

УДК 004.021

Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич,
Пашин Дмитрий Михайлович, Фахрутдинов Аделъ Фердинандович

АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТРЕМОРА ГОЛОВЫ ПО ДАНЫМ ВИДЕОКАМЕРЫ СМАРТФОНА СИСТЕМЫ БИМЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА

Самостоятельная предварительная диагностика позволяет выявлять различные симптомы, которые могут являться поводом посещения медицинских специалистов, это позволяет выиграть время – очень ценный ресурс, когда речь идет о жизни человека. Целью работы является разработка алгоритма детектирования тремора головы для применения в смартфонной технике. В статье представлено решение для определения наличия тремора головы человека по видеоданным фронтальной камеры смартфона предназначенное для применения в системе биомедицинского мониторинга. Представленное решение основано на применении открытой модели машинного обучения ML Kit, предназначенное для распознавания лица человека и на разработанном алгоритме обработки результатов распознавания лица человека. Результаты испытаний показали точность решения равное 0,92 по метрике ассигасу. Представленное решение предлагает новый способ определения наличия тремора головы и показывает применимость стандартной модели ML Kit определения контуров лица человека для решения подобного рода задач на смартфонах.

Неинвазивный мониторинг, тремор головы, цифровая обработка сигналов, неврологические расстройства, контуры лица.

Egorchev Anton Alexandrovich, Chikrin Dmitry Evgen'evich,
Pashin Dmitry Mikhailovich, Fakhrutdinov Adel Ferdinandovich

ALGORITHM FOR DETECTION OF HEAD TREMOR ACCORDING TO DATA OF A SMARTPHONE VIDEO CAMERA OF A BIOMEDICAL MONITORING SYSTEM

Self-diagnosis allows you to identify various symptoms that may be a reason to visit medical specialists, this allows you to gain time - a very valuable resource when it comes to a person's life. The goal of the work is to develop an algorithm for detecting head tremor for use in smartphone technology. The article presents a solution for determining digital tremor of the human head using video data from the front camera of a smartphone, intended for use in the biomedical Diptych system. This solution is

based on the use of an open machine learning model ML Kit, designed to determine a person's face, and on a developed algorithm for processing the results of determining a person's face. The results of measuring the accuracy of the solution are 0.92 in metric accuracy. The present solution offers a new way to detect financial head tremor and demonstrates the applicability of the ML Kit model for identifying human facial contours for similar tasks on smartphones.

Non-invasive monitoring, head tremor, digital signal processing, neurological disorders, facial contours.

Введение

Тремором головы являются неконтролируемые ритмичные движения головы человека, которые обусловлены сокращениями мышц шеи. Выглядит тремор головы как качание или кивание головой, которое возникает как в состоянии покоя, так и при движениях или поддержании поз. При этом амплитуда колебательных движений при наличии тремора головы может быть небольшой. Наличие тремора головы у человека, может свидетельствовать о вероятном наличии неврологических заболеваний, таких как болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, энцефалопатия, цервикальная дистония и т.п., поэтому важно выявить данный недуг и начать профилактику и/или лечение. Бурное развитие смартфонной техники, которые сегодня повсеместно распространены, позволяет использовать смартфоны как инструмент предварительной диагностики показателей здоровья человека [18, 14, 13, 3], поэтому у смартфонов есть потенциал для проведения предварительной диагностики симптомов наличия неврологических расстройств у пациента, в частности, наличия тремора головы. Следовательно, необходимость проведения самостоятельной диагностики наличия тремора головы в системе биомониторинга, является актуальной задачей и в рамках данной работы предлагается решение для диагностики наличия тремора головы.

Основная часть

Тремор головы зачастую имеет частоту колебаний в диапазоне от 3-18 Гц [15]. Современные смартфоны позволяют фронтальной камерой записывать видео с частотой кадров в 30 кадров в секунду и более. Следовательно, в предлагаемом решении принято ограничиться частотой кадров равным 30 кадров в секунду, для большего охвата устройств. Видеоданные, записываемые камерами мобильных телефонов, имеют в своем составе набор кадров, который является дискретным представлением визуаль-

ной части данных видео. В соответствии с теоремой Котельникова-Найквиста для 30 Гц частоты дискретизации, верхняя частота сигнала, который можно извлечь из кадров видеоданных, составляет 15 Гц. Следовательно, представленный в данной работе алгоритм рассматривает диапазон тремора головы от 3-15 Гц. Использование видеоданных для определения тремора головы в рамках рассматриваемого решения накладывает следующие требования для успешности измерений:

- Максимальная неподвижность, как в положении позы, так и в мимике лица, человека, который измеряет показания.
- Лицо человека измеряющего показания должно быть полностью открыто (волосы не должны закрывать лицо, если пациент носит очки, то их необходимо снять).
- Жесткая фиксация смартфона во время записи видеоданных (например, на подставке).
- На смартфоне в момент записи видео необходимо, чтобы не работала стабилизация камеры, так как она может внести искажения при измеряемых данных.
- Так как в последнее время все чаще в новых моделях смартфонов начали появляться модули машинного обучения, которые выполняют изменения данных изображения, получаемых с камер, то видеоданные не должны подвергаться обработке алгоритмами машинного обучения, так как их влияние на изображение пока не изучено.
- Измерения должны проводиться при хорошей освещенности, чтобы лицо человека обладало четкой видимостью при съемках с фронтальной камеры.

Для определения тремора головы разработана система, которая представляет собой программный модуль, который применяется в мобильном приложении, который предназначен для проведения измерений биомедицинских показателей. Приложение с разработанной системой разработана с использованием языка программирования Kotlin [16]. Приложение разработано по принципам объектно-ориентированного программирования используя такой шаблон проектирования как MVP (Model-View-Presenter (Модель-Отображение-Представление)), а также используя методы реактивного программирования благодаря библиотеке RxKotlin [20].

Из записи 10 секундной длины, выполняется процедура извлечения контуров лица с помощью библиотеки MLKit [8]. Данный набор инструментов позволяет определять контуры лица человека. Для определения

тремора головы выбрано решение использовать контур овала лица человека, представленного в виде массива из 36 точек, координаты которых представлены в вещественном виде. Координаты точек, соответствуют разрешению изображения фронтальной камеры. В результате обработки кадров видеофайла формируется массив контуров овала лица, который подается на вход блока анализа контуров. Для каждой точки контура лица из элементов списка, хранящего все распознанные контуры в цикле, выполняется процедура расчета расстояния между точками по формуле (1):

$$r = \sqrt{(pt_{xj-1} - pt_{xj})^2 + (pt_{yj-1} - pt_{yj})^2} \quad (1),$$

где:

pt – точка контура лица,

j – индекс элемента списка, хранящего все распознанные контуры лица,

x – ось X изображения,

y – ось Y изображения.

Для полученных расстояний выполняется процедура расчета 2 квартиля (медианы) выборки.

Для каждой точки контура выполняется процедура расчета отклонения расстояний от значений медианы. Для полученных данных для каждой точки выполняется процедура получение представления сигнала в частотной области путем применения быстрого преобразования Фурье (БПФ) в области действительных значений. Далее выполняется процедура нормировки значений амплитудно-частотной характеристики спектра для каждой точки относительно максимума. В конечном счете, выполняется процедура подсчета количества точек контура овала лица, в спектре которых амплитуда в диапазоне тремора (а именно 3-15 Гц) превышает значение 0,8. Пороговое значение получено эмпирическим путем. Таким образом формируется оценка в виде количества баллов. На основе полученных баллов формируется вывод о наличии тремора головы. Принцип работы основан простым сравнении с пороговым значением - если количество точек, который удовлетворяет условиям тремора не менее 25, то фиксируется тремор головы, в противном случае его отсутствие.

Для определения качества разработанного решения проведены ряд испытаний. В качестве испытуемых приглашено 20 человек, которые являются студентами и сотрудниками Казанского Федерального Университета. Результаты испытаний показаны в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты испытаний по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1 Score

| Показатель | Метрика accuracy | Метрика precision | Метрика recall | Метрика F1 Score |
|-------------|------------------|-------------------|----------------|------------------|
| Нет тремора | 0,92 | 0,95 | 0,90 | 0,93 |
| Есть тремор | 0,92 | 0,90 | 0,95 | 0,92 |

Таблица 2

Результаты испытаний по метрике – ошибки 1 и 2 рода

| Показатель | α (ошибки 1 рода) | β (ошибки 2 рода) |
|-------------|--------------------------|-------------------------|
| Нет тремора | 0,053 | 0,095 |
| Есть тремор | 0,095 | 0,053 |

Выводы

Рассмотрев тему детектирования тремора головы, разработан алгоритм определения тремора головы, которая решает данную задачу. Испытания показали ошибки 1 рода 0,095 и ошибки 2 рода 0,053 при детектировании тремора головы. Результаты позволяют сделать вывод, что ML Kit пригоден для решения задачи определения тремора головы с помощью машинного зрения в рамках системы биомедицинского мониторинга. При этом решение потенциально применимо для устройств на базе iOS по причине того, что ML Kit доступен на платформе iOS. Решение имеет потенциал для усовершенствования, путем рассмотрения других контуров лица для анализа данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Assessment of Head Tremor with Accelerometers Versus Gyroscopic Transducers. — Текст : электронный // NationalLibraryOfMedicine : [сайт]. — URL:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6174406/> (дата обращения: 22.04.2023)

2. *Axak N.* Разработка мультиагентной системы нейросетевой диагностики и удаленного мониторинга пациента // ВЕЖПТ. 2016. №9 (82). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-multiagentnoy-sistemy-neyrosetevoj-diaagnostiki-i-udalennogo-monitoringa-patsienta> (дата обращения: 22.04.2023)

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. - №60. - С. 1080-1089.

4. Face Detection. — Текст : электронный // ML Kit : [сайт]. — URL: <https://developers.google.com/ml-kit/vision/face-detection> (дата обращения: 05.10.2023)

5. Face-Yaw-Roll-Pitch-from-Pose-Estimation-using-OpenCV. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/jerryhouuu/Face-Yaw-Roll-Pitch-from-Pose-Estimation-using-OpenCV> (дата обращения: 20.10.2022).

6. Head tremor in cervical dystonia: Quantifying severity with computer vision. — Текст: электронный // Sciencedirect: [сайт]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022510X22000132> (дата обращения: 02.10.2022).

7. JCodec. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/jcodec/jcodec> (дата обращения: 09.09.2022).

8. ML Kit. — Текст: электронный // Google Developers: [сайт]. — URL: <https://developers.google.com/ml-kit> (дата обращения: 05.10.2022).

9. OpenFace. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/TadasBaltrusaitis/OpenFace> (дата обращения: 22.04.2023).

10. Tremor rating scales and laboratory tools for assessing tremor. — Текст : электронный // ScienceDirect : [сайт]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022510X22000648> (дата обращения: 01.04.2023).

11. Using Portable Transducers to Measure Tremor Severity. — Текст : электронный // GoogleScholar : [сайт]. — URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Using%20Portable%20Transducers%20to%20Measure%20Tremor%20Severity&publication_year=2016&author=R.J.%20Elble&author=J.%20McNames (дата обращения: 01.04.2023).

12. Vision-based estimation of MDS-UPDRS scores for quantifying Parkinson's disease tremor severity. — Текст : электронный // ScienceDirect : [сайт]. — URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361841523000154> (дата обращения: 01.04.2023).

13. *Богомолов А.И., Невежин 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-vyuavleniya-predvestnikov-krizisa-serdechno-sosudistoy-sistemy> (дата обращения: 22.04.2023).

14. *Гайдина Т. А., Дворникова Е. Г.* ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СМАРТФОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТИ МЕЛАНОЦИТАРНЫХ 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).

15. *Говорова Т. Г., Тапшахов А. А., Попова Т. Е., Антипина У. Д.* Тремор: классификация, клиническая характеристика // Consilium Medicum. 2018. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tremor-klassifikatsiya-klinicheskaya-harakteristika> (дата обращения: 01.04.2023).

16. *Гриффитс Д.* Head First. Kotlin / Д. Гриффитс, Д. Гриффитс. — 1. — СПб : Питер, 2020. — 464 с. - Текст : непосредственный.

17. *Зияудинов С. И.* Восстановление сигнала по его выборкам на основе теоремы отсчетов Котельникова // Приборостроение. 2010. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vosstanovlenie-signala-po-ego-vyborkam-na-osnove-teoremy-otschetov-kotelnikova> (дата обращения: 23.04.2023).

18. *Федорович А. А., Горшков А. Ю., Королев А. И., Драпкина 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).

19. *Фролов С. В., Горбунов А. В., Потлов А. Ю.* Регистрация и анализ тремора с помощью детектора движения на основе веб-камеры // Биомедицина. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/registratsiya-i-analiz-tremora-s-pomoschyu-detektora-dvizheniya-na-osnove-veb-kamery> (дата обращения: 05.10.2022).

20. *Чакрабурти, Д.* Reactive Programming in Kotlin / Д. Чакрабурти. — 1. — Бирмингем : Packt Publishing, 2017. — 299 с. - Текст : непосредственный.

Егорчев Антон Александрович, кандидат технических наук, директор института вычислительной математики и информационных технологий, КФУ, Казань, ул. Кремлевская, 35. Email: anton@egorchev.ru.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, директор института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, КФУ, Казань, ул. Сайлиха Сайдашева д.12 к.3, Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Пашин Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.18. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.

Фахрутдинов Адель Фердинандович, без степени, аспирант института физики, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.16а Email: timvaz@yandex.ru. Тел: +79872394153

Egorchev Anton Alexandrovich, Ph.D of technical sciences, Director of Institute Computational Mathematics and IT, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 35. Email: anton@egorchev.ru

Chikrin Dmitry Evgen'evich, Doctor of technical sciences, Director of Institute of Artificial Intelligence, Robotics and System Engineering, KFU, Kazan, Salikha Saidasheva st. 12, 3 enc. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.

Pashin Dmitry Mikhailovich, Doctor of technical sciences, Vice-Rector for Digital Transformation and Innovation, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 18. Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Fakhrutdinov Adel Ferdinandovich, no degree, graduate student, Institute of Physics, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 16a. .Email: timvaz@yandex.ru. Tel: +79872394153