

УДК 531.7.08

## МЕТОД ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ВІДДАЛЕМІРА З СЕНСОРНИМ МЕРЕЖЕВИМ ІНТЕРФЕЙСОМ

Дуднік А.С.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

На даний момент безпроводові сенсорні мережі є важливим інструментом дослідження фізичного світу. Їх важливість пов'язана з новими можливостями використання, що обумовлені такими характеристиками БСМ, як відсутність необхідності у кабельній інфраструктурі, мініатюрність вузлів, низьке споживання електроенергії, вбудований радіоінтерфейс, досить висока обчислювальна здатність, порівняно невелика вартість. Все це зробило можливим їх широке застосування у багатьох сферах людської діяльності з метою автоматизації процесів збору інформації, моніторингу, контролю характеристик різноманітних технічних та природних об'єктів. Одною з таких задач є задача локалізації вузлів у безпроводовій сенсорній мережі з самоорганізацією. Вона полягає у визначенні координат індивідуальних сенсорів без використання зовнішньої інфраструктури. Задача локалізації багато досліджувалась у минулому, оскільки у багатьох прикладних сферах важлива інформація про розміщення об'єктів чи людей, і для їх вирішення було розроблено велику кількість систем. Найвідомішою з них є система Global Positioning System (GPS). Однак підхід GPS не може бути застосований у БСМ у зв'язку з його вимогами до наявності великої кількості додаткової інфраструктури (наприклад, супутників). Лазери і засновані на них лазерні технології знайшли широке застосування в різних областях науки. Застосування лазерної техніки в геодезії стало останнім кроком на шляху проникнення лазерів в будівництво. Сьогодні застосування лазерних приладів при проведенні всіляких вимірювань і визначення положення будівельних елементів є нормою. Точність лазерів і їх функціональні властивості сильно полегшили трудомісткі операції. Лазерні прилади складають серйозну конкуренцію традиційним вимірювальним приладам і устаткуванню – нівелірам, рулеткам, рівням.

**Ключові слова:** безпроводна сенсорна мережа, лазерний віддалемір, похибка, локалізація, ZigBee.

**Постановка проблеми.** Проблематика даного дослідження полягає в розробці методу, що дозволить поєднати систему локалізації об'єктів безпроводних сенсорних мереж та лазерні віддалеміри, що включені в сенсорну мережу. Це дозволить організувати взаємоперевірку результатів вимірювання обох систем, що дасть змогу оцінити похибку вимірювання відстані до одного і того ж об'єкта двома різними системами, з метою підвищення точності результату.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомий пристрій для вимірювання довжини [1] використовується для вимірювання відстані між об'єктами у геодезії та будівництві. Даний пристрій не може здійснювати комп'ютеризоване управління вимірюванням відстані, а також не містить безпроводного мережевого інтерфейсу.

Інший відомий пристрій вимірювання відстані [2], який використовується для локалізації об'єктів в комп'ютерній сенсорній мережі. Цей пристрій містить на передавальній стороні в пристрій формування та цифрового опрацювання сигналів додатково введений інтегрально-імпульсний ентропійний перетворювач Галуа, який містить перетворювач напруга/частота. Під час роботи цього пристрою забезпечується, лише передавання повідомлення про відстані між об'єктами, але він не містить функцію підтвердження результатів вимірювання відстані за допомогою лазерного віддалеміра.

З відомих пристроїв вимірювання відстані найбільш близьким за технічною суттю до винаходу є пристрій [3], який містить перше і друге нерухомо встановлені дзеркала, об'єктів, перший і другий лазерні випромінювачі, генератор моделюючої напруги. В нього додатково введене калібрована світловолоконна лінія затримки, яка включена між виходом другого випромінювача і входом першого фотоприймача, генератор

напруги модуляції, але не містить сенсорного мережевого інтерфейсу для передачі даних вимірювання.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Під час усієї історії розвитку засобів вимірювальної техніки, прилади та методи вимірювання механічних величин з однієї сторони, а також безпроводні сенсорні мережі з іншої сторони, розглядалися, як 2 окремі системи, що відносились до різних галузей технічних наук, але в той же час вони досить часто вирішували однакові задачі. Тому, застосування різноманітних методів їх поєднання, у складі комп'ютеризованих засобів вимірювання механічних величин, мало б значно ефективніший характер як в практичній так і науковій сфері.

**Мета статті.** Розробка методу вимірювання відстані, що поєднує дані отримані від процесу локалізації об'єктів сенсорної мережі та результати вимірювання лазерного віддалеміра, що дає змогу отримати альтернативні результати, на основі яких можна детальніше оцінити результати вимірювань.

**Виклад основного матеріалу.** Задачею винаходу є збір інформації про географічне положення лазерного віддалеміра відносно інших, за допомогою функції локалізації сенсорних мереж, та перевірка цих даних за допомогою оптичного вимірювання відстані. Це здійснюється шляхом комплексного застосування алгоритмів локалізації, оптичних методів вимірювання відстані, аналізу якості сигналу, моніторингу трафіку, аутентифікації даних та реконфігурації параметрів мережі.

Поставлена задача вирішується тим, що в комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережевим інтерфейсом, який, крім системи оптичного вимірювання, містить сенсорний блок, що передає дані вимірювання на керуючий

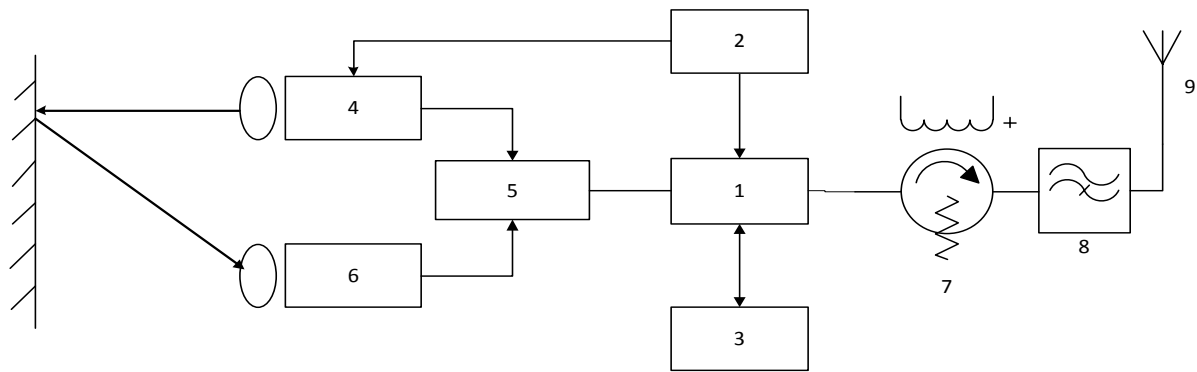


Рис. 1. Комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережовим інтерфейсом

блок, який генерує повідомлення, в якому вказується інформація про географічне положення, дані оптичного вимірювання відстані до сусіднього вузла, що дає змогу співставлення результату оптичних вимірювань та локалізації, та якість сигналу, здійснюючи зворотній зв'язок, згідно з винаходом введено сенсорний блок визначення координат, який включений до керуючого блоку, а також елемент живлення, який теж включений між керуючим блоком та напівпровідниковим лазером.

Введення в пристрій сенсорного блоку, та елемента живлення вигідно відрізняє запропонований комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережовим інтерфейсом від прототипу, оскільки в прототипі відбувається лише вимірювання відстані за допомогою оптичних методів.

В запропонованому ж пристрої крім використання оптичних методів вимірювання, також відбувається безпроводна локалізація та збір даних про положення даного приладу відносно інших, що дає змогу вимірювати відстань між об'єктами мережі та співставляти результати з даними оптичних вимірювань, а також містить елемент живлення, що робить його автономним пристроєм.

Комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережовим інтерфейсом містить керуючий комп'ютеризований блок 1, елемент живлення 2, сенсорний блок 3, напівпровідниковий лазер 4, блок вимірювання часових інтервалів 5, фотодіод-приймач 6, високочастотний фазовий модулятор 7, фільтр Гауса 8, антена 9.

На кресленні (рис. 1) комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережовим інтерфейсом.

Керуючий блок 1, здійснює керування живленням, визначає відстань до потрібного об'єкта на основі співставлення часу направлення променя та часу його відбиття, а також надсилає команду про відправку пакета та сам пакет, що містить результати вимірювань, передані сенсорним блоком 3 та фотодіодом-приймачем 6, високочастотний фазовий модулятор 7 перетворює пакет на впорядкований потік електромагнітних сигналів, кодованих по фазі, та надсилає до фільтра Гауса 8, де сигнали накладаються на несучу частоту та через антену 9 відправляються в радіоэфір, елемент живлення 2, через керуючий блок 1, здійснює живлення постійним електричним струмом комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережовим інтерфейсом, що забезпечує його автономність та функціональність на протязі тривалого періоду часу.

Вимірювання здійснюється за принципом визначення координат на основі часу прибуття сигналу [7-9]. В цьому випадку, відстань між двома вузлами безпосередньо пропорційна часу, коли сигнал поширюється від одного пункту до іншого. Інформаційна складова відісланого сигналу містить час відправки. Ця відстань, вимірюється на основі часу відправки сигналу  $t_1$  і часу досягнення ним вузла приймача  $t_2$ , відстань між відправником і приймачем визначається за формулою [10, 11]:

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

де  $s_r$  – швидкість поширення радіо – сигналу (швидкість світла), і  $t_1$  і  $t_2$  – часи, коли сигнал відіслано і отримано (рис. 2) [12, 13].

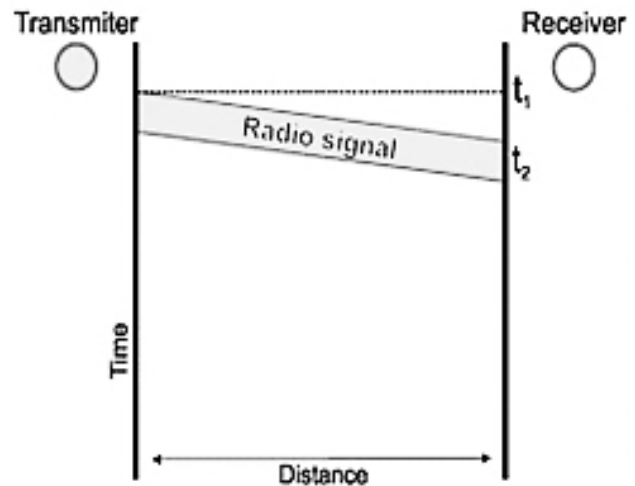


Рис. 2. Визначення відстані за допомогою часу прибуття сигналу

Радіообмін відбувається у смузі частот 2400-2483,5 МГц ISM-діапазону. У радіотракті застосований метод розширення спектру шляхом імпульсної перебудови частоти (*FHSS – Fast rate frequency hopping*) і дворівнева частотна модуляція з фільтром Гауса (*GFSK – Gaussian Frequency Shift Keying*). Імпульс – моноцикл Гауса описується функцією [4, 5, 6]:

$$V(t) = A \frac{\sqrt{2e}}{\tau} e^{-(t/\tau)^2}$$

де  $A$  – амплітуда імпульсу;  $\tau$  – часова константа, що характеризує затухання (тривалість імпульсу  $2\pi\tau$ ). Спектральна щільність сигналу визначається функцією (6):

$$V(\omega) = A\omega\tau^2\sqrt{2\pi e}$$

Таблиця 1

Час проходження імпульсу до цілі і назад

Відстань до цілі	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
Час відгуку	6,7 нс	67 нс	0,67 мкс	6,7 мкс	67 мкс	0,67 мс

Центральна частота сигналу обчислюється за формулою:

$$f_c = 2\pi t$$

При подачі сигналу про початок вимірювання (увімкнення живлення 2) напівпровідниковий лазер 4 направляє лазерний промінь на об'єкт, відстань до якого потрібно визначити, час направлення променя заноситься до блоку вимірювання часових інтервалів 5, фотодіод-приймач 6 приймає відбитий від об'єкта промінь, а час прийняття променя також заносить до блоку вимірювання часових інтервалів 5 (рис. 2).

Властивість випромінювання розповсюджуватись з постійною швидкістю дає можливість визначати дальність до об'єкта. Так, при імпульсному методі вимірювання використовується наступне співвідношення:

$$D = \frac{ct}{2n}$$

де  $D$  – відстань до об'єкта,  $c$  – швидкість світла у вакуумі,  $n$  – показник переломлення середовища, в якому розповсюджується випромінювання,  $t$  – час проходження імпульсу до цілі і назад (табл. 1).

Розгляд цього співвідношення показує, що потенціальна точність вимірювання дальності визначається точністю визначення часу проходження імпульсу енергії до об'єкта і назад. Чим коротший імпульс, тем краще.

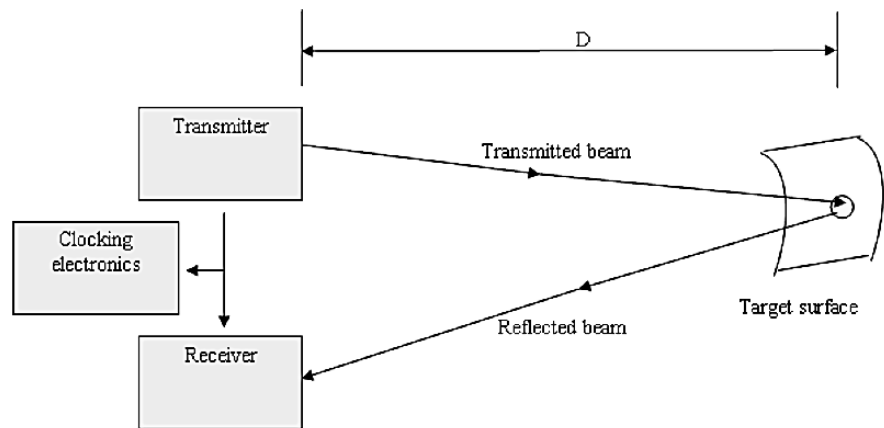


Рис. 3. Принцип роботи лазерного віддалеміра

**Висновки і рекомендації.** Побудовано структурну схему комп'ютеризованого лазерного віддалеміра з сенсорним мережевим інтерфейсом, який містить сенсорний блок, що передає дані вимірювання на керуючий блок, який генерує повідомлення, в якому вказується інформація про географічне положення, дані оптичного вимірювання відстані до сусіднього вузла, що дає змогу співставлення результату оптичних вимірювань та локалізації, а також якість сигналу, здійснюючи зворотній зв'язок, згідно з винаходом введено сенсорний блок визначання координат, який включений до керуючого блоку, а також елемент живлення, який теж включений між керуючим блоком та напівпровідниковим лазером.

В подальших дослідженнях буде розглядатися технологія співставлення результатів вимірювання описаних вище систем, а також буде дана оцінка похибок вимірювання та їх порівняння.

## Список літератури:

1. Зайченко Ю. Д., Купко В. С., Мачехін Ю. П. Лазерний далекомір Пат. № 96510 України, МПК G01C 3/08; № а201004282; Заявл. 13.04.2010; Опубл. 10.11.2011, бюл. № 21. – 3 с.
2. Николайчук Я. М., Воронич А. Р., Гладюк В. М. Беспровідна сенсорна мережа Пат. № 73756 України, МПК H04W 4/00; – № u201202606; Заявл. 05.03.2012; Опубл. 10.10.2012, бюл. № 19. – 7 с.
3. Брагинець І. О., Жукинський І. М., Зайцев С. О., Кононенко О. Г., Масюренко Ю. О. Лазерний далекомір Пат. № 91534, МПК G01C 3/08; № u201400566; Заявл. 21.01.2014; Опубл. 10.07.2014, бюл. № 13. – 7 с.
4. Akyildiz I. F. Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks // IEEE Communications Magazine. – 2008. – P. 250.
5. Brooks R. R., Iyengar. S. S. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications / R. R. Brooks, S. S. Iyengar // Prentice Hall, Englewood Cliffs. – NJ. – 2009. – P. 120.
6. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2013.
7. Boukerche A., Oliveira H. Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks // In ISCC '17: 22th IEEE Symposium on Computers and Communications, Aveiro, Portugal, July 2017. – P. 449-454.
8. Boukerche A., Oliveira H., Nakamura E., A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks // In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), Beijing, China, May 2008.
9. Brooks R. R., Iyengar. S. S. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications / R. R. Brooks, S. S. Iyengar // Prentice Hall, Englewood Cliffs. – NJ. – 2009. – P. 120.
10. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2013.

11. Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks // 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.
12. Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (aps) using aoa // I Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238.
13. Priyantha N., Balakrishnan H., Teller S. The cricket compass for context aware mobile applications // In 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, July 2016. – P. 325.

**Дудник А.С.**

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА С СЕНСОРНЫМ СЕТЕВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

### Аннотация

На текущий момент беспроводные сенсорные сети являются важным инструментом исследования физического мира. Их важность связана с новыми возможностями использования, обусловленных такими характеристиками БСМ, как отсутствие необходимости в кабельной инфраструктуре, миниатюрность узлов, низкое потребление электроэнергии, встроенный радиоинтерфейс, достаточно высокая вычислительная способность, сравнительно небольшая стоимость. Все это сделало возможным их широкое применение во многих сферах человеческой деятельности с целью автоматизации процессов сбора информации, мониторинга, контроля характеристик различных технических и естественных объектов. Одной из таких задач является задача локализации узлов в беспроводной сенсорной сети с самоорганизацией. Она заключается в определении координат индивидуальных сенсоров без использования внешней инфраструктуры. Задачи локализации много исследовалась в прошлом, поскольку во многих прикладных сферах важна информация о размещении объектов или людей, и для их решения было разработано большое количество систем. Самой известной из них является система Global Positioning System (GPS). Однако подход GPS не может быть применен в БСМ в связи с его требованиями к наличию большого количества дополнительной инфраструктуры (например, спутников). Лазеры и основанные на них лазерные технологии нашли широкое применение в различных областях науки. Применение лазерной техники в геодезии стало последним шагом на пути проникновения лазеров в строительство. Сегодня применение лазерных приборов при проведении различных измерений и определения положения строительных элементов является нормой. Точность лазеров и их функциональные свойства сильно облегчили трудоемкие операции. Лазерные приборы составляют серьезную конкуренцию традиционным измерительным приборам и оборудованию – нивелирам, рулеткам, уровням.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть, лазерный дальномер, погрешность, локализация, ZigBee.

**Dudnik A.S.**

Kyiv National Taras Shevchenko University

## METHOD OF CONSTRUCTION OF A COMPUTERIZED LASER DIMENSIONER WITH A SENSOR NETWORK INTERFACE

### Summary

At the current time, wireless sensor networks are an important tool for exploring the physical world. Their importance is associated with new possibilities of use, due to such characteristics of BSM as the lack of the need for cable infrastructure, the miniature of the nodes, low power consumption, built-in air interface, high enough computing power, relatively low cost. All this made possible their wide application in many spheres of human activity for the purpose of automating the processes of collecting information, monitoring, controlling the characteristics of various technical and natural objects. One of such tasks is the task of localizing nodes in a wireless sensor network with self-organization. It consists in determining the coordinates of individual sensors without using an external infrastructure. Localization problems have been studied a lot in the past, since in many applied fields information about the location of objects or people is important, and a large number of systems have been developed to solve them. The most famous of these is the Global Positioning System (GPS). However, the GPS approach can not be applied to BSM because of its requirements for the large number of additional infrastructure (for example, satellites). Lasers and laser technologies based on them have found wide application in various fields of science. The use of laser technology in geodesy was the last step in the way of penetration of lasers into construction. Today, the use of laser instruments in conducting various measurements and determining the position of building elements is the norm. The accuracy of lasers and their functional properties greatly facilitated labor-intensive operations. Laser devices constitute a serious competition to traditional measuring instruments and equipment – levels, roulettes, levels.

**Keywords:** wireless sensor network, laser rangefinder, error, localization, ZigBee.