

Scientific journal  
**PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION**  
 Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)  
 ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал  
**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА**  
 Видається з 2013.

<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>



*Болілий В.О., Лунгол О.М., Суховірська Л.П. Дослідження алгоритму роботи крокоміра з використанням інерційних датчиків MEMS. Фізико-математична освіта. 2020. Випуск 3(25). Частина 2. С. 15-20.*

*Bolilyi V., Lunhol O., Sukhovirska L. Investigation of the pedometer operation algorithm using MEMS inertial sensors. Physical and Mathematical Education. 2020. Issue 3(25). Part 2. P. 15-20.*

DOI 10.31110/2413-1571-2020-025-3-019  
 УДК 004.4

**В.О. Болілий**

Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені  
 Володимира Винниченка, Україна

*vasyl.bolilyj@gmail.com*

ORCID: 0000-0002-1923-1058

**О.М. Лунгол**

Донецький національний медичний університет, Україна  
*olyalungol@gmail.com*

ORCID: 0000-0001-8128-0072

**Л.П. Суховірська**

Донецький національний медичний університет, Україна  
*suhovirskaya2011@gmail.com*

ORCID: 0000-0003-0353-9354

## ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ КРОКОМІРА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ MEMS

### АНОТАЦІЯ

**Формулювання проблеми.** В даній роботі розглядається поняття «мобільний спорт» – обчислення, які застосовуються для спортивної галузі. Їх основні завдання – це збір та аналіз даних, моделювання та симуляція процесів; робота з базами даних та експертними системами. Впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в спортивну галузь – це об'єктивна потреба, що вимагає прояву мобільності, ініціативи і творчості. При розробці мобільного додатку для спортивної галузі необхідно врахувати різні технічні та медико-біологічні параметри. Інноваційний прогрес суспільства вимагає розробки та аналізу алгоритмів роботи сучасних крокомірів на основі мікроелектромеханічних систем, інерціальних датчиків і складного програмного забезпечення.

**Матеріали і методи.** У дослідженні використано 3-осьові акселерометри типу ADXLxxx (а саме Акселерометр ADXL345), які виготовляє фірма Analog Devices, цифровий фільтр. Лінійний реєстр зсуву та динамічний поріг застосовано для визначення здійснення кроку. Для досягнення поставленої мети були використані такі методи дослідження: емпіричні (спостереження, порівняння), теоретичні (аналіз матеріалів, ідеалізація, уявний експеримент) та комп'ютерне моделювання.

**Результати.** Побудований алгоритм роботи крокоміра, визначено осі прискорення руху, дані з яких мають використовуватись для базових обчислень. Обґрунтовано, охарактеризовано та запропоновано формули для обчислення параметрів «крок», «відстань»; описано вибір осей прискорення, наведено приклад вимірювання прискорень руху людини, описано правила знаходження середніх значень з осей прискорення, проаналізовано параметр «відстань», лінійний реєстр зсуву та динамічний поріг здійснення кроку, розглянуто будову лічильнику кроків.

**Висновки.** Результати проведеного дослідження показали ефективність розробленого спортивного мобільного додатку на платформі iOS мовою Swift з роботи крокоміра на базі 3-осьового акселерометру типу ADXL345, як дієвої моделі для поліпшення фітнес навичок користувачів, персоналізації навантаження та систематизації режиму тренувань і активної життєдіяльності.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** інерціальний датчик, акселерометр, крокомір, крок, рух.

### ВСТУП

**Постановка проблеми.** Сучасний спорт займає важливе місце як у фізичній, так і в духовній культурі суспільства (Tudor-Locke, 2004). Спорт як суспільне явище виконує різноманітні соціальні функції, а заняття спортом розглядається не тільки як спосіб зміцнення та збереження здоров'я, але і як превентивний захід, спрямований на запобігання алкоголізації, наркотизації та інших антисоціальних проявів поведінки, особливо у молодіжному середовищі (Bravata, 2007).

Як результат активного впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в усі сфери нашого життя, в спортивній галузі почали активно використовувати мобільні додатки. Спортивні мобільні додатки досить популярні серед бажаючих вести здоровий спосіб життя і займатися спортом, оскільки допомагають систематизувати режим тренувань і активної життєдіяльності.

На сьогодні не існує однозначного визначення поняття «мобільний спорт». У науковому середовищі під поняттям «мобільний спорт» розуміють обчислення, які застосовуються для спортивної галузі (Tudor-Locke, 2004). Ця інформатика для спорту являє собою міждисциплінарну галузь, яка тісно пов'язана з дисциплінами, як-от: фізика, математика, фізіологія, біохімія, психологія, теорія навчання, спортивна медицина та інші (Bravata, 2007). Її основні завдання – це збір та аналіз даних, моделювання та симуляція процесів; робота з базами даних та експертними системами.

Спорт – це не тільки основа здорового майбутнього кожної нації, але й галузь, яка суттєво впливає та формує валовий внутрішній продукт (ВВП) країни. Показник ВВП України, що стосується спорту за 2019 рік на 1 млрд. грн. перевищив заплановані цифри (більше 15 %). Це свідчить про зростання ринку та хороші перспективи IT-галузі «Мобільний спорт». Серед усіх девайсів, які були використані для розробки «спортивних додатків», частка смартфонів складає 35 %. Це пов'язано з тим, що в сучасних смартфонах поєднані телефон, mp3 плеєр, акселерометр та інші важливі функції. Саме через це смартфони стали орієнтиром для розробки «спортивних додатків».

**Аналіз актуальних досліджень.** Інтенсивність життя сучасної людини, перенасичення інформацією є настільки високою, що, на думку В. Ашаніна, Л. Філенко, Г. Полторацької, потребує залучення додаткових енергетичних ресурсів організму. Ці ресурси слід систематично поповнювати та відновлювати для підтримки здоров'я. На думку Piercy K.L., Troiano R.P., Ballard R.M., Carlson S.A., Fulton J.E., Galuska D.A. та інших авторів інформаційні технології дозволяють оптимізувати взаємодію між тренером або спортивним лікарем та спортсменом (Tudor-Locke, 2004). У дослідженнях Zhou M., Fukuoka Y., Mintz Y., Goldberg K., Kaminsky P., Flowers E. вказується, що тренер завдяки комп'ютерним програмам володіє різноманітною інформацією про стан людини, вся інформація, що оперативно надається під час тренування, дозволяє планувати індивідуально для кожної людини фізичне навантаження, підібрати комплекси вправ, комбінації технічних елементів тощо (Bravata, 2007).

Особливо актуальним для підготовки сучасних спортсменів, на думку В. Пасько, А. Ровного, Chang Y.K., Etnier J.L., Wiemeyer J. та інших вчених, є застосування мобільних додатків для оперативного керування тренуваннями. У дослідженнях В. Голохи, В. Романенко, Л. Подрігайло, С. Єрмакова, Jennifer L. Etnier, Yu-Kai Chang, Ho C.L., Fu Y.C., Lin M.C., Chan S.C., Hwang B., Jan S.L. та ін. авторів приводяться розробки мобільних щоденників тренера та спортсменів, програми для отримання індивідуальних показників спортсменів та аналізу результатів тренування (Tudor-Locke, 2004; Bravata, 2007). Автори надають розгорнуте обґрунтування доцільності застосування сучасних інформаційних технологій у тренувальному процесі та доводять їх безпосередній вплив на функціональні можливості організму спортсменів.

**Мета статті.** Дослідити використання інерційних датчиків MEMS у крокомірах на прикладі 3-осьового акселерометру типу ADXLxxx, побудувати алгоритм роботи крокоміра, визначити осі прискорення руху, дані з яких будуть використовуватись для базових обчислень.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети були використані такі методи дослідження:

- теоретичні – аналіз наукової літератури з проблеми інформатизації спортивної галузі та розробки й використання мобільних додатків для оперативного керування фізичного навантаження; аналіз літератури із спортивної медицини, анатомії та фізіології спорту для визначення доцільності застосування сучасних інформаційних технологій у тренувальному процесі. Проведення уявного експерименту із аналізом результатів дослідження;
- емпіричні – порівняння спортивних мобільних програм для отримання індивідуальних показників спортсменів та аналізу результатів тренування;
- комп'ютерне моделювання – моделювання фізичної активності людини в процесі ходьби із обчисленням параметрів «крок» та «відстань».

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні крокоміри розробляються на основі мікроелектромеханічних систем (MEMS), інерціальних датчиків і складного програмного забезпечення для виявлення кроків (*Pedometers, 2020*). Саме інерціальні датчики MEMS дозволяють значно точніше ідентифікувати кроки та значно зменшувати кількість помилок в розрахунках (Schipperijn, 2014). Через низьку вартість, мінімальні потреби щодо простору й енергії інерційні датчики MEMS використовуються у крокомірах, які інтегруються в портативні електронні пристрої: музичні плеєри, мобільні телефони та ін. Для них ідеально підходять маленькі, тонкі, малопотужні, 3-осьові акселерометри типу ADXLxxx, які виготовляє фірма Analog Devices (Schipperijn, 2014; Lehman, 2014).

Для аналізу бігу або ходьби вибираємо параметр «прискорення». Акселерометр ADXL345 здатен визначити прискорення в процесі руху людини вздовж осей  $x$ ,  $y$  та  $z$ , зокрема: вздовж вертикальної осі, вздовж осі руху вперед та вздовж бічної осі (Naqvi, 2012).

Приклад вимірювання прискорень людини в процесі бігу вздовж вертикальної осі (осі  $x$ ), вздовж осі руху вперед (осі  $y$ ) та вздовж бічної осі (осі  $z$ ) демонструється на рис. 1. Незалежно від того, як носить крокомір, принаймні одна вісь не матиме відносно великих періодичних змін прискорення. Тому для виявлення циклу ходьби або бігу потрібен динамічний алгоритм для виявлення прискорення по всім трьом осям (Carola, 2015).

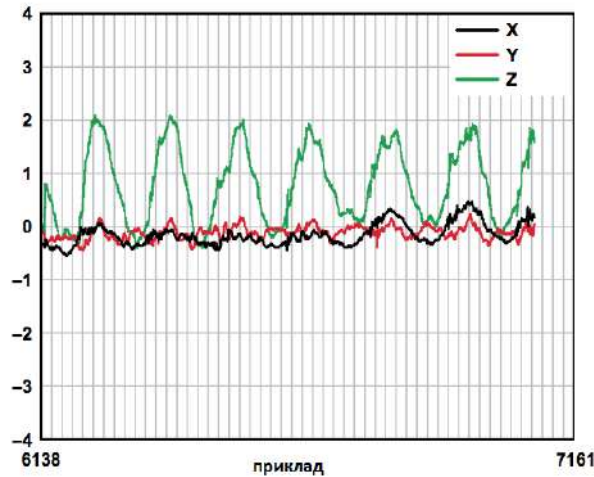


Рис. 1. Прискорення на осях x, y та z у процесі бігу

Для згладжування сигналів потрібен цифровий фільтр (Naqvi, 2012). З цієї метою можна використати чотири регістри та підсумовуючий блок (рис. 2).

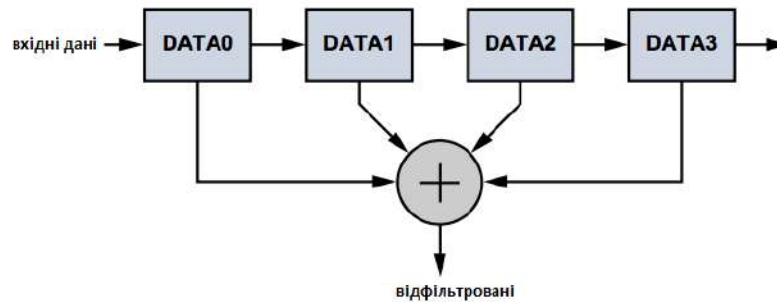


Рис. 2. Цифровий фільтр

Система оновлює максимальні та мінімальні значення з осей прискорення через кожні 50 вимірювань. Середнє значення – називають динамічним пороговим рівнем. Якщо зміни було впроваджено, то поріг – динамічний. Для подальшої фільтрації крім динамічного порогу використовується динамічна точність (рис. 3).

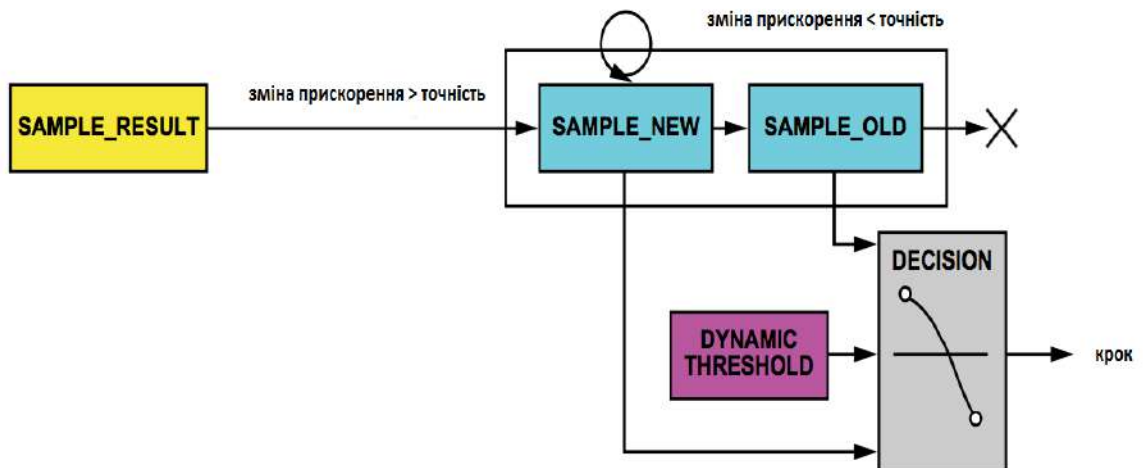


Рис. 3. Динамічний поріг та динамічна точність

Лінійний регістр зсуву та динамічний поріг використовуються для визначення здійснення кроку. Лінійний регістр зсуву складається з двох регістрів: sample\_new та sample\_old. Дані, які в них містяться, відповідно називаються sample\_new і sample\_old. Коли надходить новий зразок даних, sample\_new зсувається в регістр sample\_old. Однак переміщення sample\_result у sample\_new залежить від стану, зокрема: якщо змінна «прискорення» перевищує змінну «точність», то sample\_result переміщується в sample\_new; інакше sample\_new – незмінна. Таким чином, група регістр зсуву здатна усунувати високочастотний шум і уточнювати результат.



В режимі FIFO дані, що отримані з осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , зберігаються в FIFO. Коли кількість зразків у FIFO досягне кількості, заданих у зразках бітів регістру FIFO\_CTL, відбувається переривання водяних знаків. Процесор необхідний тільки для отримання даних з ADXL345 кожні 0,2 с; він починає роботу після переривання водяного знаку.

#### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в спортивну галузь – це об'єктивна потреба, що вимагає прояву мобільності, ініціативи і творчості. При розробці мобільного додатку для спортивної галузі ми врахували різні технічні та медико-біологічні параметри. Важливим критерієм вибору мобільного додатку для будь-якого користувача є точність вимірювань в залежності від виду активності, компактність та зручність. Як результат, проаналізований алгоритм роботи крокоміра для підрахунку кроків зроблених користувачем з урахуванням параметрів: крок, відстань, швидкість. Розроблена, для девайсів, складова спортивного мобільного додатку на платформі iOS мовою Swift з роботи крокоміра на базі 3-осьового акселерометру типу ADXL345 пройшла апробацію студентами Донецького національного медичного університету під час лабораторного практикуму з медичної інформатики. Отримані та опрацьовані статистичні дані підтвердили ефективність використання спортивних мобільних додатків і є дієвою моделлю для поліпшення фітнес навичок користувачів, персоналізації навантаження та систематизації режиму тренувань і активної життєдіяльності.

Перспективи подальших розробок вбачаються у створенні мобільного додатку для контролювання фізичної активності людини в процесі ходьби; розрахунку ідеальної кількості калорій індивідуально до вимог та фізичних даних користувача; додання спожитих/витрачених калорій; додання спожитих рідин; додання активності та представлення результатів проведених досліджень щодо його впровадження.

#### Список використаних джерел

1. Capela N.A, Lemaire E. D., Baddour N. Novel algorithm for a smartphone-based 6-minute walk test application: algorithm, application development, and evaluation. 2015. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4343050/> (Дата звернення 20.02. 2020).
2. Lehman D. Low power pedometers using MSP430 MCU. 2014. URL: <http://www.ti.com/lit/an/slaa599/slaa599.pdf> (Дата звернення 15.05.2020).
3. Naqvi N. Z. et al. Step Counting Using Smartphone-Based Accelerometer. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*. Vol. 4 No. 05. 2012. P. 675 – 681. URL: <http://www.enggjournals.com/ijcse/doc/IJCSE12-04-05-266.pdf> (Дата звернення 09.07.2020).
4. Pedometer. URL: [https://www.ee.iitb.ac.in/uma/~wel/wel45/public\\_html/edl08a/edl08a\\_d09.pdf](https://www.ee.iitb.ac.in/uma/~wel/wel45/public_html/edl08a/edl08a_d09.pdf) (Дата звернення 15.05.2020).
5. Pedometers. Woodford Ch. URL: <http://www.explainthatstuff.com/how-pedometers-work.html> (Дата звернення 12.02.2020).
6. Schipperijn J., Kerr J., Duncan S., Madsen Th., Demant Klinker Ch., Troelsen J. Dynamic Accuracy of GPS Receivers for Use in Health Research: A Novel Method to Assess GPS Accuracy in Real-World Settings. *Front Public Health*. 2014. V. 2: 21. DOI: 10.3389/fpubh.2014.00021. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3948045/> (Дата звернення 10.03. 2020).
7. Tudor-Locke C., Williams J. E., Reis J. P., Pluto D. Utility of pedometers for assessing physical activity. *Sports Medicine*, 2004. V. 34(5), p. 281-291.
8. *Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review*: article / Bravata D. M. et al. *Jama*, 2007. V. 298(19), p. 2296-2304.

#### References

1. Capela, N.A, Lemaire, E. D., & Baddour, N. (2015). *Novel algorithm for a smartphone-based 6-minute walk test application: algorithm, application development, and evaluation* Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4343050/> [in English].
2. Lehman, D. (2014). *Low power pedometers using MSP430 MCU* Retrieved from <http://www.ti.com/lit/an/slaa599/slaa599.pdf> [in English].
3. Naqvi, N. Z. et al. (2012). *Step Counting Using Smartphone-Based Accelerometer* Retrieved from <http://www.enggjournals.com/ijcse/doc/IJCSE12-04-05-266.pdf> [in English].
4. Pedometer. Retrieved from [https://www.ee.iitb.ac.in/uma/~wel/wel45/public\\_html/edl08a/edl08a\\_d09.pdf](https://www.ee.iitb.ac.in/uma/~wel/wel45/public_html/edl08a/edl08a_d09.pdf) [in English].
5. Pedometers. Woodford Ch. Retrieved from <http://www.explainthatstuff.com/how-pedometers-work.html> [in English].
6. Schipperijn, J., Kerr, J., Duncan, S., Madsen, Th., Demant Klinker, Ch., & Troelsen, J. (2014) *Dynamic Accuracy of GPS Receivers for Use in Health Research: A Novel Method to Assess GPS Accuracy in Real-World Settings* Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3948045/> (10.03.2020) [in English].
7. Tudor-Locke, C., Williams, J. E., Reis, J. P., & Pluto, D. (2004). Utility of pedometers for assessing physical activity. *Sports Medicine*, 34(5), 281-291 [in English].
8. *Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review*: article / Bravata, D. M., Smith-Spangler, C., Sundaram, V., Gienger, A. L., Lin, N., Lewis, R., ... & Sirard, J. R. (2007). *Jama*, 298(19), 2296-2304 [in English].

## INVESTIGATION OF THE Pedometer Operation Algorithm Using MEMS Inertial Sensors

Vasyl Bolilyi

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University, Ukraine

Olha Lunhol, Liudmyla Sukhovirska

Donetsk National Medical University, Ukraine

**Abstract.**

**Formulation of the problem.** This paper considers the concept of "mobile sport" – calculations that are used for the sports industry. Their main tasks are data collection and analysis, process modeling, and simulation; work with databases and expert systems. The introduction of modern information and communication technologies in the sports industry is an objective need that requires mobility, initiative, and creativity. When developing a mobile application for the sports industry, it is necessary to take into account various technical and medical-biological parameters. The innovative progress of society requires the development and analysis of algorithms for modern pedometers based on micro-electromechanical systems, inertial sensors sophisticated software.

**Materials and methods.** The study used 3-axis accelerometers type ADXLxxx (namely Accelerometer ADXL345), manufactured by Analog Devices, and a digital filter. The linear shift register and the dynamic threshold are used to determine the implementation of the step. The following research methods were used to achieve the goal of the article: empirical (observation, comparison), theoretical (analysis of materials, idealization, imaginary experiment), and computer modeling.

**Results.** The algorithm of pedometer operation is constructed, the axes of motion acceleration are determined, the data from which should be used for basic calculations. Formulas for calculating the parameters "step", "distance" is substantiated, characterized, and proposed; the choice of acceleration axes is described, an example of measuring human motion accelerations is given, the rules of finding average values from acceleration axes are described, the parameter "distance", linear shift register and dynamic step threshold are analyzed, the structure of step counter is considered.

**Conclusions.** The results of the study showed the effectiveness of the developed mobile application on the iOS platform in Swift language with the pedometer-based on a 3-axis accelerometer type ADXL345, as an effective model to improve user fitness skills, personalize workload and systematize training and active life.

**Keywords:** inertial sensor, accelerometer, pedometer, step, motion.