

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-22>

УДК 004.94

Ройко Олександр Юрійович<sup>1</sup>, к.т.н., викладач

<https://orcid.org/0000-0001-8642-7707>

Пугач Тетяна Валеріївна<sup>2</sup>, студентка

<https://orcid.org/0000-0002-4021-288X>

<sup>1</sup>Відокремлений структурний підрозділ «Волинський фаховий коледж Національного університету харчових технологій», м. Луцьк, Україна

<sup>2</sup>Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СЕРЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КАМЕРИ СМАРТФОНУ

Ройко О.Ю., Пугач Т.В. Особливості реалізації програмного забезпечення для визначення показників роботи серця з використанням камери смартфона. У роботі описано особливості реалізації програмного забезпечення для визначення варіабельності серцевого ритму та частоти серцевих скорочень. Для формування вихідного сигналу застосовується камера смартфона. Подальша обробка сигналу здійснюється за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Отримані дані використовуються для визначення показників роботи серця за допомогою реалізованого програмного забезпечення.

**Ключові слова:** варіабельність серцевого ритму, частота серцевих скорочень, Python, OpenCV, matplotlib.

**Royko O., Puhach T. Peculiarities of implementing the software for determining the performance of the heart using a smartphone camera.** The paper describes the features of the implementation of the software for determining the variability of heart rhythm and heart rate. A smartphone camera is used to generate the output signal. Further processing of the signal is carried out using a fast Fourier transform. The obtained data are used to determine the performance of the heart with the help of implemented software.

**Keywords:** heart rate variability, heart rate, Python, OpenCV, matplotlib.

**Постановка наукової проблеми.** Захворювання серцево-судинної системи є однією з головних причин людської смертності, як у світі, так і в Україні. Це підтверджують дані ВООЗ [1], а також дослідження провідних науковців [2-3]. Як зазначено у більшості досліджень, для зниження рівня смертності від серцево-судинних захворювань необхідно вести здоровий спосіб життя, уникати стресів, а також проводити своєчасну діагностику ранніх захворювань.

Зараз на ринку існує велика кількість «розумних» пристроїв, які дозволяють пересічному користувачу здійснювати моніторинг показників серцево-судинної системи. До них відносяться смарт годинники та смарт браслети. Звичайно, що точність показників, отриманих за допомогою таких пристроїв, не можна порівнювати з показниками, отриманими за допомогою спеціального медичного обладнання, однак вони дозволяють кожній людині регулярно здійснювати моніторинг власного здоров'я в побутових умовах, що є важливим в профілактиці. Переважно ці пристрої можуть визначати пульс (частоту серцевих скорочень), а також деякі з них можуть визначати варіабельність серцевого ритму [4]. Ці показники при постійному моніторингу можуть давати фахівцю інформацію стосовно здоров'я серцево-судинної системи пацієнта.

На даний час відносно невеликий відсоток населення володіють такими пристроями. Однак смартфон є майже у кожного, тому практичний інтерес становить дослідження можливості розробки програмного забезпечення, яке дозволить отримувати та аналізувати дані про роботу серця зі смартфона.

Ідея полягає в тому, що притискаючи палець до основної камери смартфона є можливість зафіксувати яскравість зображення. В процесі проходження крові через судини в пальцях яскравість зображення змінюється. Така зміна є періодичною і відповідає періодам пульсації кровеносних судин. Тому якщо зафіксувати такі пульсації, ці дані можна обробити та застосувати для визначення показників серцевої діяльності.

**Мета дослідження.** Необхідно реалізувати програмне забезпечення для отримання деяких показників роботи серцево-судинної системи, таких як, варіабельність серцевого ритму та частота серцевих скорочень. Програмне забезпечення повинно отримувати на вході множину відеофайлів із записом пульсації капілярів у стінках пальців, знятих за допомогою камери смартфона. На виході, після аналізу відеофайлів, необхідно відобразити сигнал у графічному вигляді та показники роботи серця.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Для реалізації поставленого у роботі завдання була розроблена програма на мові Python, з використанням бібліотек OpenCV, matplotlib, numpy та scipy. Її діаграма діяльності показана на рис. 1.

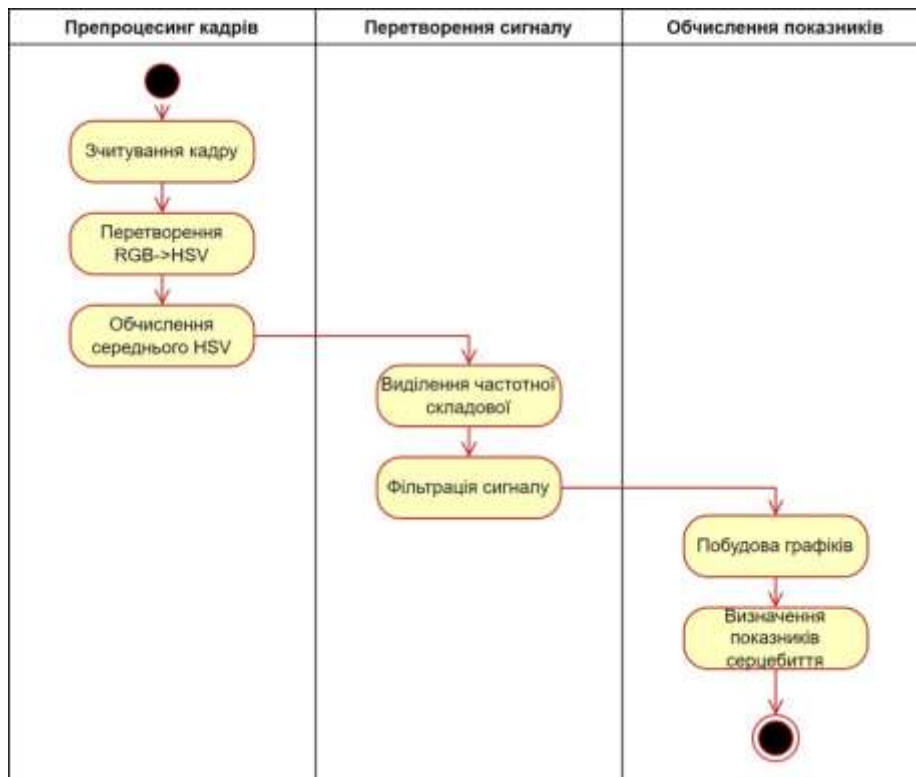


Рис.1. UML-діаграма діяльності програми

Як видно з діаграми, обчислювальний конвеєр складається з трьох етапів:

1. Препроцесинг кадрів – зчитування та перетворення кадрів для подальшої роботи алгоритму.
2. Перетворення сигналу – виділення із даних, отриманих з кадрів, сигналу.
3. Обчислення показників – визначення показників серцебиття, таких як варіабельність серцевого ритму та частота серцевих скорочень, візуалізація результату.

Детальніше розглянемо кожен з етапів. Для препроцесингу кадрів застосовується бібліотека OpenCV [5]. Дана бібліотека є кроплатформенною, безкоштовною, та містить велику кількість функцій для роботи з відео в реальному часі.

За допомогою OpenCV здійснюється зчитування кадрів відеопотоку та перетворення кожного кадру із колірної моделі RGB в колірну модель HSV. Це необхідно для фіксації періодів зміни яскравості зображення при запису пульсації крові через пальці, що відповідає періодам серцевих скорочень.

Саме ці перепади у яскравості кадрів будемо розглядати як вхідний сигнал. Оскільки модель RGB не несе інформації про яскравість зображення, то кадри потрібно перевести в модель HSV. Для перетворення значення кольору кожного пікселю з колірної моделі RGB в колірну модель HSV використовуються наступні залежності:

$$V = \max(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} \frac{60(G - B)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } V = R \\ \frac{120 + 60(B - R)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } V = G, \\ \frac{240 + 60(R - G)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } V = B \end{cases}$$

де  $R, G, B$  – значення інтенсивності кольору (червоного, зеленого та синього) для кожного пікселю,  $H, S, V$  – відтінок, насиченість та яскравість відповідно.

На виході отримуємо тривимірні масиви даних із значеннями яскравості, насиченості та відтінку кольору.

Після перетворення кадрів відео в колірну модель HSV відбувається їх усереднення за яскравістю пікселів для кожного кадру.

Наступним кроком є виділення частоти зміни яскравості зображення з вихідних даних. Для цього застосуємо швидке перетворення Фур'є [6]. Для множини чисел  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$  швидке перетворення дозволяє отримати множину чисел  $b_0, b_1, \dots, b_{n-1}$ , таких, що

$$b_i = \sum_{j=0}^{n-1} a_j \varepsilon^{ij},$$

де  $\varepsilon^n = 1$  і  $\varepsilon^k \neq 1$  при  $0 < k < n$ . У роботі застосовано реалізацію з Python-бібліотеки `numpy`, методи `numpy.fft.fft` та `numpy.fft.ifft` [7]. У даних методах швидке перетворення Фур'є для комплексних вхідних даних визначається як

$$A_k = \sum_{m=0}^{n-1} a_m e^{-2\pi i \frac{mk}{n}}, \quad k = 0 \dots n - 1.$$

Після перетворення сигналу і його фільтрації визначається показник варіабельності серцевого ритму. Даний показник може бути обчислений різними методами, як статистичним, так і геометричними [4]. У даній роботі визначення варіабельності серцевого ритму реалізовано за через обчислення  $RMSSD$  – середньоквадратичного відхилення величини послідовних інтервалів  $R-R$  (інтервалів між зубцями  $R$  ЕКГ). Воно визначається наступним чином. Нехай  $IR_1, IR_2 \dots IR_{n-1}$  – інтервали між парами зубців  $(R_2 - R_1), (R_3 - R_2), \dots, (R_n - R_{n-1})$  відповідно. Тоді

$$RMSSD = \sqrt{\sum_{k=1}^{n-2} \frac{(IR_{k+1} - IR_k)^2}{n-2}}.$$

У даній роботі такими інтервалами вважаємо інтервали між локальними максимумами фільтрованого сигналу. Обчислені значення  $RMSSD$  у мс дозволяють фахівцю інтерпретувати дані та робити висновок про стан серцево-судинної системи.

Крім варіабельності серцевого ритму за даними, отриманими через швидке перетворення Фур'є, також обчислюється частота серцевих скорочень (на хвилину). Частота серцевих скорочень  $N_{pm}$  з даних визначається за наступною формулою

$$N_{pm} = \frac{30}{t} (N_{max} + N_{min}),$$

де  $t$  – тривалість запису, с;  $N_{max}, N_{min}$  – кількість локальних екстремумів фільтрованого сигналу (максимальних та мінімальних піків відповідно).

Після визначення всіх показників результати виводяться в графічному вигляді. Для побудови графіків застосована графічна бібліотека `matplotlib` [8].

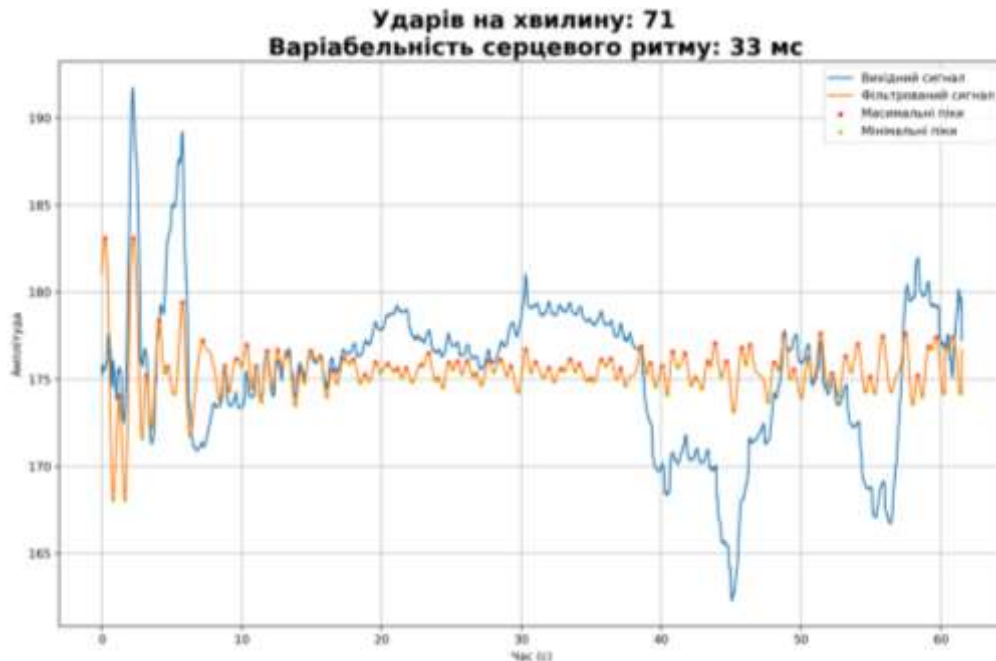


Рис. 2. Результат роботи програмного забезпечення

На рис. 2 видно, що програма виводить графіки вхідного оригінального сигналу з камери, та фільтрованого сигналу за допомогою перетворення Фур'є. Крім того, на графік виведено показники варіабельності серцевого ритму та частоти серцевих скорочень. Зауважимо, що дані графіки не можна інтерпретувати як електрокардіограму. Вихідний графік показує амплітуду зміни яркості зображення в часі, а фільтрований сигнал – частотну складову.

Методика роботи з програмою наступна. Спочатку потрібно записати відеофайли, які будуть аналізуватись програмою. Це робиться за допомогою камери смартфона шляхом притискання пальця до його камери. Бажано максимально закрити пальцем камеру, щоб на запис не впливали перепади зовнішнього освітлення. Як відзначено при спостереженнях, при притисканні пальця до камери, у перші секунди спостерігається деяка осциляція сигналу, що може негативно вплинути на інтерпретацію результату. Потім сигнал стабілізується, тому рекомендується для підвищення точності починати запис через декілька секунд після початку притискання пальця для стабілізації кровообігу, а також проводити заміри тривалістю не менше 1 хв.

Для оцінки коректності вимірювань можна порівняти результати, отримані за допомогою програми з результатами, отриманими за допомогою смарт-пристроїв, які мають функцію визначення частоти серцевих скорочень (вимірювання пульсу). Було проведено 50 записів з камери смартфона з одночасним вимірюванням пульсу за допомогою Apple Watch 6 та Xiaomi Amazfit Verge. Тестова група включала осіб різного віку, статі та з різним рівнем здоров'я серцево-судинної системи. Заміри проводились протягом однієї хвилини, після години перебування в спокої, і в одному й тому ж приміщенні.

Результати вимірів показано на рис. 3. З метою покращення візуального сприйняття показано тільки перші 15 результатів. Як видно з графіку, показники отримані з камери смартфона та отримані за допомогою смарт годинників відрізняються несуттєво.

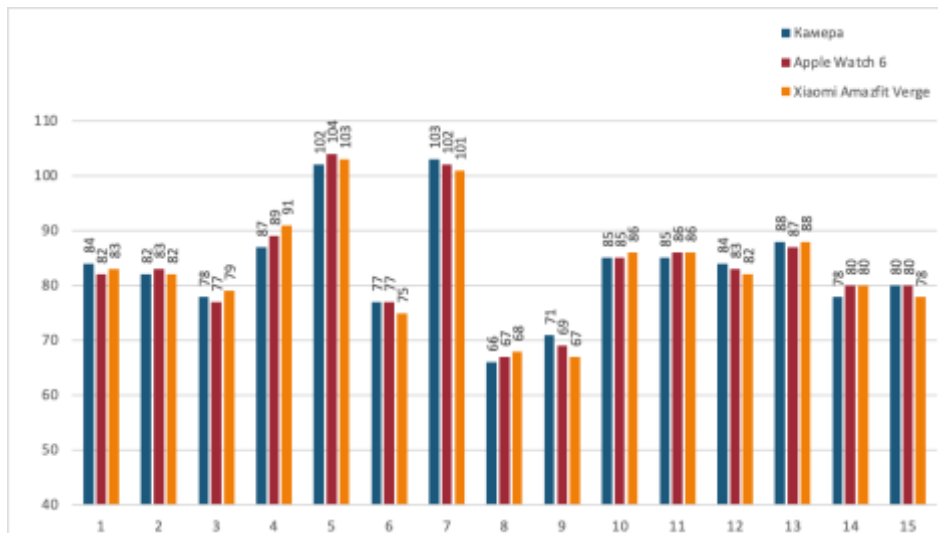


Рис. 3. Порівняння результатів вимірювань, отриманих із різних пристроїв

На рис. 4 наведено графіки середнього абсолютного відхилення значень частоти серцевих скорочень, отриманих за допомогою камери смартфона, від показників смарт годинників, а також відносна похибка.

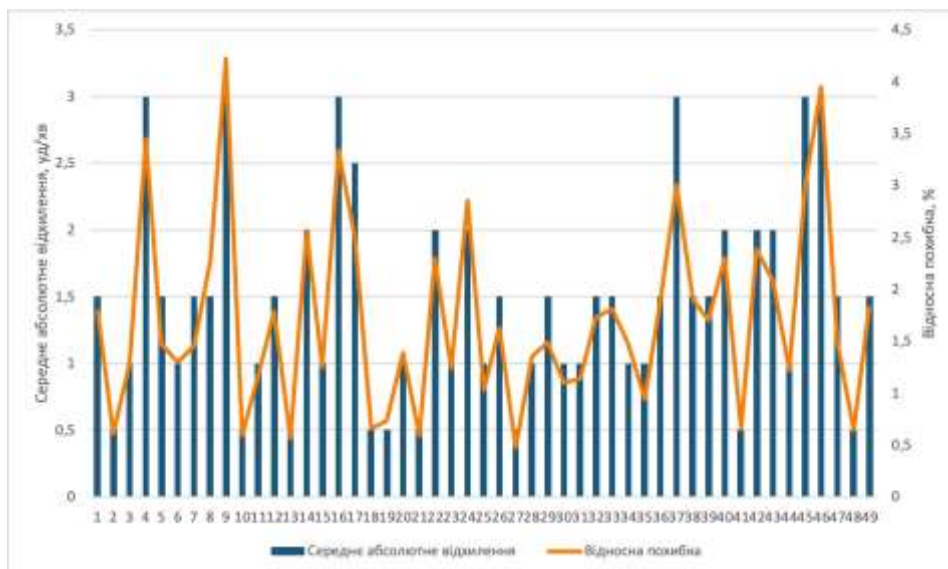


Рис. 4. Середнє абсолютне відхилення та відносна похибка отриманих результатів

Як бачимо з графіків, середнє абсолютне відхилення частоти серцебиття та відносна похибка знаходяться в межах 3-4% відсотків для тестової групи. В цілому можна сказати, що показники, які отримані за допомогою камери смартфона, є достатньо близькими до показників, які отримані за допомогою смарт годинників. Звертаємо увагу, що з медичної точки зору результати не можуть бути використані для постановки діагнозу, і для точного діагнозу необхідно звертатись до лікаря та проводити клінічне обстеження.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** У даній роботі описано особливості реалізації програмного забезпечення для моніторингу показників серцевої діяльності з використанням камери смартфона. Для обробки вихідного сигналу використовується швидке перетворення Фур'є. Отримані результати можуть бути застосовані для повсякденного спостереження за станом здоров'я. В подальшому розроблене програмне забезпечення можна модифікувати. Зокрема доцільно реалізувати пакетну обробку відеофайлів, а також запис результатів в базу даних з метою їх подальшого аналізу та обліку.

#### Список бібліографічного опису

1. World Health Organization. The top 10 causes of death [Електронний ресурс]. 2020. Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.

2. Коваленко, В. М. Стрес і серцево-судинні захворювання: сучасний стан проблеми." Український кардіологічний журнал, №1, 2015. с. 4-7.
3. Nascimento, B., Brant, L., Moraes, D., Ribeiro, A. Глобальне здоров'я та серцево-судинні захворювання. Український кардіологічний журнал, №4, 2015. с. 123-133.
4. Сичов О.С., Жарінов О.Й. Варіабельність серцевого ритму: фізіологічні механізми, методи дослідження, клінічне і прогностичне значення [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://compendium.com.ua/uk/glava-4-variabelnist-sertsevogo-ritmu-fiziologichni-mehanizmi-metodi-doslidzhennya-klinichne-i-prognostichne-znachennya/>.
5. OpenCV: Home [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://opencv.org/>
6. James W. Cooley, John W. Tukey: An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. In: Math. Comput. 19, 1965, p.p. 297—301.
7. numpy.fft.fft [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.fft.fft.html>
8. Matplotlib — Visualization with Python [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://matplotlib.org/>

#### References

1. World Health Organization. The top 10 causes of death [Electronic resource]. 2020. Mode of access to the resource: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.
2. Kovalenko, V. M. Stress and cardiovascular diseases: the current state of the problem." Ukrainian Journal of Cardiology, No. 1, 2015. p. 4-7.
3. Nascimento, B., Brant, L., Moraes, D., Ribeiro, A. Global health and cardiovascular disease. Ukrainian Journal of Cardiology, No. 4, 2015. с. 123-133.
4. Sychev O.S., Zharinov O.Y. Heart rate variability: physiological mechanisms, research methods, clinical and prognostic significance [Electronic resource]. Mode of access to the resource: <https://compendium.com.ua/uk/glava-4-variabelnist-sertsevogo-ritmu-fiziologichni-mehanizmi-metodi-doslidzhennya-klinichne-i-prognostichne-znachennya/>.
5. OpenCV: Home [Electronic resource]. Resource access mode: <https://opencv.org/>
6. James W. Cooley, John W. Tukey: An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. In: Math. Comput. 19, 1965, p.p. 297—301.
7. numpy.fft.fft [Electronic resource]. Resource access mode: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.fft.fft.html>
8. Matplotlib — Visualization with Python [Electronic resource]. Resource access mode: <https://matplotlib.org/> Roger C. Palmer. The Bar Code Book. Trafford Publishing, 2007.