

**МОДЕЛЮВАННЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ АТАК У СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ
МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ****П. С. Євтух, В. М. Карпінський**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна. E-mail: vkarpinskiy@gmail.com

Розглянуто методи захисту та виявлення у безпроводних сенсорних мережах різного виду атак. Розроблено підхід до моделювання візуалізаційного виявлення атаки типу просторово-часового тунелю в безпроводних сенсорних мережах моніторингу електротехнічних систем. Визначено мінімальну абсолютну похибку визначення положення сенсорів та мінімальну абсолютну похибку згладжування реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі.

Ключові слова: моделювання, візуалізація, атака, сенсорна мережа, електротехнічна система.**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В СЕНСОРНОЙ СЕТИ
МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****П. С. Евтух, В. Н. Карпинский**Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя
ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина. E-mail: vkarpinskiy@gmail.com

Рассмотрены методы защиты и выявления в беспроводных сенсорных сетях различного вида атак. Разработан подход к моделированию визуализационного обнаружения атаки типа пространственно-временного туннеля в беспроводных сенсорных сетях мониторинга электротехнических систем. Определена минимальная абсолютная погрешность определения положения датчиков и минимальная абсолютная погрешность сглаживания реконструированной топологической поверхности сенсорной сети.

Ключевые слова: моделирование, визуализация, атака, сенсорная сеть, электротехническая система.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. З урахуванням численної кількості випадків проведення таких загрозливих атак на безпроводні сенсорні мережі (БСМ), як просторово-часовий тунель (червоточина), лавина, багатократна ідентичність та вибіркова переадресація, в різних галузях, включаючи інформаційні, промислові та спеціалізовані мережні системи, електроенергетику разом із силовими лініями передач, експлуатацію трубопроводів і електротехнічних систем тощо, постає необхідність захисту від таких атак. Одним з підходів є застосування моделювання візуалізаційного виявлення згаданих атак у БСМ моніторингу електротехнічних систем, що пов'язано з одним із наукових напрямів кафедри електротехніки (ЕЕ) Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

У науково-технічній літературі приділяється увага розв'язанню задач дистанційного моніторингу електротехнічних систем, об'єктів енергетики, ліній електропередач та трубопроводів (водопостачання, каналізації тощо) комунальних підприємств за допомогою сенсорних мереж та моделювання режимів функціонування і побудові БСМ для цих завдань [1–5]. Зокрема, способи згаданого моніторингу полягають у використанні БСМ, що містять [1–3]:

- сенсори, розташовані для моніторингу трубопроводів та ліній електромережі;
- сенсори для приймання даних, пов'язаних з трубопроводами й лініями електропередач, та зв'язку із сенсорними даними;
- віддалений сенсорний інтерфейс, що містить пристрій зв'язку, який приймає передані сенсорами дані та передає їх;
- пристрої зв'язку, що приймають дані, передані віддаленим сенсорним інтерфейсом, і передають їх прямо або опосередковано до зовнішньої відносно БСМ мережі.

Ці рішення характеризуються найнижчим рівнем захисту БСМ від атак, що зумовлено відсутністю засобів безпеки, а також неможливістю візуалізації атаки червоточини.

Останнім часом почали з'являтися публікації, в яких запропоновано застосування візуалізаційного моделювання для сприяння виявлення атак у БСМ. Зокрема, в [6] наведено метод і моделювання візуалізації атак червоточини в БСМ, що полягає у послідовному виконанні наступних етапів: вимірюванні відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу за умови моделювання похибки вимірювання відстані спрощеним однорідним шумом; застосуванні алгоритму Дейкстри для розрахунку найкоротшої відстані між кожною парою сенсорів та побудови матриці відстаней у мережі; реконструюванні топологічної поверхні БСМ шляхом багатовимірної шкалювання та обчислення віртуальної позиції кожного сенсора; згладжуванні реконструйованої топологічної поверхні БСМ шляхом апроксимації площини для кожного сенсора на основі своїх координат та координат сусідів із подальшим визначенням нового положення сенсора за допомогою попередніх координат і його проекції на апроксимовану площину; аналізі форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні БСМ реконструйованої мережі та виявленні фальшивих з'єднань сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини.

До недоліків запропонованого методу та моделі можна віднести застосування спрощеного моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами однорідних шумів, що носить частковий обмежений характер і не дозволяє врахувати реально існуючі шуми в безпроводній сенсорній мережі через суттєві похибки вимірювання відстані між сенсорами, недостатню точність згладжування реконструйованої топологічної поверхні БСМ, а також обмежені функціональні мож-

ливості здійснення аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі.

Метою роботи є розробка підходу до моделювання візуалізаційного виявлення атаки типу просторово-часового тунелю в БСМ зі зменшеною похибкою вимірювання відстані між сенсорами, підвищеною точністю згладжування реконструйованої топологічної поверхні БСМ та розширеними функціональними можливостями здійснення аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі моніторингу електротехнічних систем.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Згідно з запропонованим підходом спочатку проводиться вимірювання відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу. Потім здійснюється моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, що описується функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків. Черговий етап полягає в уточненні значення вимірної відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу u_i . При цьому запропоновано моделювати похибки вимірювань сигналів не однорідними шумами, а описаними функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків. Тоді дійсне значення сигналу u_{di} визначається згідно з виразом

$$u_{di} = u_i \pm \Delta u_i, \quad (1)$$

де Δu_i – абсолютна похибка вимірювання сигналу, причому модель похибки має вигляд:

$$\Delta u_i = f(J_0(j\alpha u_i), J_n(j\alpha u_i)), \quad (2)$$

де $J_0(j\alpha u_i), J_n(j\alpha u_i)$ – функції Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків.

Надалі відбувається реконструювання топологічної поверхні БСМ та обчислення віртуального положення кожного сенсора з унаочненням зображення на підставі одного з основоположних статистичних підходів нової галузі інформатики, яка стрімко розвивається, – обчислювальної геометрії. Цей підхід ґрунтується на альтернативі факторного аналізу – метричному методі багатовимірному шкалювання (БВШ), який і впроваджено в розглянутий метод. Вхідними даними у методі БВШ є матриці відстаней між сенсорами. Вибір метрики для вимірювання відстаней між сенсорами у просторі визначає алгоритми формування реконструювання БСМ. Найпоширеніші метрики є модифікаціями метрики Мінковського, у якій відстань між сенсорами визначається як:

$$\tilde{d}_{ij} = \left(\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^r \right)^{\frac{1}{r}}, \quad (3)$$

де \tilde{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:

$$\tilde{d}_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^2}. \quad (4)$$

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

Для визначення розміщення компонентів БСМ запропоновано метод локалізації, що ґрунтується на використанні існуючих методів триангуляції. Слід зазначити, що в поєднанні зі схемами розподілу ключів можна досягти безпечної локалізації вузлів. Характерна особливість локалізації систем полягає в здатності визначати місце розташування вузла та перевіряти його відстань від суміжних вузлів. Кожен вузол може визначити своє положення шляхом обчислення відстані до своїх сусідів, використовуючи один з чотирьох методів триангуляції, що ґрунтуються на вимірюваннях відстаней (lateration), рівнів сигналу (attenuation), різниць часу (propagation) та взаємних кутів (angulation). Місцезнаходження вузла згідно з триангуляцією обчислюється за допомогою тригонометричних теорем синусів і косинусів.

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 (рис. 1). Тут використовується закономірність зменшення рівня сигналу s зі збільшенням відстані між двома вузлами. Зроблено припущення про щільну мережу, де вузли розміщені близько один до одного. В ієрархічній кластерній моделі вузли батьків знають про положення їх дочірніх вузлів. 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 % у радіодіапазоні. Точність вимірювань покращено завдяки створенню точнішої моделі розповсюдження сигналу та забезпеченню стабільної різниці потужностей у різних точках.

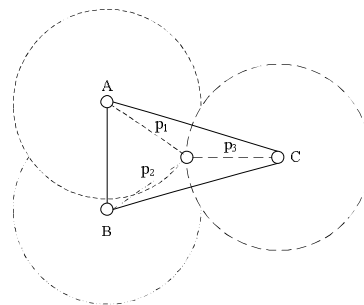


Рисунок 1 – Види триангуляції: трилатерація – $\{p_1, p_3\} = \{d_1, d_3\}$, рівнів сигналу – $\{p_1, p_3\} = \{s_1, s_3\}$, різниць часу – $\{p_1, p_3\} = \{t_1, t_3\}$

Далі згладжується реконструйована топологічна поверхня БСМ на підставі запропонованого методу з комп'ютерною графікою, що ґрунтується на теорії дуального графу діаграми Вороного, покладеної в основу триангуляції Делоне. При цьому спочатку здійснюється триангуляція Делоне. Завдяки цьому максимізується мінімальний кут усіх трикутників. Результат методу 3D триангуляції Делоне використовується для вибору

характерних ліній між відповідними парами вузлів. Обрана особливість ліній підвищує основну інформацію про поверхневу топологію БСМ.

У подальшому застосовується локально-стохастичний метод просторової інтерполяції, а саме проводиться кригінг-інтерполяція реконструйованої топологічної поверхні. Серед переваг слід відзначити можливість обґрунтування значення радіуса околу розглянутої точки, який повинен враховуватися під час інтерполяції, вигляду вагової функції, а також можливість оцінки точності просторової інтерполяції. Кригінг-інтерполяція має перевагу порівняно з локальними детермінованими методами, до яких належать методи кускової поліноміальної і сплайнової інтерполяції та ковзного осереднення. Розглянемо детальніше особливості застосування локально-стохастичного методу просторової інтерполяції до згладжування реконструйованої топологічної поверхні БСМ, а саме нормального чи ординарного кригінгу, який базується на положенні про те, що постійне середнє значення невідоме. Застосування цього методу має більше сенсу в порівнянні з іншими, тому за його допомогою обробляються дані не за напрямками, а за площею. При цьому приймемо до уваги рекомендації провідної американської компанії з розробки спеціалізованого програмного забезпечення для просторової інтерполяції Golden Software, а також друкованих та інтернетних джерел щодо вибору оптимального методу просторової інтерполяції:

- за наявності менше 250 точок рекомендується кригінг із лінійною варіограмною моделлю;

- оброблення набору із 250–1000 точок з оптимальною швидкістю забезпечує триангуляція з лінійною інтерполяцією, кригінг і радіальні базисні функції;

- швидке оцінювання даних для набору, що налічує більше 1000 точок, може бути здійснено із застосуванням методів мінімальної кривизни і триангуляції з лінійною інтерполяцією. Точно, але порівняно повільно проводиться оброблення даних за допомогою методів кригінгу та радіальних базисних функцій.

Доцільно відзначити, що дуже великі набори даних не дають істотних розбіжностей у швидкості інтерполяції різними методами. Вибір методу залежить від вимог користувача і ресурсів системи. Врахуємо згадані рекомендації з точки зору згладжування реконструйованої топологічної поверхні БСМ. Для моделювання безперервної топологічної поверхні БСМ на основі дискретного масиву даних застосуємо процедуру локальної інтерполяції, базовану на локальному кригінгу та описану моделлю:

$$f(\mathbf{v}) = \sum_{i=1}^n w_i f(\mathbf{v}_i), \quad (5)$$

де $\mathbf{v} \in \{\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n\}$ – задана множина точок евклідового простору \mathbb{R}^m (комірок растра) будь-якого виміру, в яких розміщені сенсори БСМ,

$f(\mathbf{x}) \in \{f_1 \equiv f(\mathbf{x}_1), f_2 \equiv f(\mathbf{x}_2), \dots, f_n \equiv f(\mathbf{x}_n)\}$ – відомі значення деякої функції $f(\cdot)$ у точках $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$, що отримані на основі вимірювань або спостережень, причому сама функція $f(\cdot)$ невідома,

w_i – вагові коефіцієнти для кожної з цих точок.

Тому постає задача побудувати інтерполяційну функцію $f^*(\cdot)$, яка була б оптимальною оцінкою невідомої функції $f(\cdot)$:

$$f^*(\mathbf{x}) \approx f(\mathbf{x}) \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^m. \quad (6)$$

Застосовуючи оцінку дисперсії, можна записати:

$$\sigma^2 \equiv D[f(\mathbf{x})] = E[(f(\mathbf{x}) - \mu)^2], \quad (7)$$

де σ – стандартне відхилення величини $f(\mathbf{v})$ від її математичного сподівання μ , $D[\cdot]$ – дисперсія дискретної випадкової величини $f(\mathbf{v})$, $E[\cdot]$ – математичне сподівання випадкової величини, поданої у квадратних дужках.

У подальшому можна подати

$$\sigma^2 = E[(f(\mathbf{x}) - \mu)^2] = -\gamma(\mathbf{x}, \mathbf{x}) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \gamma(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j) + 2 \sum_{i=1}^n w_i \gamma(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}), \quad (8)$$

де $\gamma(\cdot)$ – варіограма або структурна функція, що є першим кроком на шляху кількісного опису регіоналізованих змінних та надає корисну інформацію для інтерполяції, оптимізації мережі вимірювань (або пробо-відбору), а також визначення моделі просторового розподілу.

Надалі знайдемо мінімум вищенаведеної функції за додаткової умови:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (9)$$

Застосовуючи метод множників Лагранжа λ для розв'язання задачі умовного екстремуму та підставляючи $\mu = -0,5 \lambda$, отримаємо систему лінійних рівнянь у вигляді

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j \gamma(\mathbf{x}^i, \mathbf{x}_j) + \mu = \gamma(\mathbf{x}^i, \mathbf{x}), i = 1, \dots, n; \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, \end{cases} \quad (10)$$

розв'язанням якої є вагові коефіцієнти для окремих точок, в яких розміщені сенсори БСМ.

Форма варіограми абсолютно безумовно охарактеризовує вигляд просторової варіації (тренда), що наявна в межах даної площі й може допомогти прийняти рішення, як чинити в подальшому. Для опису варіограми застосовується одна з найпоширеніших на практиці варіограмних моделей з порогом (*sill*) – сферична, експоненціальна або гауссівська.

Якщо залишкова варіація – тобто дисперсія похибок вимірювань, а також тих просторових змін, які мають характерний розмір набагато менший, ніж крок випробування, – суттєва, але не дуже велика, доцільно використати сферичну варіограмну модель (рис. 2):

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C_1 \left(\frac{3h}{2r} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{r} \right)^3, \text{ для } 0 < h < r; \\ \gamma(h) &= C_0 + C_1, \text{ для } h > r, \end{aligned} \quad (11)$$

де h – крок, C_0 – залишкова варіація, C_1 – перевищення між пороговим значенням варіограми та залишковою варіацією, r – радіус кореляції, інша назва «радіус залучення» або просто «радіус» (range), тобто значення кроку, при якому варіограма зростає до максимального значення.

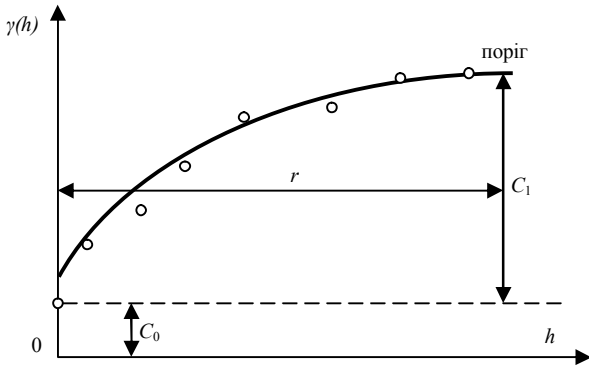


Рисунок 2 – Вибіркова варіограма

Якщо мають місце виразно виражені залишкова дисперсія та поріг, а розмах є приблизним, для опису варіограми краще всього надається експоненціальна модель:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right). \quad (12)$$

Не дивлячись на подібність графіків сферичної та експоненціальної моделей, останній притаманні декілька характерних рис:

- термін «радіус» у ній не зовсім коректний. Варіограма досягає порогу асимптотично, залишаючи навіть для найдальших проб деякий малий взаємовплив. Однак на відстані радіуса візуально відрізнити її значення від порогу буває складно;

- модель задає зовсім іншу поведінку інтерполяційних алгоритмів на малих відстанях, «ослаблюючи» міцність зв'язку поблизу нульового значення та знижуючи, таким чином, достовірність оцінки.

Для незначних змін варіограми та малої залишкової дисперсії порівняно з просторово залежною випадковою варіацією, варіограму можна оптимально представити гауссівською моделлю:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{r}\right)^2\right) \right). \quad (13)$$

Цій моделі притаманна дуже висока міцність взаємозв'язку в нулі, причому вона володіє порогом і радіусом, хоча порогу вона, як і експоненціальна модель, досягає не на значенні радіуса, а асимптотично. Особливості поведінки на малих відстанях дозволяють застосувати її замість процедур нелінійної статистики для об'єктів із значущим локальним трендом. Можна застосувати й інші варіограмні моделі.

Якщо переходити з декартової системи координат на циліндричні координати, то додатково можна скористатися з ординарного кригінгу в циліндричних координатах.

Потім проводиться: а) аналіз візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні БСМ із застосуванням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідо-

вому просторі; б) виявлення фальшивих з'єднань між сусідніми сенсорами, зумовлених атакою червоточини.

У пропонованому підході до моделювання візуалізаційного виявлення атаки червоточини БСМ моніторингу електротехнічних систем побудовано на сенсорах, які сформовано на модулях XВee виробництва фірми США Digi International шляхом програмування стеку XВee на програмному рівні. Сенсори функціонували в рамках протоколу ZigBee згідно зі стандартом IEEE 802.15.4. Вбудованою програмою застосували ZB20, базовану на специфікації ZigBee PRO Feature Set.

Для візуалізації атаки червоточини в БСМ спочатку вимірювалися відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, здійснювалося моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, що описувалося функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, та уточнювалося значення вимірюваної відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу. Для цього запрограмовано модулі XВee з повним набором функцій. Модулі використовували запрограмований рівень стеку XВee. При цьому потужність прийнятого сигналу вимірюно за допомогою заімплементованої програми на підставі 10-бітового аналогоцифрового перетворювача.

В основу покладено трансівер типу MRF24J40 виробництва норвезької компанії Chipcon AS, зокрема її дочірньої компанії Texas Instruments. Плату оснащено також Edge Card-роз'ємом J3 з послідовним периферійним чотирипровідним інтерфейсом SPI, в якому для передачі даних передбачено застосування чотирьох сигналів: CS, SCK, SO, SI. На підрівні MAC забезпечено захист переданої інформації симетричним криптоалгоритмом AES з ключем довжиною 128 біт.

У подальшому здійснено реконструювання топологічної поверхні БСМ шляхом багатовимірною шкалювання та обчислено віртуальну позицію кожного сенсора за допомогою авторської програми, написаної на мові програмування C. Потім виконано згладжування реконструйованої топологічної поверхні БСМ із застосуванням триангуляції Делоне та кригінг-інтерполяції реконструйованої топологічної поверхні, використовуючи:

а) сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі;

б) множину точок, у яких розміщені сенсори. Для цього застосовано модернізовану програму Leios 2010.1 італійської фірми EGSolutions з додатковими вікнами інтерфейсу користувача для двох режимів функціонування БСМ: без наявності атаки червоточини та за її наявності (рис. 3).

Надалі проведено аналіз візуалізованих форм згладженої реконструйованої топологічної поверхні БСМ та виявлено фальшиві з'єднання сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини. Констатовано, що атака червоточини зумовлює зміну відстані між двома сусідніми сенсорами, викликає зміну площі топологічної поверхні БСМ, спотворює та вигинає згладжену реконструйовану топологічну поверхню цієї мережі, притягуючи сенсори один до одного, і створює фальшиві з'єднання в точках 1 і 2 розміщення сенсорів.

Отримано мінімальну абсолютну похибку визначення положення сенсорів $\pm 0,02$ мм та мінімальну абсолютну похибку згладжування реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі $\pm 2 \cdot 10^{-2}$ мкм.

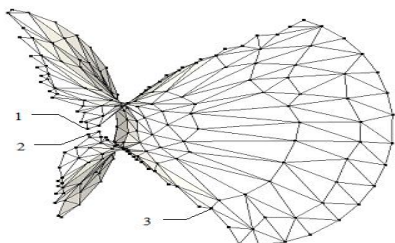


Рисунок 3 – Візуалізована форма поверхні БСМ

ВИСНОВКИ. Запропонований підхід дозволяє зменшити похибку вимірювання відстані між сенсорами за умови її моделювання реально існуючим змішаним шумом, що описується функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, підвищити точність згладжування реконструйованої топологічної поверхні БСМ та розширити функціональні можливості здійснення аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі моніторингу електротехнічних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Remote monitoring of pipelines using wireless sensor network : патент США 73/49.1; 73/40.5 R; 73/86; 73/865.9; 702/113: МПК6 G01M3/28;

G01N17/00 / Sabata A., Brossia S. – № US007526944B2; опубл. 05.05.09. – 6 с.

2. Sensor networks for pipeline monitoring : патент США 340/870.07; 340/854.5; 73/40.5 R; 73/49.1: МПК6 H04Q5/00 / Twitchell R.W. Jr.; власник патенту Terahop Networks, Inc, Alpharetta, GA (US). – № US007830273B2; опубл. 09.11.10. – 13 с.

3. Sensor networks for monitoring pipelines and power lines : патент США 340/870.01; 370/252; 73/49.1 : МПК6 G08C17/00 / Twitchell R.W. Jr.; власник патенту Terahop Networks, Inc, Alpharetta, GA (US). – № US007705747B2; опубл. 27.04.10. – 13 с.

4. Sensor network system : патент США 455/412.1; 455/456.1; 455/435.1 : МПК6 H04L12/58 / Kato H., Miyao T.; власник патенту Hitachi, Ltd., Tokyo (JP). – № US007680486B2; опубл. 16.03.10. – 24 с.

5. System and program product for signal transmission between a sensor and a controller in a wireless sensor network : патент США 340/539.1; 340/870.01; 343/757; 455/69 : МПК6 G08B1/08 / Coronel P.E., Furrer S., Shott W.H.; власник патенту International Business Machines Corporation, Armonk, NY (US). – № US007782188B2; опубл. 24.08.10. – 16 с.

6. 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.

MODELING OF ATTACKS VISUALIZATION DETECTION IN SENSOR NETWORK FOR ELECTRICAL SYSTEMS MONITORING

P. Evtukh, V. Karpinskyi

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

vul. Ruska, 56, Ternopil, 46001, Ukraine. E-mail: vkarpiński@gmail.com

The methods of protection and detection in wireless sensor networks of different types of attacks. The approach to modeling visualization detect attacks such as wormhole in wireless sensor networks for monitoring of electrical systems. Determine the minimum absolute error of positioning the sensors and the minimum absolute error of the smoothing reconstructed surface of a sensor network topology.

Key words: modeling, visualization, attack, sensor network, electrical system.

REFERENCES

1. Remote monitoring of pipelines using wireless sensor network: Patent of USA 73/49.1; 73/40.5 R; 73/86; 73/865.9; 702/113: МПК6 G01M3/28; G01N17/00 / Sabata A., Brossia S. – № US007526944B2; publ. 05.05.09. – 6 p.

2. Sensor networks for pipeline monitoring : Patent of USA 340/870.07; 340/854.5; 73/40.5 R; 73/49.1 : МПК6 H04Q5/00 / Twitchell R.W. Jr.; the owners patent Terahop Networks, Inc, Alpharetta, GA (US). – № US007830273B2; publ. 09.11.10. – 13 p.

3. Sensor networks for monitoring pipelines and power lines: Patent of USA 340/870.01; 370/252; 73/49.1 : МПК6 G08C17/00 / Twitchell R.W. Jr.; the owners patent Terahop Networks, Inc, Alpharetta, GA (US). – № US007705747B2; publ. 27.04.10. – 13 p.

4. Sensor network system: Patent of USA 455/412.1; 455/456.1; 455/435.1 : МПК6 H04L12/58 / Kato H., Miyao T.; the owners patent Hitachi, Ltd., Tokyo (JP). – № US007680486B2; publ. 16.03.10. – 24 p.

5. System and program product for signal transmission between a sensor and a controller in a wireless sensor network : Patent of USA 340/539.1; 340/870.01; 343/757; 455/69 : МПК6 G08B1/08 / Coronel P.E., Furrer S., Shott W.H.; the owners patent International Business Machines Corporation, Armonk, NY (US). – № US007782188B2; publ. 24.08.10. – 16 p.

6. 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.

Стаття надійшла 27.01.2012.

Рекомендована до друку
д.т.н., проф. Чорним О.П.