



ISSN 0321-0499

№ 806
2014

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

88-93



LITTERIS • ET • ARTIBVS

М. П. Карпінський¹, В. М. Чиж², С. М. Балабан

¹Університет в м. Бельсько-Бяла

Державна вища професійна школа, м. Новий Сонч

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
кафедра графічного моделювання

АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ У БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

© Карпінський М. П., Чиж В. М., Балабан С. М., 2014

Проаналізовано геометричні моделі бездротових сенсорних мереж, створені в віртуальному просторі для аналізу функціонування окремих інформаційних вузлів мережі. Запропоновано аналітичний метод дослідження зміни параметрів сигналів з використанням геометричних моделей, в основу побудови яких покладено чотириточкові симплекси. Доведено доцільність використання аналітичного методу дослідження зміни сили сигналів інформаційних вузлів.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, інформаційний вузол, сигнальний вузол, візуалізація геометрична модель, фізичний зв'язок, чотириточковий симплекс, трансформація, формула Нікколо Тартальї, визначник Келі-Менгера.

ANALYTICAL METHOD OF RESEARCH CHANGES IN SIGNAL PARAMETERS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

© Karpinsky M., Chyzh V., Balaban S., 2014

The geometric models of wireless sensor networks have been analysed, which were created in the virtual space to estimate the functioning of individual information nodes in a network as a whole. The analytical method of research changes in signal parameters using geometric models has been suggested, the four-simplex was used as basis during construction. The expediency use of the analytical method for the study of changes in signal strength in information nodes has been proved.

Key words: wireless sensor networks, data node, signaling point, visualization of geometric models, physical connection, simplex, transformation, Niccolo Tartaglia formula, Cayley-Menger determinant.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання геометричних моделей бездротових сенсорних мереж (БСМ) спрощує вирішення проблем і завдань, які постають перед спеціалістами на стадії їх проектування, налагодження та експлуатації. Зокрема, в літературних джерелах [1, 2] описано приклади використання геометричних моделей для розроблення енергоощадних маршрутів передавання інформації та механізмів контролю за параметрами сигналів інформаційних вузлів (ІВ). Для цього використовують квадратну модель такого моделюванні конфігураційний простір представляють точки, розміщені у вершинах квадрата. Як зазначають дослідники, така модель не є оптимальною, оскільки передбачає переміщення тієї точки в вертикальному і горизонтальному напрямках, що значно збільшує довжину шляху переміщення інформації, а відповідно, енергетичні затрати на функціонування БСМ загалом.

Щоб уможливити планування переміщення інформації у трьох напрямках, використовують гексагональну сітку [3, 4] розміщення ІВ. Однак така модель передбачає збільшення кількості вузлів на одиниці площі, а відповідно і вартості апаратної складової БСМ на 10 %. Розглянуті геометричні моделі

...аналізувати зміни параметрів сигналів ІВ, що не сприяє підвищенню ... БСМ і не забезпечує належного рівня захищеності інформації.

...параметрів сигналів ІВ, зокрема сили сигналів, пропонуються геометричні ... використовують методи обчислювальної геометрії, зокрема геометрії ... на основі факту існування співвідношень між вимірюваними відстанями ... внутрішні властивості геометричних фігур. Зокрема, запропоновано для моделювання використовувати планарні графи у вигляді трикутників. Для побудови таких моделей ... триангуляції Делоне. Геометричні моделі, побудова яких ґрунтується на ... дозволяють простежити атаки на ІВ, зокрема так звані атаки ... одночасним руйнуванням сигналів ряду ІВ. Відомо, що такі моделі не ... окремі ІВ, сигнали яких зруйновані.

...можливості візуалізації атаки на сигнал окремого ІВ або обмеженої групи ІВ ... геометричну модель, в якій ІВ у конфігураційному просторі представлений ... (СТ), розміщеними у вершинах рівносторонніх трикутників Δ_k^i . Сторони ... фізичними зв'язками (ФЗ) $l_{ij} = l_{ik} = l_{jk}$.

...запропонованих геометричних моделей покладено плоскі фігури, які в разі ... елементів не можуть трансформуватися в об'ємні геометричні фігури [5], ... візуалізації окремих ІВ, параметри яких змінюються.

Основна частина

...геометричну модель БСМ, для побудови якої використовують чотиригочкові ... При цьому кожен два сусідні трикутники геометричної моделі БСМ об'єднують у чотири- ... $[4C]_p^k$, з вершинами i, j, k, p . Під час переміщення СТ, що розміщені у вершинах таких ... трансформуватися у відрізки прямої лінії, чотирикутники або трикутні піраміди.

...отриманого симплекса-ромба $[4C]_p^k$, з'єднані п'ятьма ФЗ l (чотири сторони ... та одним геометричним зв'язком (ГЗ) довжиною $d = \sqrt{3}l$ (велика діагональ). ... характеризуються характером роботи ІВ і тому їхні довжини визначають положення СТ в ... СТ не можуть змінювати форму симплекса. Він вказує лише відстань між двома його ... вершинами, яку вимірюють у площині симплекса.

...робота ІВ стабільна, у симплексі фіксується двомірний евклідов простір із ФЗ довжи- ... характеризуються характером роботи ІВ, які формують симплекс і визначають положення ... СТ. Зміни в роботі ІВ призводять до зміни ФЗ у симплексі. Отже, ... змінюється внаслідок зміни параметрів сигналів одного або декількох ІВ.

...зміна довжини ФЗ приводить до переміщення відповідних СТ, отже, відбувається ... простору симплекса навколо СТ, які візуально визначають у конфігураційному ... параметри сигналів яких зазнали змін. У поданій мережі можуть ... три типи симплексів: з відсутньою трансформацією (0Тр) (рис. 1, а), з ... трансформацією (ЧТр) (рис. 1, б), з повною трансформацією (ПТр) (рис. 1, в) [6, 7].

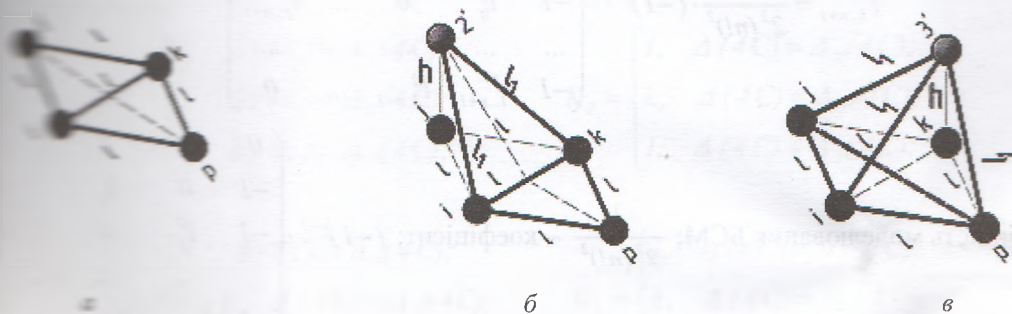


Рис. 1. Види трансформацій симплекса: а – з відсутньою трансформацією; б – з частковою трансформацією; в – з повною трансформацією

Наявність симплексів з 0Тр вказує на те, що ці симплекси не мають видовження. ФЗ. У симплексах з ЧТр один трикутник розміщений в області трансформації, а інший поза нею. Трансформація такого симплекса приводить до утворення тривимірного геометричного об'єкта, який складається із двох трикутників вздовж спільної основи – ФЗ, який не змінюється і залишає нерухомими кінці відрізка (СТ). симплекси з ПТр не можуть бути реалізовані у двовимірному просторі. Вони утворюють тривимірні геометричні об'єкти у вигляді трикутних пірамід (тетраедрів). В основі такої піраміди – три нерухомі СТ, з'єднані двома ФЗ l і $ГЗ d$.

Об'єм трансформованого симплекса $V_{i,j,k,p}$ представляють як функцію видовження ФЗ Δl :

$$V_{i,j,k,p} = V(\Delta l), \quad (1)$$

Об'єм тетраедра:

$$V(\Delta l) = \frac{1}{3} S_{i,j,k} \cdot H, \quad (2)$$

де H – висота тетраедра, м; $S_{i,j,k}$ – площа основи тетраедра (в нашому випадку рівностороннього трикутника, довжина сторони якого дорівнює l_{ij} (м)). Для визначення площі основи тетраедра використовуємо узагальнену формулу Герона:

$$S_{ik}^2 = \frac{(-1)^2}{2^2(2!)^2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Зиган

Для визначення об'єму тетраедра V_{ijkp} використовують формулу Ніколо Тартальї:

$$V_{ijkp}^2 = \frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 & l_{ip}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 & l_{jp}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{kp}^2 \\ -1 & l_{ip}^2 & l_{jp}^2 & l_{kp}^2 & 0 \end{pmatrix}$$

Залежність (4) представляє величину трансформації БСМ у двовимірному евклідовому просторі. Для n -вимірного евклідового простору залежність (4) набуває вигляду:

$$V_{i...n+1}^2 = \frac{1}{2^2(n!)^2} \cdot (-1)^{n-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & \dots & l_{i...n+1}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & \dots & l_{j...n+1}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & l_{i...n+1}^2 & l_{j...n+1}^2 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

де n – вимірність моделювання БСМ; $\frac{1}{2^2(n!)^2}$ – коефіцієнт; $(-1)^{n-1}$.

діагональний визначник Келі–Менгера.

Линейній трансформації об'ємних БСМ ця залежність набуває вигляду:

$$V_{L=1}^2 = \frac{(-1)^4}{2^4(4!)^2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 & l_{ip}^2 & l_{ij}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 & l_{jp}^2 & l_{ji}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{kp}^2 & l_{kj}^2 \\ -1 & l_{ip}^2 & l_{jp}^2 & l_{kp}^2 & 0 & l_{pj}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & l_{ji}^2 & l_{pj}^2 & l_{kj}^2 & 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Линейній трансформації двовимірних БСМ відкалібрують всі ребра симплексів щодо прийнятності, що шумовому сигналу ω відповідає відрізок $l_0 = l(\omega)$. Нехай $l_j = dl_0$, а довжина, яка відповідає $\epsilon - l_j = \beta l_0$. Тоді зміну довжини ФЗ між двома СТ представляють довжиною

$$l = (2d+1)l_0 \quad (7)$$

$$d = \sqrt{3}l = (2d+1)l_0 \sqrt{3} (d^2 = 3l^2) \quad (8)$$

Тоді зміна сили сигналу ІВ отримують такі видовження:

$$-l_1 = \sqrt{k}l, \quad (9)$$

$$k = (1+\delta)^2, \quad (10)$$

$$\delta = \frac{l_\epsilon}{l} = \frac{\beta}{2d+1} \quad (11)$$

Величина δ визначає відносне видовження ФЗ внаслідок зміни сили сигналу ІВ.

Видовження описують залежністю:

$$d_1 = \frac{\sqrt{3} + \sqrt{4k-1}}{2} l, \quad (12)$$

$$d_1^2 = (k+\gamma)l^2, \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{12k-3}}{2}. \quad (14)$$

Тоді зміна сили сигналу три типи симплексів із вершинами в точках i, j, k, p матимуть наступні ребра:

— симплекс без видовження ФЗ: $l_{ij} = l_{ip} = l_{kp} = l_{ik} = l, \quad l_{jk} = d$;

— симплекс із двома видовженими ФЗ: $l_{ij} = l_{ip} = l_{jp} = l, \quad l_{ik} = l_{pk} = l_1, \quad l_{jk} = d_1$;

— симплекс із трьома видовженими ФЗ: $l_{ij} = l_{ik} = l, \quad l_{ip} = l_{jp} = l_{kp} = l_1, \quad l_{jk} = d$.

Визначники Келі-Менгера, наведеного в залежності (4), отримуємо три визначники: $\Delta_0(4C)$, $\Delta_1(4C)$ (нижній індекс вказує на кількість ФЗ, які видовжуються), які після

$$K_3 = \begin{cases} 1, & \Delta(4C) = \Delta_0(4C); \\ 1, & \Delta(4C) = \Delta_2(4C); \\ 3, & \Delta(4C) = \Delta_3(4C); \end{cases} \quad K_2 = \begin{cases} 1, & \Delta(4C) = \Delta_0(4C); \\ k, & \Delta(4C) = \Delta_2(4C); \\ 1, & \Delta(4C) = \Delta_3(4C); \end{cases} \quad (15)$$

$$K_4 = \begin{cases} 3, & \Delta(4C) = \Delta_0(4C); \\ k+\gamma, & \Delta(4C) = \Delta_2(4C); \\ 3, & \Delta(4C) = \Delta_3(4C); \end{cases} \quad K_4 = \begin{cases} 1, & \Delta(4C) = \Delta_0(4C); \\ k, & \Delta(4C) = \Delta_2(4C); \\ k, & \Delta(4C) = \Delta_3(4C); \end{cases}$$

Записуємо одним визначником $\Delta(4C)$ 5-го порядку:

$$\Delta(4C) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l^2 & k_1 l^2 & k_2 l^2 \\ -1 & l^2 & 0 & k_1 l^2 & k_3 l^2 \\ -1 & k_1 l^2 & k_1 l^2 & 0 & k_4 l^2 \\ -1 & k_2 l^2 & k_3 l^2 & k_4 l^2 & 0 \end{vmatrix}, \quad (16)$$

Використовуючи властивості визначників, (16) зводимо до симетричного визначника третього порядку:

$$\Delta(4C) = l^6 \begin{vmatrix} -2 & -1 & k_3 - k_2 - 1 \\ -1 & -2k_1 & k_4 - k_3 - k_1 \\ k_3 - k_2 - 1 & k_4 - k_3 - k_1 & -2k_2 \end{vmatrix}, \quad (17)$$

Для (4C) без видовження ФЗ: $k_1 = k_2 = k_4 = 1$ і $k_3 = 3$. Об'єми таких симплексів дорівнюють нулю, внаслідок того, що

$$\Delta(4C) = \Delta_0(4C) = l^6 \begin{vmatrix} -2 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -2 \end{vmatrix} = 0, \quad (18)$$

Визначник $\Delta_2(4C)$ для симплексів із двома функціональними зв'язками визначається параметрами: $k_1 = 1$, $k_2 = k_4 = k$, $k_3 = k + \gamma$, і також дорівнює нулю, тому що:

$$\Delta(4C) = \Delta_2(4C) = l^6 \begin{vmatrix} -2 & -1 & \gamma - 1 \\ -1 & -2 & -1 \\ \gamma - 1 & -1 & -2k \end{vmatrix} = -l^6 (\gamma^2 - \gamma + 1 - 3k) \quad (19)$$

$$\text{Оскільки } \gamma^2 = \left(\frac{1 + \sqrt{12k - 3}}{2} \right)^2 = \frac{\sqrt{12k - 3} + 12k - 3}{4} = 3k + \frac{\sqrt{12k - 3} - 1}{2} = 3k + \gamma - 1, \quad (20)$$

$$\text{отримуємо} \quad \Delta_2(4C) = -2l^6 (3k + \gamma - 1 - \gamma + 1 - 3k) = 0, \quad (21)$$

Рівність нулю визначника вказує на те, що об'єми симплексів із двома зміненими ФЗ також дорівнюють нулю, тобто трансформовані у такий спосіб симплекси залишаються плоскими геометричними об'єктами і не здійснюють структурних змін конфігураційного простору.

Для симплексів із трьома зміненими функціональними зв'язками визначник $\Delta(4C) = \Delta_3(4C)$ із параметрами $k_1 = k_4 = k$, $k_2 = 1$, $k_3 = 3$ дорівнюватиме:

$$\Delta_3(4C) = l^6 \begin{vmatrix} -2 & 1 & -1 \\ -1 & 2k & 1 \\ -1 & 1 & 2 \end{vmatrix} = 6l^6 (k - 1), \quad (22)$$

$$\text{де } k = (1 + \delta)^2 \text{ і } \delta = \frac{l_\varepsilon}{l} = \frac{\beta}{2d + 1}.$$

Відмінність від нуля визначника, а, отже, і об'єму симплекса, вказує, що трансформація (4C) із трьома ФЗ, які змінюються, приводить до утворення тривимірного геометричного об'єкта – трикутної піраміди. Простір змодельованої БСМ матиме локальне викривлення з епіцентром в СТ, яка є представником у конфігураційному просторі ІВ, сила сигналу якого зазнала змін.

Відповідно до запропонованого методу візуалізації зменшення сили сигналу ІВ призводить до збільшення об'єму трансформованого у тригранну піраміду симплекса. За умови незмінності площі основи піраміди при цьому збільшується висота піраміди H . Тому H називають показником трансформації. Коли сила сигналу досягає мінімально критичного значення, експлуатація ІВ стає

... трансформації набуває максимального значення H_{max} . Отже, встановивши ... характеристик ІВ та умов експлуатації БСМ H_{max} і залежність між V_{ijk} , S_{ijk} і ... можливість аналізувати надійність роботи окремих ІВ і БСМ загалом. Для ... залежності використовують рівняння (2), оскільки за умовою основа ... трикутник зі стороною l_{ij} , і рівняння набуває вигляду:

$$S_{ijk} = \frac{\sqrt{3}}{4} l_{ij}^2 \quad (23)$$

... представляють у вигляді:

$$V(\Delta l) = \frac{\sqrt{3}}{12} l_{ij}^2 \cdot H \quad (24)$$

$$H = \frac{12}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V(\Delta l)}{l_{ij}^2} \quad (25)$$

Висновки

... дають змогу, встановивши на основі фізичних характеристик ІВ та умов ... БСМ H_{max} , аналізувати надійність роботи окремих ІВ і БСМ загалом. А використання ... для геометричного моделювання БСМ дає можливість аналізувати ... процесів, організовувати візуальні спостереження за відповідними параметрами ІВ ...

1. Демченко А. Е. О моделировании сенсорных сетей средствами высокого уровня / Демченко А. Е., Жереб, Р. С., Шевченко // Проблемы програмування: матер. п'ятої Міжнар. ... конф. з програмування Укр. ПРОГ ' 2006, м. Київ, 23-25 трав. 2006 р. – К.: НАН ... – 2006. – № 2–3. – С.718–727. 2. Chinh T. Delaunay-triangulation ... coverage in wireless sensor networks / Chinh T. Vu, Yingshu Li // PERCOM '09 ... of the 2009 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. – ... 3. Dragoş I. Săcăleanu Increasing lifetime in grid wireless sensor networks through ... and data aggregation techniques / Dragoş I. Săcăleanu, Dragoş M. Ofrim, Rodica ... // International Journal of Communications. – 2011. – Issue 4.: Volume 5. – ... 4. Бакин Е. А. Повышение эффективности сбора информации в беспроводных ... на основе оптимизации расписания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. ... "Частотный анализ, управление и обработка информации" / Бакин Евгений ... Санкт-Петербургский гос. ун-т аэрокосмического приборостроения. – СПб., ... 5. Чиж В. Геометричне моделювання деяких атак на сигнали у бездротових сенсорних ... О. Демчашин, М. Карпінський, С. Балабан // Прикладна геометрія та інженерна ... конф. – Мелітополь, ТДАУ, 2012. – Вип. 4. – С. 195–201. 6. Геометричного моделювання бездротових сенсорних мереж для аналізу сили сигналів ... / М. П. Карпінський, В. М. Чиж, С. М. Балабан, Т. О. Яремчук // Вісник ... ун-ту ім. Володимира Даля. – Луганськ: Видавництво СНУ ім. Володимира ... – Вип. № 15(204), ч.1. – С. 69–76. 7. Чиж В. М. Контроль та візуалізація стану ... інформаційних систем із застосуванням бездротових сенсорних мереж / ... Карпінський, С. М. Балабан // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: Харьковский ... университет радиоэлектроники, 2013 – Т. 12, № 2. – С. 356–362.