

СИНХРОНІЗАЦІЯ ВІДБОРУ ПУЛЬСОВОЇ ХВИЛІ ПІД ЧАС АНАЛІЗУ ЇЇ МОРФОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Досліджено два принципи синхронізації пульсових хвиль для аналізу варіабельності: амплітуди, тиску. Синхронізація реалізована двома алгоритмами: за мінімальним значенням, за мінімальним значенням середньоквадратичного відхилення. Результати дослідження вказують, що під час аналізу морфологічних параметрів фотоплетизмограми краще використовувати алгоритм синхронізації за мінімальним середньоквадратичним відхиленням, при цьому забезпечується когерентність у формуванні ансамблю пульсових хвиль.

Ключові слова: виявлення піків, ансамбль пульсових хвиль, синхронізація.

Вступ

У клінічній практиці використовуються морфологічні параметри пульсової хвилі (ПХ) [1]. Типовий метод оцінювання морфологічних параметрів ПХ полягає в усередненні її реалізацій [1]. Проте, природна нестационарність послідовності ПХ вимагає спеціальних заходів (синхронізації) щодо забезпечення їх когерентності у вибірці (ансамблі) [2]. На практиці процедура синхронізації моменту відбору інтерактивна або автоматизована (за фазами судинної перфузії, серцевого ритму [3] і т. д.). Це в значній мірі ускладнює як апаратне, так і програмне забезпечення реалізацій діагностичних систем [4]. Тому синхронізація для забезпечення узгодження реалізацій із ансамблю є актуальним науковим завданням.

Метою роботи є розроблення алгоритму автоматизованої синхронізації відбору ПХ під час аналізу її морфологічних параметрів.

Результати дослідження

Реєстрація фотоплетизмограми (послідовність ПХ) проводилася за допомогою Finger pulse oximeter CMS-50D протягом п'яти хвилин, з використанням програмного забезпечення SpO2, згідно із загальними вимогами до використання фотоплетизмографії [5]. Аналіз здійснювався за допомогою пакету прикладних програм Matlab 8.0.

В роботі досліджено два принципи синхронізації ПХ для аналізу варіабельності: А — амплітуди, рис. 1; Б — тиску, рис. 3. Синхронізація реалізована двома алгоритмами: 1 — за мінімальним значенням (систола передсердь); 2 — за мінімальним значенням середньоквадратичного відхилення.

Мінімальні значення ПХ виділено за допомогою алгоритму [6] (використовується для виявлення R-піків в електрокардіограмі)

$$y(n) = 1,3 \cdot |x(n) - x(n-2)| + 1,1 \cdot |x(n) - 2 \cdot x(n-2) + x(n-4)|, \quad (1)$$

де $x(n)$ — послідовність відліків ПХ (вимірюється в умовних одиницях); $y(n)$ — результуюча послідовність.

Експериментальним шляхом знайдено поріг k , який забезпечує автоматизоване виділення мінімального значення

$$k = 3 \cdot \text{mean}(y(n)^2), \quad (2)$$

де mean — математичне очікування.

Синхронізація А.

Ансамбль ПХ зображений на рис. 1, математичне очікування — рис. 2а. Амплітуда ПХ (амплітуда анакротичного періоду, що утворюється в період систоли) відображає величину ударного об'єму крові, який виштовхується з серця, характеризує ступінь тонуусу стінок артерій [5].

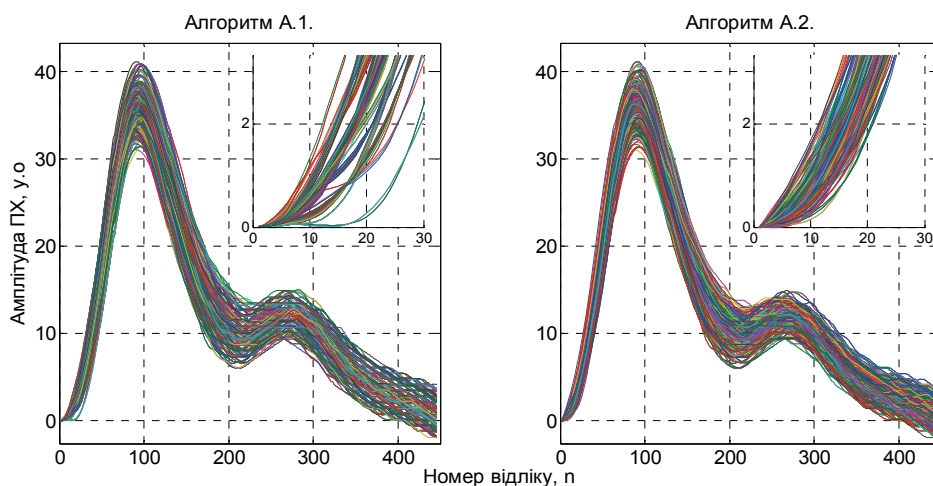


Рис. 1. Ансамбль пульсових хвиль

Результати синхронізації оцінено за статистичними показниками: середньоквадратичним відхиленням, коефіцієнтом асиметрії, коефіцієнтом ексцесу, показаними на рис. 2б—г, відповідно до алгоритмів А1—А2.

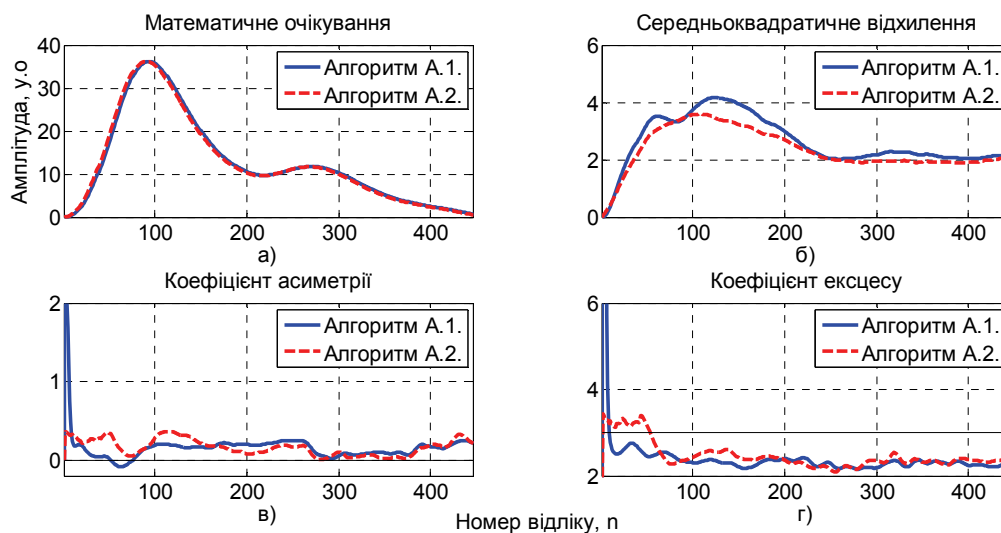


Рис. 2. Статистичні показники ансамблю пульсових хвиль

Синхронізація Б.

Ансамбль ПХ показаний на рис. 3, математичне очікування, рис. 4а. Результати синхронізації оцінено за середньоквадратичним відхиленням та коефіцієнтом асиметрії, коефіцієнтом ексцесу, показаними на рис. 4 б—г, відповідно до алгоритмів Б1—Б2.

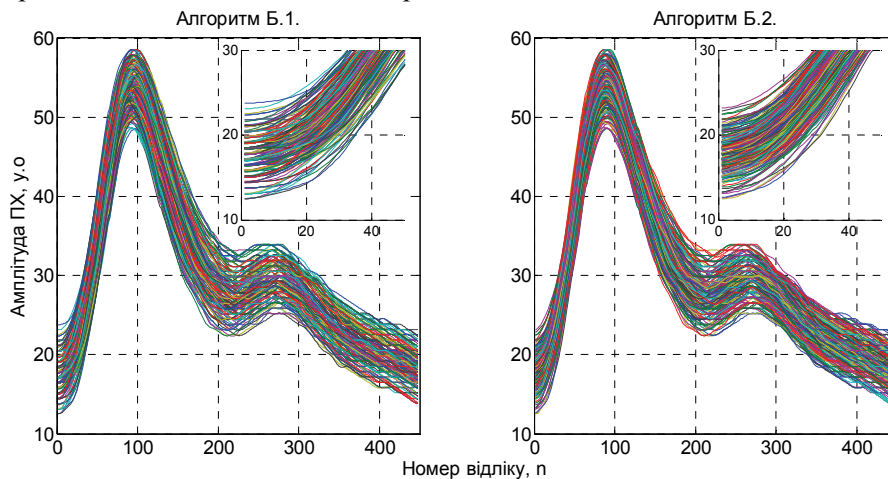


Рис. 3. Ансамбль пульсових хвиль

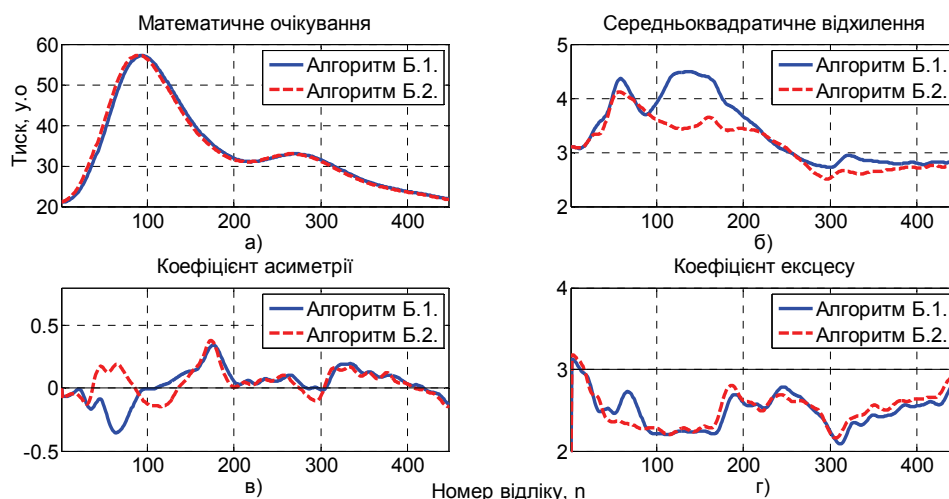


Рис. 4. Статистичні показники ансамблю пульсових хвиль

В таблиці подано математичне очікування та дисперсія статистичних показників.

Результати синхронізації

	mean (std)	mean (skewness)	mean (kurtosis)	var (std)	var (skewness)	var (kurtosis)
A.1	2,62	0,17	2,43	0,76	0,07	0,86
A.2	2,35	0,16	2,49	0,54	0,01	0,11
dr, %	10,31+	5,88±	2,88±	28,64+	85,22+	87,49+
Б.1	3,39	0,03	2,49	0,37	0,02	0,06
Б.2	3,15	0,04	2,51	0,20	0,01	0,06
dr, %	7,05+	37,98±	0,89±	44,90+	27,67+	1,54±

Примітки: mean — математичне очікування; std — середньоквадратичне відхилення; skewness — коефіцієнт асиметрії; kurtosis — коефіцієнт ексцесу; var — дисперсія; + — позитивний результат; ± — нейтральний результат; А — синхронізація за амплітудою ПХ; 1 — алгоритм синхронізації за мінімальним значенням; 2 — алгоритм синхронізації за мінімальним значенням середньоквадратичного відхилення; dr — відносна різниця.

Висновки

Результати дослідження показують, що під час аналізу морфологічних параметрів фотоплетизмограми краще використовувати алгоритм синхронізації за мінімальним середньоквадратичним відхиленням (забезпечується когерентність у формуванні ансамблю пульсових хвиль). При цьому (в порівнянні з алгоритмом за мінімальним значенням) знижуються значення середньоквадратичного відхилення на 10,31 % (А), 7,05 % (Б); дисперсія середньоквадратичного відхилення — на 28,64 % (А), 44,90 % (Б); дисперсія коефіцієнта асиметрії — на 85,22 % (А), 27,67 % (Б); дисперсія коефіцієнта ексцесу — на 87,49 % (А), 1,54 % (Б); значення асиметрії наближається до 0, ексцесу до 3. Результати роботи, після дослідження методу на достовірність, можна використати під час аналізу морфологічних параметрів пульсової хвилі (наприклад, амплітуди та її варіабельності).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement / J. Allen // *Physiological measurement*. — 2007. — R1–R39.
2. Yavorsky B. A new approach to preliminary processing of random signals, analysis of biomedical signals and images / B. Yavorsky // Brno Press. Technical University, Prague. — 1996. — Pp. 134–136.
3. Allen J. Age-related changes in peripheral pulse timing characteristics at the ears, fingers and toes / J. Allen, A. Murray // *Journal of Human Hypertension* — 2002. — № 16. — Pp. 711–717.
4. Yavorsky B. Application of the principle of symmetry for synchronization of biosignals in their sample / B. Yavorsky // TCSET'2014, February 25–March 1, 2014, Lviv–Slavske, Ukraine. — P. 714.
5. Малиновский Е. Л. Учебно-методическое пособие по использованию пальцевой фотоплетизмографии [Електронний ресурс] : Научная библиотека диссертаций и авторефератов — Режим доступа : <http://www.tokranmed.ru/metod/fpg.htm>.

6. Balda R. A. The HP ECG analysis program. In: van Bemmel JH, Willems JL, editors. Trends in Computer processed EECG-trocardiograms / R. A. Balda, G. Diller, E. Deardorff, J. Doue, P. Hsieh // North Holland, Amsterdam, The Netherlands. — 1977. — Pp. 197—205.

Рекомендована кафедрою проектування медико-біологічної апаратури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 27.11.2014

Свередюк Максим Анатолійович — аспірант кафедри біотехнічних систем, e-mail: optimus.sma@gmail.com.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль

M. A. Sveredyuk¹

Synchronization of pulse wave selection during the analysis of its morphological parameters

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Two principles of synchronization of pulse waves for the analysis of variability, amplitudes, pressure are investigated in the paper. Synchronization is realized by two algorithms by minimum value of standard deviation. Research results specify that at the analysis of morphological parameters of photoplethysmogram it is better to use the algorithm of synchronization minimum standard deviation, which provides the coherence in forming of ensemble of pulse waves.

Keywords: peak detection, pulse waves ensemble, synchronization.

Sveredyuk Maxim A. — Post-Graduate Student of the Chair of Biotechnical Systems, e-mail: optimus.sma@gmail.com

M. A. Свередюк¹

Синхронизация отбора пульсовой волны при анализе ее морфологических параметров

¹Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

Исследованы два принципа синхронизации пульсовых волн для анализа вариабельности: амплитуды и давления. Синхронизация реализована двумя алгоритмами: по минимальному значению, по минимальному значению среднеквадратичного отклонения. Результаты исследования указывают, что при анализе морфологических параметров фотоплетизмограммы лучше использовать алгоритм синхронизации минимальным среднеквадратичным отклонением, при этом обеспечивается когерентность в формировании ансамбля пульсовых волн.

Ключевые слова: обнаружение пиков, ансамбль пульсовых волн, синхронизация.

Свередюк Максим Анатольевич — аспирант кафедры биотехнических систем, e-mail: optimus.sma@gmail.com