



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **82896** (13) **U**  
(51) МПК  
*H04W 12/12* (2009.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

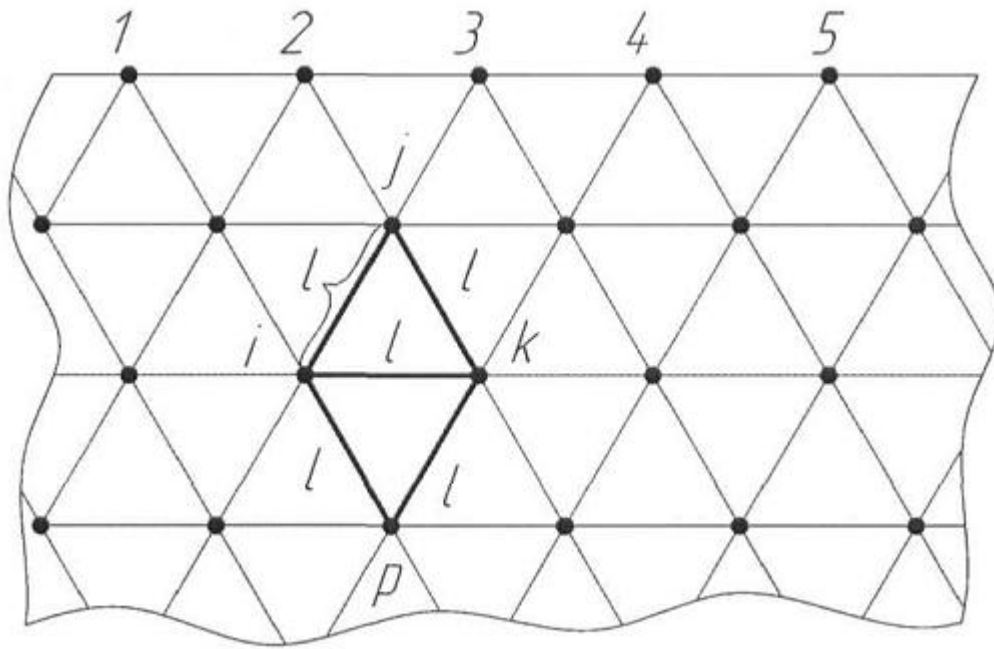
<p>(21) Номер заявки: <b>u 2012 13971</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>07.12.2012</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>27.08.2013</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.08.2013, Бюл.№ 16</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Чиж Віталій Михайлович (UA), Демчишин Омелян Іванович (UA), Карпінські Миколай син Пйотра (PL), Балабан Степан Миколайович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA), АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНО-ГУМАНІСТИЧНА В БЕЛЬСКУ-БЯЛЕЙ, ПОЛЬСКА, ul. Willowa 2, Bielsko-Biala, Polska, 43-309 (PL)</b></p>
--	---

## (54) СПОСІБ СИМПЛЕКСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

### (57) Реферат:

Спосіб симплексного моделювання бездротової сенсорної мережі полягає у вимірюванні відстані між сенсорами з використанням моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, реконструюванні топологічної поверхні сенсорної мережі з використанням триангуляції Делоне, обчисленні віртуальної позиції кожного сенсора, аналізі візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора з використанням сітки трикутників з розміщеними в їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі та виявленні атакованих сенсорів. Для аналізу візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора використовують сітку рівносторонніх трикутників, а кожен два сусідні рівносторонні трикутники об'єднують у чотириточкові симплекси  ${}^i_j[4C]_p^k$ , які при побудові мають форму ромбів, де С - сенсор, і, j, k, p - номери сенсорів.

UA 82896 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до бездротових сенсорних мереж, зокрема їх комп'ютерної візуалізації, і може бути використана у різних галузях, таких як інформаційні, промислові та спеціалізовані мережні системи, медичні, екологічні, сільського господарства та інші.

Відомий спосіб візуалізації атак червоточини в сенсорних мережах, що полягає у вимірюванні відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, реконструюванні топологічної поверхні сенсорної мережі, обчисленні віртуальної позиції кожного сенсора, аналізі візуалізованої форми реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі та виявленні атакваних сенсорів (див. Weichao W. Visualization of wormholes in sensor networks / Weichao Wang, Bharat Bhargava // Workshop on Wireless Security 2004: proceeding of ACM Workshop WiSE'04, October 1, 2004, Philadelphia, PA USA. - P. 826-838).

Недоліками вказаного способу візуалізації атак червоточини в сенсорних мережах є застосування спрощеного моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами однорідними шумами, недостатня точність згладжування реконструйованої топологічної поверхні безпроводної сенсорної мережі.

Прототипом запропонованої корисної моделі служить спосіб візуалізації атаки червоточин у безпроводній сенсорній мережі, що полягає у вимірюванні відстані між сенсорами змішаним шумом, реконструюванні топологічної поверхні сенсорної мережі з використанням триангуляції Делоне, обчисленні віртуальної позиції кожного сенсора, аналізі візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора з використанням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі та виявленні атакваних сенсорів (див. Патент України № 47011 від 25.03.2011 МПК<sup>8</sup> H04W 12/12, бюл. Промислова власність № 21, 2011).

Недоліками прототипу є неможливість відстежити рівень пошкодження сигналу окремого сенсора або невеликої групи компактно розташованих сенсорів, неможливість візуалізації атак непов'язаних зі зміною сили сигналу.

Поставлена задача вирішується таким чином, що у відомому способі візуалізації атаки червоточини в безпроводній сенсорній мережі, що полягає у вимірюванні відстані між сенсорами змішаним шумом, реконструюванні топологічної поверхні сенсорної мережі з використанням триангуляції Делоне, обчисленні віртуальної позиції кожного сенсора, аналізі візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора з використанням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі та виявленні атакваних сенсорів, причому для аналізу візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора використовують сітку рівносторонніх трикутників, а кожні два сусідні рівносторонні трикутники об'єднують у чотириточкові симплекси  $i_j[4C]_p^k$ , які при побудові мають форму ромбів, де С-сенсор,  $i, j, k, p$  - номери сигнальних точок.

На фіг. 1 показано схему реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора з використанням сітки рівносторонніх трикутників з розміщеними у їх вершинах сигнальними точками, які представляють сенсори, на фіг. 2 показані результати об'єднання рівносторонніх трикутників у чотириточкові симплекси  $i_j[4C]_p^k$ , на фіг. 3 показано вигляд з боку трансформованого чотириточкового симплекса  $i_j[4C]_p^k$ , одна з вершин якого зазнала атаки на сигнал.

Візуалізація атаки на сигнал сенсора з використанням симплексного моделювання реалізується таким чином. Вимірюють відстань між сенсорами з використанням моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, реконструюють топологічну поверхню сенсорної мережі з використанням триангуляції Делоне, обчислюють віртуальні позиції кожного сенсора, аналізують візуалізовану форму реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора з використанням сітки рівносторонніх трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами (див. фіг. 1). Позиціями на фіг. 1 позначенні: 1,2,3,4,...  $i, j, k, p$  ... номери сенсорів.

Надалі кожні два сусідні рівносторонні трикутники об'єднують у чотириточкові симплекси  $i_j[4C]_p^k$ , які при побудові мають форму ромбів (див. фіг. 2), де С-сенсор,  $i, j, k, p$  - номери сенсорів.

Як основу для відслідковування рівня пошкодження сигналу окремого сенсора або невеликої групи компактно розташованих сенсорів використовують властивість симплекса при переміщенні сигнальних точок - вершин симплекса трансформуватися у одновимірні, двовимірні або тривимірні геометричні об'єкти. Вершини симплекса - ромба з'єднані між собою шістьма ребрами (див. фіг. 3) - п'ять функціональних зв'язків однакової довжини  $l$  (один з них - діагональ ромба) і один геометричний зв'язок конфігураційного простору (друга діагональ ромба). Об'єм

не трансформованих і трансформованих симплексів визначають за формулою Нікколо Тартальї:

$$V_{i,j,k,p}^2 = \frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2} \Delta_j^i[4C]_p^k \quad (1)$$

5 де  $\Delta_j^i[4C]_p^k$  - визначник Келі-Менгера, C - симплекс, i, j, k, p - номери сенсорів.

$$\Delta_j^i[4C]_p^k = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 & l_{jp}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 & l_{jp}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{kp}^2 \\ -1 & l_{jp}^2 & l_{jp}^2 & l_{kp}^2 & 0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

10 Для симплекса, сигнали сенсорів якого не зазнають атак визначник Келлі-Менгера рівний нулю. Якщо сигнал одного із сенсорів зазнає атаки - його параметри змінюються, відповідно змінюється положення сигнальної точки симплекса, симплекс зазнає трансформації, а відповідно визначник Келлі-Менгера стає не рівним нулю. За відхиленням визначника від нуля оцінюють величину атаки на сигнал.

15 Приклад конкретної реалізації способу симплексного моделювання бездротової сенсорної мережі. Бездротову сенсорну мережу побудували на сенсорах, які сформували на модулях XВee виробництва фірми США Digi International шляхом програмування стеку XВee на програмному рівні. Сенсори функціонували в рамках протоколу Zig XB згідно зі стандартом IEEE 802.15.4. Вбудованою програмою застосували ZB 20, базовану на специфікації Zig Bee PRO Feature Set. Бездротову сенсорну мережу сформували на 201 сенсорі зі зінтегрованими антенами та розмістили у просторі на віддалі 1 м між сусідніми сенсорами таким чином, що  
20 кожен сенсор знаходиться у вершині рівностороннього трикутника (див. фіг. 1). Кожні два сусідні рівносторонні трикутники об'єднали у чотириточкові симплекси  $^i_j[4C]_p^k$ , які при побудові мають форму ромбів, величини сторін і малих діагоналей яких рівні 1 м, де C-сенсор, i, j, k, p - номери сенсорів (див. фіг. 2). Бездротову сенсорну мережу вводили в два режими функціонування: без приглушення сигналів окремих сенсорів та з приглушенням сигналів окремих сенсорів при температурі довкілля в межах від +5 °C до +30 °C і вологості від 30 % до 70 %. Вимірювали відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, здійснювали моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом та уточнювали значення вимірної відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу. Для цього запрограмували модулі XВee з новим набором функцій. Модулі використовували запрограмований рівень стеку XВee. При цьому потужність прийнятого сигналу вимірювали за допомогою програми на підставі 10-бітового аналого-цифрового перетворювача. Сенсори використовували також фізичний підрівень Zig Bee PHY та підрівень керування доступом до радіоканалу MAC для неліцензійного діапазону частоти 2,4 Гц.

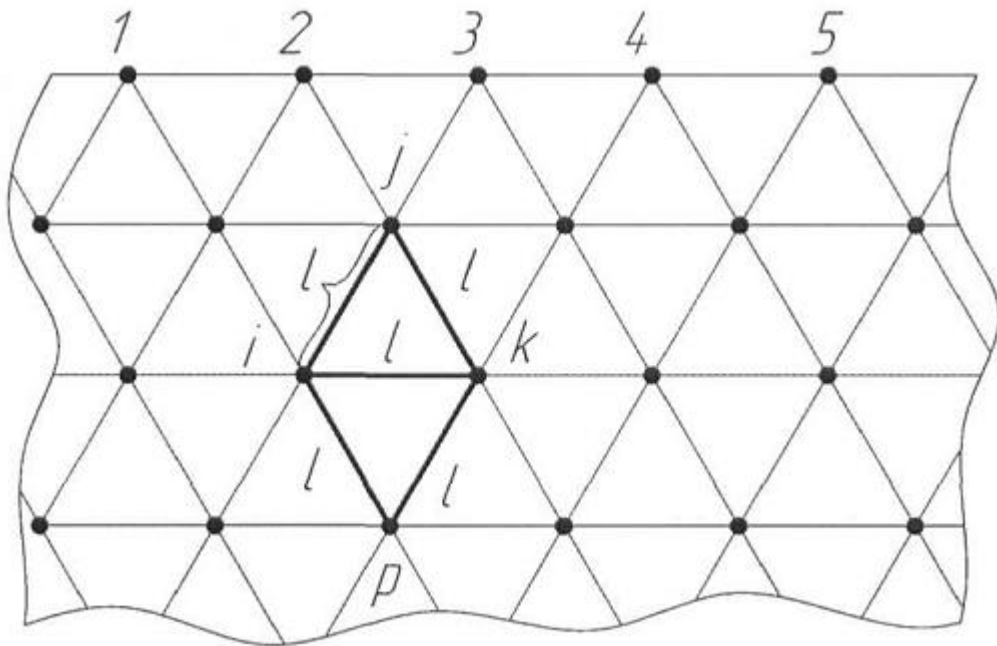
35 В подальшому здійснювали реконструювання топологічної поверхні сенсорної мережі з використанням триангуляції Делоне, обчислювали віртуальні позиції кожного сенсора, використовуючи сітку рівносторонніх трикутників, з довжиною сторони 1 м, з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі, і визначали, що об'єм симплекса  $^i_j[4C]_p^k$  рівний нулю.

40 Потім приглушували сигнал k - тої сигнальної точки і шляхом вимірювання потужності прийнятого сигналу сигнальними точками i, j, p визначили величину трансформації сигнальної точки k в точку k' (див. фіг. 3). Так за потужністю прийнятого сигналу визначили, що віддаль між сенсорами симплекса  $^i_j[4C]_p^k$  збільшилась до 2,85 м, а об'єм трансформованого симплекса становив 0,38 м<sup>3</sup>.

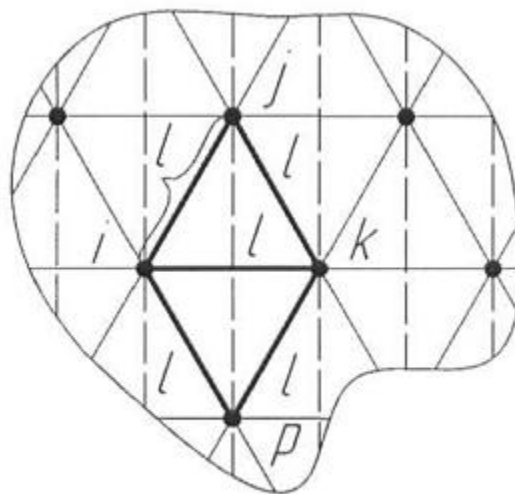
45 Таким чином запропонований спосіб дозволяє відстежити рівень пошкодження сигналу окремого сенсора, або невеликої групи компактно розташованих сенсорів і дозволяє візуалізувати атаки на силу сигналу, його тривалість і частоту виходу в ефір.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

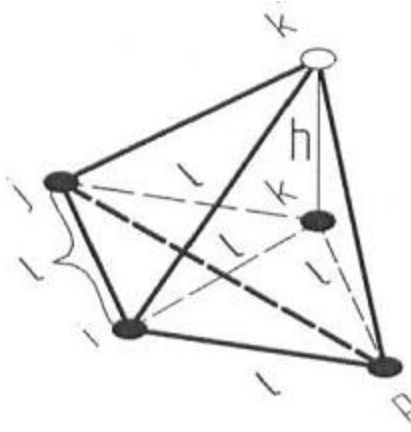
Спосіб симплексного моделювання бездротової сенсорної мережі, що полягає у вимірюванні відстані між сенсорами з використанням моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, реконструюванні топологічної поверхні сенсорної мережі з використанням тріангуляції Делоне, обчисленні віртуальної позиції кожного сенсора, аналізі візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора з використанням сітки трикутників з розміщеними в їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі та виявленні атакованих сенсорів, який **відрізняється** тим, що для аналізу візуалізованої форми реконструйованої топологічної позиції кожного сенсора використовують сітку рівносторонніх трикутників, а кожен два сусідні рівносторонні трикутники об'єднують у чотириточкові симплекси  ${}^j[4C]_p^k$ , які при побудові мають форму ромбів, де С - сенсор, і, j, k, p - номери сенсорів.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601