$r_i = \sqrt{(X_{aksel_i})^2 + (Y_{aksel_i})^2 + (Z_{aksel_i})^2}, \quad (1)$$

где  $X_{aksel_i}$ ,  $Y_{aksel_i}$ ,  $Z_{aksel_i}$  – координаты i-го вектора в выборке акселерометра.

После этого найденные значения необходимо провести через фильтр верхних частот (ФВЧ) с частотой среза 0,001 Гц, для того чтобы убрать постоянную составляющую сигнала. После следует применить фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза 5 Гц, чтобы убрать высокочастотные колебания в сигнале. Такое последовательное применение ФВЧ и ФНЧ характерно для обработки сигналов по алгоритму Маджвика [9]. После чего каждый элемент полученной выборки необходимо сравнить с пороговым значением 0.05g, тем самым можно получить булевый массив, где «1» соответствует точкам стационарности, а «0» точкам движения ноги.

Для дальнейшего определения пространственных координат движения необходимо рассчитать кватернионы для каждого значения выборки датчика. Кватернион – система гиперкомплексных чисел, образующая векторное пространство размерностью четыре над полем вещественных чисел. Он используется для дальнейшего разворота векторов ускорения. Для расчета кватернионов применяется алгоритм Маджвика. После необходимо повернуть вектор при помощи кватернионов. Для этого каждый элемент при помощи матрицы поворотов поворачивается в соответствии с кватернионом.

Далее проинтегрировав полученные ускорения, можно найти скорость, а для того, чтобы получить положение человека в пространстве необходимо проинтегрировать эту полученную скорость. Для получения средней длины шага, средней высоты шага и количества шагов используются выше полученные данные, а именно точки стационарности и положение ноги в пространстве. Из точек стационарности находятся индексы начала и конца движения ноги. Этим индексам соответствуют точки в пространстве. Чтобы рассчитать длину шага необходимо найти расстояние между начальной точкой шага и конечной точкой шага. Для определения высоты шага необходимо найти на интервале шага точку с максимальным значением по оси Z, после чего нужно найти расстояние от этой максимальной точки до линии шага в пространстве. Количество шагов определяется исходя из количества перепадов в булевой выборке точек стационарности.

Проведя эксперимент, при котором пациент совершил 15 шагов, имеем следующие показания в мобильном приложении (рис. 4). Расчет производится, исходя из вышеизложенного алгоритма. Результаты расчета: средняя длина шага – 0,893 м; средняя высота шага – 0,077 м; количество шагов – 15.



Рис. 4. Информационное окно с параметрами ходьбы

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее развитие технологий оценки кинематики локомоций в клинической практике связано с совмещением процедур регистрации и анализа кинематических и силовых характеристик движения, что требует синхронизации данных, получаемых с помощью инерциальных систем и других методов исследования [10, 11]. Использование кроссплатформенных мобильных приложений дает возможность оценивать пространственные параметры в реальном времени и при любом местоположении без использования габаритных датчиков и без привязки к месту проведения исследования. Помимо этого, применение специальных алгоритмов математической обработки получаемых данных позволит рассчитывать различные кинематические характеристики напрямую в приложении и передавать их на отдаленный сервер базы данных, доступных для медицинских работников [12, 13]. Особую актуальность такие возможности приобретают в реабилитационной медицине.

Таким образом, разработка рассмотренного приложения может дать возможность получать важную для клинициста объективную информацию, позволяющую уточнять характер нарушений моторики

при различных заболеваниях опорно-двигательного аппарата и нервной системы и контролировать процессы восстановления. Быстрое развитие данной технологии позволит осуществлять исследования локомоций человека с большей точностью и с меньшими затратами времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Narayanan P.J., Rander P., Kanade T. Technical Report CMU-RI-TR-95-25. Robotics Institute Carnegie Mellon University; 1995. Synchronous capture of image sequences from multiple cameras.
- [2] Karaulova I.A., Hall P.M., Marshall A.D. Tracking people in three dimensions using a hierarchical model of dynamics. *Image and Vision Computing* 2002; 20: 691–700, [http://dx.doi.org/10.1016/s0262-8856\(02\)00059-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0262-8856(02)00059-8).
- [3] Sigal L., Balan A.O., Black M.J. HumanEva: synchronized video and motion capture dataset and baseline algorithm for evaluation of articulated human motion. *International Journal of Computer Vision* 2009; 87(1–2): 4–27, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11263-009-0273-6>.
- [4] Hogg D. Model-based vision: a program to see a walking person. *Image and Vision Computing* 1983; 1(1): 5–20, [http://dx.doi.org/10.1016/0262-8856\(83\)90003-3](http://dx.doi.org/10.1016/0262-8856(83)90003-3)
- [5] Борзиков В.В., Рукина Н.Н., Воробьева О.В., Кузнецов А.Н., Белова А.Н. Видеоанализ движений человека в клинической практике (обзор), электронный ресурс, дата обращения: 30.11.2021. URL: <http://www.stm-journal.ru/ru/numbers/2015/4/1209/pdf>
- [6] Уэйшшенк С. 100 новых главных принципов дизайна, 645–48. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01759.x.
- [7] Нильсен Я. Веб-дизайн. Книга Якоба Нильсена. Символ-Плюс, 2006.
- [8] Павлов Д. Об образах, эффективности, удовлетворенности и двух типах интерфейсов, 2007.
- [9] Sebastian O.H. Madgwick, Andrew J.L. Harrison, Ravi Vaidyanathan. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm // 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics Rehab Week Zurich, ETH Zurich Science City, Switzerland, June 29 - July 1, 2011, pp. 179 - 185.
- [10] Jagos H., Oberzaucher J., Reichel M., Zagler W.L., Hlauschek W. A multimodal approach for insole motion measurement and analysis. *Procedia Eng* 2010; 2(2): 3103–3108, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.118>.
- [11] Miller A.L. A new method for synchronization of motion capture and plantar pressure data. *Gait Posture* 2010; 32(2): 279– 381, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.04.012>
- [12] Raychoudhury S., Hu D., Ren L. Three-dimensional kinematics of the human metatarsophalangeal joint during level walking. *Front Bioeng Biotechnol* 2014; 2: 73, <http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2014.00073>.
- [13] Скворцов Д.В. Методика исследования кинематики движений и современные стандарты. 2012; 12: 4–10. Skvortsov D.V. The methods of investigation of kinematics and modern standards. *Videoanalysis. Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina* 2012; 12: 4–10.