

## ОБРАБОТКА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ БИОМЕДИЦИНСКОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТРИКИ ХАУСДОРФА

**И. А. Перова, М. В. Вычугжанин**

*Пензенский государственный университет,  
Пенза, Россия, [ivs@pnzgu.ru](mailto:ivs@pnzgu.ru)*

Рассматривается вопрос измерения электрических сигналов сердца на различных предопределенных частотах на платформе MAX30001. Показана обработка мультимодальных данных биомедицинского сигнала, их графическое представление посредством математического пакета Scilab с использованием метрики Хаусдорфа.

**Ключевые слова:** информационные технологии; биомедицинские данные; платформа MAX30001; электрокардиограмма; метрика Хаусдорфа.

## PROCESSING OF MULTIMODAL BIOMEDICAL SIGNAL DATA USING THE HAUSDORFF METRIC

**I. A. Perova, M. V. Vychugzhanin**

*Penza State University,  
Penza, Russia, [ivs@pnzgu.ru](mailto:ivs@pnzgu.ru)*

The article discusses the measurement of cardiac electrical signals at various predefined frequencies on the MAX30001 platform. It shows the processing of multimodal biomedical signal data and their graphical representation using the Scilab mathematical package and the Hausdorff metric.

**Keywords:** information technology; biomedical data; MAX30001 platform; electrocardiogram; Hausdorff metric.

### 1. Введение

Сегодня информационные технологии активно используются в медицинской отрасли, что привело к значительному расширению возможностей использования специализированного медицинского оборудования. Пациенты получили доступ к современным стационарным и мобильным устройствам, позволяющим регулярно контролировать работу сердечно-сосудистой системы. С помощью этих приборов можно отслеживать важнейшие показатели: уровень артериального давления, частоту сердечных сокращений и другие характеристики организма. Параллельно

развивается и совершенствуется инфраструктура для работы с данными, получаемыми от различных биомедицинских датчиков, которые человек может носить на себе в повседневной жизни. Одной из таких систем является платформа МАХ30001 [1].

Исследование, рассматриваемое в статье, направлено на изучение моделирования электрической активности сердца и создание эффективных инструментов визуализации данных при использовании возможностей устройства МАХ30001 для мониторинга и анализа сердечной активности в различных условиях. В ходе изыскания была изучена работа устройства на десяти predetermined частотах (1 кГц, 2 кГц, 4 кГц, 8 кГц, 18 кГц, 40 кГц, 80 кГц, 128 кГц, 250 кГц, 500 кГц) при нахождении человека в сидячем положении без нагрузки при нормальном дыхании. Данные электрокардиограммы (ЭКГ) собираются и анализируются для каждого состояния одновременно с соответствующей частота дискретизации канала ЭКГ.

Для визуального отображения мультимодальных данных биомедицинского сигнала разработана программа в математическом пакете Scilab. Входными данными для приложения являются массивы данных в виде файлов в формате csv, сформированных при работе устройства МАХ30001. Фрагмент данных биомедицинского сигнала представлен ниже. Размеры входного массива данных биомедицинского сигнала не являются постоянными и зависят от времени проводимого измерения.

Фрагмент формата данных электрокардиограммы на платформе МАХ30001 представлен ниже:

```
% Time (s), ECG_DATA[17:0], ETAG[2:0], PTAG[2:0], ECG (mV), ECG
Filtered (mV), Filter Type, LDOFF_PH, LDOFF_PL, LDOFF_NH, LDOFF_NL
0, 0, 0, 7, 0, 0, None,
0.0078125, 0, 0, 7, 0, 0, None,
0.015625, -1, 0, 7, -0.0003814697265625, -0.0003814697265625, None,
0.0234375, -3, 0, 7, -0.0011444091796875, -0.0011444091796875, None,
0.03125, -3, 0, 7, -0.0011444091796875, -0.0011444091796875, None,
```

## 2. Основные результаты

В математическом пакете Scilab разработана программа, предназначенная для построения графиков, визуализирующих сигналы ЭКГ по мультимодальным данным, которые загружаются из файла csv, сформированном на платформе МАХ30001. Данные из .csv файлов содержат временные метки и значения ЭКГ.

Для сглаживания сигналов был применен метод двусторонней полосовой фильтрации, с помощью которого был удален дрейф и высокочастотный шум без фазового сдвига. На рис. 1–4 представлены отфильтрованные графики сигнала ЭКГ с соответствующей частотой дискретизации – 1 кГц, 2 кГц, 250 кГц и 500 кГц.

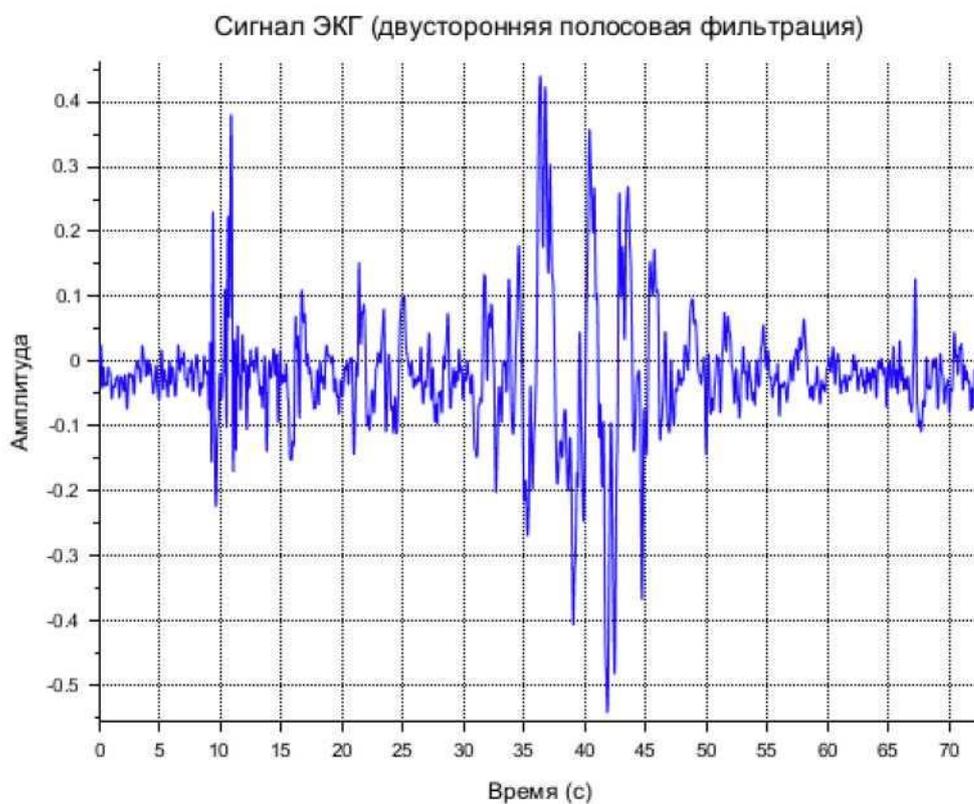


Рис. 1. Отфильтрованный график сигнала ЭКГ с частотой дискретизации 1 кГц



Рис. 2. Отфильтрованный график сигнала ЭКГ с частотой дискретизации 2 кГц

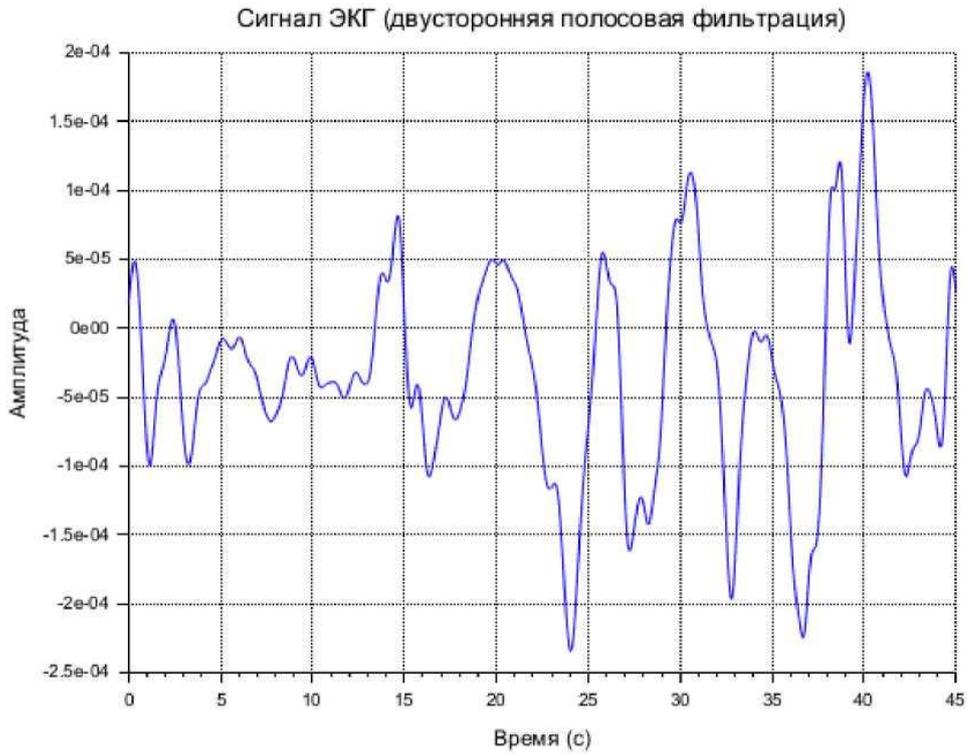


Рис. 3. Отфильтрованный график сигнала ЭКГ с частотой дискретизации 250 кГц



Рис. 4. Отфильтрованный график сигнала ЭКГ с частотой дискретизации 500 кГц

Метрика Хаусдорфа — мера «расстояния» между двумя множествами точек. В контексте сигналов расстояние Хаусдорфа показывает, насколько далеко максимально удалённая точка одного сигнала находится от ближайшей точки другого. Чем меньше расстояние, тем более похожи сигналы. В ЭКГ такую метрику можно использовать для поиска аномалий (например, фибрилляции предсердий), для сравнения сердечных циклов, для кластеризации сигналов или шаблонов [2].

На рис. 5 показано сравнение сигналов разной частотной дискретизации (1 kHz и 2 kHz). Для корректного результата программа определяет общую временную зону. Так сравнение происходит только там, где оба сигнала существуют.

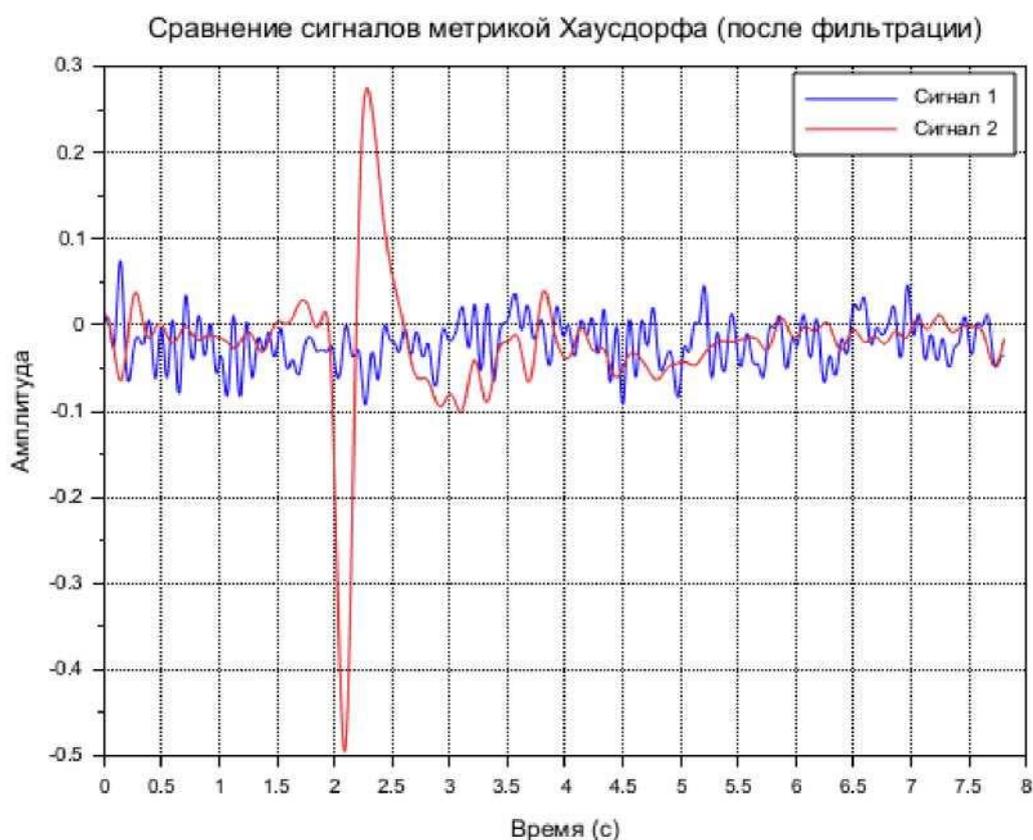


Рис. 5. Сравнение сигналов с частотой дискретизации 1 кГц и 2 кГц

На рис. 5 видно, что сигналы почти совпадают. Но у сигнала 2 в районе 2,2–2,3 секунд наблюдается большой выброс (амплитуда  $-0,4955$  и  $0,2747$  соответственно). Максимальное отклонение между двумя множествами точек равно  $0,437$ . В ходе исследования также проведено сравнение сигналов 2 kHz и 4 kHz, 4 kHz и 8 kHz, 8 kHz и 18 kHz, 40 kHz и 80 kHz. На рис. 6 показано сравнение сигналов разной частотной дискретизации (250 kHz и 500 kHz).

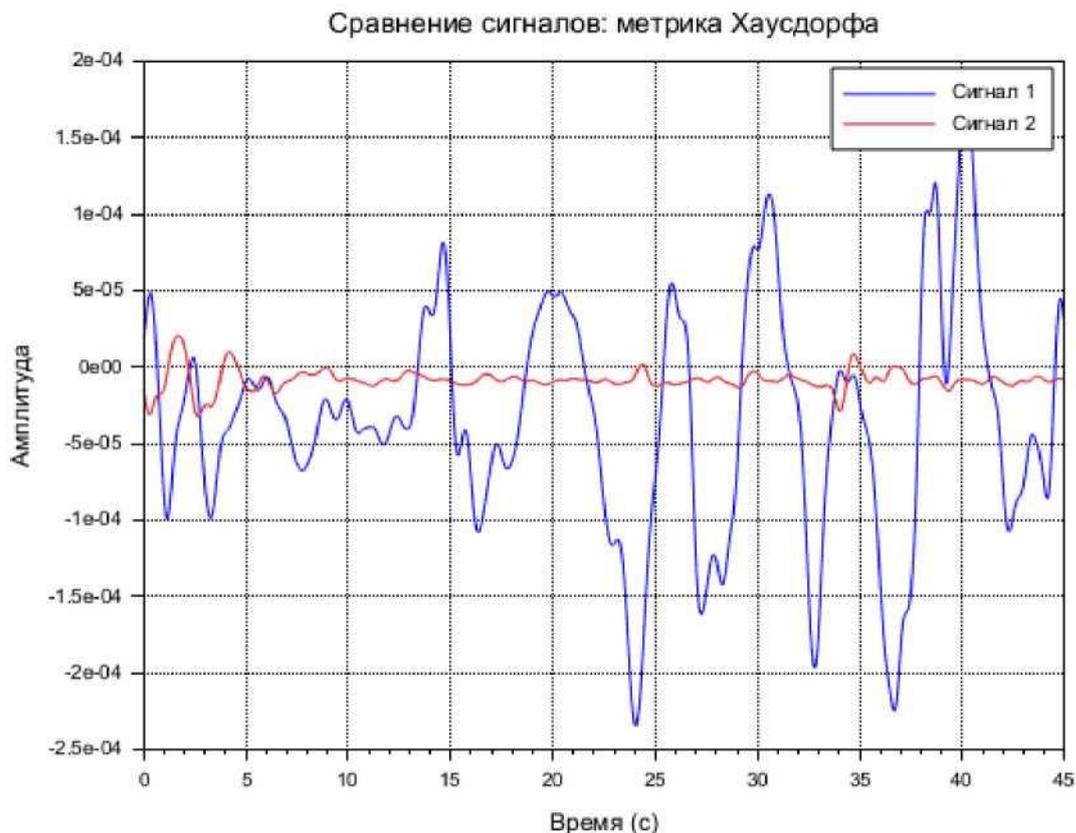


Рис. 6. Сравнение сигналов с частотой дискретизации 250 kHz и 500 kHz

На рис. 6 видно, что сигналы почти совпадают. Но у сигнала 1 наблюдаются значительные выбросы. Максимальное отклонение между двумя множествами точек равно 0,00023. Таким образом, несмотря на различия сигналов на графике, наименьшее расстояние между точками наблюдается у сигналов с частотой дискретизации 250 kHz и 500 kHz.

### 3. Заключение

В ходе исследования реализована обработка мультимодальных биомедицинских сигналов на примере ЭКГ с применением метрики Хаусдорфа в среде Scilab. Особое внимание уделено сравнению различных участков сигнала и визуализации ключевых точек, отражающих максимальное и минимальное расстояние между ними. Такой подход позволяет не только количественно оценить различие между сегментами сигнала, но и наглядно выделить области наибольшего расхождения или совпадения [3].

Использование Scilab обеспечило удобную и эффективную платформу для математического анализа сигналов, включая загрузку и корректировку исходных данных, построение графиков, реализацию алгоритмов поиска расстояний и интерпретацию полученных результатов. Реализация

метрики Хаусдорфа в Scilab подтвердила её применимость для задач анализа биомедицинских данных, где важна оценка схожести или различия между временными структурами сигналов.

Таким образом, проделанная работа подтверждает актуальность использования метрик расстояния в анализе ЭКГ, а также демонстрирует потенциал Scilab как универсального инструмента в задачах биомедицинской инженерии. В дальнейшем возможно расширение подхода на интеграцию с методами машинного обучения для автоматического выявления аномалий и классификации патологий.

### Библиографические ссылки

1. *Вычужжанин М. В., Перова И. А.* Одновременная регистрация и первичная обработка биомедицинских сигналов на платформе MAX30001 // Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО-2024) : сборник статей по материалам X Международной научной конференции, посвященной 25-летию Медицинского института ПГУ / Пенза, 2024. С. 128–131.

2. Способ и аппаратно-программные средства анализа биоимпеданса для систем мобильного мониторинга ЭКГ / М. И. Сафонов [и др.] // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 3 (35). С. 118–128. DOI: [10.21685/2227-8486-2020-3-10](https://doi.org/10.21685/2227-8486-2020-3-10).

3. *Волчихин В. И., Митрохин М. А., Кузьмин А. В.* Особенности обработки электрокардиосигналов в системах мобильного мониторинга // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 1 (45). С. 54–63.