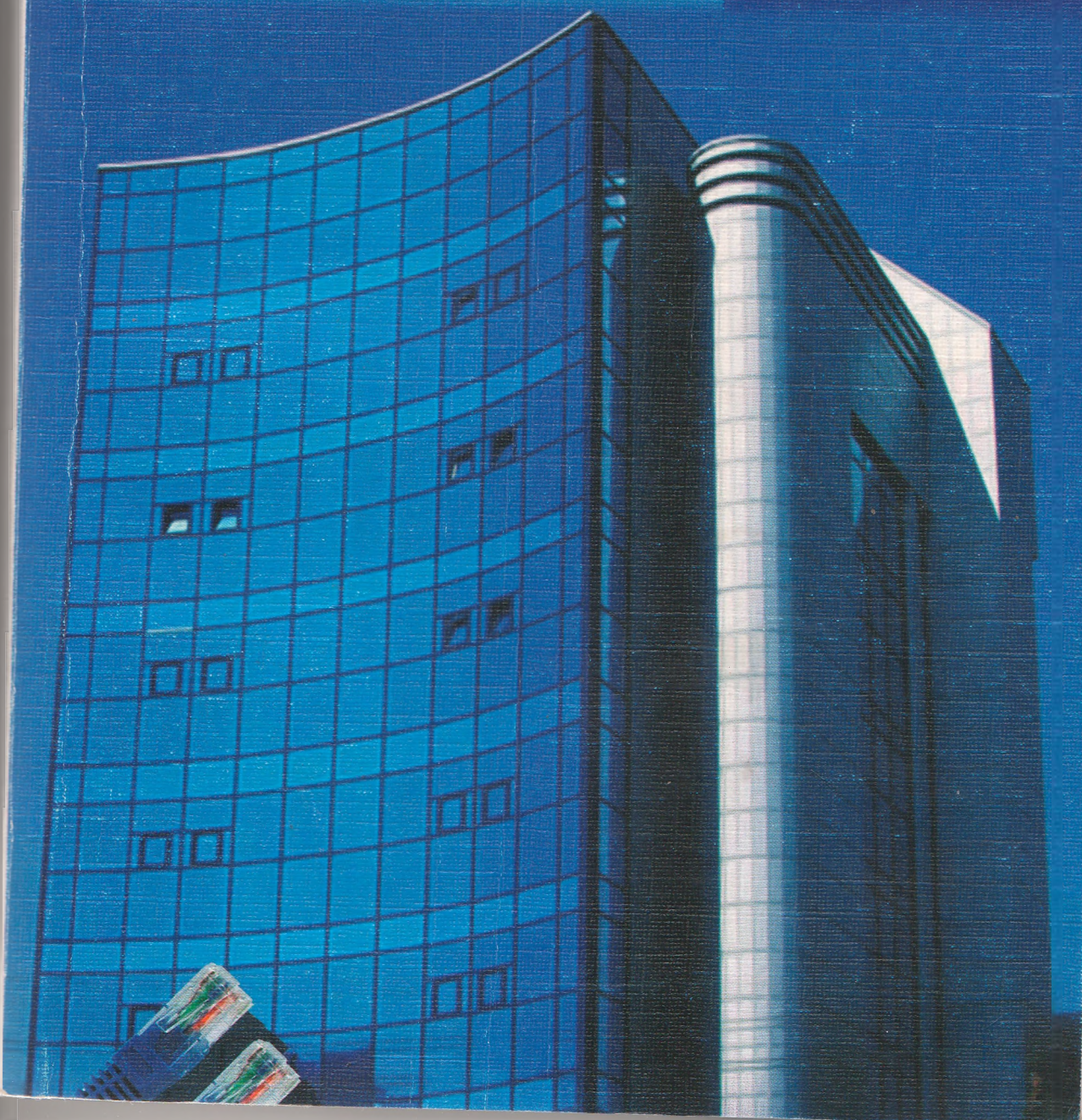


83-89

# *Інформаційна безпека*



№ 1(7)  
2012



personnel of subsections and parts of the special setting are considered.

**Key word:** trainer system, personnel, subsections of the special setting, level of preparation, educational tasks.

УДК 004. 94

В. М. Чиж<sup>1</sup>, О. І. Демчишин<sup>1</sup>, М. П. Карпінський<sup>2</sup>, С. М. Балабан<sup>1</sup>

1 - Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

2 - Університет в Бельську-Бялій і Державна вища професійна школа в Новому Сончі, Польща.

### ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Наведено результати ідентифікації групи сенсорів, які зазнали атаки, за допомогою кластерної моделі комп'ютерної візуалізації мережі сенсорів. Доведена доцільність використання кластерної моделі для оперативного виявлення в БСМ групи атакованих сенсорів.

**Ключові слова:** бездротова сенсорна мережа (БСМ), атака, візуалізація, кластерна модель, комп'ютерна візуалізація, визначник Келі-Менгера

**Вступ.** Розвиток і розширення сфер використання БСМ провокує розробку і вдосконалення атак на них. Класифікації таких атак і опису характерних особливостей деяких із них присвячено ряд досліджень і публікацій [1-3]. Особливе місце в означеній проблемі посідають атаки на руйнування сигналів сенсорів, оскільки атакований сенсор при цьому не руйнується, а продовжує подавати у мережу неправдиву інформацію. Оперативне виявлення і візуалізація такого сенсора важливі для мінімізації наслідків атаки, зокрема для зміни маршруту інформаційного потоку. Для здійснення візуалізації мережі сенсорів запропоновано кластерну модель [4-5], за допомогою якої можна визначити положення у БСМ сенсора, сигнали якого за силою, тривалістю або інформаційним наповненням відрізняються від передбаченого протоколом. Однак у вказаних публікаціях відсутня інформація про можливість виявлення і візуалізацію групи сенсорів, сигнали яких одночасно атаковані і несуть у мережу неправдиву інформацію.

Доведення можливості використання кластерної моделі комп'ютерної візуалізації мережі сенсорів для виявлення групи атакованих сенсорів.

**Основна частина.** В основу дослідження можливості візуалізації одночасної атаки на сенсори покладено кластерну модель розміщення сигнальних точок – представників сенсорів у комп'ютерному конфігураційному просторі (ККП) [6]. Основою запропонованої кластерної моделі є правильний шестикутник із стороною  $l$ . У вершинах такого шестикутника розміщено шість сигнальних точок (СТ), які представляють сенсори зі однаковими параметрами (рис. 1). Окантування шестикутника правильними трикутниками зі сторонами такої ж довжини, у вершинах яких також розміщені СТ, дає можливість утворити замкнутий кластер із 18 сигнальних точок – вершин правильних трикутників зі сторонами, довжиною  $l$ , які є функціональними зв'язками, тобто зв'язками, довжини яких визначаються характеристиками роботи сенсорів, а не властивостями ККП.

За місцем розташування і кількістю функціональних зв'язків одного сенсора з іншими множини сигнальних точок розбито на три класи:

1. Сенсори, сигнальні точки яких у ККП є вершинами внутрішнього шестикутника:  $T_1 = \{1,2,3,4,5,6\}$ . Кожна із таких сигнальних точок має по п'ять функціональних зв'язків з іншими сенсорами.

2. Сенсори, сигнальні точки яких у ККП є вершинами зовнішнього обвідного шестикутника:  $T_2 = \{7,8,9,10,11,12\}$ . Кожна із таких сигнальних точок має три функціональні зв'язки із сусідніми сенсорами.

3. Сенсори, СТ яких є серединами сторін зовнішнього обвідного шестикутника:  $T_3 = \{13,14,15,16,17,18\}$ . Кожна із таких сигнальних точок має чотири функціональні зв'язки із сусідніми сенсорами. Для здійснення комп'ютерної візуалізації можливо використати сенсори поле кластера покрито зручними для дослідження чотириточковими симплексами (4С), які при переміщеннях сигнальних точок – вершин симплекса, можуть трансформуватись у одновимірні, двовимірні або тривимірні геометричні об'єкти.

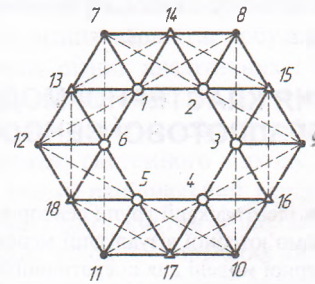


Рис. 1. Кластерна модель зі схемою поділу на симплекси (4С)

Обвідка кластера, таким чином, представлена 18 однаковими 4С, які при роботі сенсорів мають початкову геометричну форму ромба. Вершини симплекса з'єднані між собою шістьма ребрами – п'ять функціональних зв'язків однакової довжини  $l$  (один з них – діагональ ромба) і один геометричний зв'язок конфігурації простору (друга діагональ ромба). Геометричні зв'язки на рис. 1 позначені штрих-лініями. Вони повністю належать відповідним симплексам.

Наявність сигнальних точок в якості вершин різних симплексів дає можливість за характером трансформацій кожного з них однозначно визначити ці сигнальні точки. Вони представляють атаковані сенсори. При цьому візуалізацію здійснюють трансформації симплексів, а оціночні дані отримуємо із основної характеристики симплекса, яка характеризує характер трансформації: відмінність чи рівність нулю об'єму симплекса із вершинами  $i, j, k, p$ :

$$V_{i,j,k,p}^2 = \frac{(-1)^3}{2^3(3!)^2} \Delta_{4C}$$

який визначається визначником Келі–Менгера (1)

$$\Delta_{4C} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & l_{ij}^2 & l_{ik}^2 & l_{ip}^2 \\ -1 & l_{ij}^2 & 0 & l_{jk}^2 & l_{jp}^2 \\ -1 & l_{ik}^2 & l_{jk}^2 & 0 & l_{kp}^2 \\ -1 & l_{ip}^2 & l_{jp}^2 & l_{kp}^2 & 0 \end{vmatrix}$$

1. Аналіз роботи кластера із одним атакованим сенсором. В роботі [6] проведено дослідження однозначного визначення одного атакованого сенсора. При цьому

такої задачі в залежності від розміщення відповідних сигнальних точок у кластері виникають трансформації 4С (рис. 2), які можна розбити на такі типи:

- 4С з нульовою трансформацією. Такі симплекси не входять в область трансформаційних процесів, що виникають внаслідок атаки на сенсори (рис. 2, а);
- 4С з трансформацією, яка приводить до виникнення тривимірних симплексів з нульовим об'ємом (рис. 2, б);
- 4С з трансформацією, яка приводить до виникнення тривимірних симплексів із відмінним від нуля об'ємом (рис. 2, в).

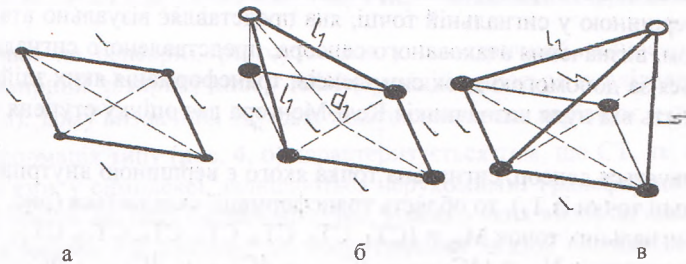


Рис. 2. Типи трансформації симплекса

В залежності від того, якому класу належить сигнальна точка, яка визначає атакований сенсор, отримуємо різні галузі трансформації у кластері.

Якщо атакований сенсор визначається сигнальною точкою із  $T_2$ , то область трансформації кластера (рис. 3, а) складається із:

- множини сигнальних точок  $M_{TP} = \{CT_1, CT_2, CT_6, CT_7, CT_{13}, CT_{14}\}$  і
- множини симплексів  $N_{4C} = \{4C_{7,1,6,13}, 4C_{7,14,1,13}, 4C_{7,14,2,1}\}$ .

Два бокові симплекси  $4C_{7,1,6,13}$  і  $4C_{7,14,2,1}$  трансформуються у тривимірні геометричні об'єкти, які складаються із двох трикутників (рис. 2, б) із спільною основою. Визначення геометричного зв'язку співвідношенням

$$d_1 = \frac{\sqrt{3} + \sqrt{4r_1 - 1}}{2} l,$$

де  $r_1 = \frac{l_1}{l}$ ,  $l_1 = l + dl_1$  ( $dl_1$  – видовження функціонального зв'язку внаслідок атаки на сенсор), дає можливість здійснити комп'ютерну розгортку такого тривимірного симплекса у двовимірний чотирикутник, для якого  $\Delta_{4C} = 0$ , тобто об'єм дорівнює нулю.

Третій симплекс  $4C_{7,14,1,13}$  за допомогою геометричного зв'язку  $d = \sqrt{3}l$  не вдається розгорнути у двовимірний геометричний об'єкт. Він стає трикутною пірамідою із відмінним від нуля об'ємом, тобто  $\Delta_{4C} \neq 0$ . Дві бічні грані цього симплекса є трансформовані частини двох попередніх симплексів. Симплекс (на рис. 3, а його виділено) визначає атакований сенсор, який представлений  $CT_7$ .

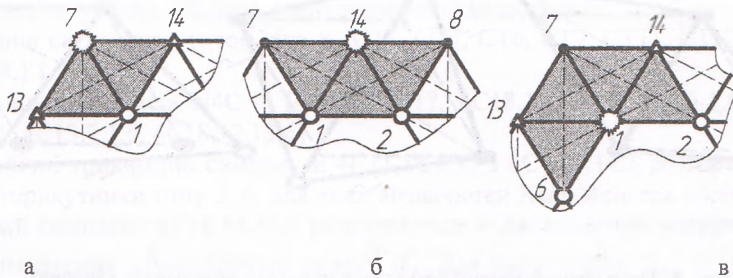


Рис. 3. Галузі трансформації кластера при атаці на один сенсор

Якщо атакований сенсор визначається сигнальною точкою із  $T_3$ , то область трансформації кластера (рис. 3, б) охоплює:

- множину сигнальних точок  $M_{TP} = \{CT_1, CT_2, CT_7, CT_8, CT_{13}, CT_{14}\}$  і
- множину симплексів  $N_{4C} = \{4C_{7,14,1,13}, 4C_{7,14,2,1}, 4C_{1,14,8,2}, 4C_{2,14,8,15}\}$ .

Два бокові симплекси  $4C_{7,14,1,13}$  і  $4C_{2,14,8,15}$  трансформуються у тривимірні геометричні об'єкти, для яких можна здійснити двовимірну розгортку завдяки визначенню геометричного зв'язку. Трансформовані частини таких симплексів стають бічними гранями внутрішніх симплексів  $4C_{7,14,2,1}$  і  $4C_{1,14,8,2}$ , для яких такої розгортки здійснити неможливо. Ці симплекси стають трикутними пірамідами, поєднання яких утворює чотирикутну піраміду із вершиною у сигнальній точці, яка представляє візуально атакований сенсор. Таким чином, визначення атакованого сенсора, представленого сигнальною точкою  $CT_{14}$ , відбувається за допомогою двох симплексів, трансформація яких здійснює візуалізацію, а відмінність від нуля визначників Келі-Менгера дає оцінку ступеня атаки на сенсор.

Якщо атакується сенсор, сигнальна точка якого є вершиною внутрішнього шестикутника (сигнальні точки із  $T_1$ ), то область трансформації складається (рис. 3, в) із:

- множини сигнальних точок  $M_{TP} = \{CT_1, CT_2, CT_6, CT_7, CT_8, CT_{12}, CT_{13}, CT_{14}\}$  і
- множини симплексів  $N_{4C} = \{4C_{1,6,12,13}, 4C_{7,1,6,13}, 4C_{7,14,1,13}, 4C_{7,14,2,1}, 4C_{1,14,8,2}\}$ .

Як і у попередніх випадках, два бічні симплекси  $4C_{1,6,12,13}$  і  $4C_{1,14,8,2}$  розгортаються у двовимірні чотирикутники, для яких визначники Келі-Менгера дорівнюють нулю, а для трьох внутрішніх симплексів  $4C_{7,1,6,13}$ ,  $4C_{7,14,1,13}$  і  $4C_{7,14,2,1}$  таку розгортку здійснити неможливо. Ці симплекси визначатимуть візуалізацію атакованого сенсора, представленого сигнальною точкою  $CT_1$ , у вигляді п'ятикутної піраміди з вершиною в цій сигнальній точці.

**2. Дослідження роботи кластера із двома атакованими сенсорами.** Під час розгляду задачі одночасної атаки на сигнали двох сенсорів, що належать одному кластеру, можливі два варіанти задач:

- всі атаковані сенсори належать різним симплексам, причому в жодному симплексі немає двох атакованих сенсорів;
- існують симплекси, в яких одночасно атаковані два сенсори.

Перший тип задач є візуалізація атаки на один сенсор [6], який коротко узагальнений в цій статті.

При розгляді другого типу задач можливими є трансформації симплексів, які здійснюють переміщення  $CT$ , що визначаються:

- двома функціональними зв'язками (рис. 4, а);
- трьома функціональними зв'язками при розміщенні  $CT$  на кінцях малої діагоналі ромба, яка є також функціональним зв'язком (рис. 4, б);
- трьома функціональними зв'язками для однієї  $CT$  і двома функціональними зв'язками для іншої при розміщенні сигнальних точок на кінцях однієї зі сторін ромба (рис. 4, в).

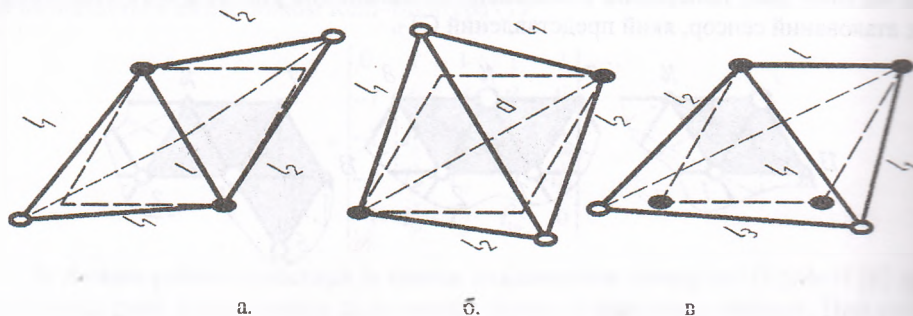


Рис. 4. Типи трансформації симплекса при двох атакованих сенсорах

Проведемо, не заглиблюючись у визначення за допомогою визначника Келі-Менгера для кожного типу таких трансформацій, геометричні міркування.

Трансформація типу (рис. 4, а), за допомогою означення геометричного зв'язку співвідношенням

$$d_2 = \frac{\sqrt{4r_1 - 1} + \sqrt{4r_2 - 1}}{2} l$$

де  $r_1 = \frac{l_1}{l}$ ,  $r_2 = \frac{l_2}{l}$ ,  $l_1 = l + dl_1$ ,  $l_2 = l + dl_2$  ( $dl_1$  і  $dl_2$  – видовження функціональних зв'язків внаслідок атаки на сенсори), розгортається у симетричний відносно геометричного зв'язку двовимірний чотирикутник у ККП (тут здійснюються послідовно дві трансформації типу 2, а). Тому визначник  $\Delta_{4C}$  для такого симплекса дорівнює нулю.

Трансформація типу (рис. 4, б) характеризується тим, що СТ, які визначають геометричний зв'язок у симплексі, залишаються нерухомими. Трансформаційні переміщення здійснюватимуть дві інші сигнальні точки, кожна з яких визначається трьома функціональними зв'язками. Це означає, що геометричний зв'язок симплекса дорівнюватиме  $d = \sqrt{3}l$ , а видовження відбувається на кінцях функціонального зв'язку, який мав довжину  $l$  і в початковому симплексі був малою діагоналлю ромба. Трансформація, таким чином, розбивається на два етапи: на першому етапі відбувається трансформація симплексу типу 2, внаслідок видовження трьох функціональних зв'язків на одну і ту ж довжину; на другому етапі аналогічне видовження відбувається із іншим кінцем функціонального зв'язку із двома іншими функціональними зв'язками, які визначають другу сигнальну точку. Результатом трансформації буде тривимірний симплекс із відмінним від нуля визначником Келі-Менгера, в якого геометричний зв'язок разом із двома нерухомими сигнальними точками знаходиться в площині ККП. Дві інші сигнальні точки визначатимуть візуально, шляхом свого підняття над площиною ККП, атаку на сенсори, які вони представляють.

Трансформація типу (рис. 4, в) приводить до тривимірного симплексу, який розгортається за допомогою визначення геометричного зв'язку співвідношенням

$$d_1 = \frac{\sqrt{3} + \sqrt{4r_1 - 1}}{2} l$$

у двовимірний чотирикутник зі сторонами, що дорівнюють  $l$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3 = l + dl_1 + dl_2$  та діагоналями –  $d_1$  і  $l_2$ . Зрозуміло, що визначник Келі-Менгера такого чотирикутника дорівнює нулю.

Розглянемо тепер приклади областей трансформації кластера при здійсненні атаки на два сенсори одночасно (рис. 5).

На рис. 5, а показано трансформацію кластера при одночасній атаці на два сенсори, сигнальні точки яких знаходяться на серединях двох сусідніх сторін зовнішнього обвідного шестикутника. Область трансформації складається із:

- множини сигнальних точок  $M_{tr} = \{ST1, ST5, ST6, ST7, ST11, ST12, ST13, ST14, ST17, ST18\}$  і

- множини симплексів  $N_{4C} = \{4C11,18,5,17, 4C18,12,6,5, 4C12,13,1,6, 4C13,7,14,1, 4C11,18,6,5, 4C13,7,1,6, 4C18,12,13,6\}$ .

Два бічні тривимірні симплекси  $4C11,18,5,17$  і  $4C13,7,14,1$  розгортаються у двовимірні чотирикутники типу 2, б, для яких визначники Келі-Менгера дорівнюють нулю. Тривимірний симплекс  $4C18,12,13,6$  розгортається у двовимірний чотирикутник за допомогою визначення геометричного зв'язку  $d_2$ . Для нього також  $\Delta_{4C} = 0$ . Два симпле-

кси  $4C_{11,18,5,17}$  і  $4C_{13,7,1,6}$  трансформуються у трикутні піраміди типу 2, в і однозначно визначають візуально атаковані сенсори, які представлені сигнальними точками  $CT_{13}$  і  $CT_{18}$ . Визначники Келі-Менгера здійснюють оцінку атаки на них.

Якщо атаковані сенсори, сигнальні точки яких є сусідніми вершинами внутрішнього шестикутника кластера, то утворюється область трансформації (рис. 5, б), яка охоплює:

- множину сигнальних точок  $M_{tr} = \{CT_1, CT_2, CT_3, CT_6, CT_7, CT_8, CT_9, CT_{12}, CT_{13}, CT_{14}, CT_{15}\}$  і
- множину симплексів  $N_{4C} = \{4C_{12,13,1,6}, 4C_{13,7,14,1}, 4C_{1,7,14,2}, 4C_{2,14,8,15}, 4C_{2,15,9,3}, 4C_{1,14,8,2}, 4C_{13,7,1,6}, 4C_{2,8,15,3}\}$ .

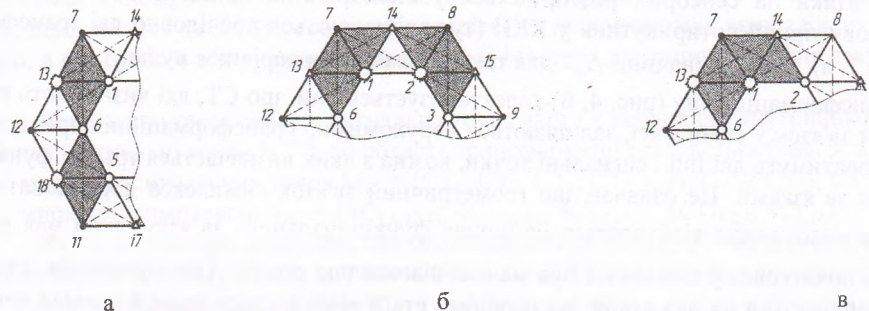


Рис. 5. Галузі трансформації кластера при атаці на два сенсори

Бічні симплекси  $4C_{12,13,1,6}$  і  $4C_{2,15,9,3}$  отримують трансформації типу 2, б а внутрішні симплекси  $4C_{1,7,14,2}$  і  $4C_{1,14,8,2}$  – трансформації типу 4, в. Встановлення відповідних геометричних зв'язків здійснює їхня розгортка у двовимірні чотирикутники із нульовими визначниками Келі-Менгера. Дві пари симплексів  $4C_{13,7,1,6}$ ,  $4C_{13,7,14,1}$  і  $4C_{2,14,8,15}$ ,  $4C_{2,8,15,3}$  утворюють галузі трансформації типу 3, б. Вони візуально визначають атаковані сенсори (ці сенсори представлені сигнальними точками  $CT_1$  і  $CT_2$ ), а обчислені для них визначники Келі-Менгера здійснюють оцінку атаки.

Трансформація симплекса типу 4, б отримується у випадку атаки на сенсори, сигнальні точки яких знаходяться у різних класах  $T_1$  і  $T_2$  або  $T_1$  і  $T_3$ . На рис. 5, в окреслена область трансформації, яка складається із:

- множини сигнальних точок  $M_{tr} = \{CT_1, CT_2, CT_6, CT_7, CT_8, CT_{12}, CT_{13}, CT_{14}, CT_{18}\}$ ;
- множини симплексів  $N_{4C} = \{4C_{18,12,13,6}, 4C_{12,13,1,6}, 4C_{13,7,1,6}, 4C_{13,7,14,1}, 4C_{1,7,14,2}, 4C_{1,14,8,2}\}$ .

Два бокові симплекси  $4C_{18,12,13,6}$  і  $4C_{1,14,8,2}$  отримують трансформації типу 2, б, а симплекс  $4C_{12,13,1,6}$  – трансформацію типу 4, в. Встановлення відповідних геометричних зв'язків розвертає такі тривимірні симплекси у двовимірні геометричні об'єкти із нульовими визначниками Келі-Менгера. Симплекси  $4C_{13,7,1,6}$ ,  $4C_{13,7,14,1}$ ,  $4C_{1,7,14,2}$  залишаються тривимірними геометричними об'єктами після означення для них геометричних зв'язків, тобто їхня розгортка у двовимірні симплекси неможлива. Ці симплекси визначають візуалізацію атакованих сенсорів за допомогою сигнальних точок  $CT_1$  і  $CT_{13}$  у тривимірному геометричному утворення, подібного до 3, в. Сигнальні точки  $CT_2$ ,  $CT_6$ ,  $CT_7$  і  $CT_{14}$  знаходяться в площині ККП і визначають вершини основи, а сигнальні точки  $CT_1$  і  $CT_{13}$  є вершинами геометричного утворення, візуалізуючи атаку на сенсори. Крім цього, симплекс  $4C_{1,7,14,2}$  однозначно візуалізує атаку на сенсор із сигнальною точкою  $CT_1$ , а вершина симплекса  $4C_{13,7,1,6}$  здійснює візуалізацію атаки на сенсор із сигнальною точкою  $CT_{13}$ .

#### Висновки.

В статті проведено аналіз здійснення візуалізації атак на один і два сенсори з метою їхнього виявлення і локалізації. Показано, що при відповідному виборі геометрич-

них зв'язків симплексів трансформованої галузі кластера є можливість локалізувати область візуалізації до такої кількості трансформованих у тривимірні симплекси із відмінними від нуля об'ємами, яка однозначно вказує на атаковані сенсори. Таким чином, запропонована модель кластера має можливість однозначно визначити атаки на один або два сенсори.

### Література

1. Giannetsos T. Weaponizing Wireless Networks: An Attack Tool for Launching Attacks against Sensor Networks / Thanassis Giannetsos, Tassos Dimitriou, Neeli R. Prasad; 2010. – Режим доступу: [http://www.ait.gr/export/sites/default/ait\\_web\\_site/faculty/tdim/various/attackTool-BlackHat10.pdf](http://www.ait.gr/export/sites/default/ait_web_site/faculty/tdim/various/attackTool-BlackHat10.pdf). – Назва з екрана.
2. Kurytnik I. P. Bezprzewodowasieć sensorów / I. P. Kurytnik, M. Mikulski, W. Karpinski // Pomiaru Automatyka Kontrola. – 2010. – Vol. 56, Nr 6. – P. 548–551. – ISSN 0032-4140.
3. Чиж В. Класифікація атак на бездротові сенсорні мережі і шляхи їх візуалізації [Текст] / В. Чиж, М. Карпінський, С. Балабан // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2012. – Т. 18, № 2. – С. 7–14.
4. Чиж В. Геометричне моделювання деяких атак на сигнали у бездротових сенсорних мережах / В. Чиж, О. Демчишин, М. Карпінський, С. Балабан // Матеріали 14-ої міжнародної науково-практичної конференції, "Геометричне моделювання і комп'ютерні технології: теорія, практика, освіта" - Мелітополь: ГНТА, 2012. - С. 234-241
5. Карпінський М. П. Геометричне моделювання у графічному представленні сенсорних мереж / М. Карпінський, С. Балабан, В. Чиж // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Міжнародний науково-технічний збірник. Доповіді VII міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 65 – річчю ДВНЗ «Ужгородський національний університет» та 125 – річчю національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» «Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика освіти» - К. :Віпол, 2011. - Вип. 87. - С. 154 - 158. (Спецвипуск. )
6. Демчишин О. Кластерна модель комп'ютерної візуалізації мережі сенсорів [Текст] / О. Демчишин // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2012. – Т. 18, № 2. – С. 120–132.

Надійшла до редколегії 20. 04. 2012

В. М. Чиж, Е. И. Демчишин, Н. П. Карпинский, С. Н. Балабан  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА  
НАДЕЖНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ.**

Приведены результаты идентификации группы сенсоров, которые подверглись атаке, с помощью кластерной модели компьютерной визуализации сети сенсоров. Доказана целесообразность использования кластерной модели для оперативного выявления в БСС группы атакованных сенсоров.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть (БСС), атака, визуализация, кластерная модель, компьютерная визуализация, определитель Кэли-Менгера

V. Chizh, O. Demchishin, M. Karpinsky, S. Balaban  
**USING CLUSTER MODEL FOR CALCULATION OF RELIABILITY WIRELESS  
SENSOR NETWORKS.**

The results identify a group of sensors that have been attacks by cluster model of computer visualization network sensors. The expediency of the use of cluster models for efficient detection in BCM group attacked sensors.

**Key words:** Wireless sensor networks (WSN), attack, visualization, cluster model, computer visualization, Cayley-Menger determinant