

Міністерство освіти і науки України  
Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького  
Українська асоціація з прикладної геометрії  
Мелітопольська школа прикладної геометрії

---

# СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ

---



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 3



м. Мелітополь

Наукове видання

## СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Збірник наукових праць

Випуск 3

Підписано до друку 29.05.2014 р. Формат 60x84 1/16  
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Cyr.  
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 9,01.  
Наклад 100 прим. Зам. № 971

Видавець

Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького

Адреса: 72312, м. Мелітополь, вул. Леніна, 20  
Тел. (0619) 44 04 64

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів  
видавничої продукції від 16.05.2012 р. серія ДК № 4324

Надруковано ФО-П Однорог Т.В.

72313, м. Мелітополь, вул. Героїв Сталінграду, 3а  
Тел. (067) 61 20 700

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів  
видавничої продукції від 29.01.2013 р. серія ДК № 4477

14. *Куценко Л.М., Балтаєва Г.Ю.* Геометричне моделювання електрокардіограм з метою діагностики захворювань серця..... 78
15. *Легета Я.П.* Опис та побудова спряжених центроїд некруглих зубчастих коліс..... 87
16. *Несвідомін В.М., Пилипак Т.С., Кремень Т.С.* Поверхні зображень на поверхнях, віднесених до просторових ізометричних сіток..... 95
17. *Пилипак С.Ф., Муквич М.М.* Аналітичний опис трубчастої поверхні, віднесеної до ліній кривини, у системі супровідного тригранника лінії укусу..... 100
18. *Савченко О.О.* Геометричне моделювання профілів морських хвиль на основі трохіодальної моделі..... 107
19. *Святиня М.А., Вознюк Т.А., Юрчук В.П.* Геометричне обґрунтування форми комбінованого ґрунтообробного диску методом спряження..... 113
20. *Соболь О.М., Чапля Ю.С.* Спосіб побудови 0-рівня R-функції для плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями..... 119
21. *Спірінцев В.В., Левада С.Р., Спірінцев Д.В.* Функціональна модель автоматизованого проектування лопаток турбокомпресорів..... 126
22. *Табакова І.С.* Визначення траєкторії обходу аграрними роботом за допомогою геодезичної лінії..... 130
23. *Чиж В.М., Карпінський М.П., Бабіш С.М.* Геометричне моделювання бездротових сенсорних мереж методом еталонних точок..... 139
24. *Шоман О.В., Даниленко В.Я.* Розв'язання задач формоутворення двовимірних геометричних множин у тривимірному просторі..... 147

УДК 004.94

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ  
СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ МЕТОДОМ ЕТАЛОННИХ ТОЧОК**

В.М. Чиж,

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

М.П. Карпінський, д.т.н.,

*Університет в Бельську-Бялій, Польща*

С.М. Балабан, к.т.н.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

Тел. 097-862-22-20

**Анотація** – описано метод моделювання бездротової сенсорної мережі з обмеженою кількістю інформаційних вузлів (ІВ), який дозволяє організувати відслідковування і аналіз сили сигналів ІВ. Запропоновано схему класифікації БСМ, яка дозволяє визначити оптимальний вид і метод візуалізації сили сигналів.

**Ключові слова** – бездротова сенсорна мережа (БСМ), інформаційні вузли, візуалізація, метод еталонних точок, кластерна модель, чотириточковий симплекс.

**Постановка проблеми.** Розвиток інформаційних технологій сприяє удосконаленню та широкому використанню практично у всіх сферах життєдіяльності людини БСМ. Сьогодні БСМ займають особливе місце серед засобів збирання та опрацювання великої кількості різноманітної інформації. Розширення сфер використання БСМ вимагає постійного їх ускладнення, підвищення надійності, довговічності швидкодії та рівня захищеності інформації. Вирішенню цих завдань сприяє наявність ефективних і простих методів моделювання. Тому розробці та апробуванню нових методів моделювання БСМ приділяють особливу увагу. Відомо, що системи моделювання БСМ дозволяють розробляти апаратне та програмне забезпечення зі значно меншими затратами, ніж у випадку використання реальних пристроїв [1]. Так математичні та фізичні моделі БСМ суттєво відрізняються між собою, але дозволяють успішно вирішувати завдання розвитку та удосконалення апаратних і програмних складових БСМ [2-5]. Для дослідження параметрів сигналів ІВ, зокрема сили сигналів, пропонують геометричні моделі для створення, яких використовують методи обчислювальної геометрії, зокрема геометрії відстаней [6-10], яка дозволяє із факту

існування співвідношення між вимірюваними відстанями досліджувати внутрішні властивості геометричних фігур. При цьому зручним з точки зору оптимальної кількості зав'язків є метод триангуляції Делоне.

В запропонованій моделі відстані між вузлами сітки віртуальної мережі є функціями сил сигналів реальних ІВ. Такі моделі використовують для візуалізації атак червоточин в БСМ. В основі запропонованих моделей є плоскі геометричні фігури, які при збільшенні розмірів їх елементів не можуть трансформуватися в об'ємні геометричні фігури, отже не придатні для візуалізації окремих ІВ параметри сигналів яких змінюються.

Для візуалізації окремих ІВ параметри сигналів, яких змінюються запропоновано кластерну модель БСМ [11, 12]. В процесі моделювання приймають, що у конфігураційному просторі двох вимірів ІВ геометрично представлені сигнальними точками (СТ), а відстані між СТ є функціями сил їх сигналів. В основу побудови кластера запропоновано правильний шестикутник. Складається кластер із 18 СТ з'єднаних за допомогою 36 функціональних зав'язків (ФЗ). Евклідов конфігураційний простір кластера покривають 18 чотириточкових симплексів-ромбів, які за певних умов при зміні довжин функціональних зав'язків можуть трансформуватися в об'ємні фігури.

На основі запропонованої кластерної моделі розроблено методи чотириточкових симплексів і фіктивних СТ для візуалізації атак на сигнали окремих ІВ або групи ІВ, які входять у структуру кластера. Однак для візуалізації БСМ з обмеженою кількістю ІВ ( $< 18$ ) доцільно використовувати метод еталонних сигнальних точок (ЕСТ).

*Основна частина.* Метод ЕСТ полягає у тому, що на першому етапі у чотириточковому симплексі всі ФЗ визначаються одними і тими ж параметрами еталонного ІВ. Таким чином, утворюється симплекс із п'ятьма рівними ФЗ, довжиною  $l$  і одним геометричним зв'язком, довжиною  $d = \sqrt{3}l$  (рис 1). Реальний ІВ, параметри сигналу якого зазнали змін, розміщують у положенні, яке визначається трьома ФЗ, тобто це положення СТ, що розміщена на малій діагоналі ромба (рис. 1 а). Видовження трьох ФЗ спричинить трансформацію ромба у тривимірний чотириточковий симплекс, який визначається трикутною пірамідою з вершиною у СТ, яка визначає реальний ІВ (рис.1 б). Як і при використанні методу [4], у цьому випадку висота піраміди буде характеризувати ступінь зміни параметрів сигналу реального ІВ.

Перевірку функціонування запропонованого методу проводили на реконструйованій топологічній поверхні БСМ одержаній на основі реальної мережі. Така БСМ була побудована на ІВ, які сформували на

модулях XBee виробництва США Digi International шляхом програмування стеку протоколів XBee на програмному рівні. IB функціонували в рамках протоколу Zig Bee згідно зі стандартом IEEE 802.15.4.

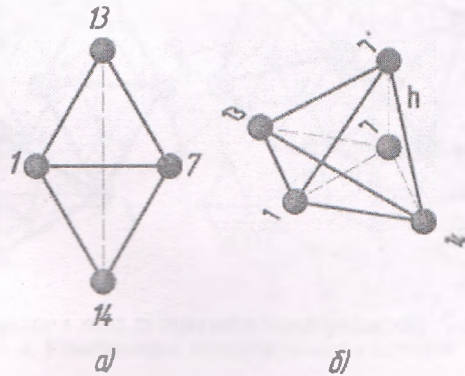


Рис. 1. Одинарний досліджуваний симплекс.

Реконструювання топологічної поверхні БСМ проводили, обчислюючи віртуальні позиції СТ використовуючи сітку з довжиною ФЗ 1м. При цьому об'єм досліджуваного симплекса рівний 0. Після приглушення сигналу реального IB визначаємо величину його трансформації шляхом вимірювання потужності прийнятого сигналу сусіднім IB. Так за потужність прийнятого приглушеного сигналу визначаємо, що віддаль між СТ досліджуваного симплекса збільшилась до 2,85 м, а об'єм трансформованого симплекса досяг  $0,38 \text{ м}^3$ .

Якщо внаслідок зміни параметрів сигналів IB кластера, створюється область повної трансформації, то доцільно параметри кожного симплекса з цієї області перевірити за допомогою такого еталонного IB. В цьому випадку можна утворити дослідницькі кластери, які складаються з двох, чотирьох, восьми, шістнадцяти симплексів, кожний з яких визначається трьома СТ, які перебувають у стані спокою. Четверта СТ кожного симплекса буде давати характеристики атаки на IB (рис. 2, 3).

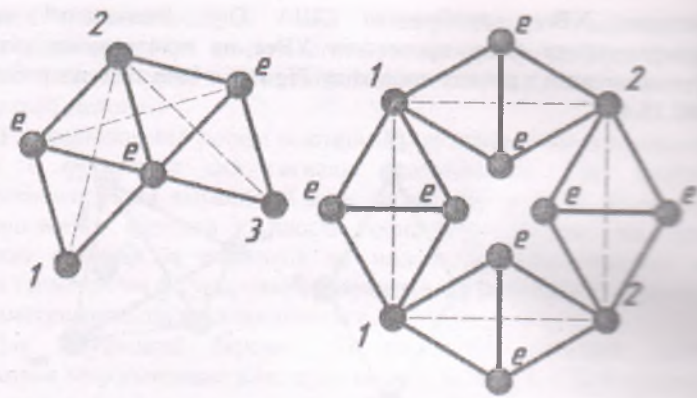


Рис. 2. Досліджувані кластери із двох і чотирьох симплексів.

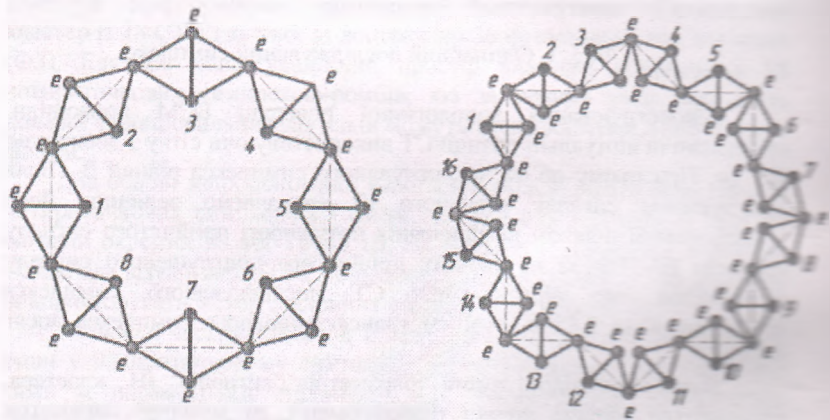


Рис. 3. Досліджувані кластери із восьми та шістнадцяти симплексів.

Можливі також комбінації кластерів із більшої кількості симплексів (рис. 4).

У  
припадає  
еталонні  
утворенні  
вигляді  
зрозумілі  
нулю.  
приводи  
зображе  
шести (р  
дослідж

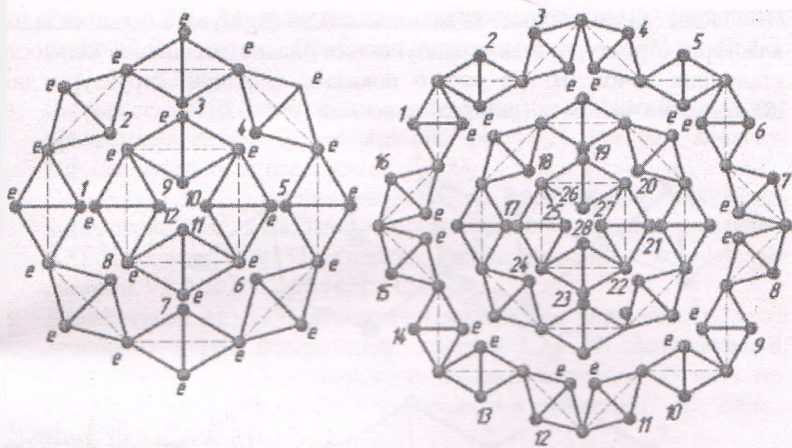


Рис. 4. Комбіновані досліджувані кластери.

У розглянутих досліджуваних кластерах на один вражений ІВ припадає два еталонних ІВ. Тому, з метою зменшення кількості еталонних ІВ, є можливість утворити інші типи кластерів, у яких крім утворення трикутних пірамід виникають інші тривимірні симплекси у вигляді зігнутих по спільній стороні двох трикутників. Цілком зрозуміло, що об'єми таких тривимірних симплексів дорівнюють нулю. Визначення геометричного зв'язку таких симплексів, приводить до їх розгортання у плоский чотирикутник. На рис. 5 зображено два дослідні кластери, які складаються з семи (рис. 5,а) та шести (рис. 5,б) СТ. На три досліджувані ІВ у першому випадку і два досліджувані ІВ у другому випадку, припадає чотири еталонні ІВ.

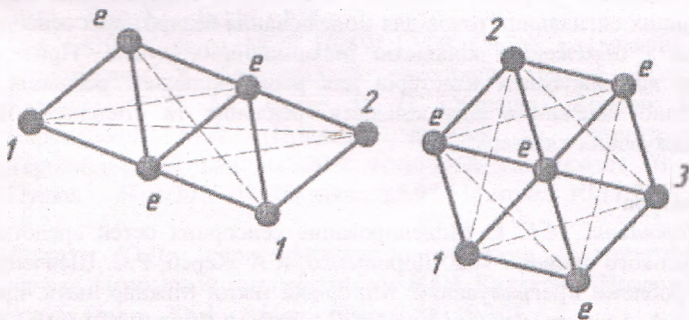


Рис. 5. Досліджувані кластери з чотирма та шістьма еталонними інформаційними вузлами.



Кластер типу б (рис. 5) дає можливість формувати більш складні кластерні структури, в яких відбувається значне зменшення кількості еталонних точок ІВ. На рис. 6 показано кластерні структури для дослідження чотирьох (рис. 6,а) та восьми (рис. 6,б) ІВ.

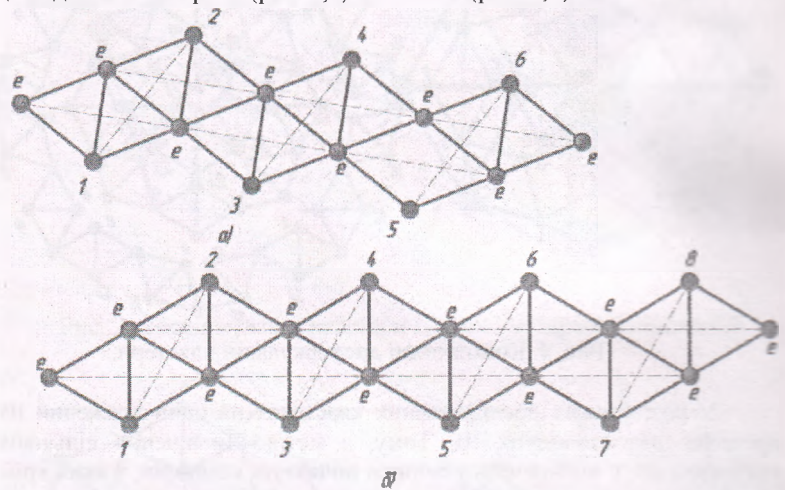


Рис. 6. Кластерні структури більш складних типів.

Для таких структур характерним є зменшення кількості еталонних ІВ на один досліджуваний ІВ. Послідовність відношень кількості еталонних ІВ до кількості досліджуваних ІВ має вигляд:

$$\frac{4}{2} = 2; \frac{6}{4} = 1,5; \frac{8}{6} \approx 1,33; \frac{10}{8} = 1,25; \dots$$

**Висновок.** В роботі доведено доцільність використання методу еталонних сигнальних точок для моделювання бездротових сенсорних мереж з обмеженою кількістю інформаційних вузлів. Приведено схеми досліджуваних кластерів для різної кількості реальних ІВ. Показано залежність між кількістю реальних та еталонних ІВ у досліджуваних кластерах.

#### Література

1. Дорошенко, А.Е. О Моделирование сенсорных сетей средствами высокого уровня / А.Е. Дорошенко, К.А. Жереб, Р.С. Шевченко // Проблеми програмування: Матеріали п'ятої Міжнар. наук.-практ. конф. з програмування УкрПРОГ ' 2006, м. Київ, 23-25 трав. 2006 р. - К.: НАН України. Ін-т програмних систем, 2006. - № 2-3. - С. 718-727. - ISSN 1727-4907.

2. Рагозин, Д.В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей / Д.В. Рагозин // Проблемы програмування — 2008. — № 2-3. — С. 721-729.
3. Сергиевский М.В. Беспроводные сенсорные сети. Часть 3. Средства программирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://compress.ru/article.aspx?id=19369>.
4. Плахтеев А.П. Моделирование и исследование процессов взаимодействия элементов беспроводных сенсорных сетей / А.П. Плахтеев, П.А. Плахтеев. // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. - Х., 2010. - №6 (47). - С.20-24.
5. Зеляновський М. Ю. Математичні моделі для спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу / М. Ю. Зеляновський, О. В. Тимченко // *Моделювання та інформ. технології: зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т пробл. моделювання в енергетиці*. - К., 2009. - Вип. 50. - С. 192-200.
6. Chinh T. Delaunay-triangulation based complete coverage in wireless sensor networks / Chinh T. Vu, Yingshu Li // *PERCOM '09 Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications – 2009* - P. 1-5. - ISBN: 978-1-4244-3304-9.
7. A. Becher Tampering with Motes: Real-World Physical Attacks on Wireless Sensor Networks / Becher A., Benenson Z., Dornseif M. // *Security in Pervasive Computing : Lecture Notes in Computer Science*. - Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2006. - P.104–118.: ISBN 978-3-540-33376-0.
8. Карпінський М.П. Геометричне моделювання у графічному представленні сенсорних мереж / М.П. Карпінський, С.М. Балабан, В.М. Чиж // *Прикладна геометрія та інженерна графіка: Доповіді VII міжнародної науково-практичної конференції*. - К.: Віпол, 2011. - Вип. 87. - С.154 - 158.
9. Пат. 64391 Україна, МПК H04W 12/00. Спосіб візуалізації атаки червоточини в безпроводній сенсорній мережі [Текст] / Карпінський В. М., Євтух П. С. (Україна), Боровік Б. Л., Карпінський М.П. (Польща); заявник та патентовласник Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – № u 2011 03578; заявл. 25.03.11; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 4 с.
10. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. (Математические начала физической герменевтики) / Ю.И. Кулаков. - Новосибирск: Альфа Виста, 2004. - 851 с. - ISBN 5-88119-008-4.
11. Чиж В. Алгоритм побудови та дослідження структури кластера при геометричному моделюванні бездротових сенсорних мереж / В. Чиж, О. Демчишин, М. Карпінський, С. Балабан // *Збірник*

наукових праць «Будівництво та техногенна безпека» – Сімферополь: Національна академія природоохоронного та курортного будівництва, 2012. - Вип. 41. - С. 246-251.

12. Чиж В. Використання кластерної моделі для розрахунку надійності бездротової сенсорної мережі / В. Чиж, О. Демчишин, М. Карпінський, С. Балабан // Інформаційна безпека – Луганськ: Видавництво СЛУ ім. В. Даля, 2012. – Вип. №1(7). - С. 83-89. – ISSN 2224-9613.

#### ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ ЭТАЛОННЫХ ТОЧЕК

В.М. Чиж, Н.П. Карпинский, С.Н. Балабан

*Аннотация* – описан метод моделирования беспроводной сенсорной сети (БСС) с ограниченным количеством информационных узлов (ИУ), который позволяет организовать отслеживание и анализ силы сигналов ИУ. Предложена схема классификации БСС, которая позволяет определить оптимальный вид и метод визуализации силы сигналов

#### GEOMETRIC MODELING OF WIRELESS SENSOR NETWORKS USING THE METHOD OF STANDARD POINTS

V. Chyzh, M. Karpinski, S. Balaban

##### *Summary*

The method of modeling a wireless sensor network with a limited number of information nodes (INODES) that allows you to organize tracking and analysis of the signal strength of INODES is described. The scheme of classification of WSN, which allows you to determine the best view and type of imaging technique of signal strength is proposed.

УДК

Шом  
Нац  
"Хар  
Дан  
Хар  
Телфо  
в п  
пр  
па  
під

мо

ге  
ал  
па  
се  
ре  
ге  
п  
г  
вф  
Е