

УДК 531.7.08

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-136-141

Андрій Дуднік

## МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ЗАСОБАМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ФАЗОМЕТРА

**Актуальність теми дослідження.** Нині безпроводні сенсорні мережі є важливим інструментом для дослідження фізичного світу. Їхня важливість пов'язана з новими можливостями використання, завдяки таким характеристикам, як відсутність необхідності в кабельній інфраструктурі, мініатюрних вузлах, низькому енергоспоживанню, вбудованому радіоінтерфейсі, досить високій потужності передачі, відносно низькій вартості. Тому існує проблема створення нових засобів, що покращили б ефективність їх використання, що б дало змогу розширити сфери застосування.

**Постановка проблеми.** У процесі розроблення таких систем розробникам доводиться вирішувати суперечність між зниження точності вимірювання відстані, зі зростанням дальності розташування об'єктів, обмеженою потужністю передавачів і дорогою вартістю спеціальних вузлів, що отримують точні координати із супутника. Наявність цих обмежень підвищує імовірність похибок при локалізації об'єктів у безпроводних сенсорних мережах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи існуючі алгоритми вимірювання відстані та задачі енергоефективності передавачів.

**Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми.** Підвищення точності вимірювання відстані засобів, що використовують існуючі алгоритми вимірювання відстані.

**Постановка завдання.** Удосконалення методу вимірювання відстані пристроями безпроводних сенсорних мереж, шляхом застосування мікропроцесорних фазометрів.

**Виклад основного матеріалу.** Локалізація об'єктів відбувається за допомогою методу TDOA (Time Difference of Arrival). Дані, що були одержані після використання цього методу, надсилаються до мікропроцесорного фазометра, який визначає період між фазами радіо- та ультразвукового сигналу, що є пропорційною величиною до відстані між об'єктами.

**Висновки відповідно до статті.** Запропонований метод дозволяє покращити точність процесу локалізації об'єктів у безпроводних сенсорних мережах.

**Ключові слова:** бездротова сенсорна мережа; локалізація; відстань; мікропроцесорний фазометр; похибка.

Рис.: 3. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Нині безпроводні сенсорні мережі є важливим інструментом для дослідження фізичного світу. Їхня важливість пов'язана з новими можливостями використання, завдяки таким характеристикам, як відсутність необхідності в кабельній інфраструктурі, мініатюрних вузлах, низькому енергоспоживанню, вбудованому радіоінтерфейсі, досить високій потужності передачі, відносно низькій вартості. Тому існує проблема створення нових засобів, що покращили б ефективність їх використання, що б дало змогу розширити сфери застосування.

**Постановка проблеми.** Проблема локалізації була досліджена в минулому, оскільки в багатьох програмах важливою є інформація про розташування об'єктів або людей, і для їх вирішення розроблено велику кількість систем. Найбільш відомою з них є система глобального позиціонування (GPS).

Проте підхід GPS не може застосовуватися до безпроводних сенсорних мереж у зв'язку з його вимогами щодо наявності великої кількості додаткової інфраструктури (наприклад, супутників).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження інформаційно-вимірювальних систем, у тому числі й дослідженням технологій моделювання, управління і взаємодії комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин (зокрема відстані між об'єктами), присвячено роботи сучасних учених, серед яких:

- роботи [1–3], які присвячені вимірюванню відстані засобами вимірювальної техніки;
- роботи [4–8], які присвячені вимірюванню відстані засобами безпроводних сенсорних мереж;
- роботи [9–13], які, крім вимірювання відстані, також присвячені аналізу характеристик самих сенсорних мереж.

У роботі [1] пропонується використовувати Інтернет для управління вимірювальною голівкою, але в аналізі та корегуванні результатів вимірювання Інтернет участі не бере. Зміст роботи [2] присвячений розробці аналогових інтерфейсів інформаційних вимірювальних систем, але в ній не розглядаються засоби збільшення їхньої продуктивності.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вності. У роботі [3] йдеться про корекцію похибок вимірювання через інформаційно-вимірювальну систему, але пропонується використовувати кабельний зв'язок. У роботі [4] проводиться загальний огляд наявних технологій сенсорних мереж та лише аналізуються їхні недоліки. У роботах [5; 6] розглянуто алгоритми локалізації, що можуть покращити процес вимірювання відстані між об'єктами. У роботах [7; 8] досліджено наявні проблеми об'єднання сенсорних мереж та шляхи їх вирішення. У роботах [9–13] йдеться про методи локалізації, що застосовують супутникові навігаційні системи, зокрема в роботі [13] також йдеться про енергозберігаючі технології для сенсорних мереж.

У цій роботі пропонується розглянути рекомендації щодо поліпшення технічних характеристик безпроводних сенсорних мереж шляхом додаткового застосування в пристроях мережі мікропроцесорних фазометрів з метою покращення точності вимірювання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Підвищення точності вимірювання відстані засобів, що використовують існуючі алгоритми локалізації, шляхом уведення додаткових засобів вимірювальної техніки.

**Метою дослідження** є аналіз принципу роботи мікропроцесорного фазометра, розробка алгоритму його роботи та структурної схеми.

#### Виклад основного матеріалу.

**Метод *Time Difference of Arrival*.** Метод *TDoA* заснований на відмінності часів, коли єдиний сигнал від одного вузла прибуває в три або більше вузли або різниці часу, коли кілька сигналів від одного вузла надходять в інший вузол.

Перший випадок більш поширений у стільникових зв'язках, вимагає точно синхронізованих вузлів приймача (у цьому випадку, базові станції).

У другому випадку, більш поширеному й підходящому для БСМ, вузли повинні бути обладнані додатковими апаратними засобами, здатними до відправлення двох типів сигналів одночасно. У цих сигналів повинні бути різні швидкості поширення, як радіо/ультразвук або радіо/акустичний. Зазвичай, перший сигнал – пакет безпосередньо, який зі швидкістю світла ( $\sim 300,000 \text{ km/c}$ ), і другий сигнал – деякий звук, через його повільніше поширення ( $\approx 340 \text{ м/c}$ ).

На рис. 1 наведено приклад методу *TDoA*, який використовується для обчислення координат БСМ, де ультразвуковий імпульс передається одночасно з радіосигналом.

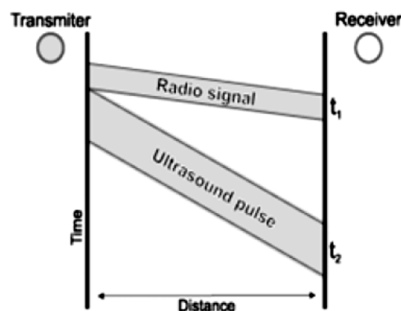


Рис. 1. Визначення відстаней за допомогою методу *TDOA* (*Time Difference of Arrival*)

У цьому випадку вузли вираховують різницю часу прибуття двох сигналів. Відстань може тепер бути обчислена такою формулою:

$$d = (s_r - s_s)(t_2 - t_1),$$

де  $s_r$  і  $s_s$  – швидкість поширення радіо- та ультразвукового сигналу;  $t_1$  і  $t_2$  – час прибуття радіо- та ультразвукових сигналів відповідно.

Оцінка похибки на відстані, отримані *TDOA*, вимірюються в сантиметрах. Експерименти з ультразвуком показують похибки приблизно два або три сантиметри, що є меншим самого вузла.

Незважаючи на більш низькі похибки, у цих методах є певні недоліки. Перший – потреба в додаткових апаратних засобах, щоб надсилати другий сигнал, який збільшує вартість вузла. Другий – діапазон другого сигналу, який зазвичай менший ніж 3 і 10 м з більш потужними передавачами.

**Мікропроцесорний фазометр.** Принцип дії мікропроцесорного фазометра ґрунтується на перетворенні різниці фаз радіо- та ультразвукового сигналу з часом прибуття  $t_1$  і  $t_2$ , що мають напругу  $u_1$  і  $u_2$  у часовий інтервал  $t_x$  з його наступним квантуванням імпульсами зразкової частоти  $f_0$ . На рис. 2 наведено алгоритм роботи мікропроцесорного фазометра.

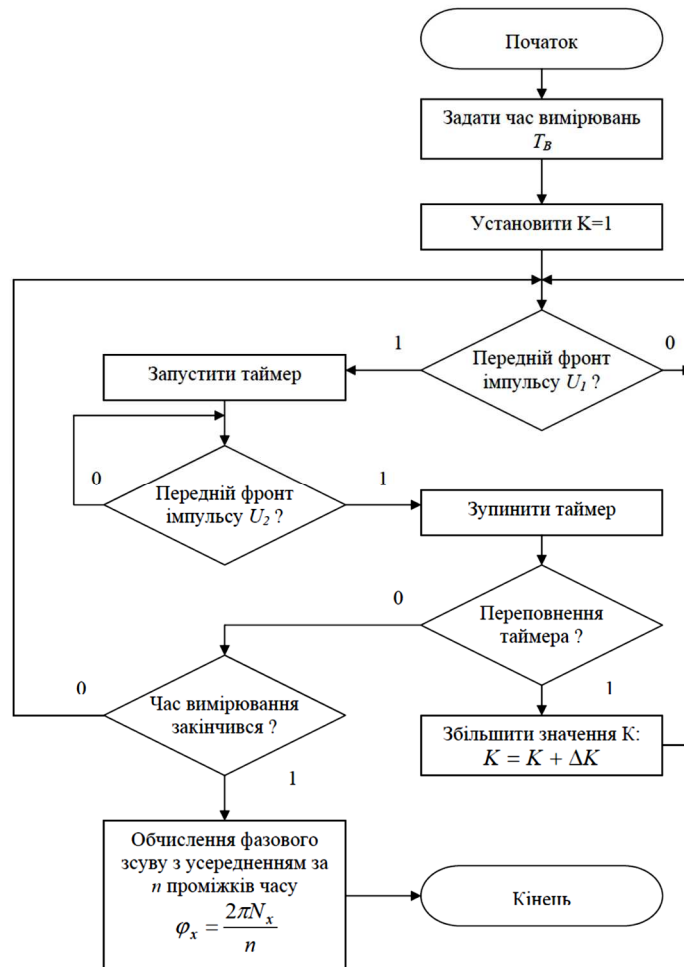


Рис. 2. Алгоритм роботи мікропроцесорного фазометра

Основними елементами фазометра є блоки узгодження сигналів  $u_1$  і  $u_2$ , мікроконтролер  $MCU$ , кварцовий резонатор частотою  $f_0$  і пристрій індикації.

Перед початком вимірювань встановлюють час вимірювань  $t_B$  і коефіцієнт подільника частоти  $K = 1$ .

У момент переходу напруги  $u_1$  через рівень нуля запускають таймер на рахування імпульсів  $f_0/K$ . Рахування проходить до переднього фронту імпульсу напруги  $u_2$ . При цьому робота таймера зупиняється, і підраховують кількість імпульсів  $N_x$ . Кількість імпульсів усереднюється в проміжку часу  $t_B = n \cdot f_x$ .

При виникненні переповнення таймера збільшують коефіцієнт подільника частоти  $K = K + \Delta K$  і повертаються на початок вимірювань. Фазовий зсув обчислюють за формулою

$$\phi_x = \frac{2\pi N_x}{n}.$$

На рис. 3 наведено структурну схему мікропроцесорного фазометра.

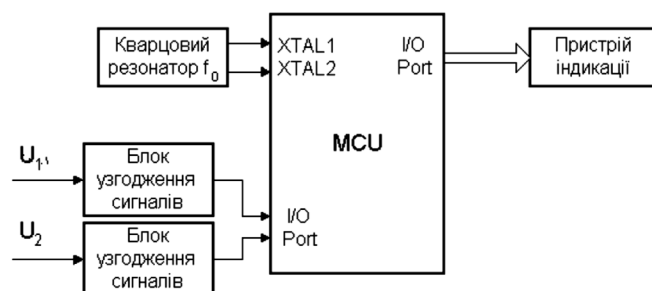


Рис. 3. Мікропроцесорний фазометр

**Висновок.** Запропоновано рекомендації щодо покращення технічних характеристик безпроводних сенсорних мереж, шляхом додаткового застосування в пристроях мережі мікропроцесорних фазометрів. З метою покращення точності вимірювання відстані.

### Список використаних джерел

1. Квасніков В. П. Концепція повірки координатно-вимірювальних машин через інтернет / В. П. Квасніков, Т. Хаєйн // Метрологія та прилади. – 2013. – № 6. – С. 48–53.
2. Способи побудови аналогових вимірювальних систем механічних величин / В. П. Квасніков, Д. П. Орнатський, Т. П. Нічікова, І. В. Гаврилов // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка і технологічних процесах». – 2013. – № 1 (42). – С. 164–169.
3. Орнатський Д. П. Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань переміщень диференціально-трансформаторними індуктивними датчиками / Д. П. Орнатський, М. В. Михалко, О. І. Осмолівський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 52–57.
4. Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks / I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. – 15 March, 2002. – 38 /4. – P. 393–422.
5. Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks / H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura, A. A. F. Loureiro // In ISCC '17: 22th IEEE Symposium on Computers and Communications, Aveiro, Portugal, July 2017. – P. 449–454.
6. A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks / H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura, A. A. F. Loureiro // In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), Beijing, China, May 2008. DOI: <http://doi.org/10.1109/icc.2008.402>.
7. Brooks R. R. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software // R. R. Brooks, S. S. Iyengar // Prentice Hall, Englewood Cliffs. – NJ, 2009. – P. 120.
8. Hofmann-Wellenho B. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition / Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. – Springer-Verlag, 2013.
9. Intanagonwiwat C. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks / Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. // In Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00), Boston, MA, August 2008, ACM Press, New York, P. 56–67.
10. Niculescu D. Ad hoc positioning system (aps) using aoa / Niculescu D., Nath B. // Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238. DOI: <http://doi.org/10.1109/infcom.2009.1209196>.
11. Priyantha N. The cricket compass for context aware mobile applications / Priyantha N., Balakrishnan H., Teller S. // In 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, July 2016. – P. 325. DOI: <http://doi.org/10.1145/381677.381679>.
12. Savvides A. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors / Savvides A., Han C., Strivastava M. // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.
13. Govindan, R. & Estrin, D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. Technical Report CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department, 2011 [Electronic resource]. – Access mode : [https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?\\_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226](https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226).

## References

1. Kvasnikov, V. P. & Khaein, T. M. (2013). Kontsepsiia povirky koordynatno-vymiriuvalnykh mashyn cherez internet [Concept of verification of coordinate-measuring machines through the Internet]. *Metrolohiia ta prylady – Metrology and devices*, 6, 48-53 [in Ukrainian].
2. Kvasnikov, V. P., Ornatskyi, D. P., Nichikova, T. P. & Havrylov, I. V. (2013). Sposoby pobudovy analohovykh vymiriuvalnykh system mekhanichnykh velychyn [The methods for constructing analog interfaces for information measuring systems]. *Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika i tekhnolohichnykh protsesakh» – International scientific-technical magazine «Measuring and Computing Devices in Technological Processes»*, 1 (42), 164–169 [in Ukrainian].
3. Ornatskyi, D. P., Mykhalko, M. V., & Osmolovskyi, O. I. (2014). Analohovi interfeis dlia dystantsiinykh vymiriuvan peremishchen dyferentsialnotransformatornymy induktyvnymy datchykamy [Analog interface for remote measurements by differential-transformer inductive sensors]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/2(67), 52-57 [in Ukrainian].
4. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks. *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 38 (4), 393-422 [in English].
5. Boukerche, A., Oliveira, H.A.B.F., Nakamura, E. F. & Loureiro, A. A. F. (2007). *IEEE Symposium on Computers and Communications*, (pp. 449–454) [in English].
6. Boukerche, A., Oliveira, H.A.B.F., Nakamura, E. F. & Loureiro, A. A. F. (2008). A Novel Location-Free Greedy Forward Algorithm for Wireless Sensor Networks / Boukerche A. et al. // 2008 IEEE International Conference on Communications. 2008. DOI: <http://doi.org/10.1109/icc.2008.402> [in English].
7. Brooks, R. R. & Iyengar, S. S. (2009). *Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ [in English].
8. Hofmann-Wellenho, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (2013). *Global Positioning System: Theory and Practice*, Berlin: Springer-Verlag (14th Ed.) [in English].
9. Intanagonwiwat, C., Govindan, R. & Estrin, D. (2000). Directed diffusion. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking–MobiCom'00* [in English].
10. Niculescu, D. & Nath, B. (2003). Ad hoc positioning system (APS) using AOA. *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No.03CH37428)*. 2003. DOI: <http://doi.org/10.1109/infcom.2003.1209196> [in English].
11. Priyantha, N. B., Balakrishnan, H. & Teller, S. (2001). The cricket compass for context-aware mobile applications. *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking –MobiCom '01*. 2001. DOI: <http://doi.org/10.1145/381677.381679> [in English].
12. Savvides, A., Han, C. C. & Strivastava, M. B. (2001). *Dynamic finegrained localization in Ad-Hoc networks of sensors*. Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile Computing and networking – MobiCom [in English].
13. Govindan, R. & Estrin, D. (2001). Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. *pdfs.semanticscholar.org*. Retrieved from [https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?\\_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226](https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226) [in English].

UDC 531.7.08

Andrey Dudnik

## METHOD OF MEASUREMENT AGREED BETWEEN THE SENSOR NETWORKS BY THE MICROPROCESSOR PHASE METERS

**Urgency of the research.** At the moment, wireless sensor networks is an important tool for researching the physical world. Their importance is associated with new features of use, due to characteristics such as the lack of need for cable infrastructure, miniature nodes, low power consumption, built-in radio interface, high enough transmission power, relatively low cost. Therefore, there is a problem of creating new tools that would improve the efficiency of their use, which would allow to expand the scope.

**Target setting.** In the process of developing such systems, developers have to resolve the contradiction between reducing the accuracy of distance measurement, with increasing range of objects, the limited power of transmitters and the cost of special nodes receiving accurate coordinates from the satellite. The presence of these restrictions increases the likelihood of errors in the localization of objects in wireless sensory networks.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications were considered, including existing distance measurement and energy efficiency targets for transmitters.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Increase the accuracy of distance measurement of means using existing algorithms for measuring distance.

**The research objective.** Improvement of measurement method of distances by devices of wireless sensor networks, using microprocessor phase meters.

**The statement of basic materials.** Localization of objects occurs using the method of TDOA (Time Difference of Arrival). Data obtained after using this method is sent to the microprocessor phase meter, which determines the period between the phases of the radio and the ultrasonic signal, which is proportional to the distance between the objects.

**Conclusions.** The proposed method allows to improve the accuracy of the process of localization of objects in wireless sensory networks.

**Keywords:** wireless sensor network; localization; distance; microprocessor phase meter; error.

Fig.: 3. References: 13.

УДК 531.7.08

Андрей Дудник

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СРЕДСТВАМИ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ФАЗОМЕТРА

**Актуальность темы исследования.** На данный момент беспроводные сенсорные сети являются важным инструментом для исследования физического мира. Их важность связана с новыми возможностями использования, благодаря таким характеристикам, как отсутствие необходимости в кабельной инфраструктуре, миниатюрных узлах, низком энергопотреблении, встроенному радиоинтерфейсу, достаточно высокой мощности передачи, относительно низкой стоимости. Поэтому существует проблема создания новых средств, которые улучшили бы эффективность их использования, что дало бы возможность расширить сферы их применения.

**Постановка проблемы.** В процессе разработки таких систем разработчикам приходится решать противоречие между снижением точности измерения расстояния, с ростом дальности расположения объектов, ограниченной мощностью передатчиков и дорогой стоимостью специальных узлов, которые получают точные координаты со спутника. Наличие этих ограничений повышает вероятность ошибок при локализации объектов в беспроводных сенсорных сетях.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая существующие алгоритмы измерения расстояния и задачи энергоэффективности передатчиков.

**Выделение неисследованных ранее частей общей проблемы.** Повышение точности измерения расстояния средств, использующих существующие алгоритмы измерения расстояния.

**Постановка задачи.** Совершенствование метода измерения расстояния устройствами беспроводных сенсорных сетей, путем применения микропроцессорных фазометров.

**Изложение основного материала.** Локализация объектов происходит с помощью метода TDOA (Time Difference of Arrival). Данные, полученные после использования этого метода, направляются в микропроцессорный фазометр, который определяет период между фазами радио и ультразвукового сигнала, пропорциональный величине к расстоянию между объектами.

**Выводы в соответствии со статьей.** Предложенный метод позволяет улучшить точность процесса локализации объектов в беспроводных сенсорных сетях.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть; локализация; расстояние; микропроцессорный фазометр; погрешность.

Рис.: 3. Библ.: 13.

Дуднік Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мережевих та інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна).

Дудник Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сетевых и интернет технологий, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко (ул. Владимирская, 60, г. Киев, 01033, Украина).

Dudnik Andrey – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Network and Internet Technologies Department, Taras Shevchenko Kyiv National University (60 Volodymyrska Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

E-mail: a.s.dudnik@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1339-7820>

ResearcherID: N-4606-2018