

УДК 612.21: 616-71

ОБРАБОТКА ДАННЫХ С АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДВИЖЕНИЙ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА



И.И. Ревинская
Аспирант БГУИР, ассистент
кафедры электронной техники
и технологии БГУИР



П.В. Камлач
Доцент кафедры
электронной техники и
технологии БГУИР,
кандидат технических наук,
доцент



В.М. Бондарик
Декан факультета
доуниверситетской
подготовки и
профессиональной
ориентации, кандидат
технических наук

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь.

E-mail: irewinskaya.bsuir@gmail.com, kamlachpv@bsuir.by.

И. И. Ревинская.

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Аспирант и ассистент кафедры электронной техники и технологии БГУИР. Область научного интереса – методы регистрации и обработки биомедицинских сигналов.

П. В. Камлач.

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и технологии БГУИР. Область научного интереса – проектирование медицинских электронных систем.

В. М. Бондарик

Образование: 1983-1988 – Минский радиотехнический институт, специальность «Конструирование и производство радиоаппаратуры», квалификация – инженер-конструктор-технолог. Область научного интереса – проектирование медицинских электронных систем, внедрение дистанционных образовательных технологий.

Аннотация. В работе описаны алгоритм проведения исследований при использовании аппаратно-программного комплекса, предназначенного для мониторинга движений органов человека, и последующая обработка и анализ полученных данных в среде Matlab. В качестве датчика используется акселерометр, позволяющий регистрировать проекции суммы ускорения устройства на оси X, Y и Z.

Ключевые слова: акселерометр, фильтр нижних частот, фильтр Баттерворта.

Введение.

МЭМС-акселерометры в настоящее время все больше и больше находят широкое применение в различных областях науки и техники, и в частности в медицине. Принято различать объективные и субъективные методы оценки физической активности человека. Одним из объективных методов оценки физической активности является регистрация кинематических параметров движений с помощью акселерометра [1].

Актуальность применения такого типа датчика в медицинских измерениях обусловлена высокой чувствительностью, компактностью и минимальными размерами, стойкостью к внешним воздействиям, а также небольшой стоимостью.

Акселерометр, измеряя проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением), позволяет фиксировать даже незначительные изменения

ускорения в зависимости от его положения в пространстве [2, 3]. Разработан аппаратно-программный комплекс, предназначенный для мониторинга движений органов человека. В данном комплексе регистрирующим датчиком является акселерометр.

Алгоритм исследований.

Предлагается следующий алгоритм регистрации движений органов человека:

– Подготовка испытуемого к исследованиям (рисунок 1).

Перед началом исследования рекомендуется:

1. Задать пациенту вопросы о недавнем курении или физических нагрузках до исследования, имеющихся заболеваниях, использовании лекарственных препаратов, которые могут повлиять на результаты;

2. Измерить рост и вес пациента.

3. Внести информацию о пациенте в общую базу данных (рисунок 1.).

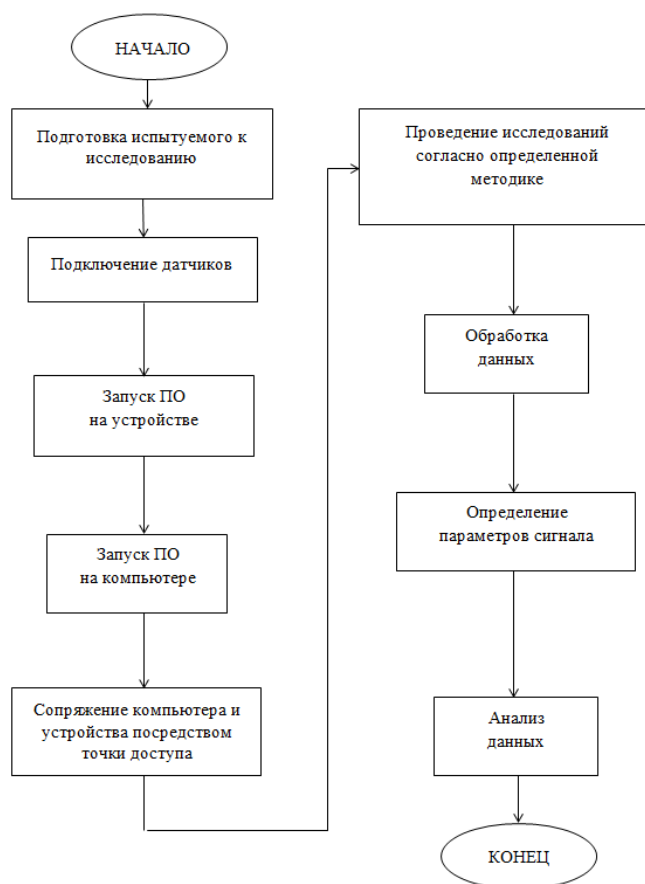


Рисунок 1. Алгоритм проведения исследований

– Подключение датчиков.

Датчики крепятся эластичными ремешками в нужной точке измерения. При выборе места фиксации определяются точки, в которых движения будут наиболее выраженные.

– Запуск программного обеспечения на устройстве.

В первую очередь запускается приложение на устройстве, потом программа на компьютере, так как на устройстве необходимо создать точку доступа Wi-Fi и подключиться к ней с компьютера.

– Запуск программного обеспечения на компьютере.

На персональном компьютере необходимо запустить приложение ChartBuilder.exe .

1. Сопряжение компьютера и устройства.

2. Подключение устройства и компьютера через точку доступа позволяет передавать регистрируемые данные на расстоянии.

3. Проведение исследований согласно определенной методике.

4. Обработка данных.

Обработка данных производится в среде Matlab либо любой другой программе, предназначенной для задач технических вычислений. Обработка данных включает импорт данных формата CSV, графическое представление, применение цифровой фильтрации сигналов.

1. Определение параметров движений органов человека.

2. Анализ данных.

Врач определяет соответствие полученных параметров норме.

Обработка данных.

Предварительная обработка и визуализация полученных данных производилась в пакете Excel. Данные с акселерометра считывались с частотой 200 Гц и сохранялись в формате csv. Основные параметры, регистрируемые устройством: Time – длительность проводимого исследования, X_Value, Y_Value, Z_Value – проекции ускорения устройства по оси X, Y и Z соответственно. Далее обработка данных производилась с помощью пакета Matlab. Чтобы импортировать данные Z_Value и Time из Excel в среду Matlab автоматически генерируется скрипт m-файла. Скрипт включает в себя удаление не числовых (NaN – not a number) и нулевых (пустых) значений. Также была решена проблема импорта дробных чисел, содержащих запятую в числе, так как в Matlab запятая читается как разделитель, а дробные числа пишутся через точку.

Для обработки сигналов применен фильтр нижних частот Баттерворта с частотой среза 10 Гц и скользящий усредняющий фильтр. Фильтр Баттерворта имеет максимально плоскую амплитудно-частотную характеристику в полосе пропускания и монотонную характеристику в полосе задерживания, и определяется выражением:

$$H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2N}}}$$

где ω_0 – частота среза, N – порядок фильтра.

В нашем случае был выбран фильтр 4-го порядка, обеспечивая плоскую характеристику. Реальный сигнал находится в частотном диапазоне 0,005 – 10 Гц. Для правильной оцифровки сигнала необходимо и достаточно чтобы выполнялось уравнение (2) согласно теореме Котельникова:

$$f_s \geq F_{\text{sign}}$$

где F_{sign} – частота сигнала, f_s – частота дискретизации.

Отфильтрованные сигналы были дополнительно сглажены скользящим усредняющим фильтром, который хорошо устраняет случайный шум [4, 5]. Оптимальный порядок фильтра составил 25 точек усреднения. Формула (3) представляет уравнение однородного рекурсивного фильтра:

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j], \quad (1)$$

где $x[i+j]$ – входной сигнал, $y[i]$ – выходной сигнал, M – число усредняемых точек.

На рисунке 2 представлен сигнал до и после фильтрации.

Суммарное уменьшение шумов вычислить по формуле:

$$S_n \sqrt{n}$$

где S_n – суммарное уменьшение шумов, n – число точек усреднения.

При n = 25 случайный шум уменьшится в 5 раз.

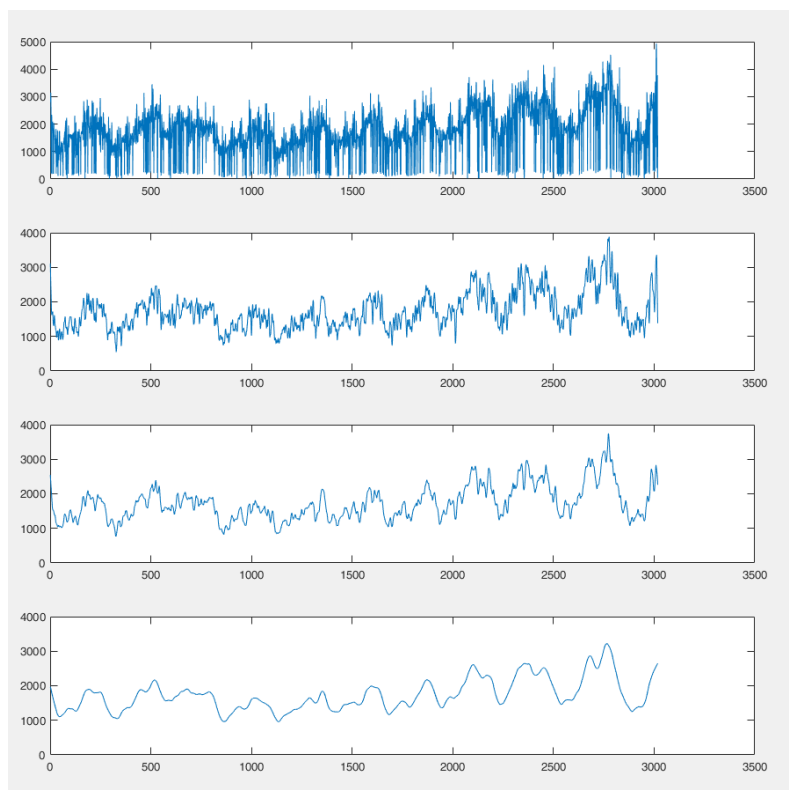


Рисунок 2. Результат работы скользящего усредняющего фильтра: а) исходный сигнал; б) при $m = 7$ точках усреднения; в) $m = 10$; г) $m = 25$

С помощью приложения Signal Analyzer в среде Matlab можно производить предварительную обработку, анализ и сравнение сигналов, а также пользовательские функции предварительной обработки.

На рисунке 3 представлен оригинальный $z01original$ и сглаженный сигнал $z01$. При обработке данных решена проблема дрейфа нулевой линии путем вычитания линии тренда от базового сигнала.

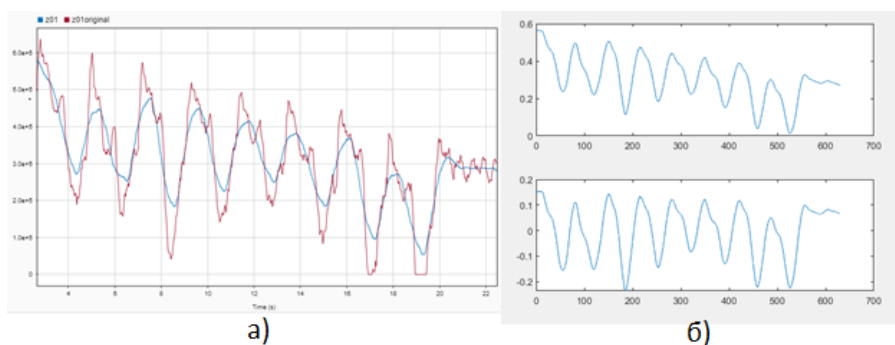


Рисунок 3. Сигналы в приложении Signal Analyzer: а) оригинальный и сглаженный сигналы; б) Реальный сигнал после фильтрации дрейфа базовой линии

Чтобы оценить качество фильтрации сигнала был сгенерирован эталонный (рисунок 4а) и зашумленный сигнал, схожий с реальным сигналом (рисунок 4б) [6]. На рисунке 4в представлен результат фильтрации с помощью спроектированных цифровых фильтров.

Степень схожести исходного сигнала-эталона (для сравнения) и отфильтрованного зашумленного сигнала спроектированными фильтрами в Matlab составила более 94 %. Расчеты подтверждают возможность применения разработанных цифровых фильтров при обработке медицинских сигналов.

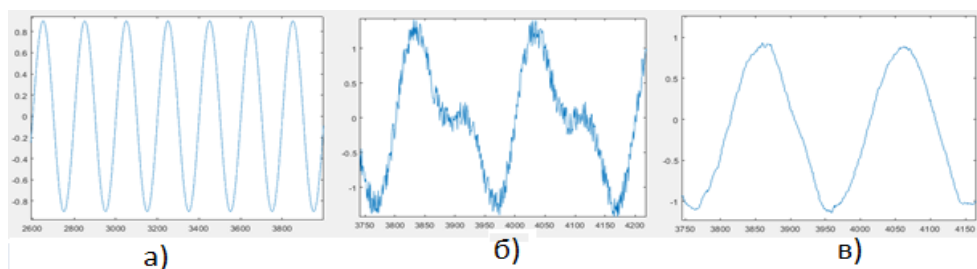


Рисунок 4. Виды сигналов: а) эталонный сигнал; б) сгенерированный зашумленный сигнал; в) отфильтрованный сигнал

Заключение.

Предложен алгоритм регистрации движений органов человека с помощью акселерометра, представлены результаты обработки и анализа сигналов. Для оценки качества фильтрации был смоделирован и отфильтрован зашумленный эталонный сигнал. Различие зашумленного и эталонного сигнала не более 6 % что свидетельствует о том, что разработанные цифровые фильтры подходят для поставленной задачи.

Список литературы

- [1] Логинов С.И. Возможности оценки физической активности человека с помощью датчиков движения акселерометров // Вестник новых медицинских технологий. – 2007. – Т 14. – № 1. – С. 149–150.–
- [2] Применение линейной фильтрации в оценке параметров дыхания / И. И. Ревинская [и др.] // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Минск, 13–14 марта 2019 г. В 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол. : В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2019. – С. 27 – 32.
- [3] Информационные технологии для диагностики синдрома обструктивного апноэ сна/ И. И. Ревинская [и др.] // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня : сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Минск, 20-21 мая 2020 г. В 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол. : В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 362 – 369.
- [4] Цифровой датчик частоты дыхания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://td-school.ru/index.php?page=554>.
- [5] Давыдов, М. В. Цифровая обработка биомедицинских сигналов и изображений. Лабораторный практикум : учебно-метод. пособие / М. В. Давыдов и др. – Минск : БГУИР, 2015. – 75 с.
- [6] Ревинская, И. И. Обработка пневмограмм при длительном мониторинге дыхательных движений / Ревинская И. И. // Электронные системы и технологии : 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18-20 мая 2020 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 370-371.

DATA PROCESSING FROM ACCELEROMETER FOR REGISTRATION OF HUMAN ORGAN MOVEMENTS

I.I. REVINSKAYA

Master student of Electronic Technology and Engineering

P.V. KAMLACH

PhD, Associate Professor of the Electronic Technology and Engineering.

V. M. BANDARIK

Dean of the faculty of pre-University training and vocational guidance, candidate of technical Sciences

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
Email: irewinskaya.bsuir@gmail.com, kamlachpv@bsuir.by*

Abstract. The paper describes an algorithm for conducting research using a hardware-software complex designed to monitor movements of human organs, as well as the subsequent processing and analysis of the data obtained in the Matlab environment. An accelerometer is used as a sensor, which allows registering the projection of the sum of the device's acceleration on the X, Y, and Z axes.

Keywords: accelerometer, low-pass filter, Butterworth filter.