

УДК 004.896

П. Є. Биковий, асп.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДИСТРИБУТИВНИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

*Запропоновано два алгоритми оптимізації проектування дистрибутивних систем технічної безпеки. Перший — підготовчий алгоритм, для формального опису задачі покриття сенсорами охоронного об'єкта. Другий — генетичний алгоритм, що дозволяє розв'язати поставлену підготовчим алгоритмом задачу в найбільш оптимальний спосіб. Обидва алгоритми реалізовані в новому модулі для системи проектування сенсорних мереж безпеки, що дозволило створювати кращі, порівняно з відомими, варіанти систем безпеки, з цим час на їх створення зменшився.*

### Вступ

Кількість систем безпеки та їхні функціональні можливості зростають дуже швидко [1—3]. Зокрема, сучасні системи технічної безпеки характеризуються (i) комплексністю, (ii) багаторівневим захистом, (iii) використанням методів штучного інтелекту, (iv) захистом від несанкціонованого доступу та (v) прихованою дією. Очевидно, що це веде до зростання ціни окремих реалізацій систем безпеки. Тому актуальною задачею є оптимізація таких систем безпеки за їх функціонально-вартісними характеристиками.

Зазвичай фірми, які проектують і встановлюють системи технічної безпеки, зокрема безпеки периметру території, використовують вже готові шаблонні рішення, котрі не завжди можуть бути оптимальними з точки зору функціонально-вартісних характеристик [4]. Це пов'язано з тим, що оптимальне рішення повинно враховувати всі особливості кожної з зон периметру даної території. А шаблонні рішення розраховані на деякий набір гіпотетичних усереднених територій, які не враховують всі особливості кожної з зон. Особливо яскраво сказане вище проявляється при використанні багатозонарного захисту, де виникають багато питань взаємодії різних видів захисту і засобів, які їх реалізують.

Звісно, використання автоматизованої системи проектування дозволить за короткий час розробляти індивідуальні проекти систем безпеки території [5, 6]. Все залежить від того, на скільки глибоко дана система проектування врахує ті чи інші особливості периметру для захисту та параметри кожного елемента в системі. Слід зазначити, що кожна система безпеки периметру території може складатись з різноманітних зон [7, 8], при цьому кожна зона може бути реалізована на базі великої множини компонентів, що випускаються промисловістю. Ці компоненти характеризуються широким набором різноманітних параметрів [9]. Тому варіантів реалізації кожної з зон може бути дуже багато, а відповідно варіантів систем безпеки — ще більше.

Проте, враховувати всі особливості кожної зони безпеки та забезпечувати оптимальний вибір засобів серед усіх наявних, призначених для реалізації захисту (не обмежуючись якимось певним виробником) — не є простою задачею. Оптимальним слід вважати такий вибір структури і компонентів системи безпеки, який забезпечує високий рівень захисту від заданих видів загроз при мінімальних затратах на її реалізацію.

В [5] спроектовано САПР оптимізації систем безпеки периметру території PSCAD, який передбачав пошук паретової множини кращих рішень шляхом повного перебору всіх варіантів. Однак, при ускладненні систем безпеки (збільшенні кількості зон і їх розмірів, збільшенні кількості компонентів, зокрема типів сенсорів) кількість варіантів, які необхідно проаналізувати різко зростає за експоненціальним законом. При цьому час проектування системи безпеки неприйнятно зростає навіть при відповідному збільшенні продуктивності обчислювальних ресурсів. Тому повний пере-

бір варіантів систем необхідно замінити алгоритмом, який більш цілеспрямовано шукає оптимальні рішення. Попередній аналіз показав [10], що найкраще для вирішення такої задачі підходять генетичні алгоритми. На даний час було отримано результати в цьому напрямку [11], де було використано стандартний пакет EVOCOM [12]. Однак в цих результатах не було проаналізовано всі алгоритми оцінки пристосованості окремих хромосом у випадку багатокритеріальності. Тому метою даної статті є розробка для системи PSCAD спеціалізованого модуля еволюційної оптимізації (генетичний алгоритм), котрий враховує специфіку задачі проектування охоронних систем та містить підготовчий алгоритм, що формалізовано описує постановку цієї задачі.

### Підготовчий алгоритм

Для прикладу задамося таблицею сенсорних даних, що вводяться в базу даних системи PSCAD. База даних містить дані про компоненти: їхні параметри, загрози, принципи дії, обчислену якість, надійність та ціну кожного з компонентів [13].

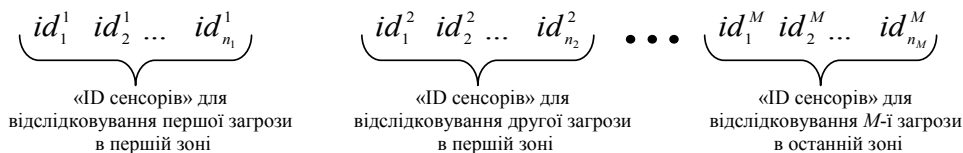
Нехай  $ST_{ij}$  — таблиця сенсорів. Кожний  $i$ -й рядок містить: «ID сенсора», «Радіус дії, м», «ID Типу загрози», «ID Принципу дії», «Якість», «Надійність», «Ціна». Слід зазначити, що дані про один сенсор (для певного «ID сенсора») можуть знаходитися в кількох рядках, оскільки існують сенсори, що виявляють декілька типів загроз.

Нехай  $SD_{ij}$  — таблиця опису характеристик об'єкту, що охороняється (периметр його території). Кожний  $i$ -й рядок містить: «ID зони», «Довжина зони, м», «ID Типу загрози», що має відслідковуватися, «ID Принципу дії сенсора», що виявляє дану загрозу. Слід зазначити, що дані про одну зону можуть міститися в кількох рядках, оскільки на одній і тій самій зоні можна відслідковувати кілька типів загроз, користуючись при цьому сенсорами з різними альтернативними принципами дії.

Нехай  $Z$  — кількість зон об'єкту, що охороняється, та  $M = \sum_{j=1}^Z T_j$  — загальна кількість загроз, що мають виявлятися у всіх зонах, де  $T_j$  — кількість загроз, що мають виявлятися на  $j$ -й зоні.

Згідно введених позначень, підготовчий алгоритм буде мати такий вид:

- Для кожної зони і типу загроз в ній проводимо пошук сукупності «ID сенсорів», що відповідають даному типу загрози і списку альтернативних принципів дії. Після цього одержуємо рядок альтернативних «ID сенсорів», що пропонуються для відслідковування кожної загрози в кожній зоні:



де  $id_i^j$  — ID  $i$ -го альтернативного сенсора, що може бути використаний (в певній кількості) для відслідковування  $j$ -ї загрози,  $i = \overline{1, n_j}$ ,  $j = \overline{1, M}$ ,  $n_j$  — кількість альтернативних «ID сенсорів», що можуть бути використані для відслідковування  $j$ -ї загрози.

- Сортуємо ID сенсорів в кожній зоні в порядку спадання радіусу їхньої дії. Нехай  $\rho(id)$  — радіус дії сенсора з ID =  $id$ . Тоді просортований рядок альтернативних «ID сенсорів» записується у вигляді

$$\begin{aligned} \rho(id_1^1) &\geq \rho(id_2^1) \geq \dots \geq \rho(id_{n_1}^1); \\ \rho(id_1^2) &\geq \rho(id_2^2) \geq \dots \geq \rho(id_{n_2}^2); \dots \\ \rho(id_1^M) &\geq \rho(id_2^M) \geq \dots \geq \rho(id_{n_M}^M). \end{aligned}$$

- Зобразимо розв'язок задачі покриття охоронного об'єкта у вигляді вектора з  $K$  елементів



Задача (1), (2) багатокритеріальна, тому не має єдиного розв'язку. Натомість існує множина з  $N_{pop}$  її Парето-оптимальних розв'язків, яку можна зобразити матрицею

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_1^1, g_2^1, \dots, g_K^1 \\ g_1^2, g_2^2, \dots, g_K^2 \\ \vdots \\ g_1^{N_{pop}}, g_2^{N_{pop}}, \dots, g_K^{N_{pop}} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для знаходження множини (6) пропонуємо використати генетичний алгоритм описаний нижче. В термінах генетичного програмування (6) — це популяція розв'язків задачі (1), (2). При цьому вектор  $\vec{g}$  утворює хромосому, що представляє варіант охоронної системи.

### Генетичний алгоритм

1. Нехай  $N_{init}$  — об'єм початкової популяції розв'язків.  $p_{cross}$  — ймовірність схрещування,  $p_{mut}$  — ймовірність мутації,  $N_{cross}$  — кількість точок схрещування,  $N_{MAX ITER}$  — максимальна кількість ітерацій (генерацій) генетичного алгоритму,  $N_{immigrants}$  — кількість хромосом-емігрантів на кожній генерації,  $N_{pairs}$  — кількість пар хромосом, що вибираються для схрещування на кожній генерації.
2. Ініціалізуємо генератор випадкових чисел в початковий стан, щоб можна було легко оцінювати різні вдосконалення генетичного алгоритму не залежачи від «випадковостей».
3. Створюємо початкову популяцію розв'язків

$$\mathbf{G} \leftarrow \begin{bmatrix} rnd(0, N_{count})^{(1)(1)}, rnd(0, N_{count})^{(1)(2)}, rnd(0, N_{count})^{(1)(K)} \\ \vdots \\ rnd(0, N_{count})^{(N_{init})(1)}, rnd(0, N_{count})^{(N_{init})(2)}, rnd(0, N_{count})^{(N_{init})(K)} \end{bmatrix},$$

де  $rnd(0, N_{count})$  — ціле випадкове число в діапазоні від 0 до  $N_{count}$ .

Можливі також інші варіанти створення початкової популяції розв'язків. Наприклад, встановленням

$$g_k = \text{round} \left[ L_j / \rho(id_i^j) \right],$$

де  $\text{round}()$  — функція заокруглення дійсного числа до найближчого більшого цілого. Індекс альтернативного сенсора при цьому можна встановити випадковим чином  $i = rnd(1, n_j)$ .

4. Об'єм популяції дорівнює початковому значенню  $N_{pop} \leftarrow N_{init}$ .
5. **Перша генерація**  $I \leftarrow 1$ .
6. Виключаємо з популяції (матриці  $\mathbf{G}$ ) ті хромосоми (рядки), що не задовольняють обмеженням задачі (1).
7. Видаляємо надлишкову кількість сенсорів з кожної зони охоронного комплексу, що кодується рядками матриці  $\mathbf{G}$ . Видалення проводиться починаючи з сенсорів з найбільшим радіусом дії і поступово доходить до сенсорів з найменшим радіусом дії. Видалення відбувається так: кількість  $g_k$  сенсорів відповідного типу зменшується на одиницю  $g_k \leftarrow g_k - 1$  і перевіряється виконання обмеження задачі (1), якщо воно виконується, то ця кількість зменшується ще на одиницю і т.д. поки не порушиться виконання умови (1) або  $g_k$  досягне нуля. Коли відбулося останнє, тобто  $g_k = 0$ , то переходимо до сенсорів з меншим радіусом дії  $k \leftarrow k + 1$  і повторюємо описаний алгоритм видалення.

8. Оцінювання значень векторної функції мети (2) для всієї популяції хромосом  $\mathbf{G}$ , що утворює матрицю функцій мети популяції

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \bar{f}(g_1^1, g_2^1, \dots, g_K^1) \\ \bar{f}(g_1^2, g_2^2, \dots, g_K^2) \\ \vdots \\ \bar{f}(g_1^{N_{pop}}, g_2^{N_{pop}}, \dots, g_K^{N_{pop}}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q(g_1^1, g_2^1, \dots, g_K^1) & R(g_1^1, g_2^1, \dots, g_K^1) & C(g_1^1, g_2^1, \dots, g_K^1) \\ Q(g_1^2, g_2^2, \dots, g_K^2) & R(g_1^2, g_2^2, \dots, g_K^2) & C(g_1^2, g_2^2, \dots, g_K^2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q(g_1^{N_{pop}}, g_2^{N_{pop}}, \dots, g_K^{N_{pop}}) & R(g_1^{N_{pop}}, g_2^{N_{pop}}, \dots, g_K^{N_{pop}}) & C(g_1^{N_{pop}}, g_2^{N_{pop}}, \dots, g_K^{N_{pop}}) \end{bmatrix}.$$

9. Якщо  $I \geq N_{MAX.ITER}$ , то перейти на крок 15.

10. Оцінювання пристосованості хромосом за матрицею  $\mathbf{F}$  за допомогою підходів зваженої суми пронормованих критеріїв, згідно Fonseca [15] або згідно Goldberg [16], що утворить вектор пристосованості  $\vec{v} =$

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{N_{pop}} \end{bmatrix}.$$

11. Додаємо в нову популяцію Nimmigrants емігрантів.

12. Ймовірність селекції  $k$ -ї хромосоми обчислюється за формулою  $p_k = \frac{v_k + 1}{\sum_{j=1}^{N_{pop}} [v_j + 1]}$ ,

де  $v_k$  — оцінка пристосованості  $k$ -ї хромосоми.

13. Проводимо селекцію  $N_{pairs}$  пар хромосом за правилом «колеса рулетки» і виконуємо їх  $N_{cross}$ -точкове їх схрещування з ймовірністю  $p_{cross}$ , здійснюючи при цьому мутацію генів з ймовірністю  $p_{mut}$ . Утворені дочірні хромосоми поміщаються в нові рядки матриці  $\mathbf{G}$ .

14. Наступна генерація  $I \leftarrow I + 1$ , перейти на крок 6.

15. Після завершення роботи генетичного алгоритму здійснюємо відбір множини Парето-оптимальних розв'язків задачі (1), (2) шляхом маркування доміантних (мажорних) розв'язків.

### Експериментальні дослідження розробленої системи

На рис. 1 зображено діалогове вікно системи PSCAD, де показано можливості вибору вже введених в базу даних периметрів території з їх вимогами до захисту. Відповідний опис периметру території повинен бути вибраним зі списку «Perimeter Maps». PSCAD покаже відповідні зони в списку «Secured Zones» для виділеного периметру та після виділення відповідної зони — загальну інформацію про виділену зону: розмір зони — «Zone Size», типи загроз які потрібно визначати на зоні — «Type of Threat of Zone», тип зони — «Type», принципи дії компонентів рекомендованих для використання під час проектування — «Principles of operation of Sensors in Zone». Після натиснення клавіші «Generate Systems MATRIX» — PSCAD створить оптимальні варіанти систем безпеки з використанням генетичного алгоритму.

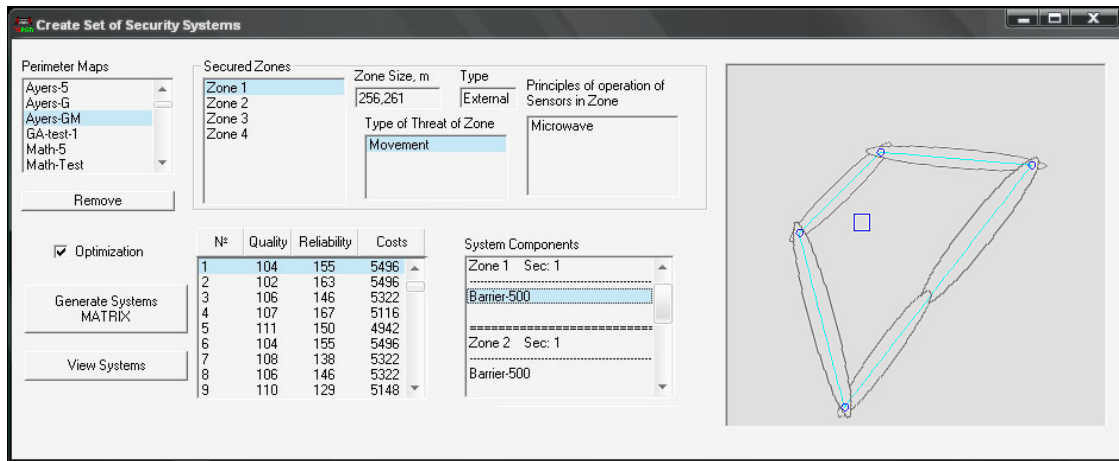


Рис. 1. Діалогове вікно створення варіантів систем безпеки програми PSCAD

Варіанти систем відображаються у списку поруч, де  $N$  — поточний номер, «Quality» — якість, «Reliability» — надійність та «Cost» — ціна кожного з варіантів запропонованих оптимальних систем безпеки. Після виділення одного із варіантів системи безпеки у вікні поруч «System Components» відображаються компоненти, які використані для проектування даної системи безпеки та поряд — схема покриття сенсорами відповідної території.

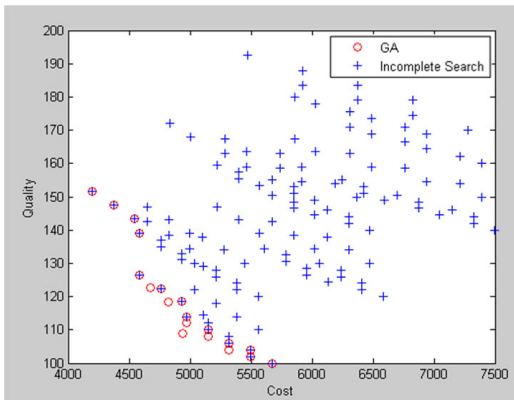


Рис. 2. Порівняння результатів проектування систем безпеки алгоритмом повного перебору: «+» — з обмеженням в часі; «o» — генетичним алгоритмом

На рис. 2 зображено порівняння результатів проектування систем безпеки алгоритмом повного перебору що обмежений по часу (знак +) та генетичним алгоритмом (знак o). Видно, що генетичний алгоритм не тільки знайшов Парето-фронт систем безпеки спроектованих обмеженим по часу алгоритмом повного перебору, але й виявив кращі системи (ближче до центра – вища якість при меншій ціні).

Слід відзначити, що отриманий результат генетичного алгоритму містить Парето-множину систем з кращою якістю ніж запропонований в [11]. Також, розроблений модуль характеризується більшою продуктивністю і дозволяє проводити проектування систем безпеки в коротший час, є гнучким і дозволяє випробовувати різні процедури схрещування та мутації хромосом, зокрема адитивного та багато точкового перегрупування.

### Подяки

Робота виконується за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках міжнародного українсько-турецького науково-технічного проекту №М/47-2008 «Розробка методів проектування та оптимізації систем виявлення порушників безпеки».

### Висновки

Розроблений в статті підготовчий алгоритм для оптимізації систем безпеки периметру території та відповідний генетичний алгоритм забезпечують:

1. Виявлення кращих структур систем безпеки порівняно з роботою САПР, який використовує алгоритм повного перебору, що працює обмежений час (не забезпечує перебір всіх варіантів);
2. Зменшення часу оптимізації порівняно з САПР на базі генетичного алгоритму, описаного в [11];
3. Виключення надлишкових сенсорів на кожному кроці оптимізації;
4. Високу гнучкість за рахунок можливості використання різних процедур схрещування (адитивного та багато точкового перегрупування), мутації та оцінювання пристосованості хромосом.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Системи безпеки периметру території. — Режим доступу: <http://www.perimetr.ru/secur200002.html>.
2. Ортех — виробник інфрачервоних пристроїв безпеки для промисловості. — Режим доступу: <http://www.opteurope.com>.
3. PELCO — виробник систем відео спостереження. — Режим доступу: <http://www.surveillance-video.com/pelworleadma.html>
4. СМП сервіс — сучасні системи відео спостереження. — Режим доступу: <http://www.tral.ru/>
5. Bykovyy P. A CAD System That Optimizes Distributed Sensor Networks for Perimeter Security / P. Bykovyy, V. Kochan, A. Sachenko, G. Markowsky // Technologies for Homeland Security and Safety: 2<sup>nd</sup> IEEE International Conference, 9—13 October 2006, Istanbul, Turkey: Proceedings — X., 2006. — P. 271—276.
6. Tarr C. J. CLASP: a Computerised Aid to Cost Effective Perimeter Security / C. J. Tarr // Security Technology: IEEE International Conference, 14 — 16 October 1992, Carnahan, USA: Proceedings — X., 1992. — P. 164—168. — ISBN 0-7803-0568-X.
7. Магауенов П. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: [учебное пособие] / П. Г. Магауенов. — М.: Горячая линия, 2004. — 367 с. — ISBN 5-93517-147-3.
8. Perimeter Security Sensor Technologies Handbook / Electronic Security Systems Engineering Division — South Carolina, USA: 1997. — 107 P. — Book access type: <http://www.nlectc.org/perimetr/Hb-Word.doc>.
9. Протипожежні та охоронні системи фірми Siemens Building Technologies. — Режим доступу: [http://siemens.picon.ru/ir80/Product\\_release\\_pack\\_09](http://siemens.picon.ru/ir80/Product_release_pack_09) — 2002.doc
10. Daponte P. Artificial Neural Networks in Measurements / P. Daponte, D. Grimaldi // Measurements, — 1998. — Vol. 23. — P. 93—115.
11. Bykovyy P. Genetic Algorithm Implementation for Perimeter Security Systems CAD / P. Bykovyy, V. Kochan, A. Sachenko, G. Markowsky // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'07): 4<sup>th</sup> IEEE International Workshop, 6 — 8 September 2007, Dortmund, Germany: Proceedings — IX., 2007. — P. 634—638. — ISBN 1-4244-1348-6.
12. EVOCOM — Matlab інструмент еволюційного обчислення. — Режим доступу: <http://www.dacya.ucm.es/evocom>.
13. Turchenko I. Database Design for CAD System Optimising Distributed Sensor Networks for Perimeter Security / I. Turchenko, V. Turchenko, V. Kochan, P. Bykovyy, A. Sachenko, G. Markowsky // Software Engineering and Applications: 8<sup>th</sup> IASTED International Conference, 9—11 November 2004, MIT, Cambridge, MA, USA: Proceeding — XI., 2004. — P. 59—64.
14. Чирков А. Ю. О многокритериальной задаче целочисленного линейного программирования / А. Ю. Чирков, В. Н. Шевченко, Н. Ю. Золотых // Дискретный анализ и исследование операций. — 2005. Т. 12, № 2. — С. 72—84.
15. Fonseca C. M. Genetic algorithms for multiobjective optimization: formulation, discussion, and generalization / C. M. Fonseca, P. J. Fleming // Genetic Algorithms: 5<sup>th</sup> International Conference, — 1993: — Proceedings, — 1993. — P. 416—423.
16. João Alves Maria. Stability analysis of efficient solutions in multiobjective integer programming: A case study in load management / Maria João Alves, João Climaco, Carlos Henggeler Antunes, Humberto Jorge, António G. Martins // Computers and Operations Research. — 2008. — Vol. 35, Issue 1. — P. 186 — 197.

Рекомендована кафедрою автоматички та інформаційно-вимірювальної техніки

Надійшла до редакції 21.10.08  
Рекомендована до друку 20.11.08

**Биковий Павло Євгенович** — аспірант.

Кафедра інформаційно-обчислювальних систем та управління, Тернопільський національний економічний університет