

УДК 615.47

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

© Вершинин Д.А., Серко П.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: demid.vershinin2018@yandex.ru

*Научный руководитель: Акулов С.А., канд. техн. наук, доцент
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Ключевые слова: электрокардиография, фотоплетизмограмма, пульсовая волна, Python, обработка сигналов.

В статье приводится описание разработанного программного кода для обработки ЭКГ-сигнала и фотоплетизмограммы, написанного на языке программирования Python. Приведен основной алгоритм обнаружения R-зубцов электрокардиограммы (ЭКГ), максимумов фотоплетизмограммы (ФПГ) и расчета временной задержки между ними.

Исследование распространения пульсовой волны (ПВ) играет важную роль в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы. Скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) связана с жёсткостью артерий и может служить индикатором риска развития гипертонии, атеросклероза и других нарушений [1].

Разработано устройство для синхронной регистрации электрокардиографии и фотоплетизмограммы, включающее в себя следующие компоненты:

Структурная схема разработанного устройства приведена на рисунке 1.

1. Модуль AD8232 – предназначен для регистрации ЭКГ.
2. Модуль XD-58C – предназначен для регистрации ФПГ.
3. Микроконтроллер Arduino Nano – предназначен для аналого-цифрового преобразования и передачи данных на ПК.

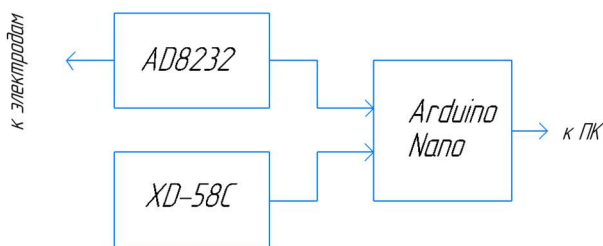


Рисунок 1 – Структурная схема регистратора ЭКГ-сигнала и ФПГ-сигнала

В настоящее время для обнаружения R-зубцов существует ряд алгоритмов:

1. Алгоритм Пана-Томпкинса – этот алгоритм основан на анализе наклона, амплитуды и ширины QRS комплексов и состоит из последовательности фильтров и методов [2].

2. Алгоритмы, основанные на производной – используют первую и вторую производные сигнала ЭКГ для усиления крутых участков, соответствующих R-зубцам [3].

3. Метод, основанный на подсчете числа пересечений нуля – основан на функции, полученной при подсчете числа пересечений нуля на ЭКГ-сегмент [3].

4. Корреляционный алгоритм – использует функцию взаимной корреляции между эталонным QRS-комплексом и сигналом ЭКГ [4].

Разработанная авторами программа включает в себя следующие этапы:

1. Прием данных – чтение сигналов ЭКГ и ФПГ через последовательный порт ПК.

2. Обнаружение пиковых значений – использование функции `find_peaks`, из библиотеки `SciPy`, которая в качестве основных аргументов принимает пороговое значение, массив данных, и минимальную дистанцию между пиками. Алгоритм анализирует сигнал и сопоставляет значения соседних точек. Если значение точки превышает значения соседних точек, то она считается пиком.

3. Расчет задержки – определение временной разницы между соседними пиками, вывод на экран и запись в txt-файл значений временной задержки с дальнейшим расчетом скорости распространения пульсовой волны.

4. Отображение сигналов в реальном времени при помощи библиотеки `Matplotlib`.

Разработанный алгоритм приведен на рисунке 2.

```
if len(ecg_data) > MIN_DISTANCE:
    ecg_peaks_indices, _ = find_peaks(ecg_data,
                                     height=ECG_PEAK_THRESHOLD,
                                     distance=MIN_DISTANCE)
    ecg_peaks = [(time_data[i], ecg_data[i]) for i in ecg_peaks_indices]

    pulse_peaks_indices, _ = find_peaks(pulse_data,
                                       height=PULSE_PEAK_THRESHOLD,
                                       distance=MIN_DISTANCE)
    pulse_peaks = [(time_data[i], pulse_data[i]) for i in pulse_peaks_indices]

if ecg_peaks and pulse_peaks:
    last_ecg_time = ecg_peaks[-1][0]
    last_pulse_time = pulse_peaks[-1][0]
    last_delay = last_pulse_time - last_ecg_time
    delay_text.set_text(f'Задержка: {last_delay:.1f} мс')
```

Рисунок 2 – Листинг программного кода

Разработанное программное обеспечение было протестировано на сигналах из базы данных `Physionet`, погрешность измерения скорости распространения пульсовой волны составила менее 5 %.

Библиографический список

1. Laurent, S. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications / S. Laurent, J. Cockcroft, L. Van Bortel, P. Boutouyrie, C. Giannattasio, D. Hayoz, B. Pannier, C. Vlachopoulos, I. Wilkinson, H. Struijker-Boudier // *European Heart Journal*. – 2006. – Vol. 27, № 21. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehl254.

2. Ziti, F. Analysis of Pan-Tompkins Algorithm Performance with Noisy ECG Signals // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1532. – Art. № 012022. – DOI: 10.1088/1742-6596/1532/1/012022.

3. Рослякова, А.В. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения R-зубца электрокардиосигнала / А.В. Рослякова, П.Г. Чупраков // Вятский медицинский вестник. – 2012. – № 2.

4. Жаринов, О.О. Применение корреляционно-экстремального метода для решения задач обнаружения и оценивания положений опорных точек QRS-комплексов в электрокардиограмме / О.О. Жаринов, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 5 (75).