

УДК 612.14:57.087:519.237.8

**АЛГОРИТМ ВИДАЛЕННЯ АРТЕФАКТІВ ВІД РУХУ ІЗ
АНСАМБЛЮ ПУЛЬСОВИХ ХВИЛЬ¹**

Свередюк М. А.

¹*Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна. optimus.sma@gmail.com*

**ALGORITHM FOR MOTION ARTIFACTS REMOVAL FROM THE ENSEMBLE
OF PULSE WAVES**

Sveredyuk M. A.

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Вступ

Фотоплетизмографія – діагностичний метод, що дозволяє вимірювати кровонаповнення та кровотік досліджуваних органів, частини тіла [1]. При реєстрації фотоплетизмографічного сигналу (ФПС – послідовності пульсових хвиль) виникають артефакти, пов'язані з рухом і диханням біооб'єкту, зовнішніми електромагнітними полями, завади сторонніх джерел світла, станом шкірних покривів та ін. [2]. Серед них артефакти від руху є основною причиною зменшення точності отриманих результатів [2]. Смуга частот артефактів від руху в діапазоні 0.1-10Гц, смуга частот ФПС – 0.5-4.0 Гц [3]. Частоти артефактів від руху і ФПС перекриваються, що робить недоцільним їх відокремлення, використовуючи класичні методи фільтрації [3]. Якісні результати дослідження, що необхідні для діагностичних цілей, можуть бути отримані при використанні когерентного усереднення (узгодження реалізацій в ансамблі [4]) [5]. Перевагою когерентного усереднення, як методу обробки сигналу, є, в тому числі, зменшення неперіодичного впливу (наприклад, артефакти від руху) [5], покращення відношення сигнал-шум [6].

Метою роботи є дослідження на точність отриманих амплітудних результатів аналізу ФПС із артефактами (механічного походження – рухи пацієнта) при когерентному усередненні та розроблення алгоритму видалення цих артефактів із ансамблю пульсових хвиль.

Виклад основного матеріалу

Для покращення відношення сигнал-шум [6], при порушенні серцевого ритму [7], медикаментозних пробах [8] та ін. обробка ФПС полягає в усередненні пульсових хвиль (ПХ) у ансамблі. На практиці процедура вибору моменту відбору інтерактивна (відносно початку систоли [9]) або автоматична (за фазами судинної перфузії, серцевого ритму [10] і т.д.). Це в значній мірі ускладнює як апаратне так і програмне забезпечення реалізацій

¹ Електронний варіант статті: <http://radar.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1081>

діагностичних систем. Тому для забезпечення когерентності ПХ у ансамблі використано момент відбору ПХ за мінімальним значенням амплітуди (автоматичний алгоритм) з наступним уточненням моменту за мінімальним середньоквадратичним відхиленням амплітуди (алгоритм [11]).

На рис.1 представлений 5-ти хвилинний досліджуваний ФПС.

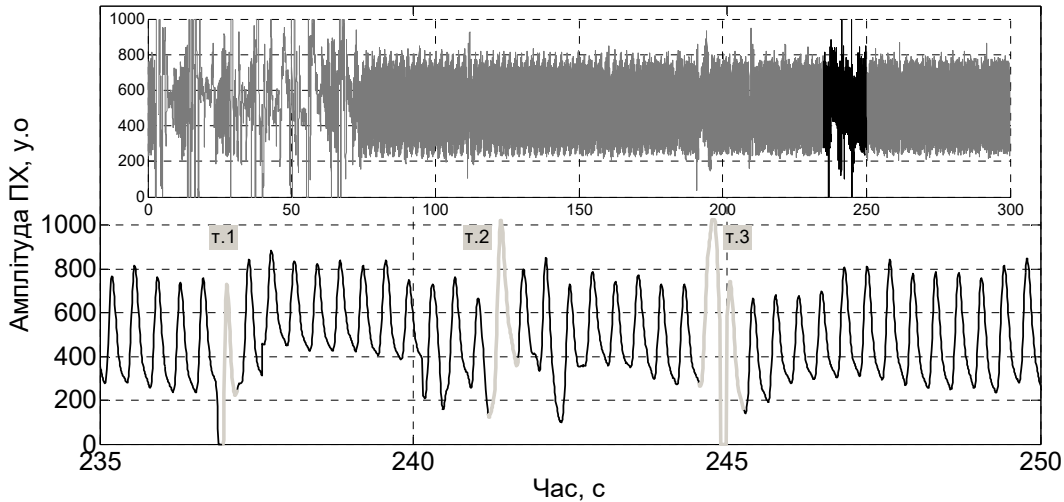


Рис. 1. Фотоплетизмографічний сигнал із артефактами від руху

Запропонований алгоритм оцінювання морфологічних параметрів ФПС:

1. Пошук екстремумів ФПС (мінімального та максимального значення амплітуди ПХ).
2. Момент відбору ПХ за мінімальним значенням амплітуди.
3. Видалення артефактів.

Видалення артефактів проведено за допомогою представлення екстремумів ФПС у просторі змінних стану (фазовому), рис. 2.

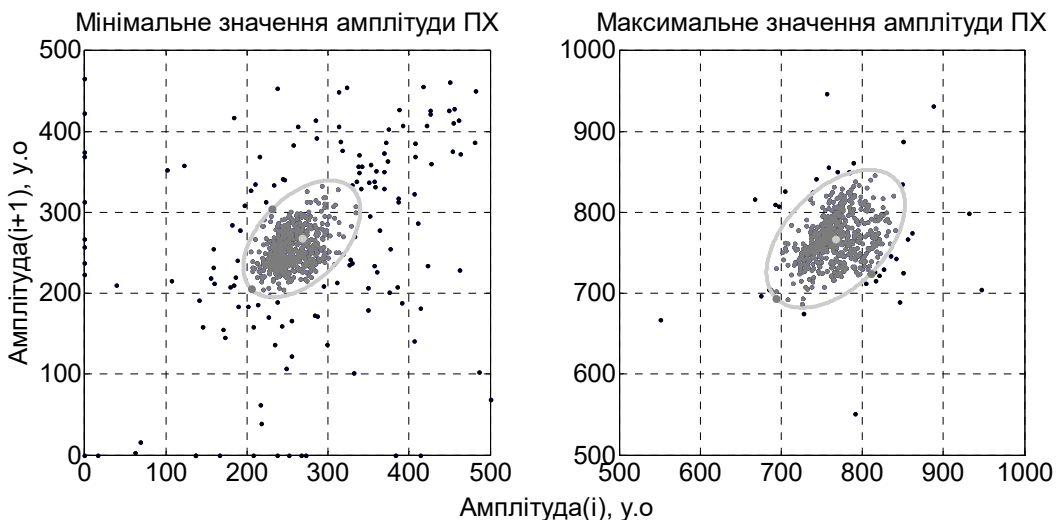


Рис. 2. Скатерограми екстремумів ПХ (де i – номер ПХ) – два етапи видалення артефактів (точки поза межами еліпсів відповідають артефактам)

Точки поза межами еліпса (*ellipse*) відповідають артефактам (запропо-

новане припущення). Величина більшої півосі еліпса рівна $r_a = x_2 - x_1$; меншої – $r_b = r_a / 1.7$. На рис.3 представлений приклад кумулятивної функції розподілу мінімальних значень амплітуди ПХ (x) – cdf , її похідна – $diff$ та згладжена функція похідної – $smooth$.

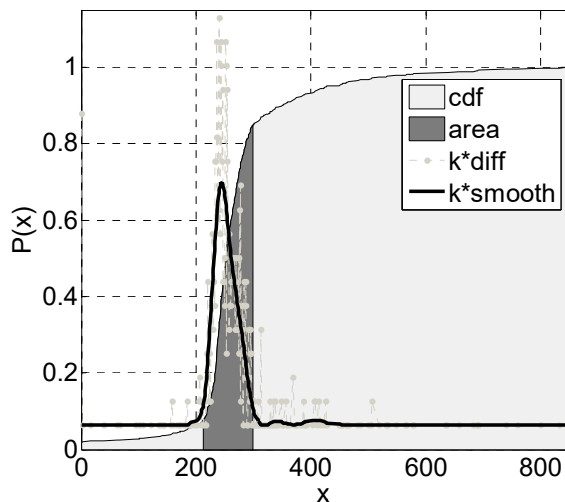


Рис. 3. Кумулятивна функція розподілу

значеннями екстремумів поза межами еліпсів видалено із ансамблю для подальшого оцінювання морфологічних параметрів, рис. 4. б-в.

4. Уточнення моменту відбору ПХ за мінімальним середньоквадратичним відхиленням амплітуди.

На рис. 4.г представлений результат видалення артефактів із ансамблю ПХ (ФПС без видалення дихальної складової). Для забезпечення когерентності ПХ у ансамблі використано алгоритм [11].

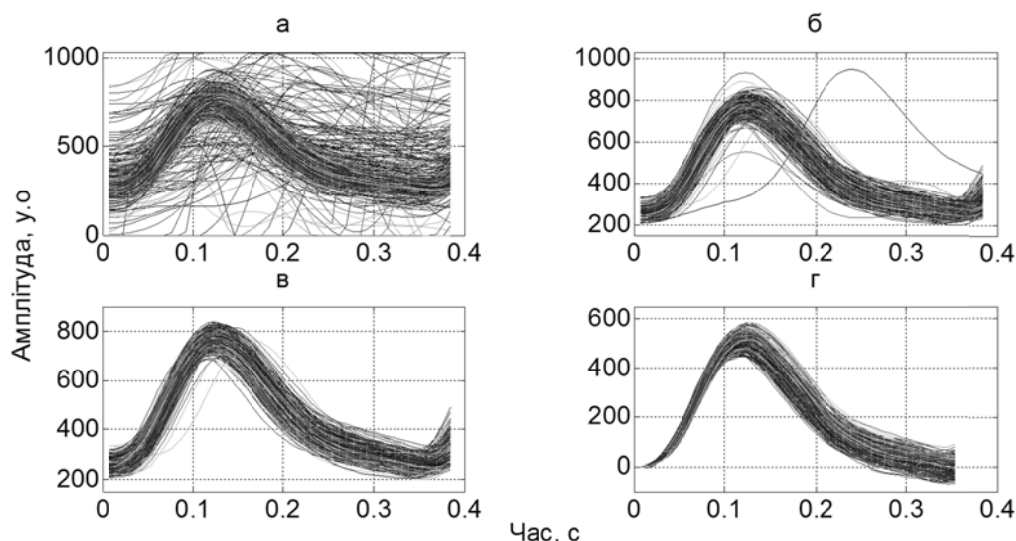


Рис. 4. Ансамбль ПХ: а) момент відбору ПХ за мінімальним значенням амплітуди, б) видалення артефактів – етап 1, в) видалення артефактів – етап 2, г) уточнення моменту відбору ПХ за мінімальним середньоквадратичним відхиленням амплітуди

Перевірка алгоритму. В роботі [12] проведено верифікацію алгоритму

відбору ПХ [11] при оцінюванні параметра індекс відбивання (reflection index, RI). Тому для перевірки алгоритму видалення артефактів проаналізовано відносну похибку (δ) амплітуди прямої хвилі (A_n , амплітуди ПХ), що використовується для розрахунку параметра RI, отриманих в результаті: (а.1) – ручного видалення інтервалів із артефактами з подальшим усередненням ПХ, (а.2) – із використанням запропонованого алгоритму видалення артефактів, (а.3) – усереднення без видалення артефактів.

Відносна похибка параметра A_n :

$$\delta = \frac{\overline{x} - \overline{x_d}}{\overline{x_d}} \quad (1)$$

де $\overline{x_d}$ – параметр A_n (а.1); \overline{x} – параметр A_n (а.2 чи а.3).

В табл.1. представлено результати дослідження.

Таблиця 1

Отримані значення перевірки алгоритму

Параметр	Алгоритм		
	(а.1)	(а.2)	(а.3)
сигнали рох, 5-ти хвилині сегменти (24 ФПС)			
середнє значення $\delta(A_n)$, %	0	0.71	2.84
середньоквадратичне відхилення $\delta(A_n)$, %		0.40	2.29

Матеріали дослідження. Пошук екстремумів проводився за допомогою алгоритму [13]. Використано ФПС (рох1, рох2) із бази даних <http://bsp.pdx.edu>. Аналіз здійснювався засобами пакету прикладних програм Matlab 8.0.

Висновки

Запропоновано алгоритм видалення артефактів (механічного походження – рухи пацієнта) із ансамблю пульсових хвиль фотоплетизмографічного сигналу. Використання алгоритму дозволить оцінювати морфологічні параметри пульсових хвиль при артефактах від руху (з вищою точністю). Розроблений алгоритм придатний для автоматичного аналізу ФПС та може бути використаний в клінічних і науково-дослідних програмах.

Перелік посилань

1. Павлов С. В. Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи : монографія / С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, П. Ф. Колісник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2007. – 254 с.
2. Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия / И.А. Шурыгин. – СПб. : Невский Диалект; М.: Издательство БИНОМ. – 2000. – 301 с.
3. Peng F. Motion artifact removal from photoplethysmographic signals by combining temporally constrained independent component analysis and adaptive filter / F. Peng, Z. Zhang, X. Gou, H. Liu, W. Wang // Biomed Eng Online. – 2014. – P. 1–14.
4. Yavorskyu B. I. Application of the Principle of Symmetry for Synchronization of Biosignals in their Sample / B. I. Yavorskyu // TCSET, Lviv-Slavske. – 2014. – P. 714.
5. Hurwitz B.E. Coherent ensemble averaging techniques for impedance cardiography /

B.E. Hurwitz, L. Shyu, S.P. Reddy, N. Schneiderman, J.H. Nagel // CBMS. – 1990. – P. 228–235.

6. Пат. 20140187883 A1 US. Systems and methods for ensemble averaging in pulse oximetry / Lisogurski D.; Covidient LP – US 13/730,170; Заявка 28 дек 2012; Публ. 3 июл 2014.

7. Pauca A.L. Prospective evaluation of a method for estimating ascending aortic pressure from the radial artery pressure waveform / A.L. Pauca, M.F. O'Rourke, N.D. Kon. // Hypertension. – 2001. – №38(4). – P. 932–937. doi: 10.1161/hy1001.096106.

8. Nier B.A. Evidence for a specific influence of the nitregeric pathway on the peripheral pulse waveform in rabbits / B.A. Nier, L.S Harrington, M.J. Carrier, P.D. Weinberg // Exp Physiol. – 2008. – №93(4). – P. 503–512. doi: 10.1113/expphysiol.2007.041129.

9. Hashimoto J. Pulse Pressure Amplification, Arterial Stiffness, and Peripheral Wave Reflection Determine Pulsatile Flow Waveform of the Femoral Artery / J. Hashimoto, S. Ito // Hypertension. – 2010. – №56(5). – P. 926–33. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.110.159368.

10. Пат. US4960126 A US. ECG synchronized pulse oximeter. / Conlon B., Devine J.A., Dittmar J.A.; Criticare Systems, Inc. – US 07/259,446; Заявка 14 окт 1988; Публ. 2 окт 1990.

11. Свередюк М.А. Синхронізація відбору пульсової хвилі під час аналізу її морфологічних параметрів / М.А. Свередюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – №2. – с. 112–115. <http://visnyk.vntu.edu.ua/article/view/3961>

12. Свередюк М.А. Верифікація алгоритму синхронізації пульсових хвиль при оцінюванні їх морфологічних параметрів / М.А.Свередюк // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. (в редакції).

13. Свередюк М.А. Алгоритм автоматичного виявлення екстремумів фотоплетизмографічних сигналів / М.А. Свередюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. (в редакції).

References

1. Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.H., Kolisnyk P.F. (2007) *Fotopletyzmografichni tekhnolohii kontroliu sertsevo-sudynnoi systemy*. Vinnytsia, UNIVERSUM-Publ., 254 p. (in Ukrainian)

2. Shurygin I.A. (2000) *Monitoring dykhaniya: pul'soksimetriya, kapnografiya, oksimetriya*. Moskov, BINOM Publ., 301 p. (in Russian)

3. Peng F., Zhang Z., Gou X., Liu H., Wang W. (2014) Motion artifact removal from photoplethysmographic signals by combining temporally constrained independent component analysis and adaptive filter. *Biomed Eng Online*, pp. 1-14.

4. Yavorskyu B.I. (2014) Application of the Principle of Symmetry for Synchronization of Biosignals in their Sample. *TCSET-2014*, Lviv-Slavske, Ukraine, pp. 714.

5. Hurwitz B.E., Hurwitz B.E., Shyu L., Reddy S.P., Schneiderman N., Nagel J.H. Coherent ensemble averaging techniques for impedance cardiography. *CBMS*, 1990, pp. 228-235. doi: 10.1109/CBMSYS.1990.109403.

6. Lisogurski D. (2014) Systems and methods for ensemble averaging in pulse oximetry. Patent US 20140187883 A1.

7. Pauca A.L., O'Rourke M.F., Kon N.D. (2001) Prospective evaluation of a method for estimating ascending aortic pressure from the radial artery pressure waveform. *Hypertension*, no. 38, pp. 932-937. doi: 10.1161/hy1001.096106.

8. Nier B.A., Harrington L.S., Carrier M.J., Weinberg P.D. (2008) Evidence for a specific influence of the nitregeric pathway on the peripheral pulse waveform in rabbits. *Exp Physiol*,

no. 93, pp. 503-512. doi: 10.1113/expphysiol.2007.041129.

9. Hashimoto J., Ito S. (2010) Pulse Pressure Amplification, Arterial Stiffness, and Peripheral Wave Reflection Determine Pulsatile Flow Waveform of the Femoral Artery. *Hypertension*, no. 56, pp. 926-33.

10. Conlon B., Devine J.A., Dittmar J.A. (1988) ECG synchronized pulse oximeter. Patent US4960126 A.

11. Sveredyuk M.A. (2015) Synchronization of pulse wave selection during the analysis of its morphological parameters. *Visnyk VPI*, no. 2, pp. 112-115. (in Ukrainian)

12. Sveredyuk M.A. Verification of the synchronization algorithm of pulse waves in the evaluation of their morphological parameters. *Visnyk SumDU. Seriya Tekhnichni nauky*. (in Ukrainian)

13. Sveredyuk M.A. Automatic extremes detection algorithm for photoplethysmographic signals. *Visnyk VPI*. (in Ukrainian)

Свередюк М. А. Алгоритм видалення артефактів від руху із ансамблю пульсових хвиль. У роботі запропоновано алгоритм видалення артефактів (механічного походження – рухи пацієнта) із ансамблю пульсових хвиль фотоплетизмографічного сигналу. Видалення артефактів проведено за допомогою алгоритму виявлення екстремумів фотоплетизмографічного сигналу і представлення його в просторі змінних стану (фазовому). Для перевірки алгоритму видалення артефактів проаналізовано відносну похибку амплітуди прямої хвилі. Середнє значення відносної похибки для запропонованого алгоритму, в порівнянні із ручним видаленням артефактів становить 0.71% (без видалення артефактів – 2.84%). Використання алгоритму дозволить оцінювати морфологічні параметри пульсових хвиль при артефактах від руху (з вищою точністю). Розроблений алгоритм придатний для автоматичного аналізу фотоплетизмографічних сигналів.

Ключові слова: пульсова хвиля, фотоплетизмографічний сигнал, ансамбль, усереднення, артефакти.

Свередюк М. А. Алгоритм удаления артефактов от движения из ансамбля пульсовых волн. В работе предложен алгоритм удаления артефактов (механического происхождения – движения пациента) из ансамбля пульсовых волн фотоплетизмографического сигнала. Удаление артефактов проведено с помощью алгоритма выявления экстремумов фотоплетизмографического сигнала и представления его в пространстве переменных состояний (фазовом). Для проверки алгоритма удаления артефактов проанализировано относительную погрешность амплитуды прямой волны. Среднее значение относительной погрешности для предложенного алгоритма, в сравнении с ручным удалением артефактов составляет 0.71% (без удаления артефактов – 2.84%). Использование алгоритма позволит оценивать морфологические параметры пульсовых волн при артефактах от движения (с высокой точностью). Разработанный алгоритм пригоден для автоматического анализа фотоплетизмографических сигналов.

Ключевые слова: пульсовая волна, фотоплетизмографический сигнал, ансамбль, усреднения, артефакты.

Sveredyuk M. A. Algorithm for motion artifacts removal from the ensemble of pulse waves.

Introduction. In this paper we propose an artifact removal algorithm (motion artifacts) from the ensemble of pulse waves of photoplethysmographic signal.

Research results. The motion artifact is removed by using the extremes detection algo-

rithm for photoplethysmographic signals and presenting it in the phase space. To test the artifacts removal algorithm the relative error of the amplitude of the direct wave was analyzed. The average relative error for the proposed algorithm, in comparison with manual removal of artifacts equals 0.71% (without removing of artifacts – 2.84%).

Conclusions. The algorithm allows to evaluate the morphological parameters of the pulse wave with the motion artifacts (with higher accuracy). The developed algorithm is suitable for automatic analysis of photoplethysmographic signals and can be used in clinical and scientific research programs.

***Keywords:** pulse wave, photoplethysmographic signal, ensemble, averaging, artifacts.*