



ISSN 1998-7927

ВІСНИК

Східноукраїнського
національного
університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

69-76

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№15(204)
Частина 1
2013



ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ СИЛИ СИГНАЛІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВУЗЛІВ

Карпінський М.П., Чиж В.М., Балабан С.М., Яремчук Т.О.

GEOMETRIC MODELING WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR ANALYSIS SIGNAL STRENGTH INFORMATION NODES

Karpinski M., Chyzh V., Balaban S., Yaremchuk T.

моделюванні мереж до складу яких входять ІВ одного типу конфігураційний простір представляють точки, які знаходяться у вершинах квадратів. Для розроблення маршрутів передачі інформації така модель не є оптимальною, оскільки передбачає переміщення тільки у вертикальному і горизонтальному напрямках, що значно збільшує довжину шляху переміщення інформації, а відповідно і енергетичні затрати на функціонування БСМ в цілому. Використання гексагональної сітки розміщення інформаційних вузлів дозволяє планувати переміщення інформації в трьох напрямках, але передбачає збільшення числа ІВ на одиниці площі, порівняно з попередньою схемою розміщення ІВ.

Для дослідження параметрів сигналів ІВ, зокрема, сили сигналів, пропонуються геометричні моделі для створення, яких використовують методи обчислюваної геометрії, зокрема геометрії відстаней [4,5], яка дозволяє із факту існування співвідношень між вимірюваними відстанями досліджувати внутрішні властивості геометричних фігур. При цьому зручними з точки зору оптимальної кількості зв'язків є метод триангуляції Делоне. В запропонованій моделі відстань між вузлами сітки віртуальної мережі є функціями сили сигналів реальних інформаційних вузлів. В результаті зменшення сили сигналів відстань між вузлами сітки віртуальної мережі збільшується, площа змодельованої мережі зростає, що проводить до її викривлення, тобто відхилення від початкової плоскої форми. За величиною такого відхилення оцінюють кількісні і якісні зміни сили сигналів реальної БСМ. Такі моделі використовують для візуалізації атак червоточини 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.

Основна частина. Геометричні моделі при відповідному виборі узгоджувальних функціональних залежностей визначають геометричні утворення в ЕКП і дають можливість будувати ієрархічні структури із сигнальних точок

(СТ). Створення структури ґрунтується на принципі самоподібності, який є основою побудови різного виду геометричних структур у фрактальній геометрії [6,7,8]. Ієрархічна структура дозволяє швидко, опускаючись по «ієрархічній драбині», відшукати первинний геометричний об'єкт конфігураційного простору, складений із невеликої кількості СТ, в якому відбулися структурні зміни внаслідок атаки на сигнали одного або декількох ІВ.

В процесі моделювання приймають, що у конфігураційному просторі двох вимірів ІВ геометрично представленні СТ, а відстані між СТ є функціями сили їх сигналів. Якщо сили сигналів відповідних ІВ рівні Ω_1 і Ω_2 , то відстань між ними представляють, як $L_{12}=L(\Omega_1, \Omega_2)$. При такому представленні істинні відстані між ІВ в реальному просторі не мають значення, оскільки в середовищі, де за звичай працюють БСМ, сигнал

поширюється зі швидкістю близькою швидкості світла. Для створення відповідної між ІВ і СТ ЕКП враховують і «шумові сигнали» Ω , якими наповнений простір розташування реальних ІВ. Тому як відповідність шумового сигналу Ω , у моделі представляють відрізок довжини $L_0=L(\Omega)$, а сигналом двох однотипних ІВ Ω_1 і Ω_2 відрізки однакової довжини $L_j=L(\Omega_j)=L(\Omega)$. Отриманий таким чином відрізок довжини $L_{12}=2L_j+L_0$ є функціональним зв'язком (ФЗ), який визначає у ЕКП відстань між СТ 1 і 2 (рис. 1). Таким чином ФЗ представляє два однотипні ІВ в ЕКП:

- кінці відрізка L_{12} є СТ, представляють два ІВ в ЕКП;
- довжина відрізка L_{12} є який характеризує роботу ІВ.

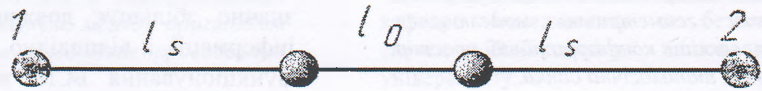


Рис. 1. Функціональний зв'язок (ФЗ) між двома сигнальними точками (СТ).

ФЗ між двома СТ, які представляють не однотипні ІВ визначаються відрізком $L_{12}=L_{j1}+L_{j2}+L_0$, де L_{j1} і L_{j2} характеризують параметри сигналів ІВ Ω_1 і Ω_2 з врахуванням того, що $\Omega_1 \neq \Omega_2$.

Якщо ІВ у реальній БСМ зв'язані більшою кількістю ІВ, то в ЕКП моделі представляє СТ з цією ж кількістю відповідної довжини (рис. 2), які формують аналогічно. Наприклад, ФЗ між СТ 1 і 3 рівні $L_{13}=L_j+L_{j3}+L_0$, де $L_{j3}=L(\Omega_3)$

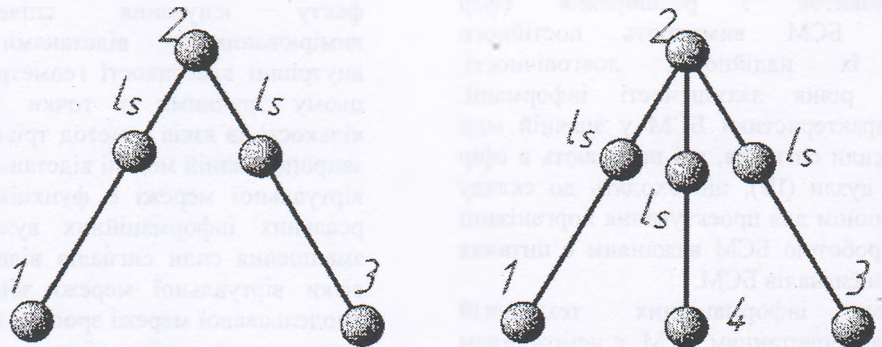


Рис. 2. Функціональні зв'язки сигнальної точки з двома і трьома сусідніми сигнальними точками

Під час моделювання БСМ, до складу якої входять однотипні ІВ, в основу побудови множини СТ конфігураційного простору беруть рівносторонній трикутник зі стороною L . У вершинах такого трикутника розмішують три СТ і одержують Δ_k , який визначається функціональними зв'язками L_{ij} , L_{jk} і L_{ki} між СТ I, J, K . Якщо до складу БСМ входять не

однотипні ІВ в основу побудови беруть звичайний трикутник дотримуючись принципу нерівності (сума двох сторін трикутника більша за довжину третьої сторони). Таким чином СТ, представляють ІВ мережі у конфігураційному просторі, розмішують у вершинах трикутника (рис. 3).

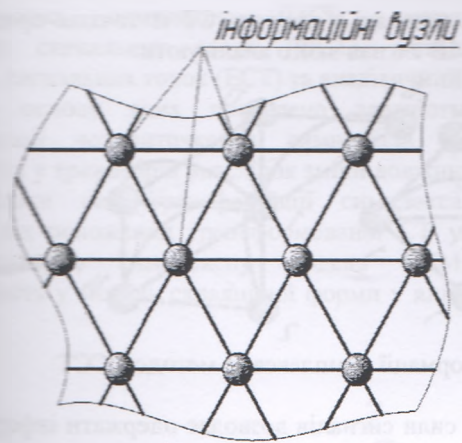


Рис. 3. Фрагмент геометричної моделі БСМ з трикутними комітками.



Рис. 4. Схема симплекса-ромба $\{[C]_p^k$ зі сигнальними точками I, J, K, P у вершинах

Для здійснення комп'ютерної візуалізації параметрів сигналів ІВ кожні два сусідні симплекси геометричної моделі БСМ об'єднують у трикутні симплекси $\{[C]_p^k$ з вершинами I, J, K, P. Такі симплекси значно зручніші для досліджень оскільки при переміщенні сигналних точок вони розміщені у їх вершинах симплекси трансформуються у відрізки прямої лінії, відрізки або трикутні піраміди.

Об'єднання двох рівносторонніх симплексів із спільною стороною утворює ромб (Рис. 4). Не з'єднаними залишаються велика діагональ. Якщо з'єднати ці діагоналі, визначивши його довжину із властивостей ЕКП, то отримаємо симплекс $\{[C]_p^k$, в якому чотири вершини

мають ГЗ довжиною L (чотири сторони ромба) та одним геометричним зв'язком довжиною $d = \sqrt{3}l$ (велика діагональ). ГЗ визначаються характером роботи ІВ в межах довжини визначають положення СТ в межах ГЗ не може змінювати форму ромба. Він вказує лише відстань між двома протилежними вершинами, причому ця відстань виражається у площині симплекса. ГЗ на ромбі позначені штриховими лініями.

Для стабільної роботи ІВ у симплексі встановлюють тривимірний евклідовий простір із ГЗ довжиною L. ГЗ визначаються характером роботи ІВ в межах довжини визначають положення СТ, які представляють ІВ, які знаходяться в межах ГЗ. Зміна в роботі ІВ приводить до зміни довжини ГЗ у симплексі. Встановлюють від того, яким чином встановлюють положення СТ у симплексі існують два параметри сили сигналів ІВ.

Перший вид візуалізації ґрунтується на визначенні положення СТ фіксується у просторі СТ, таким чином, залишаються

нерухомими і при зміні сили сигналів інформаційних вузлів. Зміна сили сигналу ІВ або групи ІВ спричиняє зміну відповідних ФЗ, які здійснюють викривлення простору навколо тих нерухомих СТ, які визначають ІВ сигнали яких аналізують. Зміненні у довжині ФЗ стають дугами кіл, які відділяються від кола хордами довжиною L. Дуги мають своїм початком зафіксовану СТ, яка представляє ІВ сигнал якого аналізують. Кінці дуг фіксують у СТ які визначають ФЗ в початковому створені симплекса. Таким чином, навколо СТ сигнал ІВ якої аналізують, відбувається викривлення простору. Такий вид візуалізації доцільно використовувати у випадках, коли одночасно змінюється сила сигналів великої кількості ІВ, зокрема для оцінювання енергетичного запасу ІВ з автономним живленням.

Другий вид візуалізації ґрунтується на можливості переміщення СТ в залежності від довжини ФЗ, які визначають точки. При стабільній роботі ІВ, як вже було сказано, геометрична модель БСМ представлена однаковими симплексами – ромбами, в яких п'ять відстаней між СТ є ФЗ довжиною L, а шоста відстань – велика діагональ ромба є ГЗ довжиною $d = \sqrt{3}l$. Геометрія симплекса змінюється в результаті змін сили сигналу одного або декількох ІВ внаслідок того, що ФЗ, які характеризують роботу ІВ змінюють свою довжину. Зміна довжин ФЗ приведе до переміщення відповідних СТ. Таким чином, відбудеться трансформація простору симплекса навколо СТ, які візуально визначають в конфігураційному просторі комп'ютера ІВ сила сигналів яких зазнала змін.

Перший вид візуалізації можна реалізувати використовуючи метод стаціонарних сигнальних точок (ССТ). В цьому випадку визначення ГЗ потрібно лише при вирішенні конкретних задач, які можуть виникати. Область повної трансформації симплекса $\{[C]_p^k$ складається із

пари взаємозв'язаних трикутників Δ_p^i і Δ_k^p (рис. 5) дві сторони кожного з яких перетворюються на

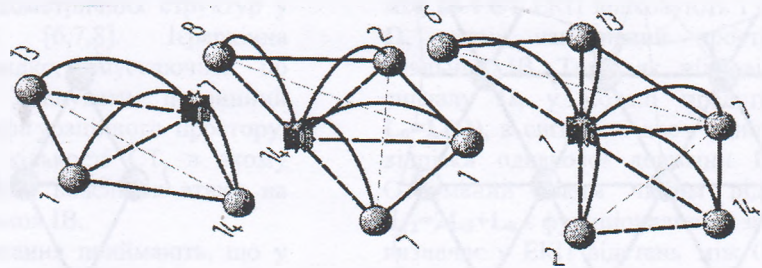


Рис. 5. Візуальне зображення області повної трансформації симплекса за методом ССТ

Розглянемо процес контролю за рівнем залишкової енергії ІВ мережі з автономним живленням. В процесі роботи ІВ запас енергії їхніх джерел живлення зменшується. Відповідно сила сигналів зменшується. Отже, силу сигналів ІВ представляють, як функцію залишкової енергії їхніх джерел живлення. Таким чином візуалізація

дуги, які з'єднують СТ із точкою-представник ІВ сигнал якого аналізують.

сили сигналів дозволяє одержати інформацію про рівень залишкової енергії джерел живлення ІВ. Так візуалізація сили сигналу i -того ІВ, причини зменшення якої є зниження енергетичного запаса джерела живлення, відбувається за схемою, приведеною на рис. 6.

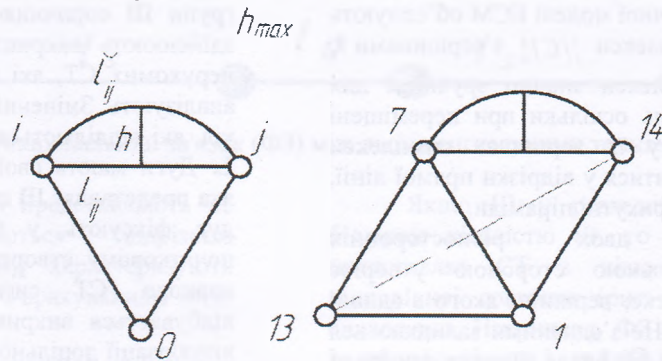


Рис. 6. Схема візуалізація зміни сили сигналу ІВ за методом ССТ. I, J – номери досліджуваних СТ віртуальної мережі; l_{ij} – довжина ФЗ між СТ I, J , на початку досліджень; \bar{l}_{ij} – змінена довжина ФЗ між СТ I, J в процесі досліджень; h – показник трансформації симплекса.

Відповідно запропонованому методу візуалізації зменшення сили сигналу між СТ i, j приводить до збільшення довжини дуги \bar{l}_{ij} при незмінній довжині хорди l_{ij} . Отже, збільшується h – величина найбільшого перевищення дуги \bar{l}_{ij} над хордою l_{ij} , яку називають показником трансформації. При досягненні сили сигналу мінімально критичного значення експлуатація ІВ стає недоцільною, а показник трансформації набуває максимального значення h_{max} . Таким чином, встановивши на основі фізичних характеристик ІВ та умов експлуатації БСМ h_{max} і залежність між l_{ij} ; \bar{l}_{ij} і h одержують можливість аналізу надійності роботи окремих ІВ і БСМ в цілому.

Для встановлення залежності між вказаними геометричними параметрами

представляють довжину дуги \bar{l}_{ij} у вигляді формули Гюйгенса:

$$\bar{l}_{ij} \approx 2l + \frac{1}{3}(2l - l_{ij}) \quad (1)$$

Відповідно $l \approx \frac{3\bar{l}_{ij} + l_{ij}}{8}$, (2):

Як катет прямокутного трикутника

$$h = \sqrt{l^2 - \frac{(l_{ij})^2}{4}}, \quad (3)$$

підставивши L з (2) в (3) одержують

$$h = \frac{\sqrt{3}}{8} \sqrt{3(\bar{l}_{ij})^2 + 2\bar{l}_{ij}l_{ij} - 5(l_{ij})^2}, \quad (4)$$

Приведені графічні та аналітичні дослідження підтверджують можливість відслідковувати силу сигналів всіх ІВ мережі оцінювати надійність їхньої роботи.

Для реалізації другого виду візуалізації запропоновано чотири методи: метод

сигнальних точок (ФСТ), метод сигнальних точок (ЕСТ) та аналітичний з основу яких покладено здатність трансформації чотириточкових симплексів із трансформації у тривимірні внаслідок зміни довжин. Оскільки вид трансформації симплекса від положення трансформованої СТ у структурі, симплексну модель БСМ у модель складнішої форми у якій

кожна СТ одночасно належала б до кількох симплексів, в яких займала б різні положення.

Як основу побудови кластера запропоновано правильний шестикутник зі стороною l_y . У вершинах такого шестикутника розміщують шість СТ. наступним кроком побудови є окантування шестикутника правильними трикутниками зі сторонами такої ж довжини, у вершинах яких також розміщують СТ (рис. 7).

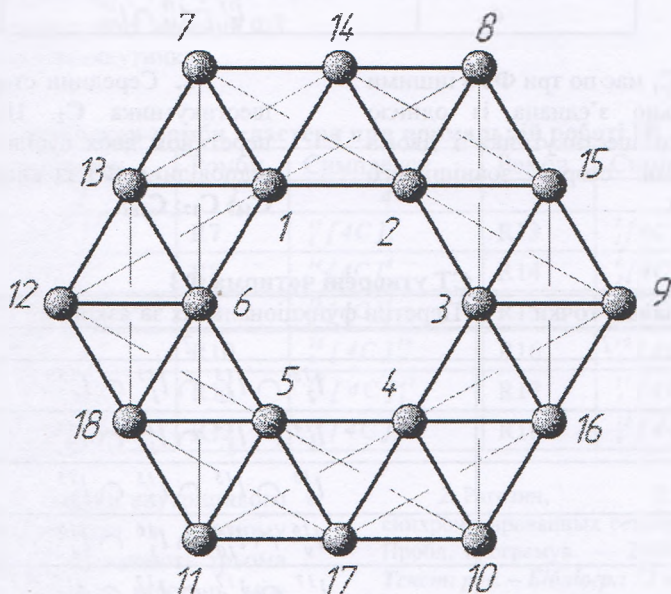


Рис. 7. Кластерна модель із СТ в ЕКП.

побудова дає можливість утворити ще одну внутрішню помістити в центр внутрішнього шестикутника, з'єднавши її шістьма ФЗ з точками внутрішнього шестикутника. Але це робити недоцільно тому, що при збільшенні СТ на одиницю кількість ФЗ збільшується на шість.

Утворений таким чином кластер $K(18,36)$ шестикутну структуру повністю знаходиться в межах ЕКП. Кластер складається із 18 однакових ФЗ довжиною l_y . ФЗ, а отже, і

СТ будуть визначатися властивостями ІВ, а не властивостями ЕКП. СТ є представниками ІВ у тривимірному просторі комп'ютера, а ФЗ виконують роботу ІВ у реальних умовах.

У представленому кластері множини ФЗ $L_1 = \{L_{1,4}; L_{1,2}; L_{1,6}; L_{2,4}; L_{2,8}; L_{2,15}; L_{2,3}; L_{3,16}; L_{3,10}; L_{3,17}; L_{4,5}; L_{5,17}; L_{5,11}; L_{6,12}; L_{6,13}; L_{7,13}; L_{7,14}; L_{8,14}; L_{8,15}; L_{9,16}; L_{10,17}; L_{11,17}; L_{11,18}; L_{12,18}; L_{12,13}\}$ розбиваються на три класи – $L = L_1 \cup L_2 \cup L_3$

Множину 12-ти ФЗ, які утворюють сторони обвідного шестикутника $L_1 = \{L_{7,13};$

$L_{7,14}; L_{8,14}; L_{8,15}; L_{9,15}; L_{9,16}; L_{10,16}; L_{10,17}; L_{11,17}; L_{11,18}; L_{12,18}; L_{12,13}\}$;

1. Множину 6-ти ФЗ, які є сторонами внутрішнього шестикутника: $L_2 = \{L_{1,2}; L_{2,3}; L_{3,4}; L_{4,5}; L_{5,6}; L_{6,1}\}$;

2. Множину 18-ти ФЗ, які з'єднують вершини внутрішнього шестикутника із вершинами і серединами сторін зовнішнього шестикутника: $L_3 = \{L_{1,7}; L_{1,13}; L_{1,14}; L_{2,14}; L_{2,8}; L_{2,15}; L_{3,15}; L_{3,9}; L_{3,16}; L_{4,16}; L_{4,10}; L_{4,17}; L_{5,17}; L_{5,11}; L_{5,18}; L_{6,18}; L_{6,12}; L_{6,13}\}$.

ФЗ, як утворюючі елементи кластера $(K18;36)$, в перетині визначають множину C 18-ти СТ кластера: $C = \{C_1; C_2; C_3; C_4; C_5; C_6; C_7; C_8; C_9; C_{10}; C_{12}; C_{13}; C_{14}; C_{15}; C_{16}; C_{17}; C_{18}\}$.

В залежності від того, перетином скількох ФЗ визначається СТ, усю множину СТ розбивають на три класи ($C = C_1 \cup C_2 \cup C_3$):

1. Вершини зовнішнього обвідного шестикутника C_1 . Цей клас СТ визначають перетином двох сусідніх ФЗ із класу L_1 та одним ФЗ із класу L_3 :

$C1 = \{C7; C8; C9; C10; C12\}$.

Таблиця

СТ утворені трьома ФЗ

Сигнальні точки	Перетин функціональних зв'язків
c_7	$l_1^7 \cap l_7^{13} \cap l_7^{14}$
c_8	$l_2^8 \cap l_8^{14} \cap l_8^{15}$
c_9	$l_3^9 \cap l_9^{15} \cap l_9^{16}$
c_{10}	$l_4^{10} \cap l_{10}^{16} \cap l_{10}^{17}$
c_{11}	$l_5^{11} \cap l_{11}^{17} \cap l_{11}^{18}$
c_{12}	$l_6^{12} \cap l_{12}^{18} \cap l_{12}^{13}$

Кожна СТ класу C_1 має по три ФЗ з іншими СТ. Вона функціонально з'єднана із однією вершиною внутрішнього шестикутника і двома СТ, які є серединами сторін зовнішнього обвідного шестикутника.

2. Середини сторін зовнішнього обвідного шестикутника C_2 . Цей клас СТ визначають перетином двох сусідніх ФЗ із класу L_1 та двох відповідних ФЗ із класу L_3 : $C_2 = \{C_{13}; C_{14}; C_{15}; C_{16}; C_{17}; C_{18}\}$.

Таблиця

СТ утворені чотирма ФЗ

Сигнальні точки	Перетин функціональних зв'язків
1	2
c_{13}	$l_7^{13} \cap l_{12}^{13} \cap l_1^{13} \cap l_6^{13}$
c_{14}	$l_7^{14} \cap l_8^{14} \cap l_1^{14} \cap l_2^{14}$
c_{15}	$l_8^{15} \cap l_9^{15} \cap l_2^{15} \cap l_3^{15}$
c_{16}	$l_9^{16} \cap l_{10}^{16} \cap l_3^{16} \cap l_4^{16}$
c_{17}	$l_{10}^{17} \cap l_{11}^{17} \cap l_4^{17} \cap l_5^{17}$
c_{18}	$l_{11}^{18} \cap l_{12}^{18} \cap l_5^{18} \cap l_6^{18}$

Кожна СТ класу C_2 має по чотири ФЗ з іншими СТ. вона функціонально з'єднана із двома сусідніми вершинами зовнішнього обвідного шестикутника та двома вершинами внутрішнього шестикутника.

3. Вершини внутрішнього шестикутника C_3 . Цей клас СТ визначають перетином трьох відповідних ФЗ із класу L_3 та двох сусідніх ФЗ із класу L_2 : $C_3 = \{C_1; C_2; C_3; C_4; C_5; C_6\}$.

Кожна СТ класу C_3 має по п'ять ФЗ з іншими СТ. Вона функціонально з'єднана із двома сусідніми вершинами внутрішнього шестикутника, однією вершиною зовнішнього обвідного шестикутника та двома СТ, які є серединами сторін зовнішнього обвідного шестикутника.

Таблиця 3

СТ утворені п'ятьма ФЗ

Сигнальні точки	Перетин функціональних зв'язків
c_1	$l_1^2 \cap l_1^6 \cap l_1^7 \cap l_1^{13} \cap l_1^{14}$
c_2	$l_1^2 \cap l_2^3 \cap l_2^8 \cap l_2^{14} \cap l_2^{15}$
c_3	$l_2^3 \cap l_3^4 \cap l_3^9 \cap l_3^{15} \cap l_3^{16}$
c_4	$l_3^4 \cap l_4^5 \cap l_4^{10} \cap l_4^{16} \cap l_4^{17}$
c_5	$l_4^5 \cap l_5^6 \cap l_5^{11} \cap l_5^{17} \cap l_5^{18}$
c_6	$l_5^6 \cap l_1^6 \cap l_6^{12} \cap l_6^{18} \cap l_6^{13}$

Множини ФЗ L і СТ С дозволяють розширити двовимірний евклідовий простору кластера K (18, 36) трикутника T, яка налічує 18

$$T = \{ \Delta_1^{14}, \Delta_2^{14}, \Delta_3^{14}, \Delta_4^{14}, \Delta_5^{14}, \Delta_6^{14}, \Delta_7^{14}, \Delta_8^{14}, \Delta_9^{14}, \Delta_{10}^{14}, \Delta_{11}^{14}, \Delta_{12}^{14}, \Delta_{13}^{14}, \Delta_{14}^{14}, \Delta_{15}^{14}, \Delta_{16}^{14}, \Delta_{17}^{14}, \Delta_{18}^{14} \}$$

Множину трикутників розділяють на дві групи:

$$T_1 = \{ \Delta_1^{14}, \Delta_2^{14}, \Delta_3^{14}, \Delta_4^{14}, \Delta_5^{14}, \Delta_6^{14}, \Delta_7^{14} \}$$

Множину трикутників, в основі яких наявний ФЗ кластера СТ внутрішнього шестикутника;

2. $T = \{ \Delta_1^1, \Delta_2^1, \Delta_3^1, \Delta_4^1, \Delta_5^1, \Delta_6^1, \Delta_7^1, \Delta_8^1, \Delta_9^1, \Delta_{10}^1, \Delta_{11}^1, \Delta_{12}^1, \Delta_{13}^1, \Delta_{14}^1, \Delta_{15}^1, \Delta_{16}^1, \Delta_{17}^1, \Delta_{18}^1 \}$ - множину трикутників, вершини яких є СТ із різних класів СТ.

Контур внутрішнього шестикутника вважають представленою 18 $\{ [4C]_p^k \}$, які при побудові мають початкову геометричну форму ромба RI ($I \in N_{18}$). В таблиці 4 приведенні усі утворенні ромби RI ($I \in N_{18}$), які є представниками симплексів $\{ [4C]_p^k \}$, при нормальній роботі ІВ у кластері.

Таблиця 4

Симплекси-ромби кластера при нормальній роботі ІВ

Ромби	Симплекси	Ромби	Симплекси	Ромби	Симплекси
1	2	3	4	5	6
R1	${}^7_{13} [4C]_1^{14}$	R7	${}^{13}_6 [4C]_7^7$	R13	${}^7_1 [4C]_2^{14}$
R2	${}^{14}_2 [4C]_{15}^8$	R8	${}^{14}_1 [4C]_2^8$	R14	${}^8_2 [4C]_3^{15}$
R3	${}^{15}_3 [4C]_{16}^9$	R9	${}^{15}_2 [4C]_3^9$	R15	${}^9_3 [4C]_4^{16}$
R4	${}^{16}_4 [4C]_{17}^{10}$	R10	${}^{16}_3 [4C]_4^{10}$	R16	${}^{10}_4 [4C]_5^{17}$
R5	${}^{17}_5 [4C]_{18}^{11}$	R11	${}^{17}_4 [4C]_5^{11}$	R17	${}^{11}_5 [4C]_6^{18}$
R6	${}^{18}_6 [4C]_{13}^{12}$	R12	${}^{18}_5 [4C]_6^{12}$	R18	${}^{12}_6 [4C]_1^{13}$

Для покращення обвідки внутрішнього кластера на 18 симплексів в кожному ромбі дві протилежні СТ визначають трьома вершинами ФЗ, який визначає відстань між ними. Дві інші протилежні СТ визначають вершинами ГЗ, який визначає відстань між ними.

У кластері СТ можуть одночасно належати до двох або трьох симплексам. За цими ромбами СТ поділяють на три групи:

Група С₁ є вершинами для трьох

Група С₂ є вершинами для чотирьох

Група С₃ є вершинами для п'яти

Розглянуто два види візуалізації параметрів сигналів ІВ. Перший вид візуалізації базується на тому, що первинне поле СТ фіксується у кластері. Другий вид візуалізації базується на залежності від часу ФЗ, які визначають точки. Також чотири методи дослідження параметрів сигналів ІВ.

Література

Дорошенко, А.Е. О моделировании сенсорных сетей высокого уровня / А.Е. Дорошенко, К.А. Жереб, Р.С. Шевченко // К.: Проблеми програмування. – 2006. – N 2-3. – С. 718-727 – Текст: рос. – Библиогр.: 23 назв. ISSN 1727-4907.

2. Рагозин, Д.В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей / Д.В. Рагозин // Пробл. програмув. – 2008. – N 2-3. – С. 721-729. Текст: рос. – Библиогр.: 12 назв.

3. Săcăleanu, D. I. Increasing lifetime in grid wireless sensor networks through routing algorithm and data aggregation techniques./ D. I. Săcăleanu, D. M. Ofrim, R. Stoian, & V. Lăzărescu // International Journal of Communications. – 2011. – Volume 5. Pp. 157-164.

4. Becher, A. Tampering with motes: Real-world physical attacks on wireless sensor networks / A. Becher, Z. Benenson, M. Dornseif // Lecture Notes in Computer Science, In J. A. Clark, R. F. Paige, F. Po-lack, and P. J. Brooke, editors, SPC, – 2006. – Volume 3934. Pp. 104-118.

5. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. (Математические начала физической герменевтики) / Ю.И. Кулаков. – М., 2004. – 847 с.

6. Мандельброт, Бенуа. Фрактальная геометрия природы/ Бенуа Мандельброт;– Ижевск.: ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. 2010. – 756 с. – ISBN 978-5-93972-872-0

7. Шредер, М. Фракталы, хаос, степенные законы./ М. Шредер – Ижевск: РИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 528 с. – ISBN 5-93972-041-2

8. Koucheryavy, A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / Andrey Koucheryavy, Salim Ahmed // Advanced Communication Technology. ICACT. 11th International Conference on. – 15-18 Feb. 2009. – Volume:03. Pp. 2141 - 2146

References

1. Doroshenko, A.E. O modelirovaniy sensornih setej sredstvami visokogo urovnja / A.E. Doroshenko, K.A. Zhereb, R.S. Shevchenko // K.: Problemi programuvannja. – 2006. – N 2-3. – S. 718-727 – Текст: рос. – Библиогр.: 23 назв. ISSN 1727-4907.

2. Ragozin, D.V. Modelirovanie sinhronizirovannyh sensornyh setej / D.V. Ragozin // Probl. programuv. — 2008. — N 2-3. — S. 721-729. Tekst: ros. — Bibliogr.: 12 nazv.

3. Săcăleanu, D. I. Increasing lifetime in grid wireless sensor networks through routing algorithm and data aggregation techniques./ D. I. Săcăleanu, D. M. Ofirim, R. Stoian, & V. Lăzărescu // International Journal of Communications. — 2011. — Volume 5. Pp. 157-164.

4. Becher, A. Tampering with motes: Real-world physical attacks on wireless sensor networks / A. Becher, Z. Benenson, M. Dornseif // Lecture Notes in Computer Science, In J. A. Clark, R. F. Paige, F. Po-lack, and P. J. Brooke, editors, SPC, — 2006. — Volume 3934. Pp. 104-118.

5. Kulakov Ju.I. Teorija fizicheskikh struktur. (Matematicheskie nachala fizicheskoy germeneytiki) / Ju.I. Kulakov. — M., 2004. — 847 s.

6. Mandel'brot, Benua. Fraktal'naja geometrija prirody/ Benua Mandel'brot;— Izhevsk.: Institut komp'yuternyh issledovaniy, 2010. — 756 s. — ISBN 978-5-93972-872-0

7. Shreder, M. Fraktaly, haos, stepennye zakony./ M. Shreder — Izhevsk: RIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 2001.— 528 s. — ISBN 5-93972-041-2

8. Koucheryavy, A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / Andrey Koucheryavy, Salim Ahmed // Advanced Communication Technology. ICACT. 11th International Conference on. — 15-18 Feb. 2009. — Volume:03. Pp. 2141 - 2146

**Н. Карпинский, В. Чиж, С. Балабан,
Т. Яремчук**

**МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ
СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СИЛЫ
СИГНАЛОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ УЗЛОВ**

Качество и долговечность работы беспроводной сенсорной сети (БСМ) оценивают по силе сигналов информационных узлов. Для анализа функционирования сети в целом и каждого узла отдельно используют виртуальные модели, которые создают в компьютерном пространстве на базе реально существующих БСМ.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, информационный узел, геометрическое моделирование, графическая визуализация, евклидово конфигурационное пространство, симплекс, гексагональная топологическая сетка.

**М. Karpinski, V. Chyzh, S. Balaban,
T. Yaremchuk**

**GEOMETRIC MODELING WIRELESS
SENSOR NETWORKS FOR ANALYSIS SIGNAL
STRENGTH INFORMATION NODES**

The quality and durability of the wireless sensor network (WSN) is estimated by the signal strength information nodes. Virtual models was used for the analysis of the network as a whole and each separate node, they were created using the computers based on real-WSN.

Keywords: wireless touch network, information hub, geometrical modeling, graphic visualization, Euclidean configuration space, simplex, hexagonal topological grid.

Карпинський Микола Петрович — доктор технічних наук, професор, керівник відділу «Інформатика» Університету в Бельську-Бялій та Державної вищої технічної школи в Новому Сончі, Польща

Чиж Віталій Михайлович — аспірант кафедри «Комп'ютерні науки», Тернопільський національний технічний університет

Балабан Степан Миколайович — кандидат технічних наук, доцент кафедри «графічного моделювання», Тернопільський національний технічний університет

Яремчук Тамара Олександрівна — викладач, Тернопільський національний технічний університет

Рецензент: Петров Олександр Степанович — докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних систем, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ.