

т”, 2019, №3 (91). – С. 30 – 39. Doi: 10.32620/teks.2019.3.03.

5. ДСТУ 2634-94. Вироби електронної техніки. Методи оцінювання відповідності вимогам до надійності. – Чинний з 1995-07-01. – К.: Держстандарт України, 2005. – 7 с.

УДК 681.32

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА С ПОМОЩЬЮ
ВСТРОЕННОЙ КАМЕРЫ СМАРТФОНА (AI-РИТМОГРАФ)**

Л. С. Файнзилберг, А. Н. Макеенок

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины
(МНУЦ ИТИС)

E-mail: fainzilberg@gmail.com, тел. (+38044) 5264119

An innovative approach for processing a finger photoplethysmogram recorded using the built-in smartphone camera without additional external signal sources has been developed. It is shown that the use of intelligent processing algorithms makes it possible to reduce the probability of target miss errors and false alarms and thereby ensure a reliable analysis of HRV parameters.

Введение. Один из известных способов измерения показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР) основан на пальцевой фотоплетизмографии, которая оценивает кровоток в фаланге пальца обследуемого. По мнению специалистов, перспективное развитие этого способа – регистрация пульсовой волны с помощью встроенной камеры смартфона.

Однако на пути реализации такого заманчивого подхода встречается целый ряд трудностей [1-3], ограничивающих область его практического применения. Одна из главных проблем обусловлена «маскированием» истинных всплесков, порожденных ударами сердца, и появлением ложных всплесков, вызванных случайными искажениями и артефактами.

Основная часть. В МНУЦ ИТИС разработаны интеллектуальные алгоритмы, которые обеспечивают восстановление полезного сигнала сложной формы, наблюдаемого в условиях различного рода внутренних и внешних возмущений [4]. Применение этих алгоритмов к обработке фотоплетизмограммы, регистрируемой с помощью камеры смартфона, позволило существенно снизить вероятность ошибок пропуска цели и ложной тревоги.

Первый этап обработки (*online procedure*) позволяет непосредственно в процессе регистрации пульсовой волны автоматически корректировать динамический ряд кардиоинтервалов Δ_i , $i = 1, \dots, N$, вычисленный по изображениям фаланги пальца. Для этого каждая последовательная пятерка вычисленных значений интервалов $\Delta_{j-2}, \Delta_{j-1}, \Delta_j, \Delta_{j+1}, \Delta_{j+2}$, $j = 3, \dots, N - 2$ ранжируются по возрастанию (убыванию) в скользящем окне

$$\Delta_{j-2}, \Delta_{j-1}, \Delta_j, \Delta_{j+1}, \Delta_{j+2} \rightarrow d_{j-2}, d_{j-1}, d_j, d_{j+1}, d_{j+2}, \quad (1)$$

а далее по ранжированным значениям $d_{j-2}, d_{j-1}, d_j, d_{j+1}, d_{j+2}$ вычисляют модифицированный ряд кардиоинтервалов по формуле

$$\delta_j = \frac{d_{j-1} + d_j + d_{j+1}}{3}, \quad j = 3, \dots, N - 2, \quad (2)$$

объединяющей достоинства медианной фильтрации и скользящего среднего.

Второй этап обработки (*offline procedure*) обеспечивает распознавания типичных и атипичных циклов зарегистрированной пульсовой волны, что позволило еще больше повысить точность и надежность вычисления статистических и спектральных показателей ВСР.

Особенность решения этой задачи обусловлена тем, что форма атипичного цикла пульсовой волны одного пациента может совпадать с формой типичных циклов другого и наоборот. Поэтому невозможно построить процедуру классификации циклов, основанную на *аналитическом* описании их формы, а значит бесполезно искать обобщающие признаки распознаваемых классов методами машинного обучения.

В AI-РИТМОГРАФ реализована модифицированная процедура классификации циклов, которая ранее успешно использована в программно-техническом комплексе ФАЗАГРАФ® при обработке электрокардиограмм [4]. Процедура основана на единственном предположении: число N_B атипичных циклов значительно меньше общего числа N циклов пульсовой волны (в противном случае определение «атипичный» цикл теряет смысл).

Такое предположение позволило построить процедуру выделения наиболее характерного (доминантного) цикла S_0 зарегистрированной фотоплетизмограммы, используя соотношение

$$S_0 = \arg \min_{1 \leq \nu \leq N} \sum_{\mu=1}^N L_{\mu\nu}, \quad (3)$$

в котром $L_{\mu\nu}$ – расстояние между μ -м ($\mu = 1, \dots, N$) и ν -м ($\nu = 1, \dots, N$) циклами.

Для упрощения процедуры вычисления расстояний $L_{\mu\nu}$ реализована процедура модификации фрагментов $z_n^{(i)}$ анакротической ($i = I_1$) и дикротической ($i = I_2$) фаз каждого n -го цикла обрабатываемой фотоплетизмограммы с помощью операторного преобразования

$$z_0^{(i)}(t) = a_n^{(i)} z_n^{(i)} \left(\frac{t}{b_n^{(i)}} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \quad i \in \{I_1, I_2\}, \quad (4)$$

где $a_n^{(i)}$, $b_n^{(i)}$ – параметры линейного растяжения (сжатия) по амплитуде и времени.

Поскольку при выполнении условия $N_B \ll N$ доминантный цикл S_0 , найденный согласно (3), правомерно считать типичным, то автоматическую классификацию типичных и атипичных циклов удастся проводить по упорядоченным расстояниям

$$\mathfrak{R} = L(S_0, S_\lambda), \quad \lambda = 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

между S_0 и остальными $N-1$ циклами обрабатываемой фотоплетизмограммы. Эксперименты подтвердили эффективность предложенного подхода (рис. 1).

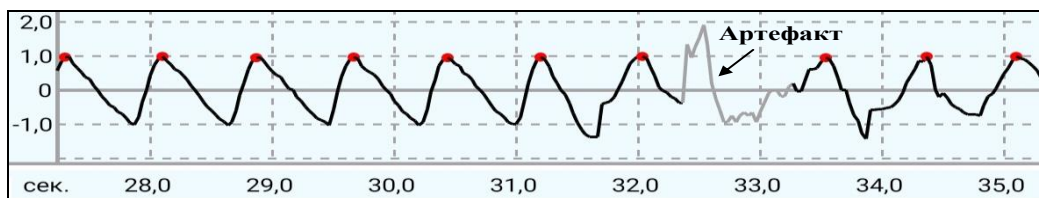


Рис. 1. Результат обработки реальной фотоплетизмограммы

Выводы. Применение интеллектуальных алгоритмов обработки сигналов сложной формы позволяет уменьшить вероятность ошибок пропуска цели и ложной тревоги, что обеспечивает надежный анализ параметров ВСР по фотоплетизмограмме, регистрируемой с помощью камеры смартфона без дополнительных внешних технических источников сигнала.

Перечень ссылок:

1. Matsumura K., Yamakoshi T. iPhysioMeter: A new Approach for Measuring Heart Rate and Normalized Pulse Volume using only a Smartphone // Behavior Research Methods. 2013. Vol. 45. No. 4. P. 1272–1278.
2. Rong-Chao Peng et al. Investigation of Five Algorithms for Selection of the Optimal Region of Interest in Smartphone Photoplethysmography // Journal of Sensors Volume 2016. Article ID 6830152.
3. Jonathan E., Leahy M. Investigating a smartphone imaging unit for photoplethysmography // Physiol Measurements. 2010. Vol. 31. No. 11. P. 79-83.
4. Гриценко В.И., Файнзильберг Л.С. Интеллектуальные информационные технологии в цифровой медицине на примере фазографии. Киев: Наукова Думка, 2019. 423 с.

УДК 612.15

СИСТЕМА ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКУ НА ОСНОВІ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ВІМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ КРОВІ

О. О. Феч, В. В. Козяр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: kozyarvasilij@gmail.com, тел.: (096) 350-72-15

E-mail: ardn@meta.ua, тел.: (067) 368-88-30

The given work is devoted to the development and optimization of diagnostic equipment, namely Doppler blood flow meter, based on obsolete analog devices and personal computers using NI LabVIEW software. The practical significance