УДК 621.396.4

Афанасьєва Л.О.;
Лемеш С.Б.,
ІТС НТУУ «КПІ»

ГЕОМЕТРИЧНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ АТАК НА СИГНАЛИ У БЕЗДРОТОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуто варіанти геометричного представлення (візуалізації) атак на бездротові сенсорні мережі (БСМ), пов'язаних із змінною сили сигналу. Запропоновано математичну модель візуалізації полів електромагнітних сигналів сенсорів, які перебувають у прямому зв'язку. Представлено результат візуалізації фрагменту атакованої БСМ з приглушеними сигналами сенсорів.

Рассмотрены варианты геометрического представления (визуализации) атак на беспроводные сенсорные сети (БСС), связанных с изменением силы сигнала. Предложена математическая модель визуализации полей электромагнитных сигналов сенсоров, находящихся в прямой связи. Представлено результат визуализации фрагмента атакованной БСС с приглушенными сигналами сенсоров.

Considers several variants of geometric representation (visualization) attacks on wireless sensor networks (WSN) associated with variable signal strength. A mathematical model of the visualization of electromagnetic field sensor signals, which are in direct communication. Presents the results of imaging fragment of attacked WSN with muted signals of sensors.

Вступ. Розвиток і використання технологій збирання і передавання інформації з використанням БСМ залежить від надійності роботи сенсорів і рівня захищеності інформації. Вказані показники суттєво понижують атаки на БСМ. Підвищенню стійкості БСМ до атак і зниженню ефективності самих атак суттєво сприяють ефективні методи їх ідентифікації, зокрема методом їх візуалізації (геометричним

представленням) вибір того чи іншого методу візуалізації атаки на БСМ залежить від виду самої атаки і особливостей її організації. До особливо небезпечних і таких які часто використовуються відносять атаки направлені на приглушення сигналу. Відомі методи візуалізації таких атак передбачають уявне збільшення віддалей між сусідніми сенсорами, і як результат викривлення покриття мережі. При цьому є можливість відслідковувати великі зони пошкоджень поверхневих БСМ на їхньому площинному представленні. Але для візуалізації атак на силу сигналу обмеженої кількості сенсорів, які працюють як у складі поверхневих, так і об'ємних БСМ необхідно створити математичну і геометричну (візуальну) моделі.

Аналіз досліджень і публікацій. Системи моделювання БСМ дозволяють розробляти апаратне і програмне забезпечення для функціонування мережі не використовуючи реальних пристроїв [1]. Особливе місце серед таких систем займає геометричне моделювання. Так у ряді випадків геометричне моделювання дозволяє не тільки відтворити форму і положення мережі, прогнозувати і відслідкувати зони враження БСМ атаками на сенсори і інформацію, але й візуалізувати інформацію, яку збирають і передають сенсори. Зокрема, відомий спосіб візуалізації стану довкілля у центрі опрацювання за допомогою БСМ [2]. Для такого моделювання використовують методи обчислювальної геометрії. Особливо зручним і таким, що знайшов широке застосування для вирішення згаданих завдань являється метод тріангуляції Делоне. Даний метод передбачає створення мережі по опорних точках, в нашому випадку місцях розміщення сенсорів, які об'єднанні у трикутники [3,4]. При цьому сусідні сенсори об'єднують у трикутники за умов, що всі кола описанні навколо вершин трикутників пусті, тобто всередині даних кіл немає вершин інших трикутників, сторони трикутників не перетинаються і

кожна вершина трикутника є одночасно вершиною хоча б двох трикутників. Використання методу тріангуляції Делоне дозволяє одержати топологію БСМ і оптимізувати параметри її роботи, наприклад, розмістити сенсори таким чином, щоб кожна точка в мережі покривалася сигналами не менше трьох сенсорів [5].

Постановка завдання. Таким чином *метою* даної роботи є створення геометричної і математичної моделей атаки на силу сигналів окремих сенсорів, які мають різну ступінь зв'язків з сусідніми сенсорами.

Поставлене завдання вирішують шляхом аналізу фрагменту БСМ, особливістю будови якого є розміщення сенсорів у вершинах квадратів з стороною ***a*** (рис. 1).

Розглянемо в запропонованій моделі ситуацію, коли візуальне представлення мережі виконують, використовуючи метод тріангуляції Делоне. При такому моделюванні в конфігураційному просторі двох вимірів сенсори геометрично представлені точками. Відстані між сенсорами є функціями сигналу. Якщо сигнал позначити через Ω, то відстань визначиться, як $l = l(\Omega)$. Різний по інтенсивності сигнал буде відображатися різною довжиною в конфігураційному просторі. Відстань між двома сенсорами Ω_1 і Ω_2 визначається як $l_{12} = l(\Omega_1, \Omega_2)$. При такому представленні нас не цікавлять істинні відстані між сенсорами в реальному просторі, оскільки сигнал поширюється із швидкістю світла в даному середовищі.

Розглянемо мережу з однотипними за силою сигналу сенсорами Ω. В цьому випадку конфігураційний простір буде представлено точками, які знаходяться у вершинах квадратів із стороною $a = l_{12} = l(\Omega_1, \Omega_2)$. На рис. 1 показано структуру побудови точок конфігураційного простору за методом Делоне.

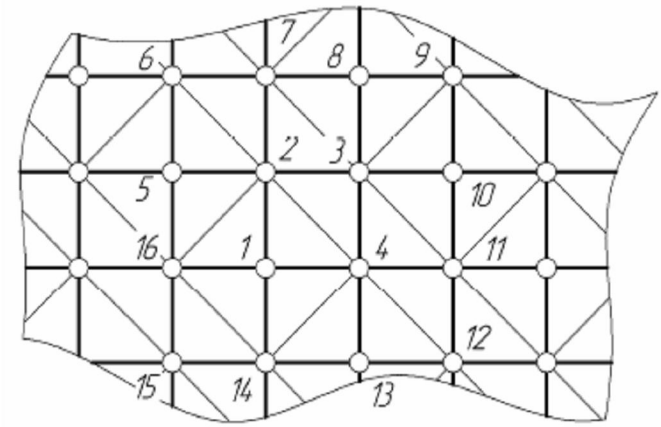

Рис. 1. Фрагмент геометричної моделі БСМ.

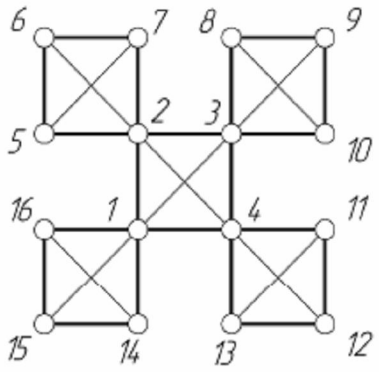

Рис. 2. Фрагмент БСМ для визначення атакованого сенсора.

Для математичного моделювання виберемо квадрат (1;2;3;4) і чотири дотичних у вершинах квадрати (2; 5; 6;7), (3;8;9;10), (4;11;12;13), (1; 14; 15; 16) (рис. 2). Ці чотири квадрати необхідні для однозначного визначення на який із чотирьох сенсорів квадрата здійснено атаку.

В конфігураційному просторі, що є площиною, кожна четвірка точок з фіксованими відстанями (сторони квадратів дорівнюють а, а діагоналі- $a\sqrt{2}$) буде визначати нульовий об'єм тетраедра $V_{1,2,3,4}=0$, який визначається за формулою Ніколло Тарталлі (1) у вигляді визначника Келі-Менгера [9,10]

$$V^2_{1,2,3,4}=\frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2}\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l^2_{12} & l^2_{13} & l^2_{14} \\ -1 & l^2_{12} & 0 & l^2_{23} & l^2_{24} \\ -1 & l^2_{13} & l^2_{23} & 0 & l^2_{34} \\ -1 & l^2_{14} & l^2_{24} & l^2_{34} & 0 \end{vmatrix}=0, \qquad (1)$$

де $l_{12} = l_{14} = l_{23} = l_{34} = a, l_{13} = l_{24} = a\sqrt{2}.$

При здійсненні атаки на якусь із точок - вершину чотирикутника (1;2;3;4), наприклад, точку 4, довжини l_{14}, l_{34}, l_{24} отримають видовження: $l_{34}^{/} = l_{34} + \Delta l$, $l_{24}^{/} = l_{24} + \Delta l$ (рис.3). Такі ж самі видовження отримають і відповідні відстані квадрата (4;11;12;13). Три інші квадрати (1;14;15;16), (2;5;6;7) і (3;8;9;10) ніяких видовжень не отримають.

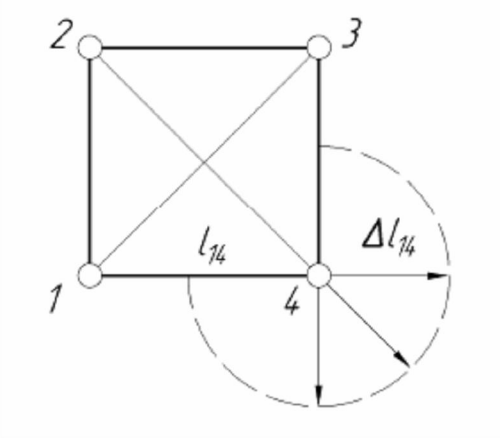

Рис. 3. Схема видовжень квадрата 1,2,3,4.

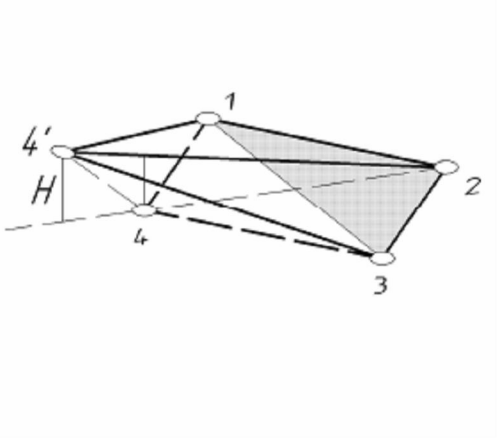

Рис. 4. Просторова геометрична модель видовженого квадрата 1,2,3,4.

Таким чином атака на сенсор приведе до змін лише у двох квадратах (1;2;3;4') і (4';11;12;13) із п'яти. Ці зміни дають змогу однозначно визначити на який із сенсорів здійснено атаку.

Розглянемо більш детально зміни, які відбудуться в квадратах (1;2;3;4) і (4';11;12;13) при атаці на сенсор, що представлений точкою 4 конфігураційного простору. Видовження трьох відстаней на одну і ту ж величину Δl приведе до того, що точка 4 стане вершиною двох тетраедрів (1;2;3;4') і (4';11;12;13) із відмінними від нуля об'ємами

$$V^2_{1234'} = \frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2}\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l^2_{12} & l^2_{13} & (l^2_{14})' \\ -1 & l^2_{12} & 0 & l^2_{23} & (l^2_{24})' \\ -1 & l^2_{13} & l^2_{23} & 0 & (l^2_{34})' \\ -1 & (l^2_{14})' & (l^2_{24})' & (l^2_{34})' & 0 \end{vmatrix} \neq 0, \qquad (2)$$

тобто об'єми тетраедрів (1;2;3;4) і (4';11;12;13) будуть функціями видовження $\Delta l : V_{1,2,3,4^1} = V_{4^1 11,12,13} = V(\Delta l)$.

Внаслідок того, що об'єм тетраедра

$$V(\Delta l) = \frac{1}{3} S_{1,2,3} H , \qquad (3)$$

де H - висота тетраедра, $S_{1,2,3}$ площа основи тетраедра, отримаємо

$$S_{1,2,3} = \frac{1}{2} a^2 . \qquad (4)$$

Тоді (3) набуває вигляду

$$V(\Delta l) = \frac{1}{6} a^2 H . \qquad (5)$$

Звідси, отримуємо характеристику атаки на сенсор

$$H = \frac{6V(\Delta l)}{a^2} \qquad (6)$$

Висновки. У результаті проведених досліджень атака на сенсор БСМ приводить: до локального викривлення конфігураційного простору- із двовимірного він стає тривимірним; два з трьох діагональних квадратів із плоских геометричних фігур перетворюються у тривимірні геометричні фігури - стають тетраедрами із об'ємами: $V_{1,2,3,4^1} = V_{4^1 11,12,13} = V(\Delta l)$.

Кількісна величина $H = \frac{6V(\Delta l)}{a^2}$ є характеристикою атаки на сенсор. Отримані параметри дають отримати якісну візуальну картину стану сенсора чи мережі в цілому.

Використані джерела інформації:

1. *Chris Karlof Secure routing in wireless sensor networks: attacks and countermeasures / Chris Karlof, David Wagner // AdHoc Networks Journal, University of California at Berkeley, Berkeley, CA 94720, USA - Volume 1, Issues 2- 3, September 2003. - Pages 293 - 315.*
2. *Ioannis Krontiris SCooperative Intrusion Detection in Wireless Sensor Networks / Ioannis Krontiris, Zinaida Benenson, Thanassis Giannetsos, Felix C. Freiling, Tassos Dimitriou // EWSN '09 Proceedings of the 6th European Conference on Wireless Sensor Networks, - Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2009. - Pages 263-278.*
3. *Кулаков Ю.И. Теория физических структур. (Математические начала физической герменевтики) / Ю.И. Кулаков. - М., 2004. - 847с.*
4. *Демчишин О.І. Визначення плоского кута за допомогою визначника Келі-Менгера / О.І. Демчишин // Матеріали XIV Наукової Конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Природничі науки та інформаційні технології » - Тернопіль, 27-28 жовтня 2010 р - С. 48*
5. *Becher Tampering with motes: Real-world physical attacks on wireless sensor networks / A. Becher, Z. Benenson, M. Dornseif // volume 3934 of Lecture Notes in Computer Science, In J. A. Clark, R. F. Paige, F. Polack, and P. J. Brooke, editors, SPC, - 2006. - Pages 104-118.*