

УДК 004.75

Сергій Бугай, Юрій Гордієнко

**ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ ПАДІННЯ
НА ОСНОВІ АКСЕЛЕРОМЕТРА ТА ГІРОСКОПА****OPTIMIZATION OF THE ALGORITHM OF FALL
IDENTIFICATION BASED ON ACCELEROMETER AND GYROSCOPE**

Падіння є поширеною і істотною причиною травми у дорослих людей похилого віку, що часто призводить до інвалідності та смерті. Мета цього дослідження полягає у розробці, оптимізації та оцінці ефективності алгоритму виявлення падіння на основі сенсорної системи смарт-годинника Hexiwear, що складається з 3-х осевого акселерометра та гіроскопа. Частина даних була використана для розробки алгоритму виявлення падіння, включаючи дослідження критичних значень датчиків, а решту набору даних було використано для оцінки алгоритму чутливості та специфічності.

Ключові слова: оптимізація, критичні порогові значення, прискорення, кутова швидкість.

Рис:3, табл:3

Fall is a common and significant cause of trauma in older adults, which often leads to disability and death. The purpose of this study is to develop, optimize and evaluate the effectiveness of the fall detection algorithm based on the sensory system of the smart-clock Hexiwear, consisting of a 3-axis accelerometer and a gyroscope. Part of the data was used to develop a fall detection algorithm, including the study of critical sensor values, and the rest of the data set was used to evaluate the sensitivity and specificity algorithm.

Keywords: optimization, critical thresholds, acceleration, angular velocity.

Актуальність теми дослідження. Падіння є найбільш істотними причинами травм в літньому віці. Внаслідок падінь виникає багато порушень, які можуть призвести до смерті через ускладнення, такі як інфекція або пневмонія. Автоматичне виявлення падіння є активною областю досліджень тому, що після падіння люди похилого віку зазвичай не мають змоги самотужки викликати допомогу.

Постановка проблеми. Реалізація ефективного алгоритму виявлення падінь дозволить підвищити ефективність систем для моніторингу стану здоров'я людей похилого віку.

Аналіз існуючих досліджень. Багато досліджень, які використовують акселерометри, в основному використовують зміни величини прискорення для визначення падіння. Коли прискорення перевищує критичну величину, падіння виявляється [1][2]. Однак, орієнтування лише на велике прискорення, може спричинити багато помилкових спрацьовувань, оскільки інші дії, такі як сидіння, біг та стрибки, також можуть призвести до значного зростання прискорення. Інші алгоритми виявлення падіння залежать від виявлення орієнтації тіла після падіння. Проте ці стратегії можуть бути менш ефективними, коли положення людини не є горизонтальним. В даній статті розглянуто використання комбінації датчиків

акселерометра та гіроскопа для надійного виявлення падіння. Акселерометр надає цінну інформацію щодо інерційних змін в організмі через імпульс, гіроскоп надає унікальну інформацію про швидкість обертання тіла під час падіння. Падіння забезпечує як високе прискорення, так і високі кутові швидкості, комбінація яких не спостерігається під час звичайної щоденної діяльності.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Використання комбінації показників датчиків акселерометра та гіроскопа дозволить підвищити ефективність роботи алгоритму падіння

Постановка завдання. Основною темою даної статті є розробка та оптимізація алгоритму надійного виявлення падіння, одночасно оптимізуючи чутливість та специфічність.

Викладення основного матеріалу. Для зняття показників датчиків використовується смарт-годинник Hxwear. Алгоритм виявлення базується на простому методі виявлення похибки, що використовує порогові значення акселерометра, знайдені в літературі. Порогове значення гіроскопа було визначено експериментально, використовуючи попередні зібрані дані. Дані збираються та перевіряються в спеціально розробленому мобільному додатку для Hxwear. Параметри, що використовуються в аналізі, наступні: сума вектору прискорення A_{acc} , що містить як статистичні, так і динамічні показники показники прискорення, обчислюються з зібраних даних використовуючи формулу

$$A_{acc} = \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2 + (A_z)^2}, \quad (1)$$

де параметри A_x , A_y , A_z – прискорення в 3х напрямках. Схожим чином, кутова швидкість обчислюється з вибірки даних наступним чином:

$$\omega = \sqrt{(\omega_x)^2 + (\omega_y)^2 + (\omega_z)^2}, \quad (2)$$

де ω_x , ω_y , ω_z – кутові швидкості в 3х напрямках. Коли об'єкт падає, прискорення швидко змінюється, а кутова швидкість створює різні сигнали вздовж напрямку падіння. Потім критичні порогові значення в прискоренні та кутовій швидкості використовуються для визначення події падіння. Ці критичні порогові значення є 2х видів: Lowerfallthreshold (LFT) – локальний мінімум, та Upperfallthreshold (UFT) – локальний максимум. В даній статті для виявлення падіння використовуються LFT_{acc} та UFT_{acc} в комбінації з UFT_{gyro} . Алгоритм виявлення падіння зображено на рис.1.

Ефективність запропонованого алгоритму оцінюється шляхом вимірювання чутливості та специфічності, яка зазвичай визначається як

$$Sensitivity = \frac{No.TP}{No.TP+No.FN} \quad (3), \quad Specificity = \frac{No.TN}{No.TN+No.FP} \quad (4)$$

де No.TP (truepositive) – падіння відбувається, пристрій фіксує його, No.FP (falsepositive) – пристрій фіксує падіння, але воно не відбувається, No.TN (truenegative) – нормальний рух, падіння не фіксується, No. FN (falsenegative) – падіння відбувається, пристрій не фіксує його. Труднощі полягають у визначенні оптимальних порогових значень для LFT_{acc} , UFT_{acc} та UFT_{gyro} . Неправильно встановлений пороговий вибір може призвести до збільшення випадків помилкових спрацьовувань, виявлених під час щоденних дій, що призводить до зниження специфічності. Крім того, занадто жорсткий відбір порогу може призвести до несправності виявлення падіння, що в цілому призводить до збільшення помилко-

вих негативів та зниження чутливості системи. Багато алгоритмів експериментально визначають порогові значення [3] Щоб оптимізувати пороги, розраховується чутливість та специфічність для всіх можливих значень порогових значень за експериментальними даними. Чутливість зворотно пов'язана з специфікою в тому сенсі, що чутливість зростає, коли специфічність зменшується в різних порогових межах. Характерна крива характеристик приймача відображає компроміс між чутливістю (осі x) та специфікою (вісь y). Оптимальним порогом є точка, яка може забезпечити мінімальну відстань між точкою (0, 1) і собою [4]. Відстань визначається на рис.4

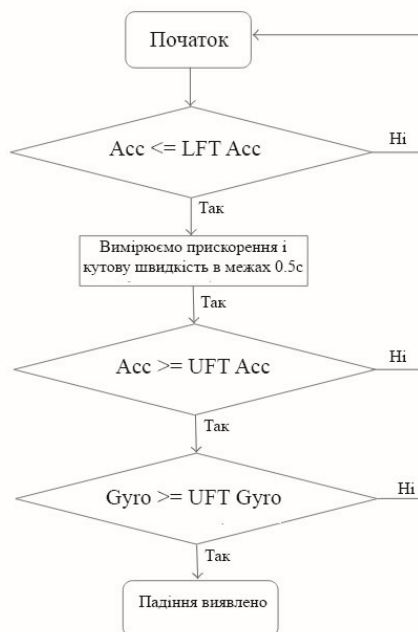


Рис. 1. Алгоритм виявлення падіння

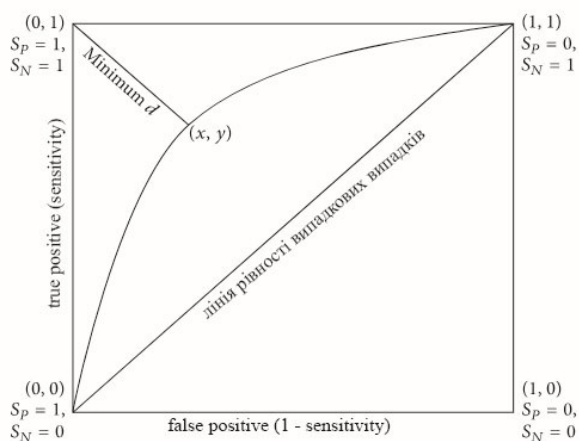


Рис. 2. Крива ПРХ

де, відповідно до чутливості та специфічності:

$$d_T = \sqrt{(1 - S_N^2) + S_p^2} \quad (5)$$

Результати. На рис.3 зображені показники Асс та ω для різних активностей. Також показані порогові значення для LFT_{Acc} , UFT_{Acc} та UFT_{gyro} щоб визначити падіння. Виявлені події, які задовольняють кожному з компонентів алгоритму, показані внизу. Падіння визначається, коли в межах вікна падіння визначено всі 3 порогові значення.

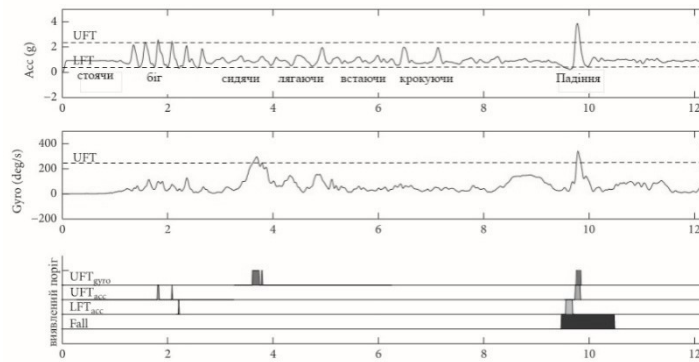


Рис. 3. Показники гіроскопа та акселерометра для різних активностей

З отриманих експериментальних даних, підмножина аналізується для ідентифікації LFT_{Acc} , UFT_{Acc} та UFT_{gyro} . Після цього інші дані використовуються для перевірки для визначення чутливості та специфічності алгоритму. В таблиці 1 представлено резюме критичних порогових значень для LFT_{Acc} , UFT_{Acc} та UFT_{gyro} , включаючи середню $\pm$ стандартну похибку, порогове значення в верхній та нижній 90% довірчих межах та 99% верхньої та нижньої межі достовірності.

Таблиця 1

Критичні порогові значення показників акселерометра та гіроскопа

	LFT_{Acc} (g)	UFT_{Acc} (g)	UFT_{gyro} ($^{\circ}/s$)
Середня $\pm$ стандартна помилка	0.18 ± 0.06	3.27 ± 0.38	382.1 ± 98.9
Ліміт нижче 90%	0.10	2.77	254.52
Ліміт вище 90%	0.27	3.76	509.61
Ліміт нижче 99%	0.03	2.37	151.69
Ліміт вище 99%	0.33	4.16	612.43

Для підвищення точності системи верхня межа становить від 90% до 99% (0,27 g-0,33 g) для LFT_{Acc} , а нижня межа між 90% та 99% (2,37 g-2,77 g) для UFT_{Acc} та (151,7-254,5 $^{\circ} / c$) для UFT_{gyro} використовуються для алгоритму виявлення падіння. Для оптимізації порогових значень, що використовуються для остаточного алгоритму, запропонований алгоритм запускається на різних рівнях для діапазонів, заданих значенням,, і для комбінованого алгоритму розраховуються значення чутливості та специфічності. Оскільки ціль дослідження полягає у оптимізації алгоритму з цілеспрямованою точністю понад 90% як для чутливості, так і для специфічності, спочатку були обрані три пороги: 0,26 g, 2,77 g та 254,5 $^{\circ}/сек$, відповідно аналіз з експериментальних даних. Потім кожен поріг змінюється для перелічених вище діапазонів та розраховується чутливість та специфічність. З кривих ПРХ вибирається

оптимальний поріг, який мінімізує відстань d . Таблиця 2 наводить короткий виклад результатів для чутливості та специфічності падіння без (наприклад, тільки акселерометра) та з включенням показників гіроскопа. У Оскільки пороги встановлені до бажаних рівнів довіри, стратегія оптимізації не реалізується.

Таблиця 2

Результати чутливості та специфічності падіння

Рівень довіри	Акселерометр без гіроскопа		Акселерометр з гіроскопом	
	90%	99%	90%	99%
Чутливість	83.56%	98.75%	81.37%	96.55%
Специфіка	96.12%	75.93%	99.38%	89.50%

Результати показують, що підвищення рівня довіри з 90% до 99% підвищує чутливість з 83,56% до 98,75%, як очіувалося, при цьому різко знижується специфічність (від 96,12% до 75,93%) для алгоритму лише з акселерометром. Ці результати схожі з результатами інших [9, 10]. Додавання інформації гіроскопа покращує специфіку шляхом здатності диференціювати падіння від інших активностей. Це досягається з трохи зменшеною чутливістю в порівнянні з методами, де тільки акселерометр. Коли критичні пороги встановлюються та оптимізуються за допомогою ПЧХ-аналізів, можна досягти підвищеної специфічності, одночасно досягти високого рівня чутливості для алгоритмів, що використовують тільки акселерометр та комбіновану стратегію акселерометра та гіроскопа (табл.3). Для комбінованого датчика акселерометра та гіроскопа+оптимізаційна стратегія, чутливість та специфічність для виявлення падіння склали 96,3% та 96,2%, відповідно.

Таблиця 3

Результати чутливості та специфічності з урахуванням стратегії оптимізації

	Акселерометр без гіроскопа	Акселерометр з гіроскопом
Чутливість	97.36%	96.3%
Специфіка	82.72%	96.2%

Висновки. У цьому дослідженні, після схеми оптимізації з використанням кривих ROC та ітеративних аналізів чутливості та специфічності було визначено критичні пороги для, LFT_{Acc} , UFT_{Acc} та UFT_{gyro} , що одночасно призводять до високої чутливості та специфічності виявлення падіння. Ці оптимізовані значення становили 0,30g-0,35g, 2,4g та 240 °/сек, відповідно. Результати демонструють ефективність комбінованого алгоритму акселерометра та гіроскопа, який оптимізований для чутливості та специфічності в порівнянні з традиційними лише акселерометричними стратегіями виявлення падіння. Оптимізована комбінована схема сенсора забезпечує як високу чутливість (96,3%), так і високу специфічність (96,3%), одночасно, набагато вищі, ніж попередні результати, про які йшлося в літературі. Збільшена чутливість досягається шляхом включення інформації про гіроскоп, що забезпечує цінні додаткові відомості про обертання тіла, з метою диференціювання події падіння від інших подій, таких як біг та стрибки. Стратегія оптимізації призводить до

різкого підвищення специфічності, а лише трохи жертвує чутливістю до виявлення падіння [5]. Даний алгоритм був реалізований та протестований при розробці системи для догляду за старими людьми HexiHexi. Код проекту HexiHexi опубліковано на порталі Github для проектів з відкритим вихідним кодом [6]

Список літератури

1. U. Lindemann, A. Hock, M. Stuber, W. Keck, and C. Becker, "Evaluation of a fall detector based on accelerometers: a pilot study," *Medical and Biological Engineering and Computing*, vol. 43, no. 5, pp. 548–551, 2005.
2. M. Kangas, A. Konttila, P. Lindgren, I. Winblad, and T. Jämsä, "Comparison of low-complexity fall detection algorithms for body attached accelerometers," *Gait & Posture*, vol. 28, no. 2, pp. 285–291, 2008.
3. C. Dinh, D. Tantinger, and M. Truck, "Automatic emergency detection using commercial accelerometers and knowledge," *Computers in Cardiology*, vol. 36, pp. 485–488, 2009.
4. R. Kumar and A. Indrayan, "Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers," *Indian Pediatrics*, vol. 48, no. 4, pp. 277–287, 2011.
5. Quoc T. Huynh, Uyen D. Nguyen, Lucia B. Irazabal, Nazanin Ghassemian, Binh Q. Tran "Optimization of an Accelerometer and Gyroscope-Based Fall Detection Algorithm", *Journal of Sensors*, vol. 2015, pp. 1-8, 2015.
6. HexiHexionGitHub [Електронний ресурс] 20.02.2018– Режим доступу: URL: <https://github.com/RadMushroom/HexiHexi>

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Гордієнко Юрій Григорович - професор, доктор технічних наук, кафедра обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Gordienko Yuri Grygorovych - professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

E-mail: yuri.gordienko@gmail.com

Бугай Сергій Васильович - студент, кафедра обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Buhai Serhii Vasyliovych - student, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

E-mail: sergeybugay94@gmail.com

Serhii Buhai, Yuri Gordienko

OPTIMIZATION OF THE ALGORITHM OF FALL IDENTIFICATION BASED ON ACCELEROMETER AND GYROSCOPE

Relevance of research topic. Falls are the most significant causes of trauma in the elderly. As a result of falls, there are many disorders that can lead to death due to complications such as infection or pneumonia. Automatic fall detection is an active area of research.

Formulation of the problem. Absence of optimal algorithm for drop detection.

Analysis of existing research. Many studies using accelerometers mainly use changes in the magnitude of acceleration to determine the incidence. When the acceleration exceeds the critical value, the fall manifests itself. However, focusing only on great acceleration can cause a lot of false positives, as other actions, such as sitting, running and jumping, can also lead to a significant increase in acceleration.

Selection of unexplored parts of the general problem. This article is devoted to the development of a fall detection algorithm using a combination of accelerometer and gyroscope.

Task objectives. The challenge is to create an optimal algorithm that, when used, will show high recognition results of the fall.

Presentation of the main material. An analysis of the algorithm's work for various indicators of threshold values was conducted. Approaches are described for optimization of its work. The results showed high recognition accuracy.

Conclusions. Different methods of optimization of the algorithm are analyzed. The results of experiments are presented and the analysis of the following steps is presented.

Keywords: optimization, critical thresholds, acceleration, angular velocity.