

## СИГНАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ

*В роботі наведено вирішується задача розроблення універсального сигнального перетворювача для побудови інтегрованих сенсорів в концепції синтезу даних (Data Fusion). Використання розробленого конвертора забезпечує широку функціональність щодо поєднання різних методів вимірювального перетворення та відповідність сучасним тенденціям розвитку мікроелектронної сенсоріки.*

*Ключові слова: сенсор, злиття даних, сигнальний перетворювач, програмована система.*

H. BARYLO, I. HELZHYNKYI, R. HOLYAKA, T. MARUSENKOVA  
Lviv Polytechnic National University

### SIGNAL CONVERTER FOR MICROELECTRONIC SENSOR DEVICES

*The present paper is devoted to the implementation of the signal converter of integrated sensors in the concept of data synthesis (Data Fusion), which is based on the process of integrating multiple data sources to obtain more consistent, accurate and useful information than that provided by any single data source. In sensory technology, the concept of data fusion involves the fusion of data of integrated heterogeneous sensors, ie different in essence measurement transformation of information sources. The problem of development of the universal hardware-software signal converter for construction of the integrated sensors is solved in work. The main requirements for such a transducer are a wide range of functionality for combining different methods of measuring transformation and compliance with modern trends in the development of microelectronic sensors. The functionality of the signal conversion is provided by the ability to implement the measurement conversion of the signal on the principle of "actuator-sensor" with different physical quantities - electric current, electric capacity, heat, light, magnetic field. Given the requirements for modern microcircuits, in particular for the sensing devices of the Internet of Things, the signal path of the synthesized sensors is implemented on the basis of PSoC family 5LP Family Cypress. The structure of the signal converter is developed on the basis of built-in PSoC elements which includes units of digital and analog systems, units of the microprocessor, matrices of volatile and nonvolatile memory, system resources, and also knots of programming and management of power consumption. To debug the developed hardware and software signal converter and implement integrated sensors based on it, software was developed with which you can perform dynamic reconfiguration of the system, specification of its components, set measurement modes and graphically display the results. Approbation of this system was carried out in the process of implementation of integrated sensors of thermal analysis, optoelectronics, magnetic tracking and impedance spectroscopy.*

*Keywords: sensor, Data Fusion, signal converter, programmable system.*

### Постановка проблеми

Основу сучасних мікроелектронних сенсорних пристроїв складають сигнальні перетворювачі, які реалізують вимірювальне перетворення сигналу з різними фізичними величинами – електричним струмом, електричною ємністю, теплом, світлом, магнітним полем тощо. Для забезпечення різних методів вимірювального перетворення та відповідно до сучасних тенденцій розвитку мікроелектронної сенсоріки виникає потреба у створенні нових підходів побудови функціональних сигнальних перетворювачів.

### Аналіз останніх джерел

Розвиток сучасної сенсорної техніки тісно пов'язаний з використанням новітніх технологій, зокрема, концепції інформаційних технологій – синтезу даних (Data Fusion) [1]. В узагальненому виді злиття даних представляється як процес інтеграції декількох джерел даних для отримання більш послідовної, точної та корисної інформації, ніж та, що надається будь-яким окремим джерелом даних [2]. Характерними прикладами галузей застосування технології злиття даних є системи прогнозування [3], розумні (смарт) повсюдні (всесущі) середовища (Smart Ubiquitous Environments), зокрема, Інтернет Речей IoT (Internet of Things) [4], системи навігації [5], засоби оброблення візуальної інформації, зокрема, в медицині [6], пристрої людино-машинного інтерфейсу та апаратура діагностики, зокрема, BCI (Brain Computer Interface) – інтерфейс мозок-комп'ютер [7] тощо.

В сенсорній техніці концепція злиття даних обумовила розвиток напрямку – синтез даних сенсорів (Sensor Data Fusion), чи в більш короткому понятті – синтез сенсорів (Sensor Fusion). Здебільшого під синтезом сенсорів розуміють злиття даних інтегрованих гетерогенних сенсорів (Heterogeneous Sensor Data Fusion), тобто різних за суттю вимірювального перетворення джерел інформації [8]. Серед основних тем наукових досліджень в цій галузі відзначимо: алгоритми злиття мультисенсорних даних [9], аналіз раціонального злиття суперечливих даних інтегрованих сенсорів [10], синтез мультисенсорних систем навігації [11] та моніторингу активності людей [12], алгоритмічні рішення та уніфікація фреймворку (Framework) інтегрованих сенсорів [13].

Визначальними вимогами до сучасних сенсорних пристроїв є відповідність їх сигнальних перетворювачів до концепції апаратно-програмної реалізації Систем на кристалі (Programmable System on Chip, PSoC). Такі сенсорні сигнальні перетворювачі, сучасним варіантом назви яких є сенсорний фронт-енд (Sensor Front-End) повинні забезпечувати функціонування при низьких напругах живлення, мінімальне енергоспоживання, універсальність, стабільність функціонування при зміні зовнішніх факторів, rail-to-rail режими роботи тощо. Крім того, в світлі сучасних тенденцій розвитку інформаційних систем, нове

покоління сенсорних пристроїв має відповідати концепціям Лабораторії на чіпі (Lab-on-Chip) [14] та Інтернету Речей (IoT, Internet of Things) [15].

**Метою роботи є:** побудова універсального апаратно-програмного сигнального перетворювача на основі основи PSoC сімейства 5LP для реалізації технології синтезу даних шляхом інтеграції джерел даних з різними фізичними величинами.

### Виклад основного матеріалу

У відповідності до сформульованої задачі в статті представлений подальший розвиток апаратно-програмних рішень синтезованих сенсорів на основі компонентів мікросхемотехніки. Враховуючи вимоги до сучасної мікросхемотехніки, зокрема до сенсорних пристроїв Інтернету Речей, сигнальний тракт синтезованих сенсорів реалізовано на основі PSoC сімейства 5LP Family Cypress Semiconductor Corporation [16]. До структури PSoC входять вузли цифрових та аналогових систем, вузли мікропроцесора, матриці енергозалежної та енергонезалежної пам'яті, системні ресурси, а також вузли програмування та керування енергоспоживанням. Основою цифрових вузлів є матриця універсальних цифрових блоків, спеціалізованих цифрових блоків, зокрема для реалізації інтерфейсів, таймерів, широтно-імпульсних модуляторів тощо. Аналоговими вузлами PSoC є блоки на перемикальних конденсаторах та блоки з неперервним сигнальним перетворенням, зокрема: операційні підсилювачі, компаратори, джерела опорної напруги на принципі забороненої зони, аналогові мультиплексори тощо. Вузли з'єднуються програмно конфігурованою мережею сигнальних ліній.

Визначальними компонентами системи PSoC5, на основі яких реалізовано сигнальний перетворювач (рис. 1), є: цифро-аналоговий перетворювач VDAC8, синтезуючий генератор Wave DAC8, таймер Timer, регістр керування Control Reg, подільник частоти Freq. Divider, мультифункціональний міксер Mixer, операційні підсилювачі Oamp, підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення PGA (Programmable Gain Amplifier), аналоговий мультиплексор AMux, аналого-цифрові перетворювачі ADC на основі дельта-сигма модулятора DelSig та регістра послідовного наближення SAR. Для реалізації ємнісних сенсорів використано компонент CapSense CSD, а сенсорів температури – компоненти вимірювального перетворення на терморезисторах RTD та термопарах Thermocouple.

З метою підвищення ефективності розробки високоточних сенсорів температури в системі PSoC5 передбачені компоненти вимірювального перетворення на терморезисторах RTD (рис. 2 а) та термопарах Thermocouple (рис. 2 б).

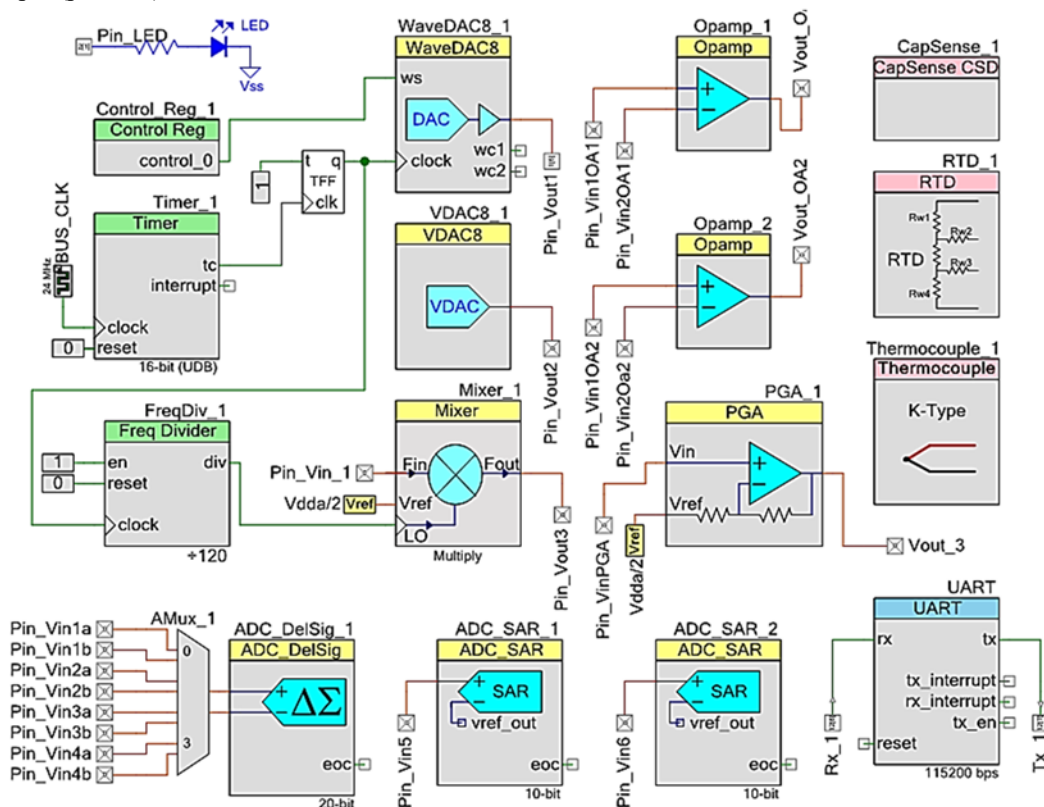


Рис. 1. Реалізація сигнального перетворювача на PSoC

Для підвищення точності вимірювання використовуються поліноміальна апроксимація функція перетворення. У вікнах конфігурування цих компонентів відображається розрахунок похибки вимірювання температурив залежності від діапазону вимірювання та параметрів апроксимації. Результат вимірювання температури отримується з використанням API функція та перетворень, зокрема:  $rtdRes = GetRTDRes(vRef)$ ;  $rtdTemp = RTD\_GetTemperature(rtdRes)$ ;  $decTemp = rtdTemp/100$ ;  $fracTemp = rtdTemp - (decTemp * 100)$ .

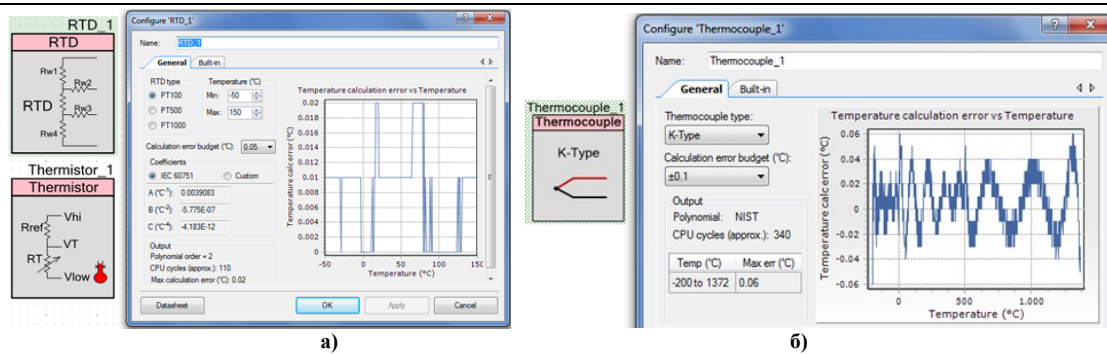


Рис. 2. Вигляд інтерфейсу налаштувань температурної корекції: а) – на терморезисторах; б) – на термопарі

### Експериментальні дослідження та приклади реалізації

Для налаштування розробленої апаратно-програмної системи сигнального перетворення та реалізації на ній інтегрованих сенсорів розроблено програмне забезпечення PSoC MS (PSoC Multi Sensor). Використання цього програмного забезпечення дозволяє проводити динамічне реконфігурування системи, специфікацію її компонентів, встановлювати режими вимірювання та графічно відображати отримані результати.

Апробація цієї системи була здійснена в процесі реалізації різноманітних інтегрованих сенсорів, зокрема, сенсорів термічного аналізу на принципі диференційної скануючої калориметрії (Differential Scanning Calorimetry), сенсорів просторового положення на принципі магнітного трекінгу (Magnetic Tracking), сенсорів оптоелектроніки (на оптопарах LED/OLED - фотодіод) та імпедансної спектроскопії (Impedance Spectroscopy).

Приклади використання представленої в роботі системи сигнального перетворення в калориметричних сенсорах представлено на рис. 19, а в сенсорах магнітного трекінгу – на рис. 20.

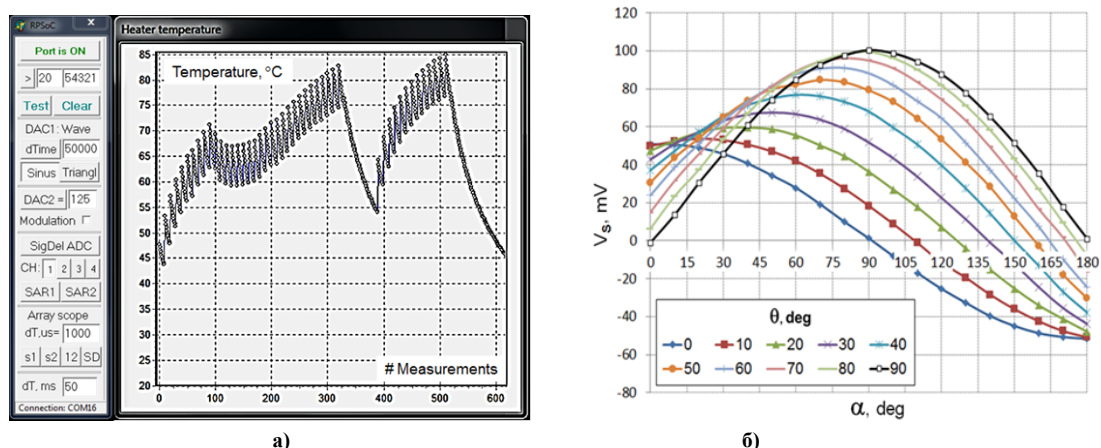


Рис. 3. Залежності вихідних сигналів: а) – калориметричного сенсора; б) – магнітного трекінгу

На рис. 4 а представлено результати вимірювання форм сигналу активації (зверху) та відгуку (знизу), що використовуються для розрахунку дійсної та уявної складових імпедансу. Приклад сформованої діаграми Найквіста за результатами вищезгаданих вимірювань представлено на рис. 4 б.

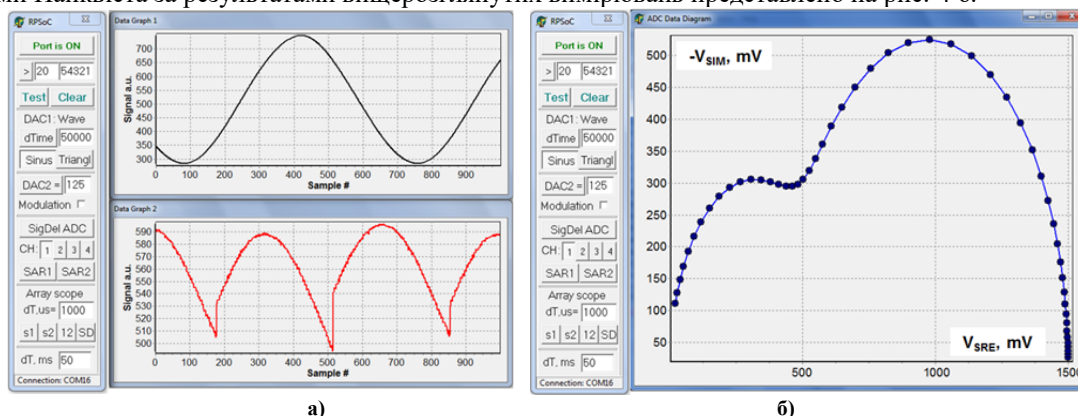


Рис. 4. Результати дослідження імпедансних характеристик: а) – сигнали активації та відгуку; б) – діаграма Найквіста

### Висновки

Розроблений сигнальний перетворення може бути використаний для побудови інтегрованих сенсорів з реалізацією технології синтезу даних з різними фізичними величинами – електричним струмом, електричною ємністю, теплом, світлом, магнітним полем.

### Література

1. Antoon Bronselaer, Daan Van Britsom, Guy De Tré. Propagation of Data Fusion // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering Year: 2015 , Volume: 27 , Issue: 5 Pages: 1330 – 1342.
2. Jens Fisseler, Imre Fehér. Data fusion with probabilistic conditional logic // Logic Journal of the IGPL Year: 2010 , Volume: 18 , Issue: 4 Pages: 488 – 507.
3. Kaibo Liu, Shuai Huang. Integration of Data Fusion Methodology and Degradation Modeling Process to Improve Prognostics // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering Year: 2016 , Volume: 13 , Issue: 1 Pages: 344 – 354.
4. Furqan Alam, Rashid Mehmood, Iyad Katib, Nasser N. Albogami, Aiiad Albeshri. Data Fusion and IoT for Smart Ubiquitous Environments: A Survey // IEEE Access Year: 2017, Volume: 5 Pages: 9533 – 9554.
5. Jiandong Zhao, Yuan Gao, Yunchao Qu, Haodong Yin, Yiming Liu, Huijun Sun. Travel Time Prediction: Based on Gated Recurrent Unit Method and Data Fusion // IEEE Access Year: 2018 , Volume: 6 Pages: 70463 – 70472.
6. Tülay Adali, Yuri Levin-Schwartz ,Vince D. Calhoun. Multimodal Data Fusion Using Source Separation: Application to Medical Imaging // Proceedings of the IEEE Year: 2015 , Volume: 103 , Issue: 9 Pages: 1494 – 1506.
7. Siamac Fazli, Sven Dähne ,Wojciech Samek, Felix Bießmann, Klaus-Robert Müller. Learning From More Than One Data Source: Data Fusion Techniques for Sensorimotor Rhythm-Based Brain Computer Interfaces // Proceedings of the IEEE Year: 2015 , Volume: 103 , Issue: 6 Pages: 891 – 906.
8. Zuozhu Liu, Wenyu Zhang, Shaowei Lin, Tony Q.S. Quek. Heterogeneous Sensor Data Fusion By Deep Multimodal Encoding // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing Year: 2017 , Volume: 11 , Issue: 3 Pages: 479 – 491.
9. Shesheng Gao, Yongmin Zhong, Wei Li. Random Weighting Method for Multisensor Data Fusion // IEEE Sensors Journal Year: 2011 , Volume: 11 , Issue: 9 Pages: 1955 – 1961.
10. Manish Kumar, Devendra P. Garg, Randy A. Zachery. A Method for Judicious Fusion of Inconsistent Multiple Sensor Data // IEEE Sensors Journal Year: 2007 , Volume: 7 , Issue: 5 Pages: 723 – 733.
11. Dorota A. Grejner-Brzezinska, Charles K. Toth, Terry Moore, John F. Raquet, Mikel M. Miller, Allison Kealy. Multisensor Navigation Systems: A Remedy for GNSS Vulnerabilities // Proceedings of the IEEE Year: 2016 , Volume: 104 , Issue: 6 Pages: 1339 – 1353.
12. Yan Wang, Shuang Cang, Hongnian Yu. A Data Fusion-Based Hybrid Sensory System for Older People's Daily Activity and Daily Routine Recognition // IEEE Sensors Journal Year: 2018 , Volume: 18 , Issue: 16 Pages: 6874 – 6888.
13. Pei-Hsuan Tsai, Ying-Jun Lin, Yi-Zong Ou, Edward T.-H. Chu, Jane W. S. Liu. A Framework for Fusion of Human Sensor and Physical Sensor Data // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems Year: 2014 , Volume: 44 , Issue: 9 Pages: 1248 – 1261.
14. C. Christopher Stemple, Hyuck-Jin Kwon, Jeong-Yeol Yoon. Rapid and Sensitive Detection of Malaria Antigen in Human Blood With Lab-on-Chip // IEEE Sensors Journal. – 2012. Vol. 12 , Issue: 9. – PP. 2735 – 2736.
15. Bassi, M. Bauer, M. Fiedler, Th. Kramp, R. van Kranenburg, S. Lange, S. Meissner. Enabling Things to Talk: Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model. – Springer. – 2013. – 325 P.
16. PSoc® 5LP: CY8C52LP Family Datasheet: Programmable System-on-Chip. <http://www.cypress.com/documentation/datasheets/psoc-5lp-cy8c52lp-family-datasheet-programmable-system-chip-psoc>.

### References

1. Antoon Bronselaer, Daan Van Britsom, Guy De Tré. Propagation of Data Fusion // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering Year: 2015 , Volume: 27 , Issue: 5 Pages: 1330 – 1342.
2. Jens Fisseler, Imre Fehér. Data fusion with probabilistic conditional logic // Logic Journal of the IGPL Year: 2010 , Volume: 18 , Issue: 4 Pages: 488 – 507.
3. Kaibo Liu, Shuai Huang. Integration of Data Fusion Methodology and Degradation Modeling Process to Improve Prognostics // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering Year: 2016 , Volume: 13 , Issue: 1 Pages: 344 – 354.
4. Furqan Alam, Rashid Mehmood, Iyad Katib, Nasser N. Albogami, Aiiad Albeshri. Data Fusion and IoT for Smart Ubiquitous Environments: A Survey // IEEE Access Year: 2017, Volume: 5 Pages: 9533 – 9554.
5. Jiandong Zhao, Yuan Gao, Yunchao Qu, Haodong Yin, Yiming Liu, Huijun Sun. Travel Time Prediction: Based on Gated Recurrent Unit Method and Data Fusion // IEEE Access Year: 2018 , Volume: 6 Pages: 70463 – 70472.
6. Tülay Adali, Yuri Levin-Schwartz ,Vince D. Calhoun. Multimodal Data Fusion Using Source Separation: Application to Medical Imaging // Proceedings of the IEEE Year: 2015 , Volume: 103 , Issue: 9 Pages: 1494 – 1506.
7. Siamac Fazli, Sven Dähne ,Wojciech Samek, Felix Bießmann, Klaus-Robert Müller. Learning From More Than One Data Source: Data Fusion Techniques for Sensorimotor Rhythm-Based Brain Computer Interfaces // Proceedings of the IEEE Year: 2015 , Volume: 103 , Issue: 6 Pages: 891 – 906.

8. Zuozhu Liu, Wenyu Zhang, Shaowei Lin, Tony Q.S. Quek. Heterogeneous Sensor Data Fusion By Deep Multimodal Encoding // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing Year: 2017 , Volume: 11 , Issue: 3 Pages: 479 – 491.
9. Shesheng Gao, Yongmin Zhong, Wei Li. Random Weighting Method for Multisensor Data Fusion // IEEE Sensors Journal Year: 2011 , Volume: 11 , Issue: 9 Pages: 1955 – 1961.
10. Manish Kumar, Devendra P. Garg, Randy A. Zachery. A Method for Judicious Fusion of Inconsistent Multiple Sensor Data // IEEE Sensors Journal Year: 2007 , Volume: 7 , Issue: 5 Pages: 723 – 733.
11. Dorota A. Grejner-Brzezinska, Charles K. Toth, Terry Moore, John F. Raquet, Mikel M. Miller, Allison Kealy. Multisensor Navigation Systems: A Remedy for GNSS Vulnerabilities // Proceedings of the IEEE Year: 2016 , Volume: 104 , Issue: 6 Pages: 1339 – 1353.
12. Yan Wang, Shuang Cang, Hongnian Yu. A Data Fusion-Based Hybrid Sensory System for Older People's Daily Activity and Daily Routine Recognition // IEEE Sensors Journal Year: 2018 , Volume: 18 , Issue: 16 Pages: 6874 – 6888.
13. Pei-Hsuan Tsai, Ying-Jun Lin, Yi-Zong Ou, Edward T.-H. Chu, Jane W. S. Liu. A Framework for Fusion of Human Sensor and Physical Sensor Data // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems Year: 2014 , Volume: 44 , Issue: 9 Pages: 1248 – 1261.
14. C. Christopher Stemple, Hyuck-Jin Kwon, Jeong-Yeol Yoon. Rapid and Sensitive Detection of Malaria Antigen in Human Blood With Lab-on-Chip // IEEE Sensors Journal. – 2012. Vol. 12 , Issue: 9. – PP. 2735 – 2736.
15. Bassi, M. Bauer, M. Fiedler, Th. Kramp, R. van Kranenburg, S. Lange, S. Meissner. Enabling Things to Talk: Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model. – Springer. – 2013. – 325 P.
16. PSoC® 5LP: CY8C52LP Family Datasheet: Programmable System-on-Chip.  
<http://www.cypress.com/documentation/datasheets/psoc-5lp-cy8c52lp-family-datasheet-programmable-system-chip-psoc>.

Надійшла / Paper received : 08.12.2020 p. Надрукована/Printed :04.01.2021 p.