СЕКЦИЯ VII
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СИНУСОВОЙ АРИТМИИ МЕТОДОМ СФИГМОРИТМОГРАФИИ

А. В. Кузнецова, А. Д. Филиппов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Российская Федерация

Научный руководитель С. Г. Проскурин

Рассмотрены особенности разработки программного обеспечения для автоматизированной количественной оценки синусовой аритмии. Программа реализует метод сфигморитмографии, основанный на анализе пульсовых волн, получаемых с оптического датчика. Описана архитектура программы, алгоритм выделения кардиоинтервалов и расчет ключевых статистических характеристик вариабельности сердечного ритма (ВСР), включая ЧСС, SDNN, RMSSD, pNN50 и pNN40.

Ключевые слова: синусовая аритмия, сфигморитмография, SDNN, RMSSD, pNN50, микроконтроллер, цифровая обработка сигналов.

Количественная оценка аритмии имеет ключевое значение для диагностики различных дисфункций, мониторинга терапевтической динамики и оценки уровня стресса. Однако стандартное электрокардиографическое оборудование и тонометры оснащены лишь индикатором появления/отсутствия нарушений синусового ритма. Сфигморитмография в свою очередь использует данные, полученные методом сфигмографии (сигнал с датчика пульса), но для последующего анализа не формы волны, а временных интервалов между пульсовыми ударами, что аналогично записи R-R интервалов с ЭКГ [1].

Разработанное программное обеспечение предназначено для работы на микропроцессорной платформе, что обеспечивает его компактность и автономность. Язык разработки – C++. Программа получает данные с оптического датчика пульса, подключенного к аналоговому входу [2].

Алгоритм работы программы состоит из нескольких последовательных этапов:

1. *Калибровка*. В течение первых 5 секунд программа определяет максимальную амплитуду сигнала оптического датчика для автоматической установки порога детектирования пульсовой волны. Это позволяет адаптироваться к индивидуальным особенностям кровотока пользователя.

2. *Регистрация.* Основной этап измерения длится 15–60 секунд. Программа непрерывно считывает значение с датчика. Превышение установленного порога при условии соблюдения временного «холодного» периода (pulseCooldown = 250 мс) регистрируется как сердечное сокращение. Время наступления каждого удара фиксируется в массиве данных.

3. *Расчет показателей*. По окончании регистрации программа производит вычисление следующих параметров:

– ЧСС рассчитывается путем умножения количества зарегистрированных ударов на 4 (для перехода от 15 секунд к минуте);

– на основе записи массива временных данных вычисляются кардиоинтервалы. Производится их фильтрация для исключения артефактов (интервалы вне физиологического диапазона 200–1500 мс). Процент аритмии определяется как доля интервалов, отклоняющихся от среднего более чем на 15 %;

– pNN50 и pNN40 рассчитывается как процент последовательных нормальных интервалов (R–R), разность между которыми превышает 40–50 мс, соответственно. Он является важным маркером высокой частоты вариабельности сердечного ритма (ВСР). Программа также может задавать и другие pNN параметры.

4. *Визуализация*. Результаты отображаются на OLED-дисплее. Интерфейс циклически (с заданным периодом) показывает ЧСС, процент аритмии и значение pNN.

Для реализации вычислений в программе реализованы специализированные функции calculate % Arrhythmia и calculate % pNN, что обеспечивает модульность и простоту модификации кода.

Разработанная программа реализует полный цикл от сбора первичных данных до выдачи пользователю диагностической информации. В результате работы программы пользователь получает комплекс статистических характеристик сердечного ритма:

– средняя частота сердечных сокращений (ЧСС);

– процент аритмии, SDNN, отражающий общую нестабильность ритма;

– показатели pNN50 и pNN40, характеризующие высокочастотные колебания ритма, связанные с дыхательными циклами и парасимпатической активностью.

Программа использует 3540 байт памяти, что оптимизировано для микроконтроллерных систем. Интерфейс вывода данных представлен на рис. 1. Описательно: на дисплей выводятся режимы измерения, значения ЧСС, % аритмии и pNN с указателем текущей страницы.

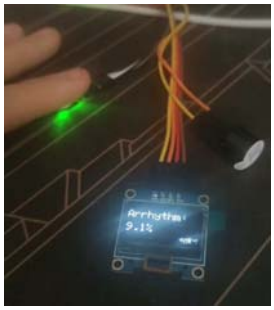


Рис. 1. Экспериментальный прототип прибора

Разработанное ПО позволяет автоматизировать процесс количественной оценки синусовой аритмии, исключая субъективный фактор при визуальном анализе пульсограммы. Использование адаптивной калибровки порога срабатывания повышает помехоустойчивость измерений при различных физиологических состояниях. Выбор временного интервала регистрации является компромиссом между оперативностью измерения и достаточной статистической достоверностью для расчета кратковременных показателей ВСР таких, как pNN50, pNN40, ЧСС, SDNN, RMSSD.

В отличие от стандартных пульсоксиметров, отображающих только ЧСС, данная программа предоставляет расширенную информацию о вариабельности ритма, что значительно повышает ее диагностическую ценность. Возможность расчета как

pNN50, так и pNN40 позволяет более точно оценивать вклад парасимпатической нервной системы в регуляцию работы сердца. Программа может быть использована не только в клинической практике, но и в спортивной медицине для оценки восстановления спортсмена, а также в физиологических экспериментах [3–6].

В результате работы создано функциональное программное обеспечение для микроконтроллерной платформы, позволяющее в автоматическом режиме проводить количественную оценку синусовой аритмии методом сфигморитмографии. Программа обеспечивает расчет ключевых показателей вариабельности сердечного ритма, включая ЧСС, процент аритмии, pNN, и отображает их на дисплее. Разработка ориентирована на применение в научных исследованиях, клинической диагностике и системах персонального мониторинга здоровья.

Литература

1. Аветисян, А. Р. Количественное определение характеристик вариабельности сердечного ритма человека : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025687482 / А. Р. Аветисян, А. В. Кузнецова, С. Г. Проскурин ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Заявка № 2025686555 ; заявл. 03.10.2025 ; опубл. 10.10.2025. – 1 с.
2. Количественное определение синусовой аритмии человека методом сфигморитмографии : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2026614209 / Филиппов А. Д., Кузнецова А. В., Проскурин С. Г. ; правообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Заявка № 2026612170 ; заявл. 02.02.2026 ; опубл. 13.02.2026. – 1 с.
3. Шевалдова, О. В. Механизмы нарушений вариабельности сердечного ритма у пациентов с врожденными пороками сердца / О. В. Шевалдова, А. В. Ковалева // Трансляционная медицина. – 2025. – Т. 12, № 4. – С. 310–329.
4. Использование функции распределения для анализа вариабельности сердечного ритма / О. В. Попова, В. Б. Русанов, А. М. Носовский, О. И. Орлов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2025. – Т. 59, № 3. – С. 31–36.
5. Судаков, Д. Е. Определение критического состояния сердечно-сосудистой системы с врожденным пороком сердца на основании отношения кровотоков / Д. Е. Судаков // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. «Дню радио и связи» и 80-летию победы в Великой Отечественной войне, Тамбов (7 мая 2025 г.). – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2025. – С. 275–276.
6. Фролов, С. В. Система поддержки принятия врачебных решений в кардиологии на основе цифрового двойника сердечно-сосудистой системы / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Н. Ветров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 1 (40). – С. 3–4.

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ, АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ И АНТРОПОМЕТРИИ ДЛЯ МЛАДЕНЦЕВ

М. А. Любавина, А. Д. Филиппов, Е. П. Евстигнеева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Российская Федерация

Научный руководитель С. В. Фролов

Разработан комплекс, включающий систему мониторинга и анализа сна младенца, в целях оптимизации режима сна, а также автоматизацию процесса измерения, регистрации и анализа веса и роста детей. В основе приложения лежит комплексный подход, объединяющий ручной ввод данных о дневном сне с автоматизированным ночным