

УДК 531.7.08

В. П. Квасніков<sup>1</sup>, д.т.н., А. С. Дуднік<sup>2</sup>, к.т.н.<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ<sup>2</sup>Київський національний університет ім. Т. Шевченка, м. Київ

## ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНИ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

В даній роботі було запропоновано математичну постановку задачі визначення координат у безпроводній сенсорній мережі. Проведене дослідження математичної моделі. Метою цих досліджень був пошук нових альтернативних методів визначення відстані між об'єктами, в результаті якого запропоновано, крім класичних засобів вимірювання механічних величин, використовувати функцію локалізації об'єктів безпроводних сенсорних мереж.

**Ключові слова:** безпроводна сенсорна мережа, вузол, опорний вузол, похибка вимірювання, локалізація.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-52-58

### Вступ

В наш час безпроводні технології усе частіше використовуються в інформаційних вимірювальних системах. У даній статті буде описано концепцію застосування безпроводних сенсорних мереж (БСМ), як комп'ютеризованої системи вимірювання механічних величин, а саме відстані (локалізації об'єктів).

Безпроводні сенсорні мережі складаються з великої кількості сенсорних вузлів, які використовуються для контролю певної області.

Цей тип мережі, що використовує стандарт ZigBee, став популярним завдяки своєму застосуванню, яке включає в себе кілька напрямків, таких як екологічний, медичний, промисловий, побутовий, сільськогосподарський, метеорологічний.

Основні сфери застосування – це охоронні об'єкти, такі, як склади, магазини, виставки та експозиції де важливо контролювати переміщення цінних речей на обмеженій території з великою концентрацією людей (в статті досліджується площа 250x250 метрів, що відповідає середньостатистичному складу, гіпермаркету або виставковому залу) (координатна площина на рис. 5, 6, 7). Може застосовуватись в лікарнях не тільки для вимірювання температури, тиску та інших показників життєдіяльності організму, але і для контролю переміщення хворих, якщо це необхідно.

Для об'єктів, що довготривалий термін знаходяться на певній території, можуть бути виконані на твердій друкованій платі, але для випадків, що описані вище, передбачена гнучка та тонка пластикова основа, що значно здешевлює їх вартість та розширює сфери застосування (рис. 1).



Рисунок 1 – Сфери застосування технології ZigBee

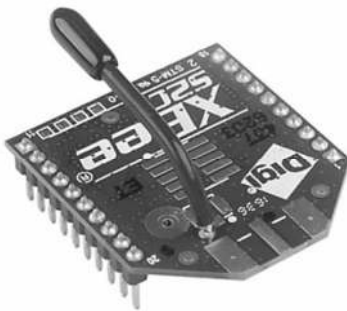
На сьогоднішній день у всьому світі усе більш пильну увагу привертають до себе «безпроводні сенсорні мережі» («Sensor Networks», далі просто сенсорні мережі). Поняття «Сенсорна мережа» з'явилося порівняно недавно (кілька років тому) але на сьогоднішній день є вже повністю сталим терміном (Sensor Network), що означає розподілену, таку що самоорганізується, яка складається з безлічі простих мініатюрних пристроїв (вузлів), кожен з яких містить мікроконтролер, приймач і автономне джерело живлення. Вузли оснащуються сенсорами, здатними реєструвати інформацію про параметри фізичних полів різної природи в місцях їх розташування (рис. 2). У звичайному стані, мережеві сенсорні модулі ZigBee знаходяться у напівактивному положенні. В цьому стані кожен з них лише відслідковує свою позицію відносно сусідніх модулів. Та коли, у порівнянні з попереднім значенням, відстань хоча б до одного з «сусідів» змінюється, мережа переходить в активний режим. У цьому стані ведеться постійний обмін інформацією про місцезнаходження кожного з

модулів мережі, а комп'ютеризована керуюча система, до складу якої входить сенсорна мережа, здійснює певні керуючі дії.

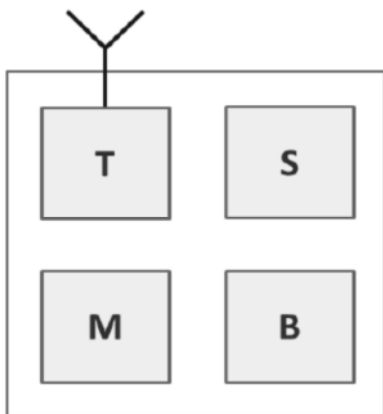
При моделюванні, у даній роботі, будуть використовуватись безпроводні сенсорні модулі XBee серії S2 S2C ZigBee (рис. 2). Відповідно до технічної документації та стандарту [1], вони мають похибки локалізації, що відображені в табл. 1.

Таблиця 1 – Залежність похибки локалізації ( $\Delta d$ ) від відстані між сусідніми модулями ( $d$ ) та похибкою визначення часу прибуття сигналу ( $\Delta T_{reply}$ )

$d, м$	$\Delta d$ ( $\Delta T_{reply}$ $y = 20$ $ns$ ), см	$\Delta d$ ( $\Delta T_{reply}$ $y = 200$ $ns$ ), см	$\Delta d$ ( $\Delta T_{reply}$ $y = 2$ $\mu s$ ), см	$\Delta d$ ( $\Delta T_{reply}$ $y = 20$ $\mu s$ ), см
0,1	$\pm 0,012$	$\pm 0,12$	$\pm 1,2$	$\pm 12$
1	$\pm 0,012$	$\pm 0,12$	$\pm 1,2$	$\pm 12$
10	$\pm 0,05$	$\pm 0,12$	$\pm 1,2$	$\pm 12$
100	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 1,2$	$\pm 12$
1000	$\pm 4$	$\pm 4$	$\pm 4$	$\pm 12$
10000	$\pm 40$	$\pm 40$	$\pm 40$	$\pm 40$



а)



б)

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд (а) та структура сенсорного модуля (б):

T – радіочастотний трансивер; M – мікроконтролер; B – джерело живлення; S – сенсор

### Аналіз останніх досліджень

Питанням дослідження інформаційно-вимірвальних 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, що присвячені вимірюванню відстані засобом вимірювальної техніки [2–4];
- роботи, що присвячені вимірюванню відстані засобами безпроводних сенсорних мереж [5–13].

У роботі [2], пропонується використовувати Інтернет для управління вимірювальною головою, але в аналізі та корегуванні результатів вимірювання, Інтернет участі не бере. Зміст роботи [3] присвячений розробці аналогових інтерфейсів інформаційних вимірювальних систем, але в ній не розглядаються засоби збільшення їх продуктивності. В роботі [4], йдеться про корекцію похибок вимірювання через інформаційно-вимірювальну систему, але пропонується використовувати кабельний зв'язок. В роботі [5] проводиться загальний огляд існуючих технологій сенсорних мереж та лише аналізуються їх недоліки. В роботах [6, 7] розглядаються алгоритми локалізації, що можуть покращити процес вимірювання відстані між об'єктами. В роботах [8, 9] розглядаються існуючі проблеми об'єднання сенсорних мереж та шляхи їх вирішення. В роботах [10–14] йдеться про методи локалізації, що застосовують супутникові навігаційні системи, зокрема в роботі [14] також йдеться про енергозберігаючі технології для сенсорних мереж.

В той же час залишаються не вирішеними проблеми розробки алгоритмів локалізації об'єктів безпроводних сенсорних мереж, а також імітаційного моделювання процесу локалізації об'єктів з їх використанням з метою порівняння реальних позицій об'єктів та отриманих в процесі локалізації. У подальшому це допоможе проаналізувати переваги і недоліки алгоритмів локалізації та допоможе обрати найбільш оптимальний для тієї чи іншої ситуації.

**Метою статті** є розгляд сенсорної мережі, як різновиду комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин, на прикладі вимірювання відстані між об'єктами. Пропонується описати математичну постановку даної задачі, з метою моделювання процесу визначення відстані між об'єктами, на основі алгоритму обмеження квадрату.

### Постановка задачі

В роботі вирішуються наступні задачі:

- Аналіз структурної схеми безпроводного

сенсорного вузла та математична постановка задачі визначення координат вузлів сенсорної мережі;

- Експериментальне дослідження запропонованої математичної постановки задачі локалізації об'єктів.

**Виклад основного матеріалу**

Дані вимірювань передаються послідовно між вузлами до центрального сервера для обчислень і прийняття рішень (через обмежені енергетичні характеристики автономних елементів живлення (В), дані вимірювань з деяких вузлів, можуть бути втрачені) [4].

Математична постановка задачі визначення координат в сенсорній мережі буде мати наступний вигляд. Припустимо в деякій області простору  $S$  розміром  $S=A \times B$ , випадковим чином рівномірно розподілені об'єкти безпровідної сенсорної мережі  $\{i\}$ , де  $i=[1 \dots M]$  (рис. 3).

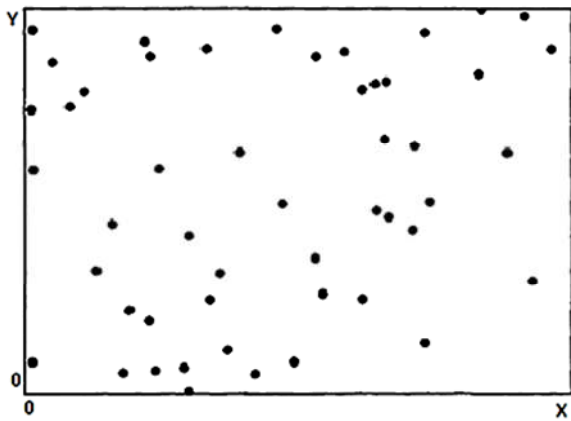


Рисунок 3 – Схема розташування вузлів БСМ в просторі

Кожен вузол (рис. 1) містить у своєму складі трансивер (Т), завдяки якому він може передавати результати вимірювань сенсора (S) на відстань  $d$  до сусідніх вузлів (вузли, що знаходяться в радіусі  $L$ ), виходячи з цього (опираючись на метод визначення відстаней) точність проведених вимірювань стає відомою. Кожен вузол  $i$  накопичує інформацію з усіх сусідніх вузлів  $j$  і записує її у таблицю, що знаходиться у пам'яті мікроконтролера (М),

$$T_i = \{J, d_{ij}\},$$

де  $J$  – кількість сусідніх вузлів;

$d_{ij}$  – виміряна відстань між вузлами  $i$  та  $j$ .

Вимірювання здійснюється за принципом визначення координат на основі часу прибуття сигналу. 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 за різницею часу відправки сигналу  $t_1$  і часу досягнення ним вузла приймача  $t_2$ . Відстань між відправником і приймачем визначається за формулою

$$d = c(t_2 - t_1),$$

де  $c$  – швидкість поширення радіосигналу (швидкість світла),  $t_1$  і  $t_2$  – моменти часу, коли сигнал відіслано і отримано (рис. 4).

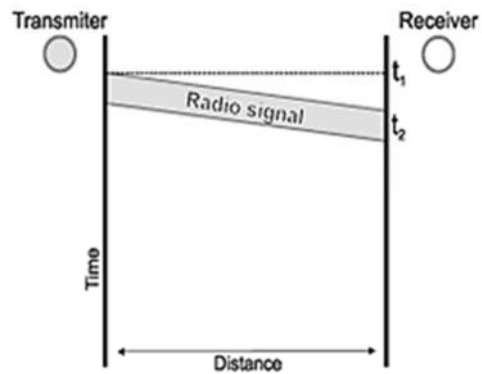


Рисунок 4 – Визначення відстані за допомогою часу прибуття сигналу

Виходячи з цих даних, потрібно визначити координати об'єктів  $\vec{r}_i$ . Іншими словами, потрібно вирішити систему рівнянь

$$\vec{r}_i - \vec{r}_j = \vec{d}_{ij},$$

де  $d_{ij}$  – виміряна відстань від вузла  $i$  до вузла  $j$ .

Для вирішення задачі локалізації пропонується метод обмеження квадрату (Bounding Box). Приклад цього методу зображений рисунку 5 [14].

Припустимо, що найвірогідніше розміщення вузла – центральна точка серед усіх опорних вузлів, ми можемо обчислити позицію невідомого вузла без потреби оцінки відстаней або кутів, але тільки при використанні методу на основі дальності сигналу.

Для кожного  $i$ -го опорного вузла, обмежуючий квадрат, визначений як квадрат з центром в позиції цього вузла  $(x_i, y_i)$  зі сторонами розміру  $2d_i$  (де  $d_i$  – вимірювана відстань), з координатами:

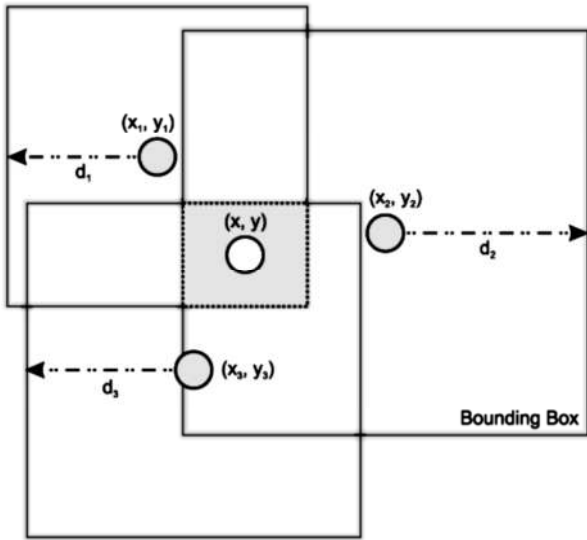


Рисунок 5 – Метод Bounding Box

Перетин усіх обмежуючих квадратів може бути обчислений без потреби обчислень з плаваючою комою, беручи максимально низькі і мінімально високі координати усіх зв'язуючих квадратів:

та

отримуємо заштрихований прямокутник, який можна побачити на рисунку 4. Позиція невідомого вузла потім обчислюється як центр перетину усіх зв'язуючих квадратів:

Цей метод є найбільш простим з точки зору обчислювальних ресурсів та необхідної інформації. Тільки операції з плаваючою комою (де  $n$  – кількість опорних вузлів) обов'язкові для обчислення позиції. Головне щоб кількість опорних вузлів була невеликою. Це пов'язано з тим, що в них, на відміну від простих вузлів, міститься вбудований GPS-модуль. Останній отримує свої координати на основі даних супутників. Такі дані для простих вузлів вважаються первинними, від них вони відштовхуються в подальшому процесі локалізації. Наявність більшої кількості модулів, хоч і підвищує точність локалізації, але робить таку мережу значно дорожчою, що знижує економічний ефект від використання системи. Тому більш економічно вигідним є пошук оптимальних алгоритмів визначення відстані, ніж купівля додаткових опорних вузлів.

На основі описаного математичного апарату у системі *MATLAB* побудовано модель сенсорної мережі  $M$  з кількістю вузлів  $i = 200$  (отримаємо  $M = [1 \dots 200]$ ). Число опорних вузлів складало 10% ( $B = 20$ ). Відстань до кожного сусіднього вузла (від  $i$  до  $j$ )  $d_{ij} = 35$  м – фіксований радіус передавання ( $d_{ij}$  – виміряна відстань від вузла  $i$  до сусіднього вузла  $j$ , як це було визначено вище. Фіксований радіус передавання і виміряна відстань від вузла  $i$  до сусіднього вузла  $j$  це мабуть різні. При моделюванні в системі *MATLAB*, вузли на координатній площині розподілялись за рівномірним законом розподілу. Після чого відбувається обчислення відстані від опорних вузлів, позиція яких є відомою, до сусідніх, і вираховуються їх приблизні координати. Далі, відповідно до топології (рис. 6), ця інформація надходить до сусідніх вузлів де враховується для визначення вже їх позиції. При цьому точність локалізації вузла залежить від кількості опорних вузлів поряд з ним, а також від його віддаленості від сусідніх вузлів. Тому результати локалізації сусіднього з опорним вузла будуть значно точніші, ніж того, шлях до якого від опорного містить кілька проміжних вузлів.

На рисунку 6 зображено локалізовану мережу, у вигляді впорядкованої топології, а також визначено всі вузли в радіусі дії.

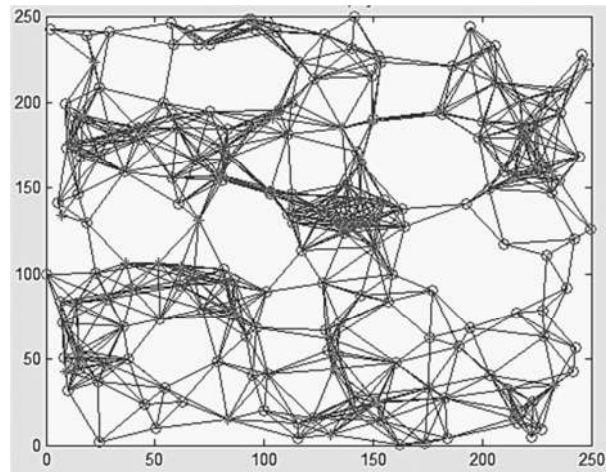


Рисунок 6 – Топологія мережі

На рисунку 7 зображено розміщення 200 вузлів, розташування яких генерується випадковим чином. Знаком схожим на «\*» зображено опорні вузли сенсорної мережі.

На рисунку 8 різницю у визначенні координат розташування вузлів зображено у вигляді відстані між кружечками (розташування вузла після локалізації) та закінченнями ліній (реальне розташування вузла). Це краще видно при співставленні рисунків 7 і 8.

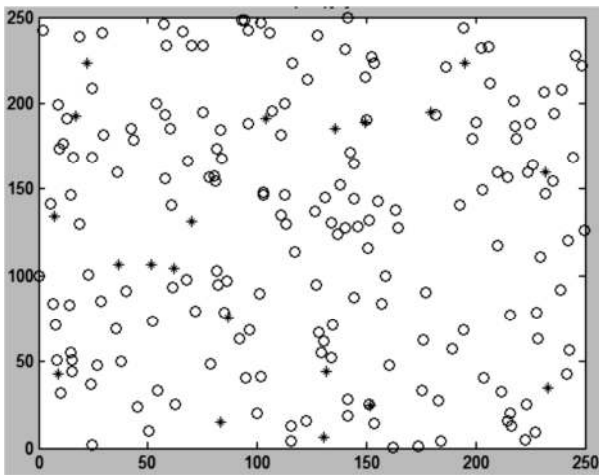


Рисунок 7 – Розташування вузлів

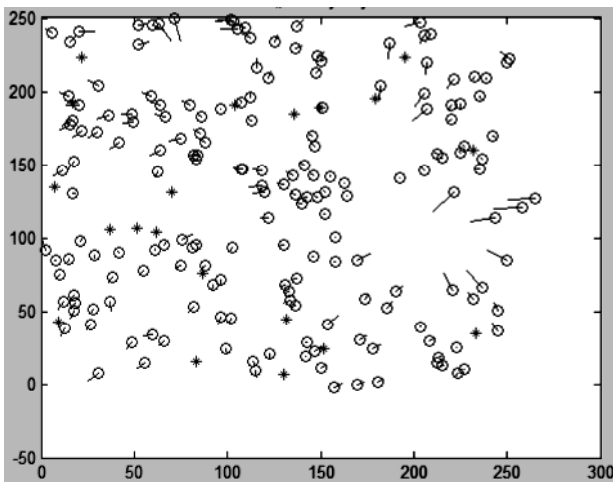


Рисунок 8 – Порівняння реальних позицій вузлів (позначено лініями) та результатів локалізації (позначено кружечками)

При моделюванні, за допомогою алгоритму на вбудованій мові *MATLAB*, програмується математичний апарат алгоритму обмеження квадрату, що описаний вище. Проходить імітація процесу визначення відстані шляхом порівняння часу прибуття сигналу. Час прибуття сигналу моделюється відносно реальної відстані між вузлами, розташування яких було визначено на основі рівномірного закону розподілу. Також до часу прибуття сигналу, в залежності від відстані між вузлами, довільним чином вноситься одна з чотирьох похибок ( $\Delta T_{reply}$ ) (табл. 1). У подальших дослідженнях планується отримати теоретичні оцінки похибок вимірювань різними методами, провести експерименти з цією моделлю, при збільшенні кількості вузлів, а також із застосуванням різних алгоритмів визначення відстані між вузлами, з метою оцінки похибки локалізації, при застосуванні кожного з них. Також, для взаємоперевірки результатів, буде запропоновано включити до складу комп'ютеризованої сис-

теми вимірювання відстані між об'єктами електронні тахеометри та лазерні далекоміри, під'єднавши їх до сенсорної мережі.

### Висновки

Дістало подальшого розвитку використання комп'ютеризованих систем вимірювання на основі безпроводних сенсорних мереж, у якості методу вимірювання механічних величин, що покращує процес локалізації об'єктів.

Запропоновано математичну постановку задачі визначення координат у сенсорній мережі, що входить до складу комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин.

Визначено задачі подальших досліджень.

### Список використаних джерел

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers / Inc., IEEE Std. 802.15.4- 2003, IEEE Standard for Information Technology – telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). New York: IEEE Press. – 2016. – P. 250.
2. Квасніков В. П. Концепція повірки координатно-вимірювальних машин через Інтернет / В. П. Квасніков, Т. М. Хаєїн // Метрологія та прилади. – 2013. – № 6. – С. 48–53.
3. Квасніков В. П. Способи побудови аналогових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем механічних величин / В. П. Квасніков, Д. П. Орнатський, Т. П. Нічікова, І. В. Гаврилов // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2013. – № 1. – С. 164–169.
4. Орнатський Д. П. Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань переміщень диференціально-трансформаторними індуктивними датчиками / Д. П. Орнатський, М. В. Михалко, О. І. Осмоловський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 52–57.
5. Akyildiz I. F. Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks* // IEEE Communications Magazine. – 2008. – P. 250.
6. 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.
7. 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.

8. 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.

9. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2013.

10. 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.

11. Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (aps) using aoa // I Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238.

12. 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.

13. Savvides A., Han C. Strivastava M. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.

14. Yu Y., 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.

15. Simic S., Sastry S. Distributed localization in wireless ad hoc networks. // Technical Report UCB/ERL M02/26, UC Berkeley. – 2015.

16. He T., Huang C., Blum B. Range-free localization schemes for large scale sensor networks // In MobiCom '09: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, New York, 2016, ACM Press, New York. – P. 81–95.

## References

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers / Inc., IEEE Std. 802.15.4-2003, IEEE Standard for Information Technology – telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). New York: IEEE Press. – 2016. –

P. 250.

2. Kvasnikov V. P. Kontsepsiia povirky koordynatno-vymiriuvalnykh mashyn cherez Internet / V. P. Kvasnikov, T. M. Khaein // Metrolohiia ta pryklady. – 2013. – # 6. – S. 48–53.

3. Kvasnikov V. P. Sposoby pobudovy analohovykh interfeisiv informatsiino-vymiriuvalnykh system mekhanichnykh velychyn / V. P. Kvasnikov, D. P. Ornatskyi, T. P. Nichikova, I. V. Havrylov // Mizhnarodnyi naukovotekhnichniy zhurnal «Vymiriuvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh». – 2013. – # 1. – S. 164–169.

4. Ornatskyi D. P. Analohovi interfeis dlia dystantsiinykh vymiriuvan peremishchen dyferentsialno-transformatornykh induktyvnykh datchykamy / D. P. Ornatskyi, M. V. Mykhalko, O. I. Osmolovskiy // Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2014. – # 1/2 (67). – S. 52–57.

5. Akyildiz I. F. Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks // IEEE Communications Magazine. – 2008. – P. 250.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2013.

10. 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.

11. Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (aps) using aoa // I Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238.

12. 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.

13. Savvides A., Han C. Strivastava M. Dy-

dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.

14. Yu Y., Govindan R., Estrin D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks.

15. Simic S., Sastry S. Distributed localization in wireless ad hoc networks. //Technical Report

UCB/ERL M02/26, UC Berkeley. – 2015.

16. He T., Huang C., Blum B. Range-free localization schemes for large scale sensor networks // In MobiCom '09: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, New York, 2016, ACM Press, New York. – P. 81–95.

Надійшла до редакції: 27.04.2018

**В. П. Квасников**, д.т.н., **А. С. Дудник**, к.т.н.

### НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*В данной работе была предложена математическая постановка задачи определения координат в беспроводной сенсорной сети. Проведено исследование поставленной задачи. Целью этих исследований был поиск новых альтернативных методов определения расстояния между объектами, в результате которого было предложено, кроме классических средств измерения механических величин, использовать функцию локализации объектов беспроводных сенсорных сетей.*

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть, узел, стационарный узел, погрешность, локализация.

**V. P. Kvasnikov**, DSc, **A. S. Dudnik**, PhD

### SCIENTIFIC BASIS OF EVALUATING THE DISTANCE BETWEEN OBJECTS BY MEANS OF COMPUTERIZED SYSTEMS FOR MEASUREMENT OF MECHANICAL QUANTITIES

*Nowadays, wireless technologies are increasingly used in information measuring systems. The article will describe the concept of using wireless sensory networks (WSN) as a computerized system for measuring mechanical quantities, namely, the distance (object localization). Wireless sensor networks consist of a large number of sensory nodes that are used to control a particular area. This type of network has become popular due to its application, which includes several areas, such as environmental, medical, industrial, household, agricultural, and meteorological.*

*In this article it is proposed to consider sensor networks as a kind of computerized systems for measuring mechanical quantities, for example, measuring the distance between objects and analyzing the measurement error. It is proposed to describe the mathematical model of this problem, as well as formulate the basic definitions of system elements.*

*In this work, a structural diagram of the measuring device of a wireless sensor network, consisting of a sensor, a microcontroller, a power element and a transceiver, was constructed. The mathematical model of determination of coordinates in a wireless sensor network is proposed, which includes the distance between adjacent nodes, the number of sensor nodes forming the system of equations and the distribution function. A number of definitions have been introduced that characterize the process of establishing the current state of the node of the sensor network, namely: Defined nodes, Anchor nodes, Units of additional information, Localization problem. The criteria for classification of localization algorithms are defined, namely: data identification, data correlation, node addressing, network management, geographic algorithms. A study of a mathematical model was conducted. The purpose of these studies was to find new alternative methods for determining the distance between objects, which, in addition to the classical means of measuring mechanical quantities, was proposed to use the function of localization of objects of wireless sensor networks.*

**Keywords:** wireless sensor network, node, anchor, error, localization.