**DOI: 10.18372/2410-7840.21.13955**
**УДК 004.056**

# МУЛЬТИАГЕНТНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОШУКУ ЦИФРОВИХ РАДІОЗАКЛАДНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ЗА МЕТОДОМ БДЖОЛИНОЇ КОЛОНІЇ

***Віталій Савченко, Валерія Савченко, Олександр Мацько, Ярослав Кізяк, Олександр Лаптєв, Сергій Лазаренко***

*У статті досліджуються можливості багатопозиційної технології пошуку цифрових закладних пристроїв на основі кластеризації за методом бджолиної колонії. Встановлено, що виявлення таких підслуховуючих та підглядаючих систем стає дедалі складнішою задачею, оскільки методи та режими їх роботи також ускладнюються. Проаналізовано можливості сучасних систем пошуку технічних засобів прихованого знімання інформації. Показано, що існуючі засоби виявлення випромінювання цифрових засобів прихованого одержання інформації є малоефективними при пошуку шкідливого випромінювання на фоні легальних сигналів що потребує запровадження інтелектуалізованих методів розпізнавання. Зважаючи на розподілений у просторі характер роботи запропоновано проведення сканування шляхом залучення декількох комплексів, що утворює фізично мультиагентне середовище, у якому окремі комплекси будуть виконувати роль агентів, призначених для збору та обробки інформації. Удосконалено метод бджолиної колонії, заснований на застосуванні мультиагентного походу з прямим зв'язком між агентами, який не вимагає апріорного знання кількості кластерів та урахуванням особливостей пошуку пристроїв прихованого знімання інформації. Запропоновано удосконалений алгоритм кластеризації, який може бути реалізованим в умовах мультиагентного середовища. Удосконалений метод забезпечує збіг до оптимального рішення за рахунок прямого зв'язку між агентами, введення процедури природнього відбору та ітераційної процедури вивчення агентом області пошуку. Проведено натурні дослідження шляхом здійсненні пошуку засобів прихованого зняття інформації у приміщенні, розташованому у багатоповерховій офісній будівлі. Для досліджень було побудовано багатопозиційний скануючий комплекс, утворений з 3-х комплексів Delta 4G (в кожному по 2 антени ODA-4 з круговою діаграмою) під загальним управлінням. У результаті експерименту підтверджено підвищення достовірності кластеризації на 6…12 % у порівнянні з класичним методом k-середніх.*

***Ключові слова:*** *захист інформації, закладний пристрій, ройовий інтелект, мультиагентна система, кластеризація.*

## Вступ

Розвиток сучасних засобів прихованого знімання інформації вимагає постійного удосконалення методів та засобів їх виявлення. Якщо ще декілька років тому пристрої на основі GSM вважалися екзотикою, то на теперішній час їх кількість та номенклатура на чорному ринку розширюються майже щоденно. Виявлення таких підслуховуючих та підглядаючих систем стає дедалі складнішою задачею, оскільки методи та режими їх роботи також ускладнюються. Ситуація обтяжується тим, що закладки нового покоління працюють у цілком легальному діапазоні і їх виявлення у приміщенні, яке межує з іншими, заповненими легальними пристроями є проблематичним. Розробники засобів прихованого знімання інформації застосовують все більш складні методи і алгоритми приховування випромінювання своїх виробів. Крім того, на етапі установки засобів застосовуються спеціальні методи маскування передачі, наприклад, створюється радіоканал з урахуванням випромінювання працюючих поблизу об'єкта легальних засобів, що заважають роботі пошукової техніки.

## Постановка проблеми

Заповненість радіоефіру для зв'язку та передачі даних постійно збільшується. Зараз вже практично увесь доступний радіочастотний спектр задіяний під роботу різноманітних радіопередавачів. Це викликає ускладнення ефірної обстановки, особливо у великих містах. Можна навести приклад типової установи, де проводиться перевірка. Десятки комп'ютерів, радіотелефонів DECT, мобільних телефонів різних стандартів (CDMA-2000, GSM-900/1800, 3G (UMTS), 4G (WiMax)), підсилювачів мобільного зв'язку (в деяких будівлях зустрічаються підсилювачі всіх стандартів), легальні радіомікрофони, безпроводові гарнітури, пристрої Wi-Fi, різні електронні зчитувачі систем контролю і управління доступом, безпроводові та проводові охоронні пристрої (які часто мають рівні побічних випромінювань, співмірні з випромінюванням радіозакладок) та ін.

На ситуацію також впливає і "якість" сучасного електронного обладнання – деякі імпульсні блоки живлення можуть бути "видимі" в ефірі іноді до 500 МГц. Крім цього, необхідно враховувати усе різноманіття зовнішнього впливу: теле- і

радіомовлення (в тому числі і цифрове телебачення DVB), авіаційні переговори, радіоняні, радіоаматорський зв'язок, відомчі канали зв'язку (APCO P25, TETRA, DMR), передача даних, телеметрія, радіонавігація та багато іншого. Перераховані вище фактори дозволяють зробити висновок, що на сучасному етапі розвитку суспільства процес пошуку засобів негласного знімання інформації виходить на якісно інший рівень і вимоги до обладнання, в тому числі і до програмно апаратних комплексів пошуку засобів прихованого знімання інформації, пред'являються зовсім інші.

Для виявлення засобів прихованого отримання інформації (радіозакладок) [1] застосовується широка номенклатура засобів радіосканування. Зокрема – популярними та недорогими є системи моніторингу, здатні сканувати та зберігати панорами спектрів сигналів [2]. У той же час, такі системи, як правило, не дозволяють вирішувати завдання аналізу цифрових легальних каналів зв'язку через незадовільну якість радіоприймального тракту і неможливість підключення до ПЕОМ (зокрема, апарати типу Oscor Green).

Більш перспективними є аналізатори спектру та вимірювальні приймачі типу Rohde & Schwarz [3], засоби аналізу цифрових мереж передачі даних Rohde & Schwarz TSMW та програмне забезпечення "ROMES", різні спеціалізовані тестери цифрових засобів зв'язку, інші програмні засоби цифрового аналізу сигналів. Цю техніку призначено для демодуляції широкосмугових пакетів базових станцій та аналізу структури мережі. Вони можуть вирішувати задачу пошуку засобів прихованого знімання інформації виключно з аналізу спектру радіоефіру. Але вони не здатні проводити аналіз цифрових сигналів та виконувати завдання локалізації засобів негласного знімання інформації.

Для дослідження і демодуляції сигналів високошвидкісних радіоінтерфейсів і сигналів з розширенням спектру застосовуються векторні аналізатори. Для цього потрібні смуги паралельного аналізу порядку декількох МГц. Залежно від смуги паралельного аналізу векторні аналізатори виконують вимірювання потужності спектральних компонент з динамічним діапазоном від 60 до 90 дБ. Такі пристрої випускаються, зокрема, фірмою Agilent Technologies (США) і включають блок векторної обробки 89410A серії 89400, що працює зі смугою паралельного аналізу при записі реалізацій до пам'яті 3 – 7 МГц і 78 кГц – при реєстрації у реальному часі. Ємність пам'яті реалізацій – до 1 млн. відліків. Прилад експлуатується з знижувальними перетворювачами частоти 89431A або 89430 A (діапазон відповідно до 2,65 і 1,8 ГГц). Чутливість входу –159 дБм/Гц, рівень побічних складових –70 дбн. Перетворювач 89411A цієї серії призначений для сполучення блоку векторної обробки з радіоприймачами і аналізаторами спектру, у яких передбачений вихід проміжної частоти 21,4 МГц. Як показано вище ці прилади призначені для спільної роботи з приймачами і аналізаторами спектру, тобто самостійно виконати завдання пошуку і локалізації вони не можуть.

Лінійку самих передових і технологічних рішень в області радіомоніторингу очолює комплекс радіомоніторингу "Delta" [4], який надає широкі можливості щодо виявлення та ідентифікації джерел сигналів. Робота з комплексом дозволяє значно підвищити якість завдань з виявлення незаконно діючих передавачів, контролю радіочастотного спектру і виконання інших дій, пов'язаних з дослідженням радіосигналів. До недоліків можна віднести відсутність автоматичної пеленгації радіозакладок.

Отже, з проведеного аналізу можна зробити висновок, що на сьогоднішній день не існує пристроїв (приладів, програмних комплексів) для аналізу цифрових пакетів з метою вирішення завдання пошукового радіоконтролю. Існуючі засоби пошуку у кращому випадку можуть визначити сам факт випромінювання і лише в умовах простої радіообстановки. Задача пошуку сучасного закладного пристрою в умовах складної радіообстановки залишається не вирішеною.

Основними факторами впливу на процес виявлення засобів прихованого отримання інформації є:

короткочасний режим роботи цифрової радіозакладки;

робота у діапазонах "легальних" передавачів (зокрема GSM, Wi-Fi);

використання малопотужних широкосмугових сигналів, складних для виявлення.

Перспективою розвитку засобів радіомоніторингу таких закладних пристроїв є розробка та застосування багатопозиційних автоматизованих комплексів постійної дії, здатних накопичувати та обробляти великі обсяги інформації про параметри сигналів постійно порівнюючи їх різні моделі та приймаючи рішення на основі відповідних методів.

Основними вимогами для таких комплексів будуть:

постійний (довготривалий) характер моніторингу;

багатопозиційна архітектура антенних пристроїв та засобів обробки сигналів;

можливість динамічного оброблення зразків сигналів у реальному часі, коли до сформованої бібліотеки зразків постійно додаються нові, які впливають на процес розпізнавання "свій-чужий".

Загальна сутність виявлення та локалізації закладного пристрою полягає у зніманні та накопиченні статистичної інформації про параметри сигналів у різних точках об'єкта дослідження, аналіз та кластеризація накопиченої інформації з подальшим прийняттям рішення щодо наявності "несанкціонованого" випромінювання.

Автоматизований комплекс має одночасно сканувати радіоефір у декількох точках простору в межах та поза межами об'єкта дослідження відбираючи зразки сигналів. Зважаючи на розподілений у просторі характер роботи до проведення сканування можуть застосовуватись декілька комплексів, що утворює фізично мультиагентне середовище, у якому окремі комплекси будуть виконувати роль агентів, призначених для збору та обробки інформації. Оскільки предметом роботи багатомашинної системи є той самий радіоефір, то, відтак, необхідною умовою їх ефективної роботи є наявність можливості спілкування агентів між собою для поширення зразків сигналів між іншими агентами. Відтак рішення щодо виявлення та локалізації закладного пристрою має прийматись узгоджено усіма (більшістю) агентів, які "бачать" певний сигнал.

Завданням колективної роботи агентів є дійти до узгодженого висновку щодо віднесення певних зразків зафіксованого сигналу до числа легальних чи нелегальних. Зазначене рішення може бути прийнято на основі умовної кластеризації на полі параметрів сигналів.

**Аналіз літературних даних та постановка завдань дослідження.**

Статистичні дані про радіоелектронну обстановку накопичуються відповідними сканерами і, зазвичай, включають масиви однотипних даних, придатних для оброблення методами Data Mining. Параметри сигналів реєструються у різних точках простору і можуть включати тривалість сигналу $T_c$, динамічний діапазон $D_c$, ширину спектру $\Delta F_c$ та ін. Теоретично для виявлення випромінювання засобів прихованого зняття інформації необхідно вирішити задачу кластеризації на множині статистики параметрів сигналів в ефірі.

На сьогоднішній день поняття "кластер" не має точного визначення і тому існує велика кількість методів кластеризації. Загальним для всіх методів є ідея щодо об'єднання схожих об'єктів у групи (кластери) [5].

Для вирішення описаної вище проблеми щодо кластеризації зразків сигналів можуть бути застосовані різні підходи кластерного аналізу. Разом з тим основним недоліком більшості методів є необхідність попереднього знання можливої кількості кластерів, що ускладнює застосування цих методів для виявлення засобів прихованого знімання інформації. Крім того необхідною умовою є введення метрики для визначення "відстані" між окремими зразками, за якою і прийматиметься остаточне рішення. Адже досить важко завчасно передбачити кількість та типи легальних та нелегальних випромінювачів у районі пошуку. До всього того, при практичній реалізації накладається обмеження щодо прихованості усіх дій. Тому актуальною є розробка методу кластеризації, вільного від зазначених недоліків, які забезпечують необхідну точність прийнятих рішень.

Часто з такою метою застосовуються методи, засновані на випадковому пошуку, оскільки вони характеризуються невисокою ітеративністю, і, у разі розробки правильних схем роботи, досягають необхідної точності оптимізації. Такими методами, зокрема, є мультиагентні методи інтелектуальної оптимізації. До них відносяться: метод мурашиних колоній [6], метод бджолиної колонії [7], метод оптимізації на основі моделювання переміщення бактерій і т.д. Кластеризація, заснована на застосуванні мультиагентних методів, не потребує значної обчислювальної складності та попереднього знання кластерів, проте їй притаманний інший недолік – можливість незнаходження оптимального рішення.

Метод мурашиних колоній вже успішно застосовувався для вирішення завдання кластерного аналізу, а метод оптимізації на основі моделювання переміщення бактерій знаходиться ще на етапі свого становлення, оскільки його математичні моделі ще допрацьовуються і області можливих застосувань відомі недостатньо широко. У той же час, метод бджолиної колонії є досить відомим і успішно застосовувався для вирішення різних завдань оптимізації [8–9]. Тому, в даній роботі пропонується вирішувати завдання кластерного аналізу на основі методу бджолиної колонії.

Метод бджолиної колонії є евристичним ітеративним методом випадкового пошуку, заснованим на моделюванні переміщення бджіл. При

цьому зв'язок між програмними агентами, що моделюють поведінку бджіл, є прямим. Таким чином, метод бджолиної колонії є Мультиагентним методом оптимізації з прямим зв'язком між агентами.

Одним з варіантів застосування методу бджолиної колонії для оптимізації на основі кластеризації є мультиагентна кластеризація з прямим зв'язком між агентами [10]. Разом з тим, за такого підходу агенти мають можливість пересуватися у просторі. При вирішенні завдання пошуку закладних пристроїв скануючі комплекси не можуть пересуватися у фізичному просторі. У той же час вони можуть ділити частотний діапазон на окремі сектори, "пересуваючись" таким чином між смугами частот та відбираючи зразки сигналів для порівняння.

**Метою даної роботи** є удосконалення методу бджолиної колонії, заснованого на застосуванні мультиагентного походу з прямим зв'язком між агентами, який не вимагає апріорного знання кількості кластерів та урахуванням особливостей пошуку пристроїв прихованого знімання інформації.

**Кластеризація на основі мультиагентного підходу**

Нехай задано множину об'єктів (зразків сигналів) *O*, кожен з яких характеризується множиною значень ознак *X*. Тоді завдання кластерного аналізу полягає в тому, щоб на основі значень ознак *X*, розбити множину сигналів *O* на *m* (*m* – ціле число) кластерів (підмножин) $C_1$, $C_2$ ,. .., $C_m$, так, щоб кожен сигнал $O_i$ належав одній і тільки одній підмножині розбиття і щоб сигнали, що належать одному і тому ж кластеру, були подібними, в той час, як сигнали, що належать різним кластерам були різними. При цьому кластерами можуть бути підмножини зразків сигналів, наприклад: "Базова станція GSM-900", "Термінал GSM-900", "Точка доступу Wi-Fi", "Абонент Wi-Fi" та ін. Серед цих "легальних" кластерів один чи декілька кластерів будуть позначати усі підозріливі сигнали, виявлені під час сканування, наприклад: "Закладний пристрій GSM-900".

Для кластеризації об'єктів пропонується метод мультиагентної оптимізації, який складається з наступних основних етапів.

1. Ініціалізація: створюється простір пошуку шляхом розбиття фізичного простору на окремі сектори/чарунки, в яких випадковим чином розміщуються агенти – сканери, які фіксують інформацію про об'єкти вхідної вибірки (зразки сигналів), займають позицію у фізичному просторі. Припускається, що кількість секторів є набагато більшою, ніж кількість агентів, що вимагатиме від агентів пересування між чарунками.

2. Робота агентів (сканування ефіру) і фіксування ними об'єктів, які вони будуть поширювати в просторі пошуку.

3. Переміщення агентів між чарунками і дублювання обраних ними об'єктів (зразків сигналів).

4. Обмін інформацією між агентами про об'єкти, які вони поширюють. За рахунок такого моделювання забезпечується прямий зв'язок між агентами.

5. Виключення і скорочення кількості об'єктів у точках простору пошуку та виділення, таким чином, кластерів.

Роботу мультиагентного методу оптимізації з прямим зв'язком між агентами для виконання кластеризації можна представити у вигляді наступного алгоритму.

1. Формування простору пошуку з *m* чарунок. Чарунки утворюються при поділі радіочастотного діапазону на окремі кластери, що відповідають певному типу радіопередавачів (легальних та нелегальних). Оскільки агенти фізично розташовуються у різних точках простору, то загальна картина, яка буде ними сприйматися, буде дещо відрізнятися.

Агенти розташовуються у вільних чарунках випадковим чином:

$$x_i^k = rand(m), i = \overline{1,m}, \qquad (1)$$

де $x_i^k$ – *i*-та координата розташування *k*-го агента у просторі пошуку; $rand(m)$ – випадкове число, обране у діапазоні від 1 до *m*.

2. $t := 1$ – задаємо лічильник ітерацій.

3. $i := 1$ – задаємо координату агента.

4. $j := 1$ – задаємо номер агента.

5. Якщо *j*-й агент не обрав об'єкт, який він розповсюджує іншим агентам, то *j*-й агент перевіряє сусідні чарунки простору на предмет вибору об'єкта для його розповсюдження. У випадку, якщо *j*-й агент вже обрав об'єкт для розповсюдження, то виконати перехід до кроку 6.

Вибір *j*-м агентом об'єкта для розповсюдження виконується наступним чином:

$$o^j = \begin{cases} rand\left(o^l\right), \text{якщо} \left|o^l\right| = 2; \\ \left|o^l_{worst}\right|, \text{якщо} \left|o^l\right| > 2; \\ o^l, \text{якщо} \left|o^l\right| = 1, \end{cases} \qquad (2)$$

де $\left|o^l\right|$ – кількість об'єктів у чарунці $l$; $o^l$ – множина об'єктів, які знаходяться у чарунці чарунці $l$; $rand(o^l)$ – випадково обраний об'єкт з множини $o^l$; $o^l_{worst}$ – об'єкт з найгіршими умовами, який обирається наступним чином: $o^l_{worst} = \arg\max\left[D_n\left(C^l, o^l_r\right)\right]$, де $D_n\left(C^l, o^l_r\right)$ – нормована різниця між $r$-м об'єктом чарунки $l$ та центром цієї чарунки $C^l$. Центр визначається як середнє значення для кожної характеристики усіх об'єктів, що входять до чарунки $l$. Нормована різниця визначається на основі відстані $D_n\left(C^l, o^l_r\right)$, яка розраховуватися згідно з введеною метрикою, наприклад, як евклідова відстань:

$$D_n\left(C^l, o^l_r\right) = \left(\sum_{q=1}^{N}\left[C^l(q) - o^l_r(q)\right]^2\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad (3)$$

де $C^l(q)$, $o^l_r(q)$ – значення $q$-ї характеристики об'єкта $o^l_r$ та центра $C^l$, відповідно.

Якщо агент обрав об'єкт для розповсюдження, то він переходить до чарунки $l$ та бере обраний об'єкт для його подальшого розповсюдження.

Якщо агент, вивчивши усі сусідні чарунки, не обрав об'єкта для розповсюдження, то він випадковим чином переходить до однієї з сусідніх чарунок.

6. Якщо $j$-й агент володіє об'єктом, який розповсюджується у робочому просторі, то він вивчає сусідні чарунки та вирішує, де можна продублювати об'єкт, який він розповсюджує. У випадку, якщо $j$-й агент не володіє об'єктом для розповсюдження, тоді агент випадковим чином переміщується до однієї з сусідніх точок та виконує перехід до кроку 7.

Якщо чарунка, яка розглядається агентом, не містить зовсім об'єктів, то агент не робить нічого та розглядає наступну чарунку. Якщо чарунка містить лише один об'єкт, то агент з ймовірністю 0,5 дублює об'єкт, який розповсюджує:

$$\text{якщо } rand > 0.5, \text{ то } o^l_r = \left\{o^l_r, o^j\right\}, \qquad (4)$$

де $rand$ – випадкове число в інтервалі [0,1].

Якщо чарунка містить більше одного об'єкта, то можливі наступні випадки:

6.1. Чарунка, що розглядається містить об'єкт, умови дл якого гірші, ніж для об'єкта, який розповсюджує об'єкт. У такому випадку агент виконує наступні дії:

a) Об'єктом для розповсюдження стає об'єкт, для якого умови перебування у даній чарунці гірші: $o^j = o^l_{worst}$.

b) Агент переходить у дану чарунку. Перехід до кроку 7.

6.2. Умови у чарунці для об'єкта, який розповсюджується, кращі, ніж у його початковій чарунці. У такому випадку агент виконує наступні дії:

a) Об'єкт дублюється у даній чарунці: $o^l = \left\{o^l\right\}$.

b) Агент переходить у дану чарунку. Перехід до кроку 7.

6.3. Якщо жоден з попередніх двох випадків не трапився, то агент розглядає наступну сусідню чарунку.

У випадку, якщо після розгляду усіх сусідніх чарунок агент не перейшов до жодної з них, агент переходить до сусідньої чарунки, обраної випадковим чином, і виконується перехід до кроку 7.

7. $j := j + 1$ – перехід до іншого агента.

8. $i := i + 1$ – зміна координати агента.

9. Якщо $i < N_{move}$, то виконати перехід на крок 4, у протилежному випадку – перехід до кроку 10.

10. Обмін інформацією між агентами.

В результаті обміну інформацією одні агенти повинні повідомити іншим про чарунки, в яких істотний вплив мають об'єкти, які розповсюджуються віповідними агентами. Таким чином, агенти розділяються на дві групи: агенти, які повідомляють інформацію про чарунку, до якої відноситься об'єкт, що розповсюджується та агенти, які аналізують інформацію, яка повідомляється іншими агентами.

До агентів, які інформують інших агентів про чарунку, до якої відноситься об'єкт, який розповсюджується, відносяться наступні агенти:

1. Агенти, об'єкт яких знаходиться від центра відповідної чарунки не далі ніж $\Delta\left(D_n\left(C^l, o^l_r\right) < \Delta\right)$, за умови, що у чарунці знаходиться 3 та більше об'єктів. При цьому $\Delta$ обирається експериментально і залежить від конкретної практичної задачі. З таких агентів випадковим чином відбирається половина і вони інформують інших агентів про відповідну чарунку.

2. Агенти, об'єкт яких відноситься до чарунки, у якій даний об'єкт є єдиним $\left|o^l\right| = 1$. З таких агентів також випадковим чином відбирається половина для інформування про розповсюджувані об'єкти.

Усі агенти, які не увійшли до групи агентів, що виконують інформування, автоматично входять до групи агентів, аналізуючих інформацію від інших агентів.

Після поділу на групи для кожного агента, який аналізує інформацію, розраховується відстань між об'єктом, який він розповсюджує, і між об'єктами, які розповсюджують агенти, що відносяться до інформуючої групи агентів. Якщо мінімальна з одержаних різниць менше $\Delta D$, то об'єкт, який розповсюджує інформований агент, дублюється у чарунці з об'єктом, який розповсюджує відповідний інформуючий агент.

11. Природній відбір. Оскільки один об'єкт може знаходитись у декількох чарунках одночасно, то потрібно виконати відбір та залишити кожен об'єкт лише в одній чарунці. Для цього необхідно виконати процедуру відбору. Пропонується виконувати жорсткий відбір, у відповідності до якого для кожного об'єкта необхідно враховувати, наскільки він близький до кожного з центрів чарунок $D\left(C^l, o_r^l\right)$, зважене на нормалізовану відстань для поточної чарунки. Таким чином, необхідно залишити об'єкт у тій чарунці, у якій дана зважена відстань найменша

$$q = \arg\min_{l}\left[\mathrm{D}\left(\mathrm{C}^l, \mathrm{o}_r^l\right)\cdot\left(1-\mathrm{D}\left(\mathrm{C}^l, \mathrm{o}_r^l\right)\right)\right], \forall l = \overline{1,m}, \quad (5)$$

де q – чарунка, у якій треба залишити об'єкт $o_r$.

12. $t := t + 1$ – перехід до наступної ітерації.

13. Якщо $t < t_{max}$, то виконати перехід до кроку 3, у протилежному випадку – перехід до кроку 14.

14. Розрахувати кінцеві центри кластерів. Кожна окрема чарунка вважається кластером. На основі об'єктів, що знаходяться у чарунках, розрахувати центри кластерів:

$$x_i^c = \frac{1}{N^c}\cdot\sum_{j\in O^c} x_i^j. \quad (6)$$

15. Кінець.

При розробці цього методу враховуються деякі особливості, які забезпечують збіг до оптимального рішення:

1. Прямий зв'язок між агентами забезпечується шляхом обміну інформацією між агентами, за рахунок чого одні агенти можуть одержати інформацію про області пошуку, в яких вони не перебували і від яких знаходяться далеко. Таким чином, досягається краще вивчення простору пошуку, що позитивно впливає на збіжність до оптимального рішення.

2. Введення процедури природнього відбору дозволяє виключити об'єкти з кластерів, умови знаходження для яких є незадовільними. Для цього вводиться міра, яка характеризує умови знаходження об'єкта у кластері, як відстань об'єкта до центра кластера, зважена нормалізованою відстанню, за рахунок чого враховується як абсолютне значення відстані, так і відносний вплив даного об'єкта в цілому.

3. Для кращого вивчення простору пошуку пропонується виконувати крок 6 декілька разів, що дозволить кожному агентові вивчати область, у якій він знаходиться, більш детально.

**Експериментальна перевірка результатів.**

Запропонований алгоритм було реалізовано при здійсненні пошуку засобів прихованого зняття інформації у приміщенні, розташованому у багатоповерховій офісній будівлі. Для пошуку розгорнуто багатопозиційний скануючий комплекс, утворений з 3-х комплексів Delta 4G (в кожному по 2 антени ODA-4 з круговою діаграмою) під загальним управлінням. Два комплекси Delta (4 рознесені антени) розташовувались в середині приміщення, ще один комплекс (2 рознесені антени) назовні. В приміщенні було встановлено емулятор закладного пристрою у діапазоні GSM. Оточення приміщення – стандартні офіси компаній у робочий час.

Приклад роботи алгоритму наведено на рис. 1.

Як бачимо, алгоритм в цілому правильно визначає кластер пристроїв прихованого знімання інформації. В той же час, при роботі присутній певний відсоток помилок. Для порівняння точності кластеризації було проведено 150 експериментів, під час яких фіксувалася радіоелектронна обстановка в середині та навколо приміщення за двома параметрами (робоча частота та потужність сигналу), після чого результати оброблялися за відомим методом k-середніх та запропонованим мультиагентним методом. В цілому метод k-середніх дає від 12 до 18 % похибок класифікації зразків сигналу у той час, як мультиагентний метод 6 – 8 %. Таким чином, мультиагентна кластеризація з використанням прямого зв'язку між агентами доводить більшу ефективність у порівнянні з класичними методами. Іншим позитивним моментом є відсутність необхідності апріорних припущень щодо кількості та характеру кластерів.

**Висновки**

Постійне удосконалення засобів прихованого знімання інформації, маскування їх роботи під сигнали легальних передавачів вимагає пошуку нових підходів щодо розпізнавання та локалізації зазначених засобів. Перспективи розвитку пошукової техніки на сьогодні пов'язуються зі створенням

багатопозиційних постійно-діючих комплексів виявлення та локалізації. Разом з тим, проблема виявлення потребує розпізнавання шкідливого випромінювання на множині статистики параметрів сигналів в ефірі шляхом вирішення задачі кластеризації.

Недоліками більшості класичних методів кластеризації є необхідність попереднього знання можливої кількості кластерів та достатньо висока ітеративність, що ускладнює практичне їх застосування, особливо в умовах реального часу. В той же час інтелектуальні мультиагентні методи позбавлені цих недоліків, хоча їх прикладне застосування залишається достатньо складним.

Вирішення завдання розпізнавання шкідливого сигналу на фоні аналогічних легальних сигналів можливе на основі застосування методу бджолиної колонії з прямим зв'язком між агентами. У цьому випадку агентами виступають окремі елементи багатомашинного комплексу, які сканують ефір у різних точках простору, у подальшому обмінюючись результатами з іншими агентами, після чого приходять до спільного висновку щодо характеру сигналу.

Використання розподіленого підходу зі спільною обробкою результатів сканування на основі інформаційного обміну між агентами дозволяє підвищити достовірність кластеризації 6…12 % у порівнянні з класичними методами що є цілком прийнятним результатом.

Напрямом подальших досліджень є розширення методу кластеризації для виявлення закладних пристроїв на основі аналізу динамічних та багатопараметричних процесів в ефірі.

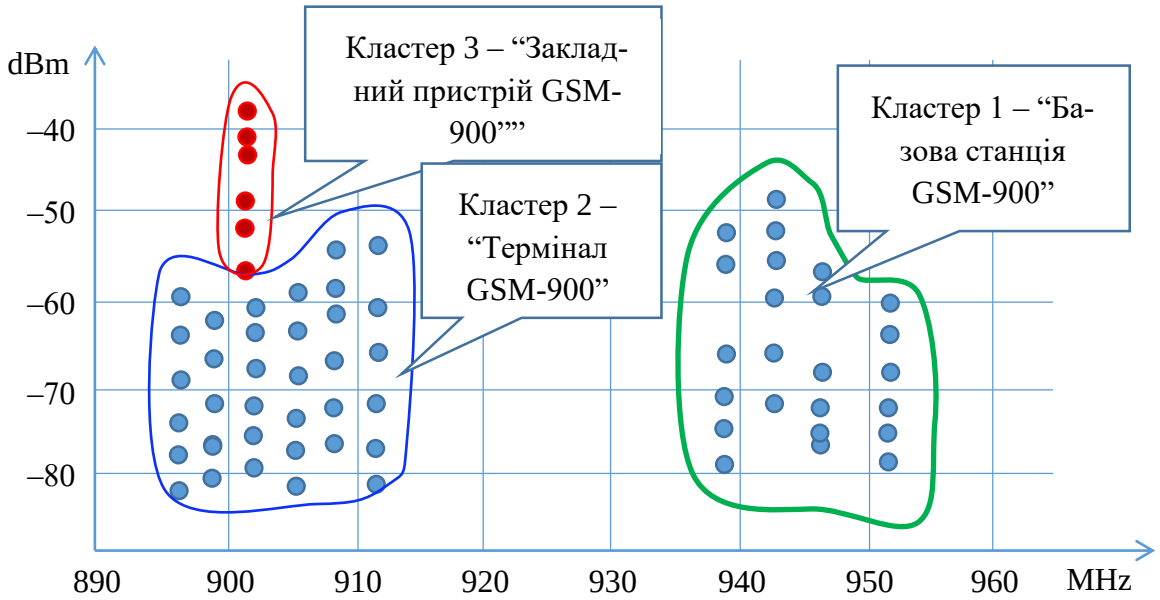


Рис. 1. Приклад роботи мультиагентного алгоритму кластеризації

## ЛІТЕРАТУРА


[1]. А. Яковлєв, О. Лис, "Спеціальні технічні засоби негласного збору інформації", *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія". Сер.: Комп'ютерні технології,* Т. 229, Вип. 217, С. 39-43, 2013.

[2]. А. Кривцун, А. Захаров, *Использование новых возможностей комплекса радиомониторинга и цифрового анализа сигналов «Кассандра-М» для обнаружения современных специальных технических средств с передачей информации по радиоканалу.* [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.inspectorsoft.ru/article.php?id=388.

[3]. Цифровой пеленгатор "Rohde & Schwarz DDF0xE". Техника для спец служб, бюро научно-технической информации, основано в 1999 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4446&tbl =04.01.01.01.01.

[4]. Поисковій комплекс Delta X [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.das-ua.com/documents/catalog/search-appliances/search-complexes/devices/Delta-X100-4/index.php.

[5]. T. Pang-Ning, M. Steinbach, K. Vipin, "Cluster Analysis: Basic Concepts and Algorithms. Chapter 7", *Introduction to Data Mining.* Addison-Wesley, 2005. ISBN 0-321-32136-7.

[6]. В. Голембо, О. Муляревич, "Модифікація методу мурашиної колонії для розв'язання задачі комівояжера колективом автономних агентів", *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, № 717: Комп'ютерні системи та мережі, С. 24-30, 2011.

[7]. І. Хижняк, О. Маковейчук, Р. Худов, В. Подліпаєв, Г. Горбань, Г. Худов, "Методройового інтелекту (штучної бджолиної колонії (АВС)) тематичного сегментування оптико-електронного зображення", *Системи управління, навігації та зв'язку,* випуск 2(48), С. 91-96, 2018.

[8]. E. Mastrocinque, B. Yuce, A. Lambiase; M. Packianather, "Multi-Objective Optimisation for Supply Chain Network Using the Bees Algorithm", *Int. J. Eng. Bus. Manage,* № 5, pp. 1-11, 2013.
[9]. S. Kumar, V. Kumar Sharma, R. Kumari, "Randomized Memetic Artificial Bee Colony Algorithm", *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS),* Vol. 3, Iss. 1, pp. 52-62, 2014.
[10]. А. Олейник, С. Субботин, "Мультиагентная кластеризация с прямой связью между агентами", *Адаптивні системи автоматичного управління*, № 13(33), С. 118-128, 2008.

## МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОИСКА ЦИФРОВЫХ РАДИОЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПО МЕТОДУ ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ

В статье исследуются возможности многопозиционной технологии поиска цифровых закладных устройств на основе кластеризации по методу пчелиной колонии. Проанализированы возможности современных систем поиска технических средств скрытого съема информации. Показано, что существующие средства обнаружения излучения цифровых средств скрытого получения информации малоэффективны при поиске скрытого излучения на фоне легальных сигналов. Предложено сканирование путем привлечения нескольких комплексов, образует физически мультиагентные среда, в которой отдельные комплексы будут выполнять роль агентов, предназначенных для сбора и обработки информации. Усовершенствован метод пчелиной колонии, основанный на применении мультиагентного похода с прямой связью между агентами, не требует априорного знания количества кластеров и учетом особенностей поиска устройств скрытого съема информации. Предложен усовершенствованный алгоритм кластеризации, который не требует априорного знания количества кластеров и может быть реализован в условиях мультиагентного среды. Проведены натурные исследования путем осуществления поиска средств скрытого снятия информации в помещении, расположенном в многоэтажном офисном здании. В результате эксперимента подтверждено повышение достоверности кластеризации на 6 ... 12% по сравнению с классическим методом k-средних.
**Ключевые слова:** защита информации, закладное устройство, роевой интеллект, мультиагентная система, кластеризация.

## MULTI-AGENT TECHNOLOGY OF SEARCHING FOR DIGITAL RADIO-ACCELERATED DEVICES BASED ON CLUSTERING BY A BEE COLONY METHOD

The article explores the capabilities of multi-position technology for searching of secret information retrieval devices based on bee colony clustering method. It has been found that the detection of such surveillance systems is becoming more and more difficult as their methods and modes of operation are also complicated. Possibilities of modern searching systems for the technical means of secret information retrieval are analyzed. It is shown that the existing means of detecting the hidden radiation over background of legal signals are ineffective and requires the introduction of intelligent methods of recognition. Considering the distributed nature of the problem, it is proposed to perform scanning through the involvement of several complexes, forming a physically multiagent environment in which the individual complexes will act as agents for the collection and processing of information. The bee colony method has been improved based on the use of a multi-agent approach with direct agent-to-agent communication, which does not require a priori knowledge of the number of clusters and takes into account the specific features of secret information retrieval devices. An advanced clustering algorithm that can be implemented in a multi-agent environment is proposed. The advanced method ensures that the best solution is matched by direct communication between agents, application of a natural selection procedure and an iterative procedure for searching the area by the agent. Experimental research was conducted by searching secret information retrieval devices in a room located in a multi-storey office building. A multi-position scanning complex was constructed from 3 Delta 4G complexes (each with 2 omnidirectional antennas) under common control. Field studies confirmed the increase of the clustering reliability by 6 ... 12% in comparison with the classical k-means method.
**Keywords:** information protection, information retrieval device, swarm intelligence, multi-agent system, clustering.

**Савченко Віталій Анатолійович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформаційного та кібернетичного захисту Державного університету телекомунікацій.
E-mail: savitan@ukr.net.
Orcid ID: 0000-0002-3014-131X.
**Савченко Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем информационной и кибернетической защиты Государственного университета телекоммуникаций.
**Savchenko Vitalii**, Doctor of Science, Professor, Chief of Technical Cybersecurity Department of the State University of Telecommunications.

**Савченко Валерія Віталіївна**, студентка магістратури Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».
E-mail: savitan@ukr.net.
Orcid ID: 0000-0003-1921-2698.
**Савченко Валерия Витальевна**, студентка магистратуры Национального технического университета «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».
**Savchenko Valeriia**, Masters Student of the National Technical University KPI.

**Мацько Олександр Йосипович**, кандидат військових наук, професор, начальник інституту оперативного забезпечення та логістики Національного університету оборони України імені Івана Черняховського.
E-mail: macko2006@ukr.net.
Orcid ID: 0000-0003-3415-3358.
**Мацько Александр Иосифович**, кандидат военных наук, профессор, начальник института оперативного обеспечения и логистики Национального университета обороны Украины имени Ивана Черняховского.
**Matsko Olexander**, Ph.D, Professor, Head of Operational Support and Logistics Institute of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky.

**Кізяк Ярослав Олександрович,** кандидат військових наук, доцент, начальник науково-дослідної лабораторії інституту оперативного забезпечення та логістики Національного університету оборони України імені Івана Черняховського.
E-mail: k-y-o@ukr.net.
Orcid ID: 0000-0002-5489-6100.
**Кизяк Ярослав Александрович**, кандидат военных наук, доцент, начальник научно-исследовательской лаборатории института оперативного обеспечения и логистики Национального университета обороны Украины имени Ивана Черняховского.
**Kizyak Yaroslav**, Ph.D., Chief of Research Laboratory of Operational Support and Logistics Institute of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky.

**Лаптєв Олександр Анатолійович**, кандидат технічних наук, с.н.с., доцент кафедри систем інформаційного та кібернетичного захисту Державного університету телекомунікацій.
E-mail: alaptev64@ukr.net.
Orcid ID: 0000-0002-4194-402X.
**Лаптев Александр Анатольевич**, кандидат технических наук, с.н.с., доцент кафедры систем информационного и кибернетической защиты Государственного университета телекоммуникаций.
**Laptev Olexander**, Ph.D, Senior Scientist, Associate Professor of the Department of Information and Cybernetic Protection Systems at SUT.

**Лазаренко Сергій Володимирович**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету.
E-mail: zzi.lazarenko@nau.edu.ua.
Orcid ID: 0000-0003-3529-4806.
**Лазаренко Сергей Владимирович**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой средств защиты информации Национального авиационного университета.
**Lazarenko Serhii**, Doctor of Science, associate professor, Head of Information Security Department National Aviation University.