

УДК 004.94

В.М. Карпінський

БЕЗПРОВІДНІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ: ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЇ ПРИ ЗАГРОЗАХ

Розглянуто особливості моделювання та візуалізації топології безпроводних сенсорних мереж.

Ключові слова: безпроводні сенсорні мережі, моделювання, візуалізація, загрози.

Рассмотрены особенности моделирования и визуализации топологии беспроводных сенсорных сетей.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, моделирование, визуализация, угрозы.

Features of wireless sensory networks topology modelling and visualisation are considered.

Keywords: wireless sensory networks, modelling, visualisation, threats.

Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) невпинним потоком вливаються в повсякденні комп'ютерні пристрої, засоби автоматики та робототехніки, системи електроспоживання та обліку енергії. тощо [1–3]. Тому дослідження поведінки та аспекти моделювання БСМ із урахуванням їх безпеки в реальних умовах стає нагальною потребою часу. Беручи до уваги те, що сенсори використовують радіоканал для передачі інформації, злісні вузли можуть підслуховувати та ретранслювати пакети, тунелювати їх до іншого місця в мережі, використовуючи для цього дію завад та заглушування [4, 5]. Завдання з області мережевої безпеки, вирішення яких методами моделювання та візуалізації для забезпечення додаткового рівня захисту щодо топології мережі і практичного застосування поза межами традиційних механізмів безпеки, таких як шифрування і аутентифікація, а також виявлення атак та ізолювання шкідливих вузлів шляхом зіставлення моделей зазначених вторгнень або виявлення аномалій у функціонуванні мережі, відіграють суттєву роль у загальній важливій науково-практичній проблематиці.

Комп'ютерне моделювання належить до одного з найефективніших підходів до вивчення БСМ, який дозволяє отримати достеменні результати за поведінкою цих мереж без суттєвих фінансових витрат [6]. Певні зусилля дослідників з обладнаними результатами були спрямовані на розробку підходів до моделювання БСМ з метою виявлення окремих атак відмови сервісу, а саме "червоточин" (Wormhole), багатократної ідентичності (Sybil), воронкової (Sink-hole) [5, 7–9]. Ці методи зазвичай вимагають, щоб вузли були обладнані спеціальними засобами, такими як пристрої керування позиціонуванням, синхронізованими тактами або напрямленими антенами. Із прогресом

інтегральних схем і виробництвом апаратних засобів ці пристрої дешевіють, мініатюризуються і стають енергоефективними, щоб зможти їх помістити в сенсорах. В іншому візуалізаційному підході застосовується багатовимірне шкалювання (БВШ) для реконструкції топології БСМ і знаходження червоточини та помилкових з'єднань сусідніх сенсорів шляхом виявлення викривлень у результаті реконструкції [10]. Як одному з ефективних концепційних прототипів аналізованому методу притаманна низка недоліків, якщо він застосовується в реальному безпроводному середовищі. По-перше, отримані результати стосуються лише БСМ, що містить кілька сотень вузлів. Його ефективність і точність в ширшому масштабі, наприклад тисяч вузлів, залишаються невизначеними. По-друге, припускається, що всі вузли є статичними. Тому здатність до виявлення загроз за його допомогою в мобільних БСМ не була дослідженою. Нарешті, експериментальні результати зосередилися на сценарії, коли в БСМ існує лише одна червоточина, тоді як дослідження показують, що за наявності більше двох червоточин в мережі понад 50 % пакетів даних будуть притягнуті до помилкових з'єднань сусідів і відкидатимуться. Окрім цього, застосовується спрощене моделювання похибок вимірювань однорідними шумами.

У дослідженні поставлено завдання вдосконалення методу моделювання та візуалізації БСМ для виявлення потенційних загроз у відмові сервісу.

Пропонований метод ґрунтується на подальшому розвитку ефективного апаратного підходу для захисту від червоточини у БСМ, розглянутому в [10], і зводиться до послідовного виконання декількох етапів, причому вихідні дані з попереднього кроку є вхідними даними для наступної операції: а) реконструювання топології БСМ, якому передують обчислення відстані між кожною парою сенсорів; б) з подальшим згладжуванням поверхні на підставі триангуляції Делоне, щоб компенсувати похибки вимірювання сигналів, модельовані шумами, що описуються функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків; в) аналізу форми реконструйованої мережі та виявлення фальшивих з'єднань сусідніх сенсорів.

Метод реконструювання топології мережі.

Реконструювання БСМ та обчислення віртуального положення кожного сенсора з унаочненням зображення здійснюється на підставі одного з основоположних статистичних підходів нової галузі інформатики, яка стрімко розвивається, – обчислювальної геометрії. Цей підхід ґрунтується на альтернативі факторного аналізу – метричному методі БВШ [11], який і впроваджено в розглянутий метод.

Метод набув динамічного розвитку в 60-х роках минулого століття, що відобразили в своїх публікаціях, зокрема, американські науковці W.S. Torgerson (1952), R.M. Shepard (1962) та низка інших вчених [12, 13]. Вхідними даними у методі БВШ є виміряні величини відмінностей або подібностей між парами об'єктів, а вихідними даними – параметри розташування об'єктів у просторі. Під час формування топології постає питання про визначення відстаней між сенсорами. Тому вхідними даними у методі БВШ будуть матриці цих відстаней. Вибір метрики для вимірювання відстаней між сенсорами у просторі визначає алгоритми формування реконструювання БСМ. Найпоширеніші метрики є модифікаціями метрики Мінковського, запропонованої видатним німецьким математиком і фізиком Германом Мінковським у 1908 році, та у якій відстань між сенсорами визначається так [13–15]:

$$d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (1),$$

де d_{ij} – відстань між точками, що відповідають i та j сенсорам;

p – розмірність простору;

x_{ik}, x_{jk} – значення проекцій i та j точок на вісь k .

Для часткового випадку $r = 2$ цієї метрики вона збігається з найпоширенішим випадком – евклідовою метрикою:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^2} \quad (2).$$

За допомогою методу можна реконструювати мережу й обчислити віртуальну позицію для кожного сенсора. Упроваджено класичний метричний метод БВШ до розглянутого підходу, у якому відстані трактуються як у Евклідовому просторі.

Визначення розміщення сенсорів.

Для визначення розміщення компонентів БСМ застосуємо метод локалізації. Характерна особливість локалізації систем полягає в здатності визначати місце розташування вузла та перевіряти його відстань від суміжних вузлів [Sastry та ін., 2003], під час якої сенсорні вузли визначають своє розташування. Виділяють три важливі характеристики, що пов'язані з локалізацією: енергетична ефективність (*energy efficiency*), точність (*accuracy*) і безпека (*security*) [Srinivasan, Wu, 2007]. Хоча перші два параметри значною мірою досліджені, вони вимагають уточнення в умовах електромагнітних впливів, а показник захисту привернув увагу дослідників лише недавно й вивчений недостатньо. Розглянутий метод локалізації ґрунтується на використанні існуючих методів тріангуляції. Слід зазначити, що в поєднанні зі схемами розподілу ключів можна досягти безпечної локалізації вузлів.

Характерна особливість локалізації систем полягає у здатності визначати місце розташування вузла й перевіряти його відстань від суміжних вузлів [Sastry та ін., 2003]. Кожен вузол може визначити своє положення шляхом обчислення відстані до своїх сусідів, використовуючи один із чотирьох методів тріангуляції, що ґрунтуються на вимірюваннях відстаней (*lateration*), рівнів сигналу (*attenuation*), різниць часу (*propagation*) та взаємних кутів (*angulation*) [5, 16, 17]. Місцезнаходження вузла згідно з тріангуляцією обчислюється за допомогою тригонометричних теорем синусів і косинусів наступним чином (рис. 1):

за теоремою синусів

$$\frac{\sin \alpha}{BC} = \frac{\sin \beta}{AC} = \frac{\sin \gamma}{AB} \quad (3),$$

за теоремою косинусів

$$\begin{cases} BC^2 = AC^2 + AB^2 - 2AC \cdot AB \cos \alpha \\ AC^2 = BC^2 + AB^2 - 2BC \cdot AB \cos \beta \\ AB^2 = BC^2 + AC^2 - 2BC \cdot AC \cos \gamma \end{cases} \quad (4).$$

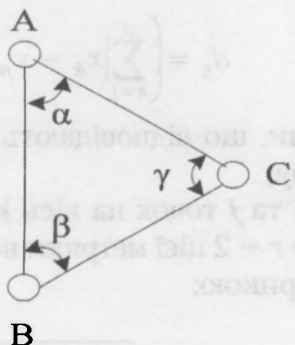


Рис. 1. Схема розміщення вузлів у вершинах трикутника

Охарактеризуємо кожен із зазначених вище методів тріангуляції.

1. Трилатерація (Lateration Triangulation): передбачається, що після розміщення вузли “знають” про своє місце завдяки процесу атомарної мультилатерації [Savvides та ін., 2001]. Під час цього процесу вузол оцінює своє місце розташування, якщо він знаходиться в межах радіодіапазону трьох інших вузлів. Коли базова станція передає маяк для формування топології мережі, вузли відповідають їх положенню у мережі. Кожен вузол визначає своє положення шляхом розрахунку відстані від своїх сусідів, як показано нижче на рис. 2, і на якому параметром p є відстань d .

2. Тріангуляція на підставі рівнів сигналу (Attenuation Triangulation): тут використовується закономірність зменшення рівня сигналу s зі збільшенням відстані між двома вузлами (рис. 2). Зроблено припущення про щільну мережу, де вузли розміщені близько одне до одного. В ієрархічній кластерній моделі вузли батьків знають про положення їх дочірніх вузлів.

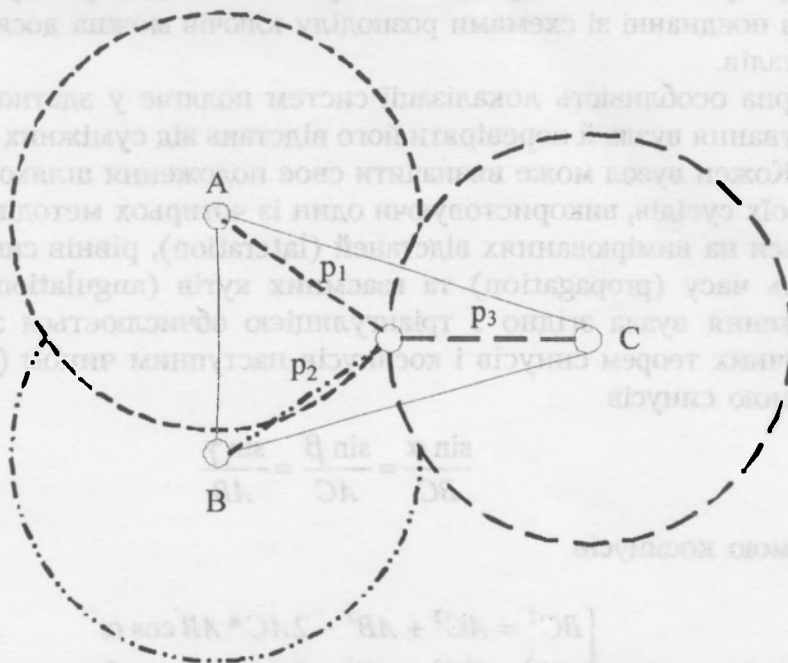


Рис. 2. Види тріангуляції: трилатерація – $\{p_1, p_3\} = \{d_1, d_3\}$, рівнів сигналу – $\{p_1, p_3\} = \{s_1, s_3\}$, різниці часу – $\{p_1, p_3\} = \{t_1, t_3\}$

3. Триангуляція на основі різниць часу (Propagation Triangulation): вузол А посилає повідомлення до вузла В і вузол В обчислює різницю в часі $t_2 - t_1$, за якою він у стані визначити своє розміщення (рис. 2).

4. Обертова триангуляція чи визначення напрямку (Angulation Triangulation) [5]: під час обертання, як показано на рис. 3, використовуються кути для визначення відстані між вузлами при застосуванні напрямлених антен. У 2-D розміщенні вимірюються два кути та відстань, а в 3-D положенні – два кути, одна довжина та один азимут.

Для визначення розміщення сенсорів обрано метод триангуляції на підставі рівнів сигналу, який є найбільш економічно ефективним методом, оскільки тоді не вимагається жодного додаткового обладнання на вузлі. До одного з недоліків, однак, належить те, що відстань може бути виміряна неточно. Наприклад, похибка визначення відстані за даними досліджень може коливатися від 5% до 40% в радіодіапазоні. Точність вимірювань можна покращити завдяки створенню точнішої моделі розповсюдження сигналу або забезпеченню стабільної різниці потужностей у різних точках [10].

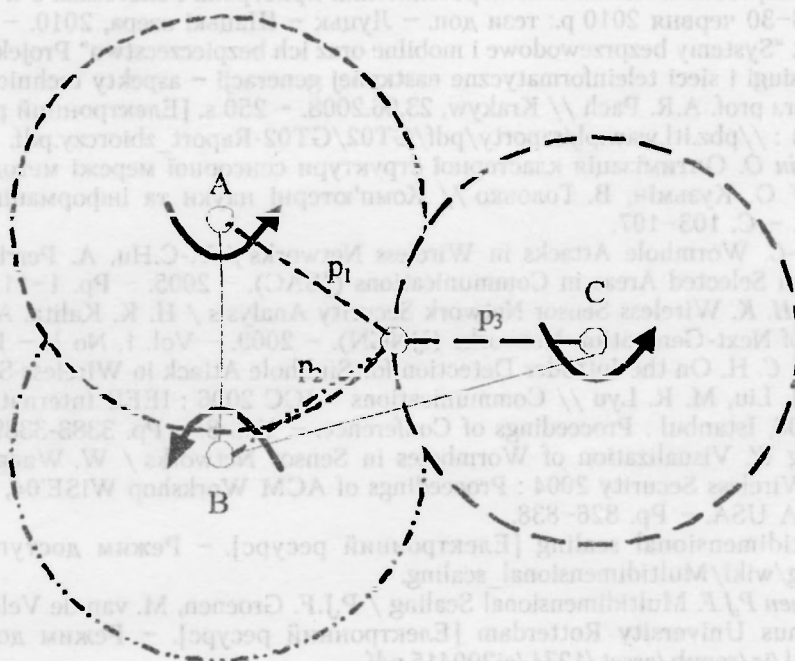


Рис. 3. Визначення напрямку

Згладжування форми реконструйованої мережі.

У подальшому застосовано запропонований в [10] підхід із комп'ютерною графікою, однак для згладжування форми реконструйованої мережі й компенсації наслідків похибок вимірювань сигналів використано інший метод, що базується на теорії дуального графу діаграми Вороного, покладеної в основу триангуляції Делоне [18, 19]. При цьому похибки вимірювань сигналів не моделюються однорідними шумами, а описуються функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків. Завдяки триангуляції Делоне максимізується мінімальний кут усіх трикутників. Результат методу 3D триангуляції Делоне використовується для вибору характерних ліній між відповідними парами вузлів.

Відомо, що обрана особливість ліній підвищує основну інформацію про поверхневу топологію БСМ.

Запропоновано теоретичний підхід для вдосконалення методу моделювання та візуалізації БСМ для виявлення потенційних загроз у відмові сервісу. Напрямок подальших досліджень вбачається у проведенні на його підставі комп'ютерного моделювання у відповідному програмному середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко Ю.М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сенсорних мереж / Ю.М. Бойко, В.М. Локазюк, В.В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 94–97.
2. Kulesza W. Bezprzewodowe sieci sensorowe – aspekty metrologiczne, telekomunikacyjne i energetyczne / W. Kulesza // Biuletyn Techniczno-Informacyjny OJ SEP. – 2010. – Nr 3 (50). – S. 2–8.
3. Курітнік І.П. Безпроводна трансляція інформації / І.П. Курітнік, М. Карпінський. – Тернопіль: Крок. – 2010. – 376 с.
4. Карпінський В.М. Імітаційне моделювання процесів виявлення та ізолювання негативних збурювальних чинників в безпроводних сенсорних мережах / В.М. Карпінський // Підвищення ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: 3-я міжнарод. наук.-техн. конф., 28–30 червня 2010 р.: тези доп. – Луцьк – Шацькі озера, 2010. – С. 102–104.
5. Raport "Systemy bezprzewodowe i mobilne oraz ich bezpieczenstwo" Projekt PBZ-MNiSzW-02/II/2007 "Usługi i sieci teleinformatyczne następniej generacji – aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe" / Kier.: prof. A.R. Pach // Kraków, 23.06.2008. – 250 s. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://pbz.itl.waw.pl/raporty/pdf/GT02/GT02-Raport_zbiorczy.pdf.
6. Кузьмін О. Оптимізація кластерної структури сенсорної мережі методом імітаційного моделювання / О. Кузьмін, В. Головка // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 663. – С. 103–107.
7. Hu Y.-C. Wormhole Attacks in Wireless Networks / Y.-C.Hu, A. Perrig, D. Johnson // IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC). – 2005. – Pp. 1–11.
8. Kalita H. K. Wireless Sensor Network Security Analysis / H. K. Kalita, A. Kar // International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN). – 2009. – Vol. 1, No 1. – Pp. 1–10.
9. Ngai E. C. H. On the Intruder Detection for Sinkhole Attack in Wireless Sensor Networks / E. C. H. Ngai, J. Liu, M. R. Lyu // Communications – ICC 2006 : IEEE International Conference, 11–15 June 2006, Istanbul : Proceedings of Conference. – Vol. 8. – Pp. 3383–3389.
10. Wang W. Visualization of Wormholes in Sensor Networks / W. Wang, B. Bhargava // Workshop on Wireless Security 2004 : Proceedings of ACM Workshop WiSE'04, October 1, 2004, Philadelphia, PA USA. – Pp. 826–838.
11. Multidimensional scaling [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/Multidimensional_scaling.
12. Groenen P.J.F. Multidimensional Scaling / P.J.F. Groenen, M. van de Velden // Report EI 2004-15, Erasmus University Rotterdam [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://publishing.eur.nl/ir/repub/asset/1274/ei200415.pdf>.
13. Тормосов Ю.М. Геометрія моделей багатовимірного шкалювання / Ю.М. Тормосов, К.Р. Сафіуліна // Праці ТДАТУ, 2010. – Вип. 4., Т. 48. – С. 44–47.
14. Diversitas Cybernetica / [red. R. Klempous]. – Warszawa : WKJ, 2005. – 232 s.
15. Маковейчук О.М. Об'єктивна оцінка якості обробки зображень / О.М. Маковейчук // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 3(15). – С. 135–136.
16. Бугрименко Д. Управление беспроводной ЛВС и определение местоположения абонента / Д. Бугрименко // Cisco Expo 2006 (ежегодная конференция по информационным технологиям в Москве) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://old.ciscoexpo.ru/moscow/2006/rus/download.shtml>.
17. Triangulation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://en.wikipedia.org/wiki/Triangulation>.
18. Delaunay triangulation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/Delaunay_triangulation.
19. The Voronoi Web Site [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.voronoi.com>.

Отримано 7.06.2011