

УДК 004.021:004.415.2:004.622:004.623: 004.624:004.67:681.518.3:681.586

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Карасева Е. (Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук), **Дроздов С.А.** (Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук), **Лебедев В.С.** (Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук)

Работа посвящена созданию измерительного комплекса, предназначенного для сбора данных в реальном времени и обработки фотоплетизмографических (ФПГ) кривых, который войдет в информационно-измерительную систему для сбора электрофизиологических показателей в рамках исследования синхронизации зрительной системы человека при восприятии динамических изображений. Был собран фотоплетизмограф, в состав которого входит плата сбора данных с интерфейсом USB и аналоговый оптический датчик. С помощью прибора собрана небольшая выборка, для обработки которой был написан программный комплекс в среде программирования MATLAB.

Введение. В настоящее время пульсовые датчики, основанные на контактной фотоплетизмографии, становятся все популярней, особенно, в портативных устройствах таких. На сегодняшний день в свободном доступе не существует универсального программного обеспечения для автоматического или полуполуавтоматического определения параметров фотоплетизмографических (ФПГ) кривых. Некоторые исследователи описывают алгоритмы определения только некоторых параметров пульсовых кривых, а также не приводят реализацию алгоритма для потенциальных пользователей. Целью данной работы стала разработка измерительного комплекса для регистрации и обработки цифровых сигналов вида ФПГ кривых. Для реализации была выбрана среда программирования MATLAB.

Материалы и методы.

В клинической практике фотоплетизмография применяется для наблюдения изменений объема участка тела, обусловленных толчковыми притоками крови при сокращении сердца. Исследуемый участок ткани просвечивается светом видимого, инфракрасного или ультрафиолетового диапазона, который регистрируется после отражения или рассеивания при помощи фоторезистора. Интенсивность принимаемого излучения, прошедшего через исследуемый участок ткани, определяется составом и количеством крови в этом участке по закону Бугера-Ламберта-Бера. Исследование оптических свойств крови с целью определения степени ее оксигенации показывает, что разные формы гемоглобина имеют разные спектры поглощения.

Поскольку, интенсивность света пропорциональна числу Эйлера в степени прямо пропорциональной коэффициенту поглощения в данном веществе и пройденному расстоянию, а коэффициент поглощения среды обратно пропорционален длине волны проходящего света, можно составить отношение, из которого следует, что при использовании света длиной волны красного диапазона видимого света $\lambda_1=720$ нм при прохождении через один и тот же объект толщиной $x=1$ см интенсивность принимаемой волны будет ниже, чем при использовании света длиной волны зеленого диапазона видимого света $\lambda_2=500$ нм.

Поглощение света красного диапазон видимого света происходит в основном за счет оксигемоглобина, который приносится с притоком артериальной крови в фазе систолы, поэтому при пульсациях крови интенсивность такого света связана в основном с его рассеянием, для такого фотоплетизмографа необходимо выбирать участок тела, который имеет крупные артериальные сосуды. Для регистрации притока крови и в фазе диастолы необходимо фиксировать поглощение света другими формами гемоглобина, то есть

целесообразно применять одноволновый фотоплетизмограф, использующие свет одной длины волны зеленого диапазона спектра электромагнитных излучений (между 500 и 550 нм), так как свет данных длин волн одинаково чувствителен для разных форм гемоглобина.

Собранный экспериментальный прототип может осуществлять сбор данных, хранение и обработку в режиме реального времени. В качестве платы сбора данных был выбран программатор Arduino, построен на микроконтроллере ATmega328, проект Верба с внешним входом USB/UART CP2102, также был использован датчик пульса Pulse Sensor SEN-11574.

Для разработки алгоритмов обработки собранных фотоплетизмографических кривых главной задачей является обнаружение полезного сигнала, извлечение и расчет его характеристик. Алгоритм должен находить контрольные точки – экстремумы – и возвращать их значения. Обработанный и/или оригинальный сигнал детектируется по следующему алгоритму:

1. Выбор интервала;
2. Обнаружение систолического пика (возражение максимального значения функции в интервале и времени появления этого значения);
3. Обнаружение диастолического пика (максимальное значение функции от систолического пика до начала выбранного интервала и время появления этого значения);
4. Обнаружение дикротической впадины (локальное минимальное значение и время появления этого значения между систолическим и диастолическим пиками);
5. Определение времени начала пульсовой волны (возражение времени локального минимума между началом интервала и временем появлением диастолического пика);
6. Расчет времени систолического сокращения (систолическое пиковое время минус время окончания пульсовой волны);
7. Определение времени окончания сердечного цикла (минимальное из значений локальных минимумов после систолического пика и время его прихода);
8. Расчет систолической амплитуды (значение функции систолического пика минус значение функции в начале пульсовой волны);
9. Расчет амплитуды диастолического пика (значение функции дикротического пика минус значения функции импульса в начале сигнала);
10. Расчет амплитуды дикротической впадины (значение функции в дикротической впадине минус значение функции в начале импульса);
11. Расчет общей длительности сердечного цикла (окончание импульса минус начало импульса).

Разработанная программа должна успешно реализовать свой собственный алгоритм чтения данных, который позволяет загружать и использовать файлы записей фотоплетизмограмм. Данные, которые использовались в этом проекте, представляют собой сигналы формы волны фотоплетизмограммы (ФПГ) в формате .mat и/или .txt.

Весь комплексный графический интерфейс был выполнен с использованием меню guide, встроенного меню MATLAB.

Выводы. Был разработан комплекс для сбора и обработки данных, полученных с помощью фотоплетизмографии. Для обработки были выбраны фильтрация и вейвлет-обработка. В ходе исследований были созданы и реализованы алгоритмы обработки сигналов PPG для программного комплекса, который состоит из двух модулей. Основная часть комплекса позволяет загружать, просматривать, фильтровать и проводить вейвлет-обработку сигналов. PPG analyzer позволяет обнаруживать и извлекать данные сигналов для визуализации и дальнейшей обработки. Дополнительным инструментом в комплексе является инструмент статистики: он позволяет выполнять статистический анализ и просмотр извлеченных данных. Программный пакет создавался в среде MATLAB и с помощью приложения GUIDE.