

УДК 004.72:531.7.08

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.141190

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАЗЕРНОГО ВІДДАЛЕМІРА З СЕНСОРНИМ МЕРЕЖЕВИМ ІНТЕРФЕЙСОМ

Дуднік А. С.

Об'єктом дослідження є лазерний віддалемір з безпроводним сенсорним мережовим інтерфейсом протоколу ZigBee, що в даному дослідженні пропонується для виконання функції вимірювання відстані між об'єктами. Основні сфери застосування – це сфери, де потрібна достовірна інформація про розташування об'єктів відносно один одного. Для підвищення достовірності пропонується поєднання можливості вимірювання відстані між об'єктами сенсорних мереж та даних, отриманих від лазерного віддалеміра. Ці два методи поєднані в одному пристрої.

Одним з найбільш проблемних місць є похибка засобів вимірювальної техніки. Також, для описаних вище об'єктів характерні різного роду перешкоди, як механічні (дерева, пагорби, низини тощо), так і радіоперешкоди.

В ході дослідження використовувався метод підвищення точності вимірювання відстані безпроводних сенсорних мереж. Для цього вони поєднуються з лазерними віддалемірами, що перебувають у складі комп'ютеризованих систем вимірювання відстані, побудованих на основі поєднання методів вимірювання різної природи.

Дослідження локалізації вузлів проводилось для середнього значення відхилення при ранжируванні в 1 м (20 вимірювань), а також за прогресивною функцією необхідної кількості транзакцій. Для калібрування ранжируючих вимірювань був розрахований мінімальний період двостороннього проходу по середньому значенню, коли приймачі знаходяться в безпосередній близькості один до одного (0,01 м). Це середнє значення далі було обчислено з кожного ранжируючого вимірювання перед конвертацією в безпосереднє значення відстані.

Результати підтверджують поліпшення ефективності ранжування за допомогою усереднення множини вибірок до значення похибки в 6,0 м. Точність методу була постійна у всьому діапазоні тестування розповсюдження (в радіусі 250 м).

**Ключові слова:** сенсорна мережа, лазерний віддалемір, механічні величини, комп'ютеризована система вимірювання, інформаційно-вимірювальна система.

### 1. Вступ

Неточне визначення позиції об'єкта, що входить до складу безпроводних сенсорних мереж, призводить до генерування помилкової інформації в комп'ютеризованій системі вимірювання відстані між об'єктами. Такий недолік, в свою чергу, може призвести до, наприклад, несвоєчасного виявлення

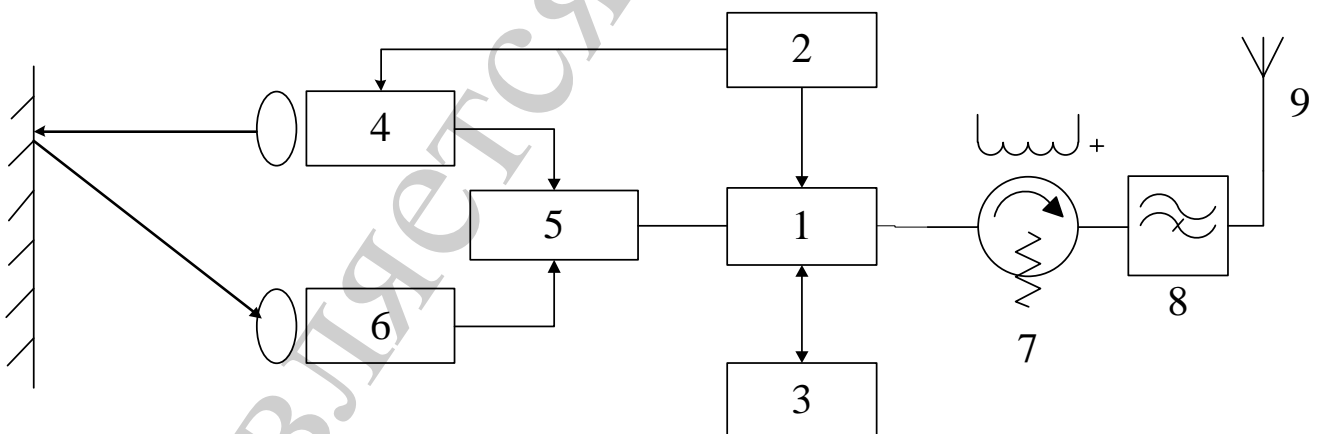
джерела загоряння. Особливо сприятливим середовищем для такого роду негативних наслідків є завадова обстановка [1]. Серед різноманітних класів інформаційно-вимірювальних систем спільною є проблема зменшення похибки вимірювання. Тому при створенні наукових основ побудови комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин важливе місце займає точність інформаційно-вимірювальних механічних величин. Краще не використовувати таку термінологію. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є модифікація існуючих вимірювальних приладів шляхом додавання сенсорного мережевого інтерфейсу. Також не менш важливим є теоретичний аналіз та пошук оптимальних методів моделювання та збільшення точності комп'ютеризованих систем вимірювання відстані.

Таким чином, одним зі слабких місць комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин є завадова обстановка, що призводить до великої імовірності похибок при вимірюванні відстані.

Тому актуальним є дослідження нових методів вимірювання відстані. Зокрема таких, що поєднують засоби вимірювання, які мають різну природу, а співставлення результатів їх вимірювання значною мірою зменшує імовірність похибки.

## 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом даного дослідження є комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережевим інтерфейсом. На рис. 1 зображена структурна схема даного віддалеміра, що поєднує в собі класичний лазерний віддалемір та мережевий інтерфейс, що дозволяє використовувати функцію визначення відстані між об'єктами сенсорних мереж.



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

Технологія роботи даного пристрою така: 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 фільтру Гауса 8, де сигнали накладаються на несучу частоту та через антену 9 відправляється в радіофір. Елемент живлення 2 через керуючий блок 1 здійснює живлення постійним електричним струмом комп'ютеризований лазерний віддалемір з сенсорним мережевим інтерфейсом. Це забезпечує його автономність та функціональність на протязі тривалого періоду часу.

В даній роботі пропонується метод підвищення точності комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин, що полягає у одночасному використанні даних вимірювання лазерного віддалеміра та показників, що отримані завдяки функції локалізації об'єктів безпроводних сенсорних мереж. Ці дві функції поєднані у приладі, що зображений на рис. 1. Тут блоки 2, 4–6 відносяться до функціоналу лазерного віддалеміра, а 1, 3, 7–9 – до функціоналу комп'ютеризованого сенсорного мережевого пристрою, що містить функцію вимірювання відстані.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – розробка нових та удосконалення існуючих технологічних рішень для зменшення похибки вимірювання приладів, що входять до складу комп'ютеризованих систем вимірювання відстані.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Розробити математичну модель вимірювання відстані за допомогою падіння потужності сигналу.
2. Запропонувати метод вимірювання відстані за допомогою лазерного віддалеміра, що включає нівелювання.
3. Провести експериментальні дослідження комп'ютеризованого лазерного віддалеміра з сенсорним мережевим інтерфейсом.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Питанням дослідження інформаційно-вимірювальних систем, в тому числі і дослідженням технологій моделювання, управління і взаємодії комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин (зокрема відстані між об'єктами), присвячено роботи сучасних вчених, серед яких:

- роботи [2, 3], які присвячені вимірюванню відстані засобами вимірювальної техніки;
- роботи [4–6], які присвячені вимірюванню відстані засобами безпроводних сенсорних мереж;
- роботи [7–9], які, крім вимірювання відстані, також присвячені аналізу характеристик самих сенсорних мереж;
- роботи [10–12], які присвячені дослідженням використання систем GPS для визначення координат;
- роботи [13, 14], які присвячені розробці електронного компаса, що використовує дані, які отримані від сенсорної мережі.

Відомий пристрій для вимірювання довжини [2] 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 [3] використовується для локалізації об'єктів в комп'ютерній сенсорній мережі. Цей пристрій містить блок 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.

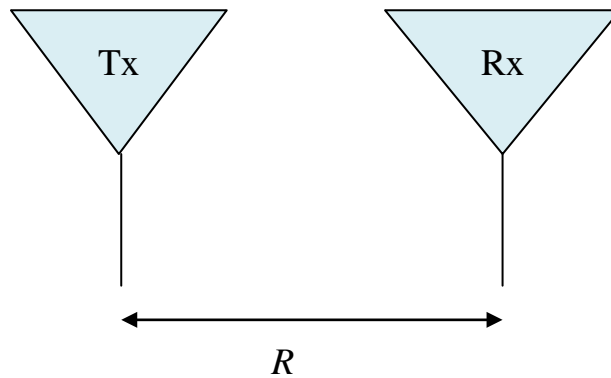
З відомих пристроїв вимірювання відстані найбільш близьким за технічною суттю до винаходу є пристрій [4], який містить перше і друге нерухомо встановлені дзеркала, об'єктив, перший і другий лазерні випромінювачі, генератор моделюючої напруги. В нього додатково введені калібрована світловолоконна лінія затримки, яка включена між виходом другого випромінювача і входом першого фотоприймача, генератор напруги модуляції, але не містить сенсорного мережевого інтерфейсу для передачі даних вимірювання.

В роботах [5, 6] розглядається лише загальна концепція побудови сенсорних вимірювальних мереж, але не запропонована модель процесу вимірювання. У [7, 8] розглянуті системи глобального позиціонування, визначення відстані в сенсорних мережах та маршрутизації даних, але не запропоновано використання засобів вимірювальної техніки. В роботах [9, 10] розглядаються фундаментальні основи сенсорних мереж вимірювання відстані, але не розглянуто приклади їх використання. Роботи [11, 12] містять дослідження в області глобального позиціонування, але у них не розглянуто використання іншого роду систем для перевірки результатів. В роботах [13, 14] йдеться про побудову компасу на основі сенсорної мережі, що використовує тип зв'язку «кожен з кожним», але не розглянутий інфраструктурний тип зв'язку.

В даній роботі пропонується розглянути рекомендації щодо покращення технічних характеристик безпроводних сенсорних мереж шляхом поєднання з лазерним віддалеміром. Це також впливає на точність процесу локалізації та вимірювання відстані між об'єктами в зонах невпевненого прийому та з недостатньою завадостійкістю.

## 5. Методи досліджень

В даному дослідженні буде застосовуватись метод визначення відстані на основі втрати потужності сигналу за допомогою рівняння Фріса. Щоб розпочати виведення рівняння Фріса, розглянемо дві антени (рис. 2) в вільному просторі (без перешкод поблизу), що знаходяться на відстані  $R$ .



**Рис. 2.** Передача ( $T_x$ ) і прийом ( $R_x$ ) антен, розділених  $R$

Припустимо, що  $P_T$  – загальна потужність передавальної антени. Нехай передавальна антена є всенаправленою, без втрат і що приймальна антена знаходиться на далекій відстані від передавальної антени. Тоді щільність потужності  $p$  (у ватах на квадратний метр) плоскої хвилі, що падає на приймальну антену, на відстані  $R$  від передавальної антени визначається:

$$p = \frac{P_T}{4\pi R^2}.$$

Якщо передавальна антена має коефіцієнт підсилення у напрямку приймаючої антени  $G_T$ , то рівняння визначення потужності можна переписати наступним чином:

$$p = \frac{P_T}{4\pi R^2} G_T.$$

*Коефіцієнт підсилення і втрати реальної антени.* Припустимо тепер, що приймальна антена має діючу діафрагму, задану  $A_{ER}$ . Тоді потужність, отримана цією антенною ( $P_R$ ), задається:

$$p = \frac{P_T}{4\pi R^2} G_T A_{ER}.$$

Оскільки ефективну діафрагму для будь-якої антени можна також виразити як:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G,$$

де  $A_e$  – площа діючої діафрагми;  $\lambda$  – кут нахилу діючої діафрагми;  $G$  – коефіцієнт підсилення антени.

Отриману потужність можна записати як:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi R)^2}. \quad (1)$$

де  $G_R$  - коефіцієнт підсилення у напрямку передавальної антени.

Це рівняння відоме як формула трансмісії Фріса. Це пов'язано з втратою сигналу, коефіцієнтом підсилення антени та довжиною хвилі до прийнятих і переданих потужностей. Це одне з фундаментальних рівнянь в теорії антен, і його треба запам'ятати (так само як і виведене вище).

Ще одна корисна форма рівняння Фріса передачі наведена в рівнянні (2). Оскільки довжина хвилі та частота  $f$  залежать від швидкості світла  $c$ , отримана Формула трансляції Фріса з точки зору частоти:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R c^2}{(4\pi R f)^2}. \quad (2)$$

Рівняння (2) показує, що більша потужність втрачається при більш високих частотах. Це фундаментальний результат трансляції рівнянь Фріса. Це означає, що для антен з заданими приростами потужність передачі буде найвищою на нижчих частотах. Різниця між отриманою потужністю та переданою потужністю відома як *втрата рівня сигналу, що обернено пропорційна до відстані між прийомопередавачами*. Іншими словами, рівняння Friis Transmission говорить про те, що втрата рівня сигналу на відстані, вища для більш високих частот.

Важливість цього результату від Формули трансмісії Фріса не може бути завищена. Саме тому мобільні телефони зазвичай працюють на частоті менше 2 ГГц. Там може існувати більший спектр частот, але пов'язані з цим втрати потужності на шляху не дозволяють отримати якість сигналу. Як ще один наслідок рівняння Фріса, потрібно мати на увазі, що мова йде про антени 60 ГГц. Відзначаючи, що ця частота дуже висока, можна стверджувати, що втрата шляху буде занадто високою для спілкування на довгому діапазоні. На дуже високих частотах (60 ГГц іноді називають зоною мм (міліметрової хвилі)) втрата контуру дуже висока, тому можливий лише зв'язок точка-точка. Це трапляється, коли приймач і передавач знаходяться в одній кімнаті та у прямій видимості один до одного.

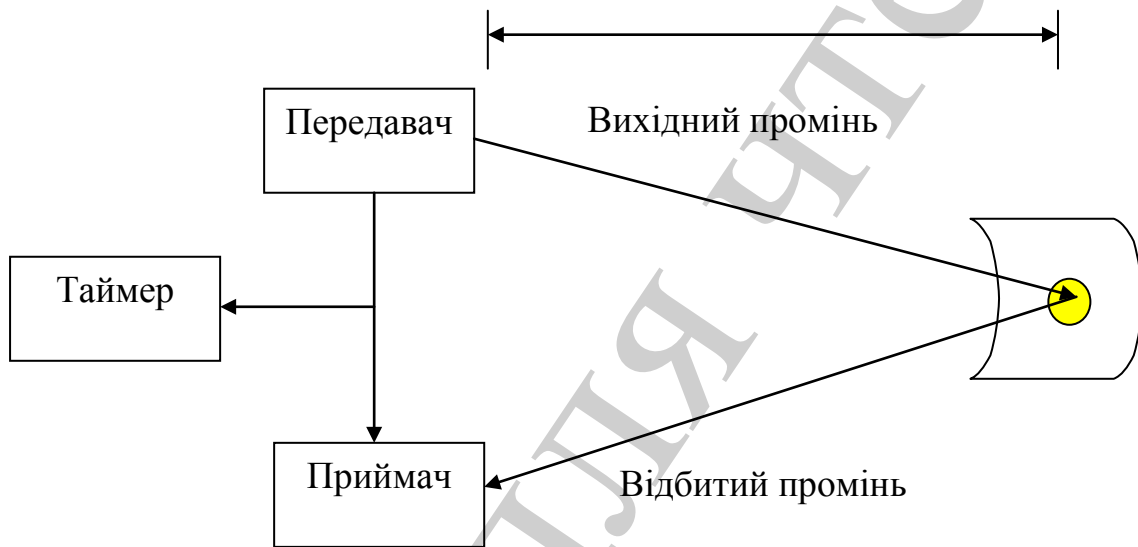
Виникає питання: чому оператори мобільного зв'язку задоволені новим діапазоном LTE (4G), який працює на частоті 700 МГц? Відповідь є така: це менша частота, ніж антени, які традиційно працюють, але з рівняння (2) відзначаємо, що втрата сигналу буде також нижчою. Таким чином, вони можуть «покривати більше простору» з цим частотним спектром.

З іншого боку, виробники мобільних телефонів повинні мати антену з більшою довжиною хвилі на компактному пристрої (нижня частота = більша довжина хвилі), тому робота дизайнера антени була дещо складнішою.

Нарешті, якщо антени не співпадають з поляризацією, то отримана вище потужність може бути помножена на коефіцієнт втрати поляризації ( $PLF$ ), щоб правильно визначити цю невідповідність. Вищевказане рівняння (2) можна змінити для отримання узагальненої формули трансмісії Фріса, що включає в себе невідповідність поляризації:

$$P_R = (PLF) \frac{P_T G_T G_R c^2}{(4\pi R f)^2}.$$

Далі розглянемо математичну модель роботи блоків лазерного віддалеміра (рис. 3).



**Рис. 3.** Принцип роботи лазерного віддалеміра

Властивість випромінення 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 випромінення;  $t$  – час проходження імпульсу до цілі і назад (табл. 1).

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

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.

У якості методу вимірювання пропонується тригонометричне нівелювання. Тригонометричне нівелювання – це метод визначення перевищення за вимірним кутом нахилу і відстанню між точками. Його застосовують при топографічних зніманнях і при визначенні великих перевищень. На рис. 4 наведено спрощену схему тригонометричного нівелювання. Над точкою *A* встановлюють теодоліт і вимірюють висоту приладу *i*, а в точці *B* встановлюють рейку. Для визначення перевищення *h* вимірюють кут нахилу *v*, горизонтальне прокладання *d* і фіксують висоту візування *a* (відлік, на який наведено візирний промінь),  $\Delta K_{AB}$  – поправка на кривизну Землі і рефракцію [15].

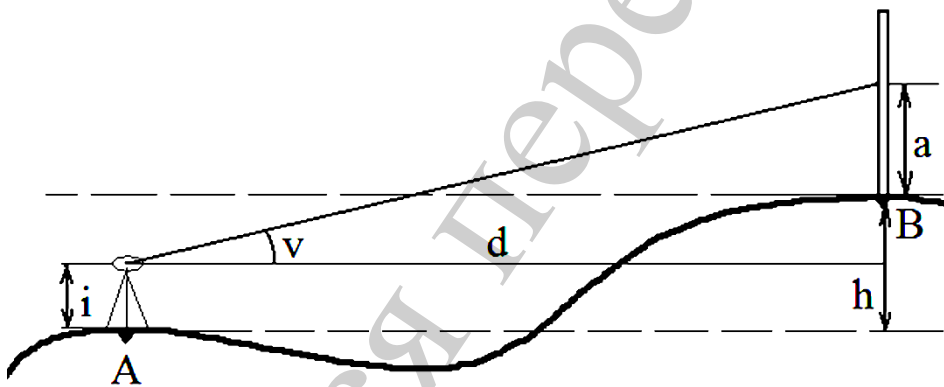


Рис. 4. Спрощена схема тригонометричного нівелювання

Загальна формула тригонометричного нівелювання:

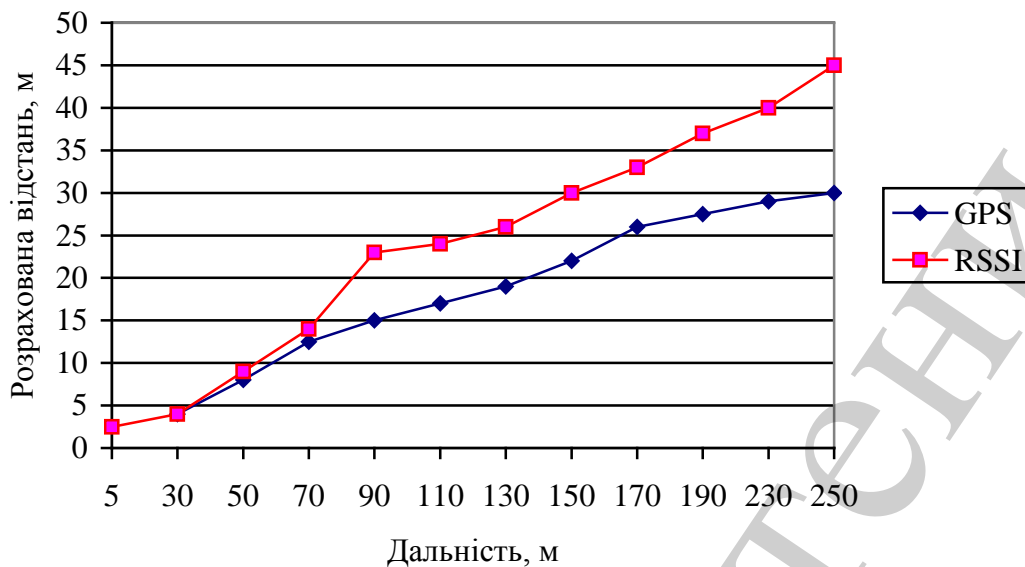
$$h = dtg v + i - a + \Delta K_{AB}$$

Дана формула актуальна лише для одностороннього нівелювання, що застосовується в даній роботі.

## 6. Результати досліджень

Лінійний характер роботи алгоритму в умовах прямої видимості – розповсюдження, зображений на рис. 5. Результати підтверджують поліпшення ефективності ранжування за допомогою усереднення множини вибірок до значення помилки в 6,0 м. Точність методу була постійна у всьому діапазоні тестування розповсюдження (в радіусі 250 м).





**Рис. 5.** Точність локалізації в умовах поширення сигналу в зоні прямої видимості, для RSSI і GPS

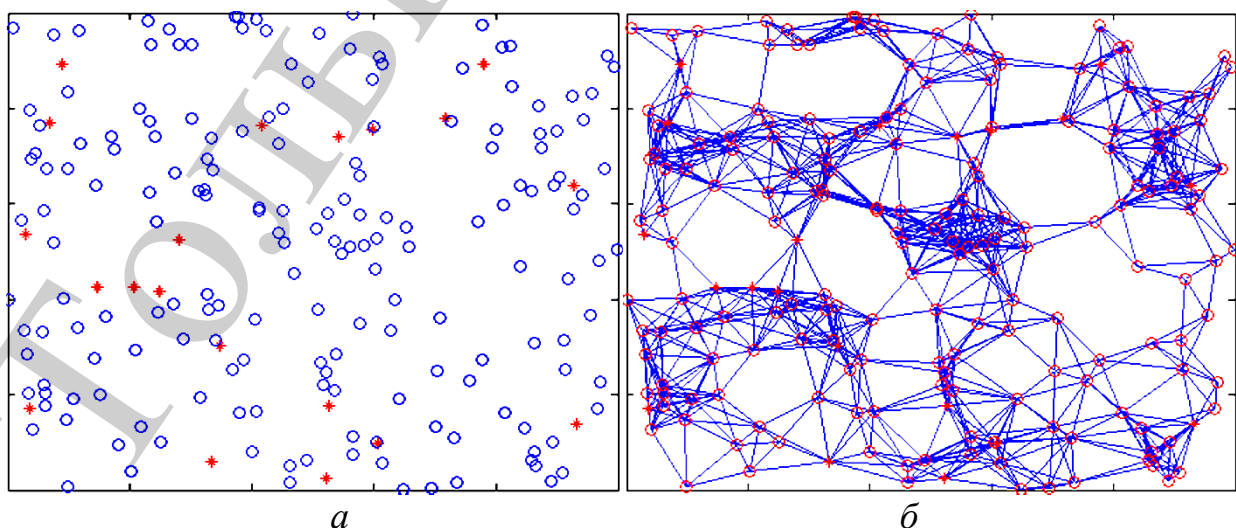
Для моделювання вибрано мережу з 200–1000 вузлів, дана мережа генерує значення у випадковій позиції на квадратній площині (250 на 250). Кількість якірних вузлів складає 10 % від усіх вузлів. При фіксованому радіусі дальність передачі для всіх пристроїв в кожній з розглянутих мереж представлено в табл. 2.

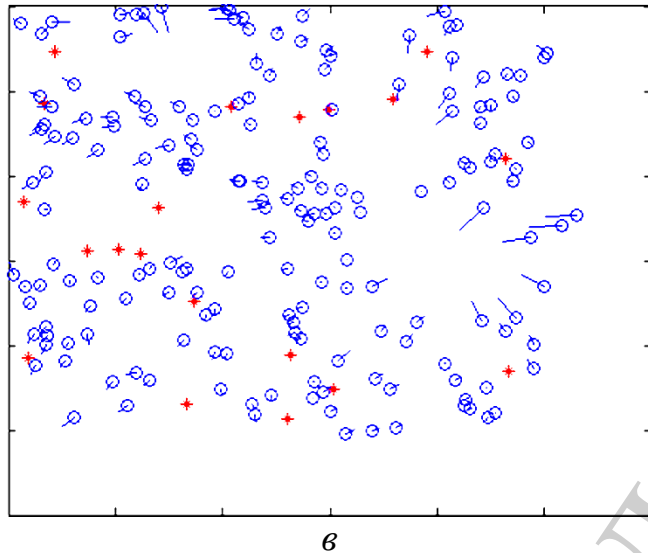
**Таблиця 2**

Передбачуваний діапазон передачі для різних мереж

№	Кількість вузлів	Радіус дії сенсора
1	200	35
2	500	30
3	1000	20

Результати моделювання за даними табл. 2 для мереж, які складаються з 200 вузлів, зображено на рис. 6.

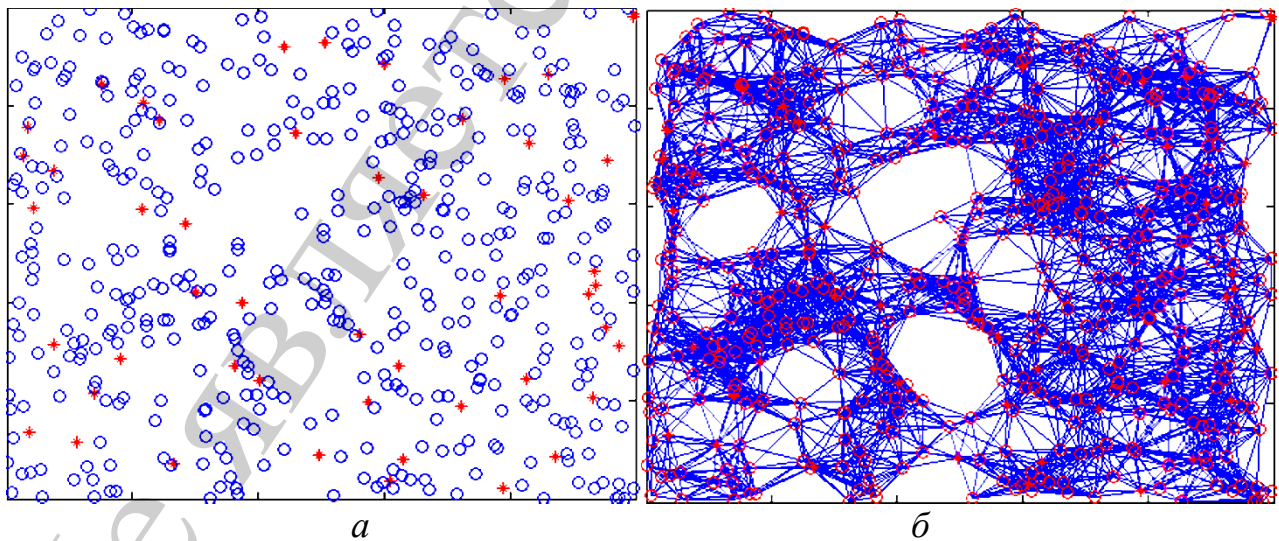


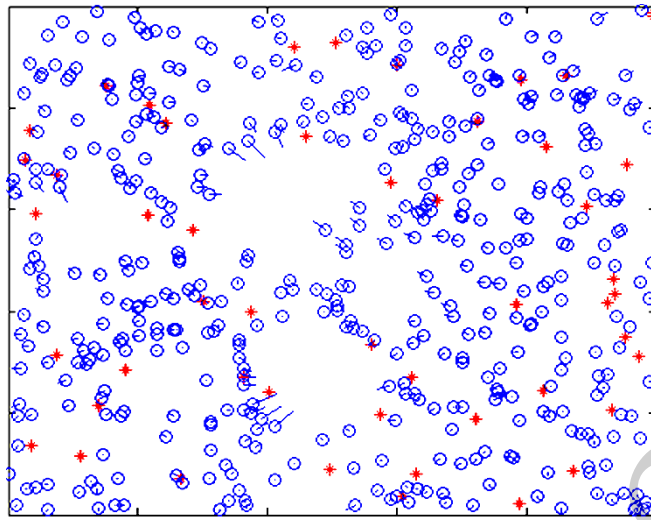


**Рис. 6.** Локалізація сенсорної мережі з використанням 200 вузлів:  
*a* – розташування вузлів; *б* – локалізація мережі; *в* – оцінка похибки

На рис. 6, *a* зображено розташування вузлів, яке генерується випадковим вибором. На рис. 6, *б* показано, що мережа локалізована та знайдені всі вузли в радіусі своєї дії. Якщо звернути увагу на рис. 6, *в*, то побачимо похибку при визначенні координат вузлів. Кругечками показане місце розташування вузла після локалізації, а закінчення лінії – реальне розташування вузла. Це можна побачити, якщо співставити рис. 6, *a*, *в*.

Якщо звернути увагу на мережу, яка складається з 200 вузлів з точки зору відмовостійкості, то її не можна назвати відмовостійкою. Тому що вихід з ладу чотирьох вузлів, які знаходяться у верхній правій частині (рис. 6, *б*), приведе до від'єднання значного фрагменту мережі. Щоб завадити цьому, потрібно збільшити радіус дії вузлів або збільшити кількість вузлів, як показано на рис. 7.



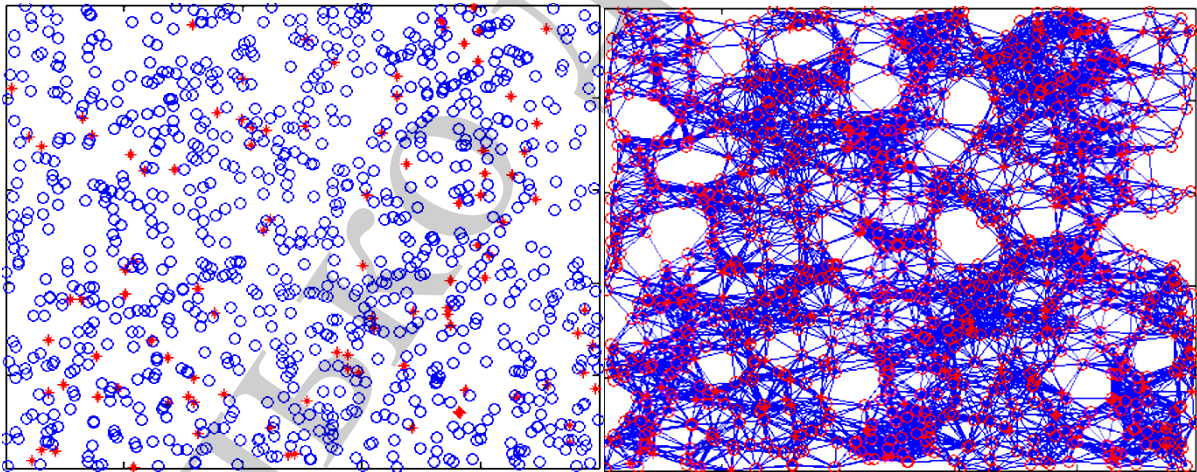


6

**Рис. 7.** Локалізація сенсорної мережі з використанням 500 вузлів:  
*a* – розташування вузлів; *б* – локалізація мережі; *в* – оцінка похибки

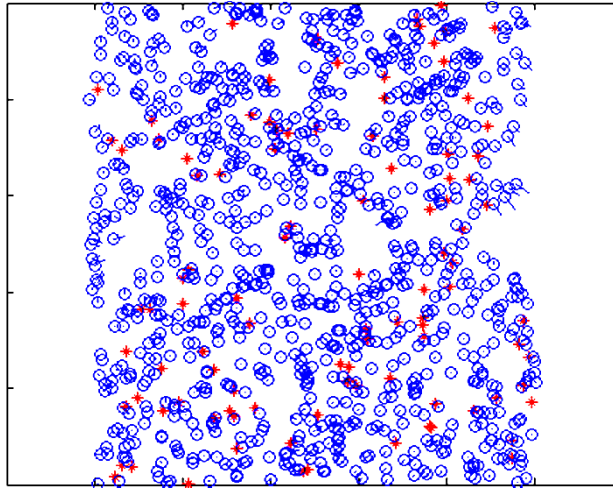
На рис. 7 можна побачити, що оцінка похибки розташування вузлів мережі, яка складається із більшої кількості вузлів, а саме 500 і меншим радіусом дії 75 (порівнюючи із мережею – 200 вузлів), значно зростає відмовостійкість та підвищилась надійність мережі.

Моделювання мережі, яка складається з 1000 вузлів з радіусом дії 20 м (рис. 8) є відмовостійкою, а похибка при розрахунку координат невідомих вузлів, є мінімальною, порівняно з попередніми експериментами. При цьому похибка  $\delta \approx 2$  м, що у 2,5 рази менше, ніж в аналогічних пристроях.



*a*

*б*



в

**Рис. 8.** Локалізація сенсорної мережі з використанням 500 вузлів:  
*a* – розташування вузлів; *б* – локалізація мережі; *в* – оцінка похибки

У подальших дослідженнях планується розширення ділянки розгортання сенсорної мережі.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

*Strengths.* Сильною стороною даної розробки, у порівнянні з аналогами, є можливість надання більш точних результатів вимірювання відстані при наявності перешкод. Дана розробка не викличе додаткових затрат на більш потужніші елементи живлення для сенсорних пристроїв, а також не потребує додаткового технічного супроводу після її впровадження.

*Weaknesses.* Слабкою стороною розробки є те, що виникнуть додаткові затрати на модернізацію сенсорних пристроїв, що пов'язані з заміною мікроконтролерів та/або їх перепрограмуванням на запропонований в роботі метод. Також додаткові затрати пов'язані з додаванням блоків лазерного віддалеміра у сенсорний мережевий пристрій.

*Opportunities.* Впровадження запропонованої розробки у сенсорну мережу дасть їй можливість здійснювати більш точні вимірювання відстані при великому числі завод, витримуючи при цьому точність в 2,5 рази більшу, ніж аналоги.

*Threats.* На першому етапі впровадження системи необхідно виділити додаткові кошти для реалізація програмно-апаратного комплексу.

## 8. Висновки

1. Розроблено математичну модель для дослідження процесу вимірювання відстані в безпроводних сенсорних мережах у поєднанні з блоками лазерного віддалеміра. Вхідними параметрами з боку сенсорної мережі є потужності відправленого та прийнятого сигналу, а з боку лазерного віддалеміра – швидкість світла у вакуумі, показник переломлення середовища та час проходження променя до цілі і назад. Вихідними параметрами, в обох випадках, є відстань між об'єктами, що отримана двома різними методами. Це дало змогу отримати результати досліджень з достатньою точністю, шляхом

співставлення вихідних параметрів, а саме похибка  $\delta \approx 2$  м, що є допустимим для ділянки 250x250 м.

2. Виявлено, що метод вимірювання відстані за допомогою лазерного віддалеміра, що включає нівелювання, здатний крім відстані також вимірювати кут між лазерним віддалеміром та ціллю. Це дає можливість оцінити положення цілі в просторі.

3. Модернізовано структурну схему сенсорного мережевого пристрою, шляхом включення в її склад блоків лазерного віддалеміра. Це дає можливість отримати альтернативне значення відстані між об'єктами. Це дало змогу, при сталих перешкодах, знизити похибку вимірювання у 2,5 рази, використовуючи для співставлення дані сенсорної мережі та лазерного віддалеміра.

### Література

1. Kuzmych L. V. Neparаметrychna identyfikatsiya shchilnosti rozpodilu virohidnosti v skladniy postiyno zminniy zavadoviy obstanovtsi // Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZiATPS – 2018): materialy tez dopovidei VIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi. Vol. 2. Chernihiv: ChNTU, 2018. P. 178.

2. Zaichenko Yu. D., Kupko V. S., Machekhin Yu. P. Lazernyi dalekomir: Pat. No. 96510 UA. MPK G01C 3/08. No. a201004282; declared: 13.04.2010; published: 10.11.2011, Bul. No. 21. 3 p.

3. Nykolaichuk Ya. M., Voronych A. R., Hladiuk V. M. Bezprovidna sensorna merezha. Pat. No. 73756 UA. MPK H04W 4/00. No. u201202606; declared: 05.03.2012; published: 10.10.2012, Bul. No. 19. 7 p.

4. Lazernyi dalekomir: Pat. No. 91534. MPK G01C 3/08 / Brahynets I. O. et. al. No. u201400566; declared: 21.01.2014; published: 10.07.2014, Bul. No. 13. 7 p.

5. Wireless sensor networks: A survey / Akyildiz I. F. et. al. // Computer Networks. 2002. P. 393–422.

6. Brooks R. R., Iyengar S. S. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2009. 120 p.

7. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice. 14-th ed. Springer-Verlag, Berlin, 2013.

8. 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, 2017. P. 449–454.

9. 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>

10. Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. Directed diffusion // Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking – MobiCom '00. 2000. doi: <http://doi.org/10.1145/345910.345920>

11. Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA // 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>



12. The cricket compass for context-aware mobile applications / Priyantha, N. B. et. al. // Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking – MobiCom '01. 2001. 2001. doi: <http://doi.org/10.1145/381677.381679>

13. Levchuk G. P., Novak V. E., Lebedev N. N. Prikladnaya geodeziya. Geodezicheskie raboty pri izyskaniyah i stroitel'stve inzhenernyh sooruzheniy. Moscow, 1983. 400 p.

Не является переизданием