

В.М. Чиж¹, С.М. Балабан¹, О.М. Карпінська², В.М. Карпінський³

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

²Корпорації Кенон у Потсдамі, Німеччина,

³Університету в Ковентрі, Великобританія

МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ НА ПІДСТАВІ КЛАСТЕРІВ

Для створення моделей бездротових сенсорних мереж запропонована геометрична модель в основу, якої покладено кластери у вигляді правильних шестикутників, які характеризують 18 сигнальних точок, 36 функціональних зв'язків і складаються з ромбів – симплексів [4С].

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, інформаційний вузол, сигнальна точка, візуалізація, кластер.

Вступ

Інформаційні технології в яких використані бездротові сенсорні мережі (БСМ) відносять до найбільш досконалих засобів збирання та опрацювання інформації. Сьогодні БСМ використовують практично у всіх галузях діяльності людини і тому вимоги до них постійно зростають. При цьому побудова і функції БСМ ускладнюються надзвичайно швидкими темпами, а їх створення та експлуатація стають дорожчими. Наявність простих та ефективних методів моделювання БСМ дозволяє значно здешевити та прискорити процес створення удосконалення апаратного і програмного забезпечення БСМ [1,2]. Особливе місце серед відомих математичних та фізичних моделей БСМ займають геометричні моделі, які дозволяють успішно розробляти енергозберігаючі маршрути передачі інформації та механізми контролю за силою сигналів інформаційних вузлів (ІВ) [3,4,5].

Зокрема запропоновано кластерну модель БСМ у вигляді правильних шестикутників $K(18, 36)$, які складаються із 18 сигнальних точок (СТ) і 36 функціональних зв'язків (ФЗ). Простір кожного кластера покривають 18 симплексів ${}^i_j[CS]_p^k$, які дозволяють візуалізувати зміну ФЗ між СТ. В залежності від того, яким чином встановлюють залежність між ФЗ і СТ у симплексі запропоновано два види візуалізації сили сигналів ІВ. Перший вид візуалізації ґрунтується на фіксації положення СТ у кластері і реалізується методом фіксованих сигнальних точок (ФСТ). Другий вид візуалізації ґрунтується на можливості розміщення СТ в залежності від довжин ФЗ, які визначають положення точки.

Основна частина

При створенні моделі БСМ складнішої форми використовують принцип побудови фрактальних структур типу «сніжинка Коха», виходячи із формулюючого основного елементу конфігураційного простору – ФЗ між двома СТ. за базові геометричні об'єкти моделювання приймають ромби-симплекси ${}^i_j[CS]_p^k$, які об'єднують у кластери. Поняття «кластер» використовують під час моделювання геометричних БСМ, об'єднуючи в кластери однотипні ІВ для яких спільними є ІВ вищого рівня [15]. На відміну від поперед-

ньої ієрархічної моделі, кластерна модель може мати різний ступінь складності.

Покриття простору кластера симплексами дає можливість означити покриття кластера трикутниками шляхом перетину симплексів, оскільки кожний трикутник є результатом перетину двох симплексів.

$$\begin{aligned}
 {}_1A_2^{14} &= {}_1[4C]_2^{14} \cap {}_1[4C]_2^8; & {}_2A_3^{15} &= {}_2[4C]_3^{15} \cap {}_2[4C]_3^9; & {}_3A_4^{16} &= {}_3[4C]_4^{16} \cap {}_3[4C]_4^{10}; \\
 {}_4A_5^{17} &= {}_4[4C]_5^{17} \cap {}_4[4C]_5^{11}; & {}_5A_6^{18} &= {}_5[4C]_6^{18} \cap {}_5[4C]_6^{12}; & {}_6A_1^{13} &= {}_6[4C]_1^{13} \cap {}_6[4C]_1^7; \\
 {}_1A_7^{13} &= {}_{13}[4C]_1^{14} \cap {}_6[4C]_1^7; & {}_1A_{14}^7 &= {}_{13}[4C]_1^{14} \cap {}_7[4C]_2^{14}; & {}_2A_8^{14} &= {}_7[4C]_2^8 \cap {}_2[4C]_{15}^8; \\
 {}_2A_5^8 &= {}_2[4C]_{15}^8 \cap {}_2[4C]_3^{15}; & {}_3A_9^{15} &= {}_2[4C]_3^9 \cap {}_3[4C]_{16}^9; & {}_3A_6^9 &= {}_3[4C]_4^{16} \cap {}_3[4C]_{16}^9; \\
 {}_4A_{10}^{16} &= {}_3[4C]_4^{16} \cap {}_3[4C]_4^{10}; & {}_4A_{17}^{10} &= {}_4[4C]_5^{17} \cap {}_4[4C]_{17}^{10}; & {}_5A_{11}^{17} &= {}_4[4C]_5^{11} \cap {}_5[4C]_{18}^{11}; \\
 {}_5A_{18}^{11} &= {}_5[4C]_6^{18} \cap {}_5[4C]_{18}^{11}; & {}_6A_{12}^{18} &= {}_5[4C]_6^{12} \cap {}_6[4C]_{13}^{12}; & {}_6A_{13}^{12} &= {}_6[4C]_1^7 \cap {}_6[4C]_{13}^{12}.
 \end{aligned}$$

При стабільній роботі ІВ у кластері фіксують двовимірний евклідов простір із ФЗ довжиною l_{ij} . Отже, кожна четвірка точок з фіксованими відстанями буде визначати нульовий об'єм тетраедра $V_{i,j,k,p} = 0$. Об'єм тетраедра визначають за формулою Ніколо Тарталї:

$$V_{i,j,k,p}^2 = \frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2} \Delta(4C) \quad (5)$$

Де $\Delta(4C)$ - визначник Келі-Менгера рівний:

$$\Delta(4C) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 & l_{ip}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 & l_{jp}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{kp}^2 \\ -1 & l_{ip}^2 & l_{jp}^2 & l_{kp}^2 & 0 \end{vmatrix} \quad (6)$$

Якщо сила сигналу ІВ зменшилася, то у симплексі ${}_j[4C]_p^k$ ФЗ $l_{ip}; l_{jp}; l_{kp}$ отримують видовження $l'_{ip} = l_{ip} + \Delta l$; $l'_{jp} = l_{jp} + \Delta l$; $l'_{kp} = l_{kp} + \Delta l$. Видовження трьох ФЗ на одну і ту ж величину Δl приводить до того, що СТ стає вершиною тетраедра (i, j, k, p') із відмінним від нуля об'ємом:

$$V_{i,j,k,p'} = \frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 & l_{ip}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 & l_{jp}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{kp}^2 \\ -1 & l_{ip}^2 & l_{jp}^2 & l_{kp}^2 & 0 \end{vmatrix} \neq 0, \quad (7)$$

Об'єм трансформованого симплекса можна представити, як функцію видовження Δl : $V_{i,j,k,p'} = V(\Delta l)$. Якщо об'єм тетраедра представити, як

$$V(\Delta l) = \frac{1}{3} S_{i,j,k} \cdot H, \quad (8)$$

Де H - висота тетраедра; $S_{i,j,k}$ - площа основи тетраедра (в нашому випадку рівностороннього трикутника довжина сторони якого рівна l_{ij}):

$$S_{i,j,k} = \frac{\sqrt{3}}{4} l_{i,j}^2 \quad (9)$$

Тоді (8) представляємо у вигляді:

$$V(\Delta l) = \frac{\sqrt{3}}{12} l_{i,j}^2 \cdot H \quad (10)$$

Звідси одержуємо

$$H = \frac{12}{\sqrt{3}} \frac{V(\Delta l)}{l_{i,j}^2} \quad (11)$$

Одержані залежності дозволяють аналогічно приведеному вище методу ССТ, встановивши на основі фізичних характеристик ІВ і умов експлуатації БСМ H_{max} , аналізувати надійність роботи окремих ІВ і БСМ в цілому.

Таким чином, покриття кластерного простору чотириточковими симплексами дає можливість проводити аналіз трансформації процесів у кластері організовувавши візуальні спостереження за відповідними параметрами ІВ у просторі комп'ютера. Зокрема, такий аналіз можна проводити з допомогою методу чотириточкових симплексів ($4C$).

Наприклад, зміна сили сигналу ІВ приведе, до зміни структури кластера. При цьому ФЗ, визначаючи характер роботи ІВ, змінять свою довжину на величину Δl і здійснять переміщення СТ, яка визначається даними ФЗ. Внаслідок цього у кластері утвориться область трансформації, яка буде складатися із групи симплексів, ребрами яких є ці ФЗ. Таким чином у кластері утворяться три типи симплексів (рис. 8):

${}^i_j[4C]_p^k$ з відсутньою трансформацією (ОТр). Це симплекси, які знаходяться поза областю трансформаційних процесів. Такі симплекси не мають видовжень ФЗ (рис. 8а).

${}^i_j[4C]_p^k$ з частковою трансформацією (ЧТр), яка визначається двома ФЗ із видовженням Δl (рис. 8б). В таких симплексах один трикутник знаходиться в області трансформації, а інший, за межами її. Трансформація такого симплекса приводить до утворення тривимірного геометричного об'єкту, який складається із двох трикутників зігнутих уздовж спільної основи – ФЗ, який не змінюється і залишає нерухомими кінці відрізка (СТ).

${}^i_j[4C]_p^k$ з повною трансформацією (ПТр), яка визначається трьома ФЗ з видовженням Δl (рис. 8в). такі симплекси не можуть бути реалізованими у двовимірному просторі кластера. Вони утворюють тривимірні геометричні об'єкти у вигляді трикутних пірамід. В основі кожної з таких пірамід знаходяться три нерухомі СТ, з'єднанні двома

ФЗ довжиною l_{ij} і геометричним зв'язком довжиною $d = \sqrt{3}l_{ij}$. Висота такої піраміди може бути використана для здійснення оцінки величини зміни параметра сигналу ІВ.

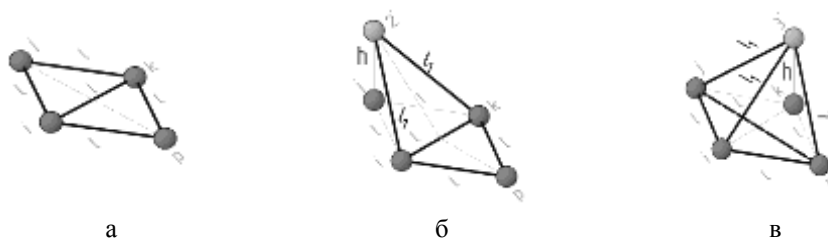


Рис. 8. Типи трансформації симплекса ${}^i_j[C]_p^k$: ОТр (а), ЧТр (б), ПТр (в)

Отже, зміна параметру сигналу ІВ або групи ІВ створить область трансформації в кластері і приведе до візуалізації зміни параметру сигналу. При цьому в трансформаційному процесі буде задіяна деяка група симплексів із частковою та повною трансформацією.

В залежності від того, параметр сигналу якого ІВ зазнав змін, отримаємо різні області трансформації кластера (рис. 9):

Якщо зазнав зміни параметр сигналу ІВ, який представлений СТ класу C_1 , то в область трансформації кожної точки входять три симплекси. При цьому один симплекс отримує ПТр, а два інші, які в перетині з цим симплексом мають його складові, отримують ЧТр. Усі інші 15 симплексів залишаються у вигляді первинних ромбів двовимірного простору кластера.

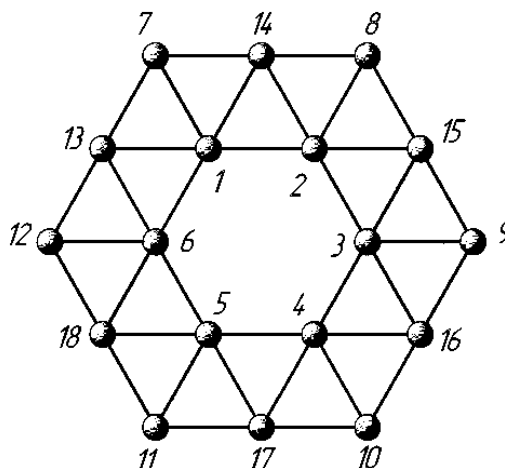


Рис. 9. Области трансформації при зміні параметрів сигналів ІВ, які представлені СТ різних класів

Нехай зміни параметрів зазнав сигнал ІВ, який у кластері представлений СТ C_7 . Область трансформації складається із:

$$\text{множини СТ } C_{tr} = \{C_1; C_2; C_6; C_7; C_{13}; C_{14}\}$$

$$\text{множини симплексів } S_{tr} = \{ {}^{13}_6[4C]_1^7; {}^7_{13}[4C]_1^{14}; {}^7_1[4C]_2^{14} \}$$

Таблиця 5

Трансформації кластерів у яких зміни параметрів сигналів зазнали ІВ представлені СТ
класу C_1

	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}	c_{12}
ЧТр	${}_{6}^{13}[4C]_1^7$	${}_{1}^{14}[4C]_2^8$	${}_{2}^{15}[4C]_3^9$	${}_{3}^{16}[4C]_4^{10}$	${}_{4}^{17}[4C]_5^{11}$	${}_{5}^{18}[4C]_6^{12}$
	${}_{1}^7[4C]_2^{14}$	${}_{2}^8[4C]_3^{15}$	${}_{3}^9[4C]_4^{16}$	${}_{4}^{10}[4C]_5^{17}$	${}_{5}^{11}[4C]_6^{18}$	${}_{6}^{12}[4C]_1^{13}$
ПТр	${}_{13}^7[4C]_1^{14}$	${}_{2}^{14}[4C]_{15}^8$	${}_{3}^{15}[4C]_{16}^9$	${}_{13}^7[4C]_1^{14}$	${}_{5}^{17}[4C]_{18}^{11}$	${}_{6}^{18}[4C]_{13}^{12}$

Область повної трансформації на рисунку зображена однотонно і складається із одного симплекса ${}_{13}^7[C]_1^{14}$. Він трансформується у трикутну піраміду типу а (рис. 10), вершиною якої є дана СТ. Основою піраміди буде трикутник, визначений трьома СТ C_1 , C_{13} , C_{14} , які не задіяні в трансформаційному процесі. Бічні грані піраміди трикутника ${}_{1}^7\Delta_7^{13}$ і ${}_{1}^7\Delta_{14}^7$ - є трансформованими частинами двох бічних симплексів ${}_{6}^{13}[C]_1^7$ і ${}_{1}^7[C]_2^{14}$ зі частковою трансформацією типу б (рис. 10). На рисунку не трансформовані частини цих симплексів заштриховано.

Якщо зазнав змін параметр сигналу ІВ, який представлений СТ класу C_2 , то в область трансформації попадають чотири симплекси. При цьому два симплекси отримують ПТр, а два інші, які в перетині із цими симплексами мають спільні складові, отримують ЧТр. Інші 14 симплексів, які не входять в область трансформації залишаються у вигляді первинних ромбів двовимірного простору кластера.

Таблиця 6

Трансформації кластерів, у яких зміни параметрів сигналів зазнали ІВ представлені СТ
класу C_2

	c_{13}	c_{14}	c_{15}	c_{16}	c_{17}	c_{18}
ЧТр	${}_{13}^7[4C]_1^{14}$	${}_{2}^{14}[4C]_{15}^8$	${}_{3}^{15}[4C]_{16}^9$	${}_{4}^{16}[4C]_{17}^{10}$	${}_{5}^{17}[4C]_{18}^{11}$	${}_{6}^{18}[4C]_{13}^{12}$
	${}_{6}^{18}[4C]_{13}^{12}$	${}_{13}^7[4C]_1^{14}$	${}_{2}^{14}[4C]_{15}^8$	${}_{3}^{15}[4C]_{16}^9$	${}_{4}^{16}[4C]_{17}^{10}$	${}_{5}^{17}[4C]_{18}^{11}$
ПТр	${}_{6}^{13}[4C]_1^7$	${}_{1}^{14}[4C]_2^8$	${}_{2}^{15}[4C]_3^9$	${}_{3}^{16}[4C]_4^{10}$	${}_{4}^{17}[4C]_5^{11}$	${}_{5}^{18}[4C]_6^{12}$
	${}_{5}^{18}[4C]_6^{12}$	${}_{1}^7[4C]_2^{14}$	${}_{2}^8[4C]_3^{15}$	${}_{3}^9[4C]_4^{16}$	${}_{4}^{10}[4C]_5^{17}$	${}_{5}^{11}[4C]_6^{18}$

Нехай зміни параметрів зазнав сигнал ІВ, який у кластері представлений СТ C_{18} . Область трансформації складається із:

$$\text{множини СТ } C_{tr} = \{C_5; C_6; C_{11}; C_{12}; C_{13}; C_{17}; C_{18}\}$$

$$\text{множини симплексів } S_{tr} = \{{}_{6}^{18}[4C]_{13}^{12}, {}_{5}^{17}[4C]_{18}^{11}, {}_{5}^{18}[4C]_6^{12}, {}_{5}^{11}[4C]_6^{18}\}$$

Два симплекси ${}_{5}^{18}[4C]_6^{12}$ і ${}_{5}^{11}[4C]_6^{18}$ із повною трансформацією утворюють тривимірний геометричний об'єкт типу б (рис. 10), утворений перетином двох трикутних пірамід таким чином, що спільна вершина є зазначеною сигнальною точкою. В основі такого об'єкту знаходиться плоска геометрична фігура, яка на рисунку вказана перетином двох трикутників із вершинами в СТ C_{12} , C_6 , C_5 , C_{11} . Як і у попередньому випадку дві бічні грані є частинами двох бокових симплексів із частковою трансформацією.

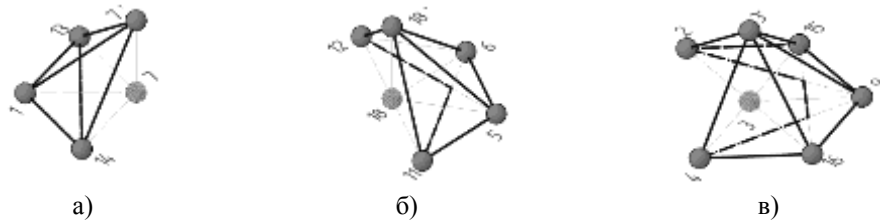


Рис. 10. Візуальне зображення областей повної трансформації за методом $[4C]$ якщо зазнав змін параметр сигналу ІВ, який представлений СТ класу C_3 , то в область трансформації попадуть п'ять симплексів. При цьому три симплекси отримують ПТр, а два, які в перетині з цими симплексами мають спільні геометричні складові отримують ЧТр. Інші 13 симплексів, які не входять в область трансформації, залишаються у вигляді первинних ромбів двовимірного простору кластера.

Таблиця 7

Трансформації кластерів, у яких зміни параметрів сигналів зазнали ІВ представлені СТ класу C_3

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
ЧТр	${}_{14}^1 [4C]_2^8$	${}_{15}^2 [4C]_3^9$	${}_{16}^3 [4C]_4^{10}$	${}_{17}^4 [4C]_5^{11}$	${}_{18}^5 [4C]_6^{12}$	${}_{18}^6 [4C]_{13}^{12}$
	${}_{12}^6 [4C]_1^{13}$	${}_{7}^1 [4C]_2^{14}$	${}_{8}^2 [4C]_3^{15}$	${}_{9}^3 [4C]_4^{16}$	${}_{10}^4 [4C]_5^{17}$	${}_{11}^5 [4C]_6^{18}$
ПТр	${}_{13}^7 [4C]_1^{14}$	${}_{14}^2 [4C]_{15}^8$	${}_{15}^3 [4C]_{16}^9$	${}_{16}^4 [4C]_{17}^{10}$	${}_{17}^5 [4C]_{18}^{11}$	${}_{18}^6 [4C]_{13}^{12}$
	${}_{13}^6 [4C]_1^7$	${}_{14}^1 [4C]_2^8$	${}_{15}^2 [4C]_3^9$	${}_{16}^3 [4C]_4^{10}$	${}_{17}^4 [4C]_5^{11}$	${}_{18}^5 [4C]_6^{12}$
	${}_{7}^1 [4C]_2^{14}$	${}_{8}^2 [4C]_3^{15}$	${}_{9}^3 [4C]_4^{16}$	${}_{10}^4 [4C]_5^{17}$	${}_{11}^5 [4C]_6^{18}$	${}_{12}^6 [4C]_1^{13}$

Нехай зміни параметрів зазнав сигнал ІВ, який у кластері представлений СТ C_3 . Область трансформації складається із:

$$\text{множини СТ } C_w = \{C_2; C_3; C_4; C_8; C_9; C_{10}; C_{10}; C_{16}\}$$

$$\text{множини симплексів } S_w = \{{}_{16}^3 [4C]_4^{10}; {}_{8}^2 [4C]_3^{15}; {}_{15}^3 [4C]_{16}^9; {}_{15}^2 [4C]_3^9; {}_{9}^3 [4C]_4^{16}\}$$

Три симплекси ${}_{16}^3 [4C]_{16}^9$, ${}_{15}^2 [4C]_3^9$ і ${}_{9}^3 [4C]_4^{16}$ із повною трансформацією утворюють тривимірний геометричний об'єкт типу В (рис. 10), утворений перетином трьох трикутних пірамід таким чином, що спільна величина є зазначеною СТ C_3 . В основі такого об'єкту знаходиться плоска геометрична фігура, яка на рисунку вказана перетином трьох трикутників із вершинами в сигнальних точках $C_2, C_{15}, C_9, C_{16}, C_4$. Фігура обмежена трьома геометричними зв'язками, які визначають відстані між СТ C_2 і C_9, C_{15} і C_{16}, C_9 і C_4 . Два симплекси ${}_{16}^3 [4C]_4^{10}$ і ${}_{15}^3 [4C]_2^8$ частково трансформовані. В них деформованими є лише по одному трикутнику. Ці трикутники стають гранями повністю трансформованої геометричної тривимірної фігури із вершиною в СТ C_3 .

Якщо в кластері одночасно зазнають зміни параметри сигналів ІВ, які представлені СТ, що відносяться до різних класів, при цьому симплекси, до яких входять дані СТ не перетинаються і не дотикаються, наприклад СТ C_3, C_7 і C_{18} , то їх трансформацію можна розглядати одночасно. При цьому в області повної, часткової і нульової трансформації входять по шість симплексів.

Якщо зміни параметрів зазнають одночасно сили сигналів двох ІВ представлених СТ в одному симплексі, можливими є трансформації при переміщенні СТ, які визнача-

ються:

- двома ФЗ (рис. 11 а);
- трьома ФЗ при розміщенні СТ на кінцях малої діагоналі ромба, яка є також ФЗ (рис. 11 б);
- трьома ФЗ для однієї СТ і двома ФЗ іншої при розміщенні СТ на кінцях однієї із сторін ромба (рис. 11 в).

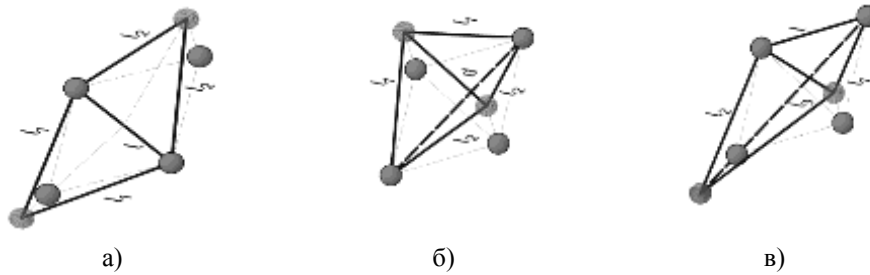


Рис. 11. Типи трансформації симплекса при одночасній зміні параметрів сигналів двох ІВ

Наприклад, зміни параметрів сигналів зазнали одночасно два ІВ, СТ C_{13} і C_{18} , яких знаходяться на середині двох сусідніх сторін зовнішнього обвідного шестикутника кластера (рис. 12а). Область трансформації складається із:

$$\text{множини СТ } C_{tr} = \{C_1; C_5; C_6; C_7; C_9; C_{11}; C_{12}; C_{13}; C_{14}; C_{17}; C_{18}\}$$

$$\text{множини симплексів } S_{tr} = \{ {}^{17}_5 [4C]_{18}^{11; 18}; {}^{12}_6 [4C]_6^{12; 12}; {}^{13}_7 [4C]_1^{13; 7}; {}^{14}_5 [4C]_1^{14; 11}; {}^{18}_6 [4C]_6^{18; 13}; {}^7_1 [4C]_1^7 \}$$

область повної трансформації складається із двох симплексів ${}^{17}_5 [4C]_{18}^{11}$ і ${}^{13}_6 [4C]_1^7$. Вони візуально утворюють дві трикутні піраміди типу а (рис. 10) з вершинами у двох СТ C_{13} і C_{18} , які і визначатимуть однозначно два ІВ, параметри сигналів, яких зазнали одночасно змін.

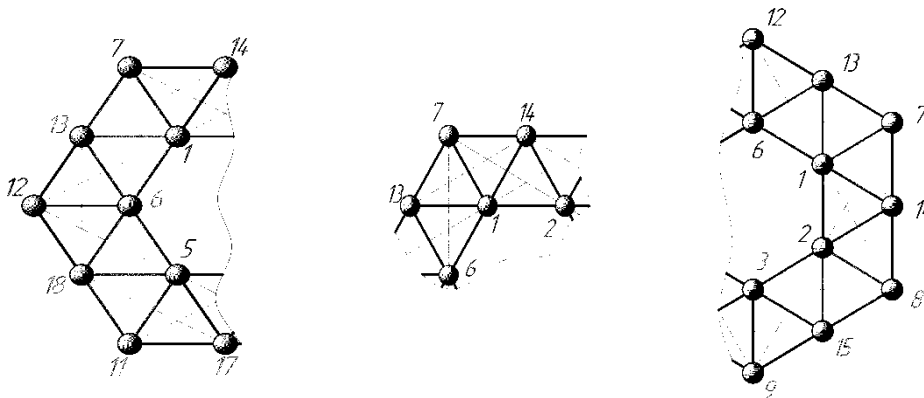


Рис. 12. Області повної трансформації кластера при одночасній зміні параметрів сигналів двох ІВ

Якщо зміни параметрів сигналів зазнали одночасно два ІВ, СТ яких знаходяться у кластері на сусідніх вершинах внутрішнього шестикутника, наприклад C_1 і C_2 , (рис. 12 б), то область трансформації складається із:

$$\text{множини СТ } C_{tr} = \{C_1; C_2; C_3; C_5; C_6; C_7; C_8; C_{12}; C_{13}; C_{14}; C_{15}\}$$

множини симплексів $S_r = \{ {}_6^{12}[4C]_{1,13}^{13,7}; {}_1^{14}[4C]_{1,1}^{14,7}; {}_2^{14}[4C]_{2,2}^{14,14}; {}_{15}^{8,15}[4C]_{3,1}^{9,14}; {}_2^{8,13}[4C]_{2,6}^{7,8}; {}_2^{15}[4C]_{3,2}^{15} \}$

Область повної трансформації складається із двох пар симплексів ${}_{13}^{13}[4C]_{1,13}^{7,7}; {}_{13}^{14}[4C]_{1,1}^{14,14}; {}_2^{14}[4C]_{15,2}^{8,8}; {}_2^{15}[4C]_{3,2}^{15}$. Вони здійснюють візуалізацію двох вказаних ІВ шляхом визначення двох зображень типу б (рис. 10) з вершинами у СТ C_1 і C_2 .

Якщо зміни параметрів сигналів зазнали одночасно два ІВ, СТ яких знаходяться у кластері у різних класах, наприклад C_{13} і C_1 , (рис. 12в), то область повної трансформації подібна до трансформації у випадку зміни параметрів сигналу одного ІВ, представлено-го СТ класу C_3 . Область трансформації складається із:

множини СТ $C_r = \{ C_1; C_2; C_6; C_7; C_8; C_{12}; C_{13}; C_{14}; C_{18} \}$

множини симплексів $S_r = \{ {}_6^{18}[4C]_{13,6}^{12,12}; {}_{13}^{13}[4C]_{1,1}^{13,13}; {}_6^{7,7}[4C]_{1,13}^{14,7}; {}_1^{14}[4C]_{2,1}^{14,14} \}$

в цьому випадку симплекс ${}_7^{14}[C]_{2,2}^{14}$ однозначно здійснює візуалізацію зміни параметрів сигналу ІВ представленого у кластері СТ C_1 , а симплекс ${}_{13}^{13}[C]_{1,1}^{13}$ здійснює візуалізацію зміни параметрів сигналу ІВ представленого у кластері СТ C_{13} .

Під час геометричного моделювання БСМ особливо важливим є одержання можливості однозначного визначення області повної трансформації кластера при зміні параметрів ІВ. Метод фіктивних сигнальних точок (ФСТ) дозволяє вирішити дане завдання, якщо одночасної зміни зазнали параметри сигналів кількох ІВ, СТ яких розміщені в одному кластері. В основу методу ФСТ покладено припущення, що у кластері, який здійснює візуалізацію нормальної роботи ІВ в результаті зміни параметрів сигналів відповідні ФЗ отримують видовження. В кінці видовження утворюється нове фіктивне положення сигнальної точки, яка в кластері представляє ІВ параметри сигналу, якого зазнали змін. Здійснивши такі самі ж самі видовження із іншими ФЗ, які з'єднують СТ із сусідніми СТ отримують наступні області повної трансформації (рис. 13):

- три фіктивні СТ, якщо СТ належить класу C_3 ;
- чотири фіктивних СТ, якщо СТ належать класу C_2 ;
- п'ять фіктивних СТ, якщо СТ належать класу C_1 .

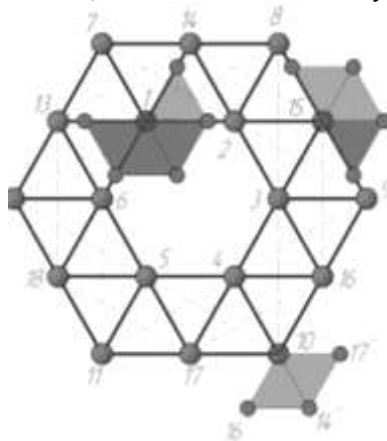


Рис. 13. Области повної трансформації за методом ФСТ

З'єднавши фіктивні СТ між собою із місцем розміщення СТ при стабільній роботі ІВ, отримують плоский геометричний об'єкт, який зі симетрією відносно початкового положення СТ відображає структуру області повної трансформації в кластері при зміні параметрів сигналів ІВ.

На рис. 14 показано деякі приклади повної трансформації при одночасній змін па-

раметрів сигналів двох ІВ одного кластера.

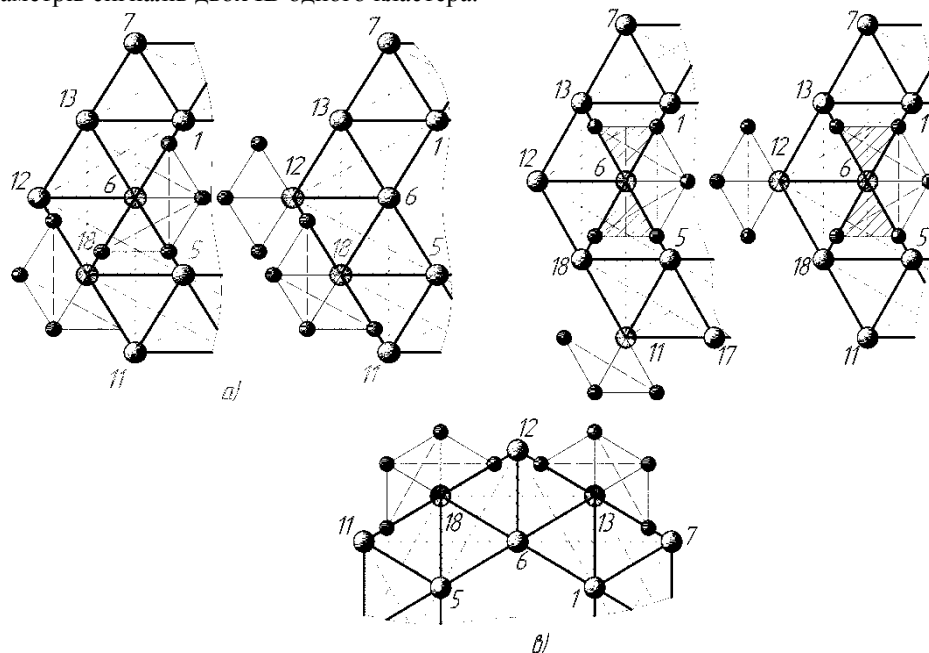


Рис. 14. Приклади використання методу ФСТ при зміні параметрів сигналів двох ІВ

Рис. 14 а представляє зміну параметрів сигналу двох ІВ, сигнальні точки яких знаходяться у вершині внутрішнього шестикутника і середині сторони зовнішнього шестикутного кластера. Спроба з'єднати фіктивні СТ в одну приводить до переміщення СТ у третій вимір і створення візуалізації тривимірного геометричного об'єкта із двома вершинами у цих СТ.

Інші приклади показують:

рис. 14 б – схему візуалізації при зміні параметрів сигналів ІВ, які представлені СТ, одна з яких є вершиною зовнішнього шестикутника, а інша серединою сторони зовнішнього шестикутника кластера; рис. 14 в і рис. 14 г – схеми візуалізації при зміні параметрів сигналів ІВ, які представлені СТ, одна з яких є вершиною зовнішнього шестикутника, а інша вершиною внутрішнього шестикутника кластера; рис 14 д – схему візуалізації при зміні параметрів сигналів ІВ, які представлені СТ, які є серединами двох сусідніх сторін зовнішнього шестикутника кластера.

Висновки

У статті доведено доцільність побудови кластерної моделі комп'ютерної візуалізації БСМ.

Література

1. Зеляновський, М.Ю. Математичні моделі для спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу / М.Ю. Зеляновський, О.В. Тимченко // Моделювання та інформаційні технології: 36. наук. пр. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2009. – Вип. 50. – С. 192-200. – **Текст: укр. – Бібліогр.: 6 назв.**
2. Резаи, В. Создание беспроводных сетей мониторинга промышленного производства / В. Резаи // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2009. – № 8. – С. 90-96. – **Текст: рос. – Бібліогр.: 7 назв.**
3. Рагозин, Д.В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей / Д.В. Рагозин // Пробл. програмув. – 2008. – N 2-3. – С. 721-729. – **Текст: рос. – Бібліогр.: 12 назв.**
4. Чиж, В. Геометричне моделювання деяких атак на сигнали у бездротових сенсорних мережах / В. Чиж, О. Демчишин, М. Карпінський, С. Балабан // Матеріали 14-ої міжнарод-

- ної на-уково-практичної конференції, "Прикладна геометрія та інженерна графіка" - Меліто-поль:ТДАУ, 2012. – Вип. 4. - С. 195-201. – *Текст: укр. — Бібліогр.: 10 назв.*
5. 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. – *Текст: укр. – Бібліогр.: 10 назв.*

Надійшла до редколегії 09.06.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Петров А.С.

V. Chyzh, S. Balaban, O. Karpinska, V. Karpinski
MODELING WIRELESS SENSOR NETWORK SUNDER THE CLUSTERS

The geometric model is proposed for create models of wireless sensor networks, where clusters, as regular hexagon, are main element (characterize the 18 signaling points, 36 functional relationships) and it consist of Simplexes [4S].

Keywords: wireless touch network, information hub, alarm point, visualization, cluster.

В. Чиж, С. Балабан, О. Карпинская, В. Карпинский
МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА
ОСНОВАНИИ КЛАСТЕРОВ

Для создания моделей беспроводных сенсорных сетей предложена гео-метрическая модель в основу, которой положен кластеры в виде правильной шестиугольников, которые характеризуют 18 сигнальных точек, 36 функциональных связей и состоят из ромбов - симплексов [4С].

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, информационный узел, сигнальная точка, визуализация, кластер.