



УКРАЇНА

(19) UA (11) 64391 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H04W 12/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ АТАКИ ЧЕРВОТОЧИНИ В БЕЗПРОВІДНІЙ СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ

1

2

(21) u201103578

(22) 25.03.2011

(24) 10.11.2011

(46) 10.11.2011, Бюл.№ 21, 2011 р.

(72) КАРПІНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ, ЄВТУХ ПЕТРО СИЛЬВЕСТРОВИЧ, БОРОВІК БОГДАН ЛЕОНОВИЧ, КАРПІНСЬКИЙ МИКОЛА ПЕТРОВИЧ

(73) ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

(57) Спосіб візуалізації атаки червоточини в безпроводній сенсорній мережі, що полягає у вимірюванні відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, реконструюванні топологічної поверхні сенсорної мережі шляхом багатовимірного шкалювання, обчисленні віртуальної позиції кожного сенсора, згладжуванні реконструйованої топологічної поверхні сенсорної ме-

режі, аналізі візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі та виявленні фальшивих з'єднань сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини, який відрізняється тим, що для вимірювання відстані між сенсорами використовують моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, що описується функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, для згладжування реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі використовують триангуляцію Делоне та кригінг-інтерполяцію, а для аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі використовують сітку трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі.

Корисна модель стосується безпроводних сенсорних мереж, зокрема їх безпеки від атак червоточини шляхом візуалізації, і може бути використана в різних галузях, таких як інформаційні, промислові та спеціалізовані мережні системи, електроенергетика, експлуатація трубопроводів, екологія довкілля, сільське господарство й інше.

Відомі аналоги:

- спосіб візуалізації стану довкілля в центрі обробки даних за допомогою безпроводних сенсорних мереж полягає у встановленні зв'язку з мережевими сенсорами екологічного моніторингу, розгорнутих в окремих пунктах моніторованого об'єкта, періодичному збиранні значень вимірних параметрів довкілля від кожного мережевого сенсора екологічного моніторингу за допомогою безпроводної сенсорної мережі, обчисленні екстраполяційним методом екологічних величин в проміжних пунктах на об'єкті на підставі зібраних значень вимірних параметрів довкілля в окремих пунктах, а також візуалізації стану довкілля на об'єкті на основі значень вимірних параметрів довкілля та обчислених значень екологічних величин (див. патент США US20100280796A1 МПК⁶ G06F15/00, 2010). Недоліком способу є обмежені можливості щодо безпеки від здійснюваних атак

на безпроводну сенсорну мережу, які обумовлені тим, що даний спосіб не дозволяє візуалізаційно виявити атаку червоточини в безпроводній сенсорній мережі;

- спосіб проектування топології безпроводної сенсорної мережі передбачає оцінку ступеня її безпеки проти загрози безпеці цієї мережі та оцінку параметрів проектування топології мережі в залежності від ступеня безпеки і зводиться до моделювання мережі в залежності від функції принаймні одного параметра проектування *i*/або принаймні одного параметра загрози, оцінки моделі, змінюючи принаймні один параметр проектування, щоб визначити вплив на один параметр загрози, та вибору значення одного параметра проектування на основі оцінки, завдяки якій синтезовано прийняттю низьке значення принаймні одного параметра загрози (див. патент США US007804962B2 МПК⁶ H04L9/00, 2010). Недоліком способу є те, що він охоплює лише попередній розподіл ключів серед вузлів безпроводної сенсорної мережі; оцінку ключового спільного розподілу між парою вузлів, взаємну перевірку розподілу спільного ключа парою вузлів для встановлення ступеня достовірності та додатково містить розподіл вузлів у відповідності з параметрами проектування, що є тільки частковим

UA (11) 64391 (13) U

випадком безпеки мережі та недостатнім для виявлення атаки червоточини. Окрім цього, спосіб стосується лише стадії проектування безпроводної сенсорної мережі, через що має обмежене застосування, особливо, коли йдеться про експлуатацію цієї мережі та виявлення в ній атаки червоточини в умовах експлуатації;

- спосіб моніторингу трубопроводів (водопостачання, каналізації, тощо) та ліній електропередач комунальних підприємств полягає у використанні сенсорної мережі, яка включає в себе сенсори, розташовані для моніторингу трубопроводів та ліній електромережі, сенсори для приймання даних, пов'язаних з трубопроводами та лініями електропередач, та зв'язку з сенсорними даними, перший віддалений сенсорний інтерфейс, що містить пристрій зв'язку, який приймає передачі сенсорами дані та передає їх, і пристрої зв'язку, що приймають дані, передані першим віддаленим сенсорним інтерфейсом, і передають їх прямо або опосередковано до зовнішньої відносно сенсорної мережі (див. патент США US 007705747B2 МПК⁶ G08C17/00, 2010). Недоліком даного способу є найнижчий рівень захисту безпроводної сенсорної мережі від атак, зумовлений відсутністю засобів безпеки, а також неможливістю візуалізації атаки червоточини.

- спосіб формування множинних шляхів червоточини у шині полягає у створенні шинної структури, в якій ефективно використовують наявність кремнію та функціонує червоточинний потік повідомлень і здійснюється тимчасове блокування повідомлення червоточини сигналом керування (див. патент США US007382775B2 МПК⁶ H04Q 11/00; H04L12/28; G06F15/173, 2010). Недоліком способу є те, що, навіть незважаючи на тимчасове блокування повідомлення червоточини сигналом керування, повідомлення завжди має вільний шлях, доступний для продовження прогресування червоточини через шину за допомогою руху вниз в іншу колонку від вхідного порта до вихідного порта. Окрім цього, способу притаманне обмежене використання, а саме - лише в апаратних реалізаціях сімейства шинних структур для досягнення масштабованості, малого запізнення та однокристалного виконання, які підтримують широкий спектр застосувань, включаючи магістралі суперкомп'ютерів, мережеві комутатори локальних комп'ютерних мереж, IP- і ATM-комутатори, комутаційні станції центральної телефонії, сервери відео на вимогу, магістралі для центральних серверів баз даних, високошвидкісні магістралі робочих станцій, і багато інших, при цьому спосіб не дозволяє виявити атаку червоточини в безпроводних сенсорних мережах шляхом її візуалізації.

Найближчим за технічною суттю та результатом є 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 шляхом багатомірного шкалювання, обчислення віртуальної позиції кожного сенсора, згладжуванні реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі, аналізі візуалізованої форми згладженої реконструйованої

топологічної поверхні сенсорної мережі та виявленні фальшивих з'єднань сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини (див. 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).

Недоліком цього способу є застосування спрощеного моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами однорідними шумами, що носить частковий обмежений характер і не дозволяє врахувати реально існуючих шумів в безпроводній сенсорній мережі через суттєві похибки вимірювання відстані між сенсорами, недостатня точність згладжування реконструйованої топологічної поверхні безпроводної сенсорної мережі, а також обмежені функціональні можливості здійснення аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі.

В основу корисної моделі спосіб візуалізації атаки червоточини в безпроводній сенсорній мережі поставлена задача зменшення похибки вимірювання відстані між сенсорами за умови її моделювання змішаним шумом, що описується функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, підвищення точності згладжування реконструйованої топологічної поверхні безпроводної сенсорної мережі та розширення функціональних можливостей здійснення аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі.

Поставлена задача вирішується шляхом вимірювання відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, реконструювання топологічної поверхні сенсорної мережі шляхом багатомірного шкалювання, обчислення віртуальної позиції кожного сенсора, згладжування реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі, аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі та виявлення фальшивих з'єднань сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини, причому для вимірювання відстані між сенсорами використовують моделювання похибки вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, що описується функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, для згладжування реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі використовують триангуляцію Делоне та кригінг-інтерполяцію, а для аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі використовують сітку трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі.

На фіг. 1 показано схему вимірювання відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, на фіг. 2 наведено триангуляцію Делоне, на фіг. 3 показані результати моделювання візуалізаційного виявлення атаки червоточини в безпроводній сенсорній мережі на підставі кригінг-інтерполяції реконструйованої топологічної поверхні та сітки трикутників з розміщеними у їх верши-

нах сенсорами з координатами в евклідовому просторі.

На фіг. 4 показана візуалізована форма згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі із застосуванням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі, без наявності атаки червоточини. На фіг. 5 показана візуалізована форма згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі, що й зображеної на фіг. 4, за наявності атаки червоточини. Позиціями 1 і 2 на фіг. 4 та фіг. 5 позначені точки, у яких розміщені сусідні сенсори.

На фіг. 6 показана візуалізована форма згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі із застосуванням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі, без наявності атаки червоточини. На фіг. 7 показана форма згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі, що й зображеної на фіг. 6, за наявності атаки червоточини. Позиціями 1 і 2 на фіг. 6 та фіг. 7 позначені точки, у яких розміщені крайні сенсори.

На фіг. 8 показана візуалізована форма згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі із застосуванням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі, без наявності атаки червоточини. На фіг. 9 показана візуалізована форма згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі, що й зображеної на фіг. 8, за наявності атаки червоточини. Позиціями 1, 2, 3 і 4 на фіг. 8 та фіг. 9 позначені точки, у яких розміщені сенсори.

На фіг. 10 показаний вигляд збоку візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі із застосуванням сітки трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі, без наявності атаки червоточини. На фіг. 11 показаний вигляд збоку візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі, що й зображеної на фіг. 10, під впливом атаки червоточини. Позиціями 1, 2 і 3 на фіг. 10 та фіг. 11 позначені точки, у яких розміщені сенсори.

Спосіб реалізується таким чином. Вимірюють відстань між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу (див. фіг. 1). Позиціями на фіг. 1 позначені: 1, 2, 3, 4 - сенсори безпроводної сенсорної мережі. Потім моделюють похибку вимірювання відстані між сенсорами змішаним шумом, що описується функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, та уточнюють значення вимірної відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу. Далі реконструюють топологічну поверхню сенсорної мережі шляхом багатовимірної шкалювання та обчислюють віртуальну позицію кожного сенсора. Далі згладжують реконструйовану топологічну поверхню сенсорної мережі. При цьому спочатку здійснюють триангуляцію Делоне (див. фіг. 2). Вершинами трикутників на позиціях 1, 2, 3, 4 позначені сенсори безпроводної сенсорної мережі (див.

фіг. 2). В подальшому здійснюють кригінг-інтерполяцію реконструйованої топологічної поверхні та аналіз візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі використовують сітку трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі (див. фіг. 3). Потім аналізують форму згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі та виявляють фальшиві з'єднання сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини. Констатують, що атака червоточини вигинає згладжену реконструйовану топологічну поверхню сенсорної мережі, притягуючи сенсори один до одного, і створює фальшиві з'єднання в точках 1 та 2 розміщення сенсорів (див. фіг. 3).

Приклад конкретної реалізації способу візуалізації атаки червоточини в безпроводній сенсорній мережі. Безпроводну 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 ZigBee згідно зі стандартом IEEE 802.15.4. Вбудованою програмою застосували ZB20, базовану на специфікації ZigBee PRO Feature Set. Безпроводну сенсорну мережу сформували на 201 сенсорах із зінтегрованими антенами та розмістили у просторі. Поверхня, якою охопили дану безпроводну сенсорну мережу, має розміри: 750 м по осі апікат та 750 м по осі ординат. Безпроводну сенсорну мережу вводили в два режими функціонування: без наявності атаки червоточини та за наявності атаки червоточини для температури 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, що описували функціями Бесселя з уявним аргументом нульового та вищих порядків, та уточнювали значення вимірної відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу. Для цього запрограмували модуль XВee з повним набором функцій. Модуль використовували запрограмований рівень стеку XВee. При цьому потужність прийнятого сигналу вимірювали за допомогою заімплементованої програми на підставі 10-бітового аналого-цифрового перетворювача. Сенсори використовували також фізичний підрівень ZigBee PHY та підрівень керування доступом до радіоканалу MAC для неліцензійного діапазону частоти 2,4 Гц.

В подальшому здійснювали реконструювання топологічної поверхні сенсорної мережі шляхом багатовимірної шкалювання та обчислювали віртуальну позицію кожного сенсора за допомогою авторської програми, написаної на мові програмування С.

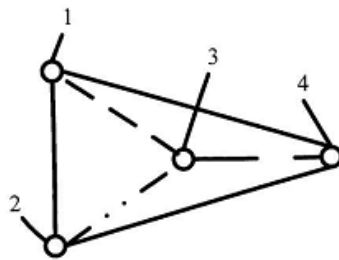
Потім згладжували реконструйовану топологічну поверхню сенсорної мережі із застосуванням триангуляції Делоне та кригінг-інтерполяції реконструйованої топологічної поверхні, використовуючи сітку трикутників з розміщеними у їх вершинах сенсорами з координатами в евклідовому просторі, застосовуючи для цього модернізовану програму

му Leios 2010.1 італійської фірми EGSolutions з додатковими вікнами інтерфейсу користувача, для двох режимів функціонування безпроводної сенсорної мережі: без наявності атаки червоточини (див. фіг. 4, фіг. 6, фіг. 8 і фіг. 10) та за наявності атаки червоточини (див. фіг. 5, фіг. 7, фіг. 9 і фіг. 11).

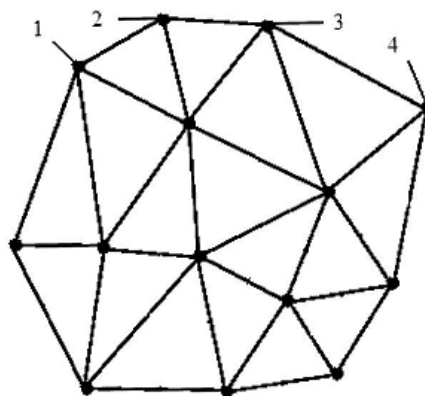
Потім аналізували візуалізовану форму згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі та виявляли фальшиві з'єднання сусідніх сенсорів, зумовлених атакою червоточини. Результати порівняльного аналізу засвідчили, що атака червоточини зумовила зміну відстані між двома сусідніми сенсорами 1 і 2 з 67,6147 м (див. фіг. 4) на 192,908 м (див. фіг. 5), призвела до зміни відстані між двома крайніми сенсорами 1 і 2 з 749,339 м (див. фіг. 6) на 747,200 м (див. фіг. 7), зумовила зміну площі топологічної поверхні сенсорної мережі з $5,625 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ (див. фіг. 8) на $6,631 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ (див. фіг. 9), спотворила топологічну поверхню сенсорної мережі (див. попарно фіг. 4 і фіг. 5, фіг. 6 і фіг. 7, фіг. 8 і фіг. 9, фіг. 10 і фіг. 11). Розширення функціональних можливостей з одночасним підвищенням точності виявлення атаки червоточини досягається шляхом уточнення значення

вимірної відстані між сенсорами на підставі рівня потужності прийнятого сигналу, реконструювання топологічної поверхні сенсорної мережі та її згладжування, побудови на множині точок сітки трикутників. Отримали мінімальну абсолютну похибку визначення положення сенсорів $\pm 0,02 \text{ мм}$ та мінімальну абсолютну похибку згладжування реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі $\pm 2 \cdot 10^{-2} \text{ мкм}$. Констатували, що атака червоточини вигинає згладжену реконструйовану топологічну поверхню сенсорної мережі, притягуючи сенсори один до одного і створює фальшиві з'єднання в точках 3 та 4 розміщення сенсорів (див. фіг. 7), в точках 1 і 2 (див. фіг. 11).

Таким чином, запропонований спосіб 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 безпроводної сенсорної мережі та розширити функціональні можливості здійснення аналізу візуалізованої форми згладженої реконструйованої топологічної поверхні сенсорної мережі.



Фіг. 1



Фіг. 2

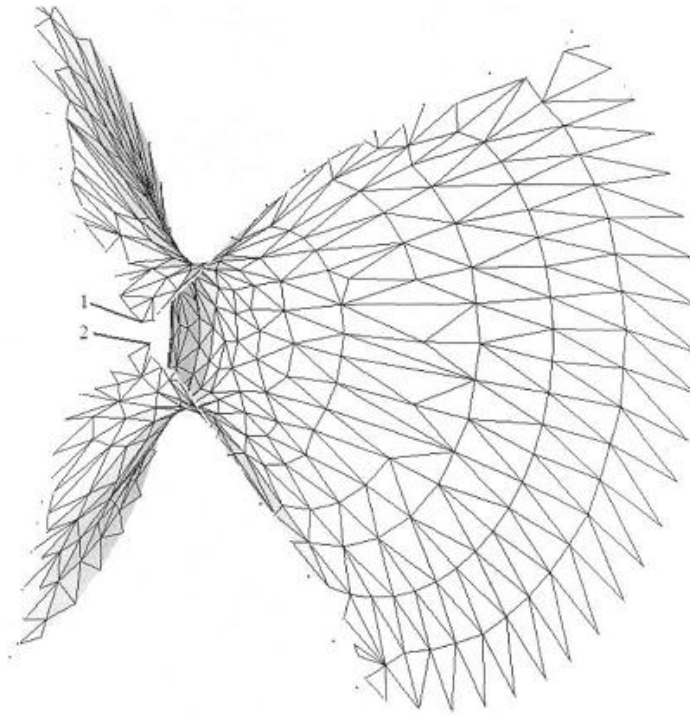


Fig. 3

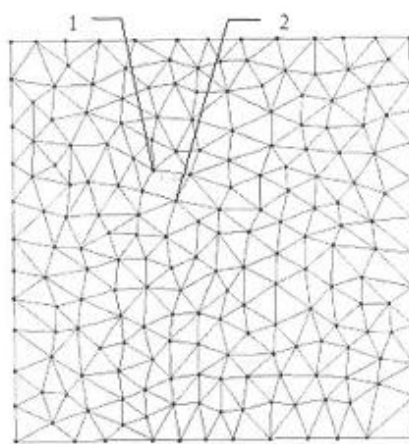


Fig. 4

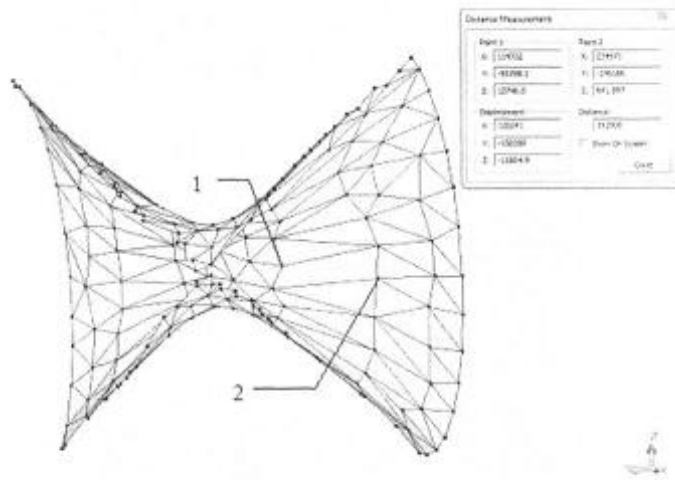


Fig. 5

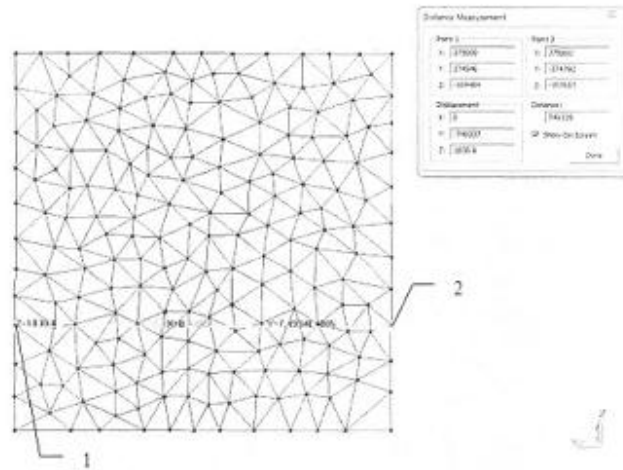


Fig. 6

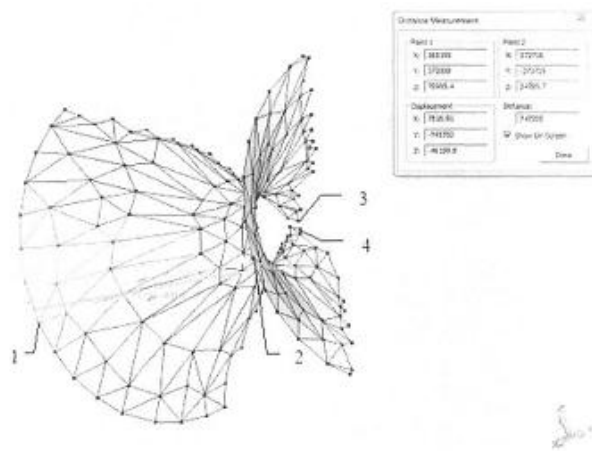


Fig. 7

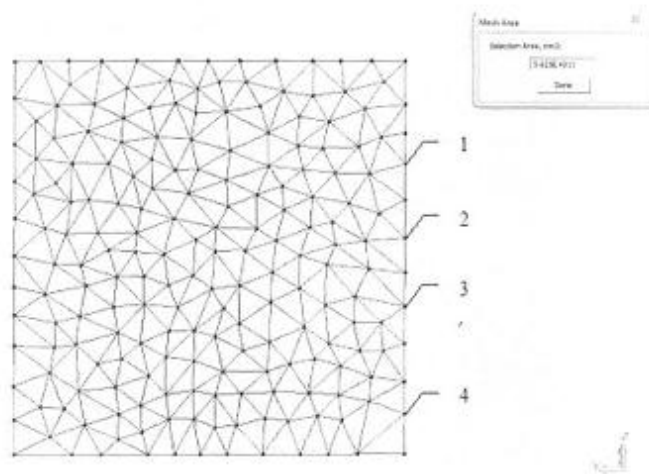


Fig. 8

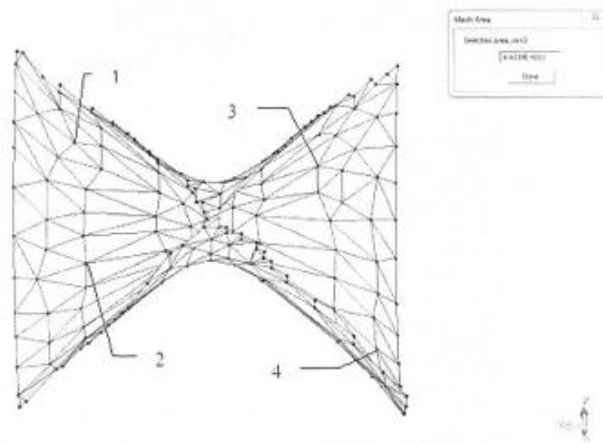


Fig. 9

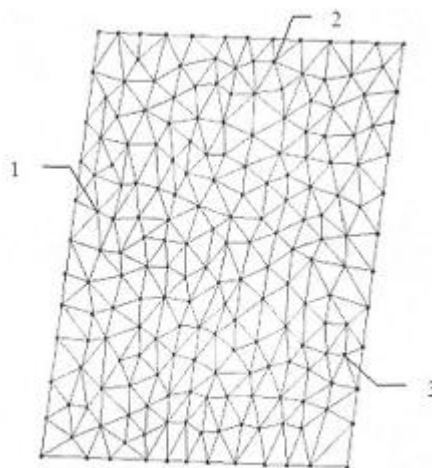
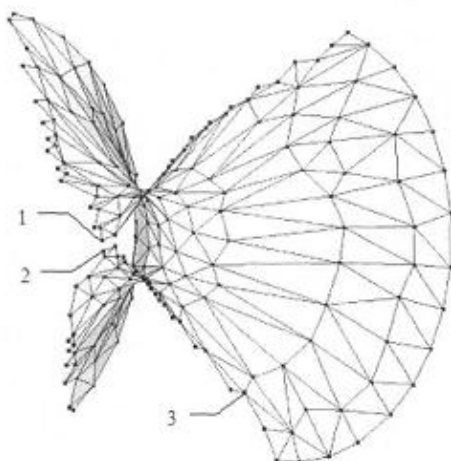


Fig. 10

**Фіг. 11**