

**Мельничук М. О., студент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, mmelnychuk.asp2024@gmail.com)

## **АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ БІОМАРКЕРІВ (ЧАСТОТИ ПУЛЬСУ) У ІГРОВИХ ANDROID-ДОДАТКАХ**

**В роботі розглядаються питання розробки ігрових Android-додатків, які містять функції аналізу біомаркерів. Наявність відповідних функцій дозволить сигналізувати гравцю про його надмірне захоплення грою і зменшити, тим самим, ймовірність виникнення ігрової залежності. В якості біомаркерів – характеристик (біологічних ознак), що використовуються в якості індикатора стану всього організму гравця, пропонується використовувати, зокрема, частоту пульсу.**

**В статті розглядаються алгоритми, які дозволяють обраховувати частоту пульсу людини на основі камери смартфона. При цьому запропоновано новий підхід до аналізу даних, який був названий методом максимальної самоподібності.**

**Ключові слова:** біомаркер; Android; додаток; пульс; смартфон; дані.

### **I. Вступ**

Сьогодні розвиток індустрії комп'ютерних ігор призводить до виникнення низки проблем, зокрема, ігрової залежності у людини. Лікарі відзначають негативні наслідки для здоров'я людини, яка страждає ігровою залежністю, зокрема, психічні розлади, погіршення зору, проблеми з хребтом та інші. Однак, масове захоплення комп'ютерними іграми – це реальність, з якою неможливо не рахуватися. Як же зробити ігри більш безпечними, принаймні зменшити можливості виникнення ігрової залежності, що часто стає хворобою, яку вже потрібно лікувати? На нашу думку, частковим вирішенням цієї проблеми може бути інтеграція у саму гру нових можливостей врахування значень певних біомаркерів – характеристик (біологічних ознак), що використовуються в якості індикатора стану всього організму гравця. До найбільш поширених біомаркерів відносять пульс, тиск, температуру тіла тощо. А тому ця робота, головна ідея якої полягає у інтеграції в ігрове середовище підпрограм, що здійснюють моніторинг та прогнозування стану

гравця, зокрема, програм для вимірювання пульсу є актуальною. Адже застосування нашого підходу дозволить зробити комп'ютерні ігри більш безпечними.

Головна ідея цього дослідження полягає в інтеграції у будь-яку гру спеціальних можливостей, які дозволили б контролювати динаміку зміни пульсу гравця в процесі гри, що свідчить про надмірну психологічну напругу. Реалізація такої ідеї вимагає розв'язання фактично двох окремих підзадач: задачу вимірювання пульсу в Android-додатках за допомогою камери смартфона та задачу прогнозування значення пульсу гравця.

## **II. Огляд відомих алгоритмів визначення частоти пульсу**

Всі існуючі алгоритми для контактного підрахунку пульсу за допомогою камери мобільного телефону складаються з двох етапів: перший – перетворення кадру з камери (рис. 1.1) в будь-яку числову характеристику, другий – обчислення частоти пульсу на основі залежності відповідної числової характеристики від часу [1]. На першому етапі всі алгоритми працюють приблизно однаково. В кадрі вибирається область, на підставі якої обраховується певна числова характеристика. Найчастіше використовується колірна палітра RGB і її червоний канал та знаходиться середнє значення обраного каналу на заданій області, яке приймається за числову характеристику даного кадру.



Рис. 1. Кадр з камери смартфона

У підсумку, алгоритм отримує сигнал (рис. 1.2), на якому явно помітні моменти припливу крові до пальця. Завдання другого етапу – за цими даними отримати пульс. Зауважимо, що визначення частоти пульсу – не таке просте завдання. Справа у тому, що вихідний сигнал часто містить велику кількість «шумів», можуть бути присутніми лишні «піки». А тому, як вказано у роботі [5], значна кількість відомих алгоритмів дають порядку 20% помилкових обрахунків.

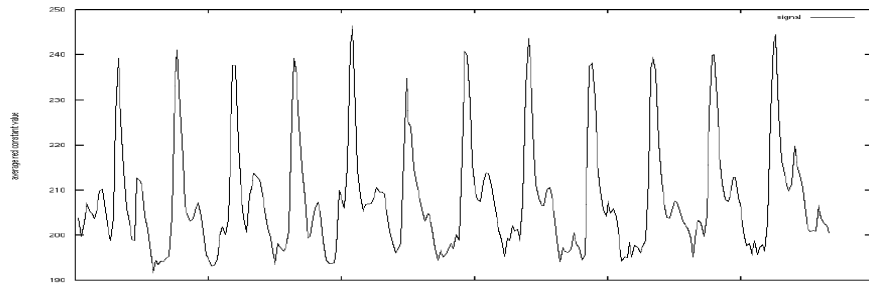


Рис. 2. Приклад числової характеристики червоного каналу RGB

Виділяють чотири основні класи алгоритмів:

- алгоритми, що ґрунтуються на підрахунку піків [1];
- алгоритми, що ґрунтуються на підрахунку піків з додатковою логікою [1; 2];
- алгоритми, що ґрунтуються на знаходженні домінуючої частоти сигналу [3];
- алгоритми, що ґрунтуються на аналізі спектра [4; 5].

Перший клас алгоритмів спирається на простий підрахунок піків, відповідних кожному припливу крові: поділивши кількість знайдених піків на час вимірювання, отримуємо пульс. Проблемою таких алгоритмів є нестійкість до помилок в детекції піків. Тому пропуск одного або декількох піків призводить до значного відхилення кінцевого результату. Наприклад, пропуск двох піків при пульсі 60 уд / хв при вимірюванні довжиною 15 секунд призводить до того, що алгоритм видасть результат 52 уд / хв, що значно відрізняється від реального пульсу.

Другий клас алгоритмів також спирається на підрахунок піків, але водночас ці алгоритми намагаються виправити недоліки першого класу вводячи додаткову логіку. Наприклад, при підрахунку піків додатково обчислюється середня відстань між ними, і в разі відсутності піку через середню відстань до числа знайдених піків просто додається одиниця. Таким чином, частково вирішується проблема пропуску піків.

Незважаючи на те, що ці алгоритми зменшують проблеми, що виникають в першому типі алгоритмів, вони ніяк не впливають на проблеми, що з'являються безпосередньо при детекції піків. Наприклад, на наведеному сигналі (рис. 3) відповідний приплив крові в палець складається з двох піків, які іноді майже не відрізняються між собою, що в багатьох алгоритмах призведе до підрахунку зайвих піків.

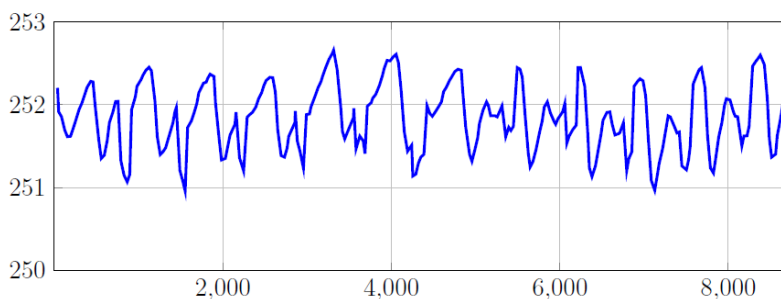


Рис. 3. Приклад проблемних даних

Третій клас алгоритмів використовує абсолютно інший підхід до оцінки пульсу. Замість знаходження окремих піків ці алгоритми розглядають сигнал в цілому і знаходять в ньому домінуючу частоту. Домінуюча частота дискретного сигналу зазвичай знаходиться за допомогою дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) [5], яке дозволяє отримати залежність амплітуди спектра сигналу від частоти. Таке перетворення має вигляд:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}kn}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість значень сигналу, отриманих за період спостережень та кількість компонент розкладу;

$x_n, n = 0, \dots, N - 1$  – вхідні значення сигналу;

$X_k, k = 0, \dots, N - 1$  – вихідні сигнали для прямого перетворення;

$k$  – індекс частоти, частота  $k$ -го сигналу рівна  $\frac{k}{T}$ ,  $T$  – період часу спостережень.

Після розрахунку спектра сигналу відбраковуються частоти, які не відповідають можливим значенням пульсу людини та вибирається частота з максимальною амплітудою. Такі алгоритми проявляють себе набагато краще, ніж попередні два класи, і дозволяють отримувати достатньо стійкі результати при тривалому запису сигналу.

У загальному випадку, кількість операцій для отримання спектра за допомогою ДПФ є  $O(N^2)$ , де  $N$  – кількість частотних характеристик у вихідному сигналі.

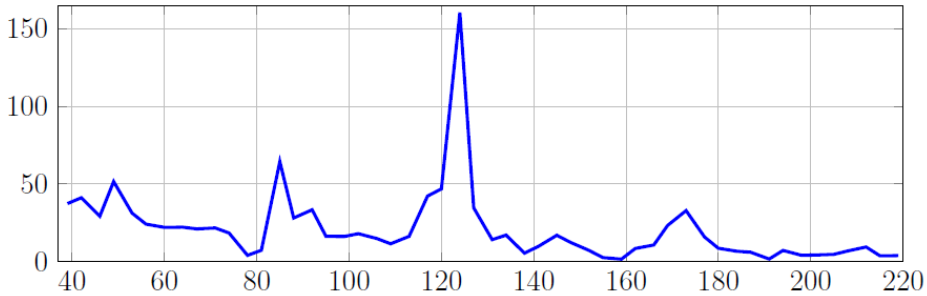


Рис. 4. Приклад частини спектра. По осі абсцис – пульс, уд/хв, ординат – умовна амплітуда

Алгоритми, що ґрунтуються на ДПФ, мають один істотний недолік: при невеликій вибірці за часом вони дуже чутливі до стрибків, що мають високу амплітуду і розташовані у невеликій частині сигналу. На рис. 5 можна помітити, що перші 6 секунд вимірювання займає шум, який, до того ж, має високу амплітуду. Це призводить до того, що підсумковий спектр може отримати помилковий пік на частоті цього шуму, який також буде мати велику амплітуду, що призведе до неправильного результату.

Тому попередньо вихідний сигнал розбивається на окремі інтервали. Найчастіше поділ на інтервали використовується, щоб відкинути частини сигналу, які вибиваються із загального спектра. Наприклад, якщо домінуюча частота на якомусь відрізку відрізняється від інших, то цей відрізок просто відкидається, однак тут теж є проблеми. Адже неважко помітити, що при розбитті на відрізки відбувається зменшення розміру вхідних даних, що неминуче призведе до зменшення точності.

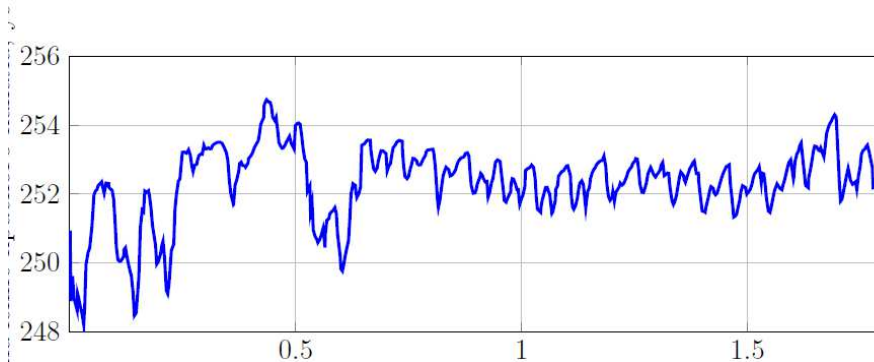


Рис. 5. Приклад сигналу з шумом

### III. Метод максимальної самоподібності, який пропонується використовувати для обрахунку частоти пульсу гравця

Ідея методу полягає у знаходженні інтервалів максимальної

подібності у поведінці числової функції, що описує значення червоного каналу RGB. Такі інтервали визначатимуть певний період між окремими ударами серця та описуватимуть поведінку функції між окремими «піковими» значеннями.

Суть принципу максимальної подібності полягає у наступному. Розглянемо інтервали  $[x_{n-k+1}, x_n]$  та  $[x_{s+1}, x_{s+k}]$ , що містить однакову кількість точок спостережень. Для формалізації поняття максимальної подібності необхідно ввести коефіцієнт подібності. Розглянемо множини  $Q_{s,k} = \{(x_{s+i}, f_{s+i}), i = \overline{1, k}\}$  та  $Q_{n-k,k} = \{(x_{n-k+i}, f_{n-k+i}), i = \overline{1, k}\}$  та відображення множини  $Q_{n-k,k}$  у множину  $Q_{s,k}$  таке, щоб точка  $(x_{n-k+1}, f_{n-k+1})$  перейшла у точку  $(x_{s+1}, f_{n-k+1})$ .

У випадку нерівномірної сітки необхідно будувати процедуру, яка забезпечуватиме однакові значення абсцис точок двох множин. Для цього можемо розглядати, наприклад, лінійні апроксимації обох функцій у точках, де значення не збігаються.

Отже, без обмеження загальності розглядатимемо множини  $Q_{s,k} = \{(x_{s+i}, f_{s+i}), i = \overline{1, k}\}$  та  $\tilde{Q}_{n-k,k} = \{(x_{s+i}, f_{n-k+i}), i = \overline{1, k}\}$ . Введемо відстань між множинами

$$P(Q_{s,k}, \tilde{Q}_{n-k,k}, A_s) = \sum_{i=1}^k (A_s f_{s+i} - f_{n-k+i})^2 / \sum_{i=1}^k (f_{n-k+i})^2, \quad (2)$$

де  $A_s$  – деякий масштабуючий оператор, який здійснює розтяг та зміщення вздовж осі ординат. Логіка введення відповідного масштабуючого оператора у загальному випадку полягає у тому, що дані можуть бути зміщені вздовж осі ординат (мати амплітудні зсуви), однак зберігати при цьому аналогічну закономірність зміни.

Нехай масштабуючий оператор має вигляд:  $A_s y = \mu_s y + \lambda_s$ . Тоді коефіцієнт подібності можемо визначити наступним чином:

$$P(Q_{s,k}, \tilde{Q}_{n-k,k}) = \min_{\mu, \lambda} \sum_{i=1}^k (\mu f_{s+i} + \lambda - f_{n-k+i})^2 / \sum_{i=1}^k (f_{n-k+i})^2. \quad (3)$$

Вважатимемо, що інтервали  $[x_{s+1}, x_{s+k}]$  та  $[x_{n-k+1}, x_n]$  є інтервалами подібності, якщо коефіцієнт подібності не перевищує деяке значення  $\varepsilon$  – рівень подібності.

Таким чином, аналізуючи відповідний часовий ряд, будемо визначати таке мінімальне значення  $k$ , при якому значення коефіцієнта подібності між значеннями часового ряду на інтервалах  $[x_1, x_k]$ ,  $[x_k, x_{2k-1}]$ ,  $[x_{2k-1}, x_{3k-2}]$ , ... є максимальним.

На перший погляд здається, що при аналізі пульсу можна не вводити масштабуючий оператор, адже дані не повинні мати характерних амплітудних зміщень по осі ординат. Однак, практика показує, що такі зміщення трапляються за рахунок того, що під час



гри гравець може рухати смартфоном, змінювати силу натискання тощо. При цьому виникають різноманітні «шуми».

В процесі розробки алгоритму та відповідної програмної реалізації було використано поєднання декількох підходів до аналізу даних. Алгоритм складається з декількох етапів.

Перший етап – це попередня обробка даних. Оскільки камери сучасних смартфонів дають можливість отримувати до 60 кадрів на секунду (у нас відповідний параметр є константою і вибраний рівним 20), первинний часовий ряд містив значну кількість однакових даних. Тому спочатку використовувалась відповідна фільтрація.

Другий етап – згладжування методом ковзного середнього, коли кожна точка замінювалась середнім арифметичним сусідніх значень. Такий процес дозволив відфільтрувати значну кількість несуттєвих локальних екстремумів функції, що описувала рівень червоного каналу RGB.

Третій етап – знаходження точок локального максимуму (мінімуму), «пікових значень».

Четвертий етап – знаходження інтервалів максимальної подібності. Для цього розглядалися інтервали між точками локального екстремуму та будувались підмножини, де поведінка функції була аналогічною (досягався максимальний коефіцієнт подібності).

Серед таких підмножин у підсумку вибиралась та, що містила максимальну кількість елементів. Довжина відповідного інтервалу використовувалась як базова для визначення пульсу.

Зауважимо, що алгоритм визначення частоти пульсу, який запропонований у роботі, є досить стійким до різноманітних «шумів», амплітудних та частотних змін вхідного сигналу. Дійсно, даний алгоритм фактично визначає домінуючу частоту сигналу. Пульс людини характеризується однаковим періодом часу між ударами серця. Якщо навіть буде максимальне зашумлення, все одно знайдеться принаймні кілька сигналів, що відобразять реальне значення пульсу. Тоді ці сигнали будуть включені у відповідну підмножину подібності і вона буде містити максимальну кількість елементів.



Рис. 6. Приклад обрахунку пульсу гравця

#### IV. Висновки

В цій роботі запропоновано використовувати біомаркери, зокрема частоту пульсу, для моніторингу стану гравця в процесі гри, що має надзвичайно важливе значення для вирішення проблеми ігрової залежності.

Для вирішення поставлених завдань було досліджено основні алгоритми, які дозволяють обраховувати частоту пульсу людини на основі камери смартфона. При цьому запропоновано новий підхід до аналізу сигналу, який був названий методом максимальної самоподібності. В роботі цей підхід використано на останньому етапі аналізу даних, що включає у себе попередню обробку даних, згладжування, аналізу пікових значень.

З метою сигналізування гравця про небезпечне зростання пульсу, у пропонується використання методів прогнозування даних, що дозволяє прогнозувати значення пульсу. Такий прогноз дозволить передбачити стан особливого збудження гравця, прискорення частоти пульсу, що може бути сигналом для відпочинку.

1. Arpan P., Aishwarya V., Anirban D. C., Aniruddha S. Improved heart rate detection using smart phone. *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. 2014. Pp. 8–13.
2. Laure D., Paramonov I. Improved algorithm for heart rate measurement using mobile phone camera. *Advanced intelligent systems*. 2013. N. 4. P. 56–64.
3. Pelegris P., Banitsas K., Orbach T., Marias K. A Novel method to detect heart beat rate using a mobile phone. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society : Annual International Conference*. 2015.
4. Guede-Fernández F., Ferrer-Mileo V., Ramos-Castro J. Real time heart rate variability assessment from Android smartphone camera





photoplethysmography. *Postural and device influences*. 2015. P. 154–160. **5.** Лауре Д. А., Лагутина Н. С., Парамонов И. В. Розробка алгоритму визначення пульсу людини за допомогою камери мобільного телефону. *Моделювання та аналіз інформаційних систем*. 2014. № 4, Т. 21. С. 91–103. **6.** Бомба А. Я., Турбал Ю. В., Сьох А. П., Турбал М. Ю. Метод екстраполяції на основі модифікованих розділених різницею. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Сер. Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. 2017. Т. 33. С. 36–51. **7.** Bomba A. Y. Turbal Y. V. Spatial generalization of "pyramidal" data extrapolation method. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Ser. Physics & Mathematics*. 2017. V. 8. P. 112–119. **8.** Костинский А. С. Принципи екстраполяції геофізичних даних. *Доповіді Національної академії наук України*. 2014. № 2. С. 111–117.

## REFERENCES:

**1.** Arpan P., Aishwarya V., Anirban D. C., Aniruddha S. Improved heart rate detection using smart phone. *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. 2014. Pp. 8–13. **2.** Laure D., Paramonov I. Improved algorithm for heart rate measurement using mobile phone camera. *Advanced intelligent systems*. 2013. N. 4. P. 56–64. **3.** Pelegris P., Banitsas K., Orbach T., Marias K. A Novel method to detect heart beat rate using a mobile phone. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society : Conference*. 2015. **4.** Guede-Fernández F., Ferrer-Mileo V., Ramos-Castro J. Real time heart rate variability assessment from Android smartphone camera photoplethysmography. *Postural and device influences*. 2015. P. 154–160. **5.** Laure D. A., Lahutyna N. S., Paramonov Y. V. Rozrobka alhorytmu vyznachennia pulsu liudyny za dopomohoiu kamery mobilnoho telefona. *Modeliuvannia ta analiz informatsiinykh system*. 2014. № 4, Т. 21. С. 91–103. **6.** Bomba A. Ya., Turbal Yu. V., Sokh A. P., Turbal M. Yu. Metod ekstrapoliatsii na osnovi modyfikovanykh rozdilenykh riznytseiu. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V. N. Karazina. Ser. Matematychno modeliuvannia. Informatsiini tekhnolohii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia*. 2017. Т. 33. С. 36–51. **7.** Bomba A. Y. Turbal Y. V. Spatial generalization of "pyramidal" data extrapolation method. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Ser. Physics & Mathematics*. 2017. V. 8. P. 112–119. **8.** Kostynskyi A. S. Pryntsypy ekstrapoliatsii heofizychnykh danykh. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*. 2014. № 2. С. 111–117.

---

**Melnychuk M. O., Senior Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, mmelnychuk.asp2024@gmail.com)

## **BIOMARKERS (PULSE RATE) ANALYSIS ALGORITHMS IN ANDROID GAMING APPLICATIONS**

The work deals with the development of game Android applications that contain biomarker analysis functions. The presence of appropriate functions will signal the player about his excessive enthusiasm for the game and thereby reduce the likelihood of game addiction. As biomarkers – characteristics (biological signs) used as an indicator of the state of the player's entire body, it is suggested to use, in particular, the pulse rate.

The article discusses algorithms that allow you to calculate a person's heart rate based on a smartphone camera. At the same time, a new approach to data analysis was proposed, which was called the maximum self-similarity method.

All existing algorithms for contact pulse counting using a mobile phone camera consist of two stages: the first is the conversion of a frame from the camera into any numerical characteristic, the second is the calculation of the pulse frequency based on the dependence of the corresponding numerical characteristic on time. At the first stage, all algorithms work approximately the same. An area is selected in the frame, on the basis of which a certain numerical characteristic is calculated. Most often, the RGB color palette and its red channel are used, and the average value of the selected channel in the given area is found, which is taken as the numerical characteristic of the given frame.

The main idea of this study is to integrate into any game special features that would allow controlling the dynamics of changes in the player's heart rate during the game, which indicates excessive psychological stress. The implementation of such an idea requires the solution of actually two separate sub-problems: the task of measuring the heart rate in Android applications using a smartphone camera and the task of predicting the value of the player's heart rate.

**Keywords:** biomarker; Android; application; heart rate; smartphone; data.