

УДК 355.45

І.А. Таран

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ УГРУПОВАННЯ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

В роботі запропоновані методичні підходи щодо використання генетичного алгоритму для синтезу раціональної структури системи розвідки угруповання протиповітряної оборони. Структура системи розвідки представляється у вигляді матриці інцидентності, яка використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Розрахунок значень ефективності ведення бойових дій для кожного варіанту структури пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму.

Ключові слова: генетичний алгоритм, штучний інтелект, оптимізація, маршрут, система розвідки, вогневий засіб, засіб розвідки, пункт управління.

Вступ

Постановка проблеми. Для успішного ведення протиповітряної оборони (ППО) необхідно створити таку систему ППО, яка б забезпечувала задану ефективність відбиття повітряних ударів та прикриття об'єктів при всіх можливих варіантах дій повітряного противника.

Ефективне функціонування системи ППО залежить від її структури та структури її підсистем, а також від відповідності цих структур умовам навколишньої обстановки, насамперед, замислу дій повітряного противника (ПП). Методики синтезу раціональних структур системи ППО, розроблені до теперішнього часу, в основному використовують як вихідні дані обмежену кількість можливих варіантів дій противника, що пояснюється складністю та великим обсягом розрахунків, які необхідно провести для визначення відповідних кожному варіанту дій противника структур. Як наслідок, синтезовані структури системи ППО та її підсистем можуть не відповідати замислу повітряного противника та виявляються неефективними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій в даній предметній області [1, 2] показав, що в загальному вигляді існуючі методики визначення раціональної структури системи ППО та її підсистем включають:

визначення можливих варіантів дій повітряного противника;

визначення можливих варіантів побудови системи ППО та її підсистем та варіантів дій своїх військ;

моделювання бойових дій для кожної пари "варіант ведення бойових дій повітряним противником – варіант ведення ППО", оцінка ефективності ведення ППО, вибір варіанту дій своїх військ та структур системи ППО та її підсистем, що задовольняють заданим критеріям.

Варіанти дій повітряного противника або задаються дослідником на основі інтуїтивних уявлень про його можливий характер дій, або можуть визначатись в ході моделювання [1]. При цьому, як зазначено вище, кількість варіантів обмежена із-за великого обсягу розрахунків, що проводяться в ході моделювання.

В [3] запропонований метод зменшення невизначеності інформації про замисел дій повітряного противника в ході ведення протиповітряної оборони, де за допомогою методів теорії нечітких множин із розвідувальних даних про повітряного противника отримується вектор динамічних пріоритетів об'єктів удару, який дозволяє з певним ступенем довіри визначити перелік об'єктів удару. Слід зауважити, що результати досліджень [3] можуть бути використані для розпізнавання напрямків та об'єктів удару ЗПН безпосередньо в ході повітряного удару, що, із-за браку часу, затруднює уточнення прийнятого рішення та проведення інших заходів з ППО.

В [4] наведені методичні підходи щодо оптимізації просторової структури розвідувальної підсистеми системи ППО. При цьому небезпека нападу ПП з кожного напрямку вважається однаковою, що дещо зменшує межі застосування отриманих в [4] результатів.

В даній статті запропоноване використання генетичного алгоритму для синтезу раціональної структури системи розвідки угруповання ППО. Перевагами генетичного алгоритму є відсутність вимог до виду цільової функції, а також, те, що на кожній ітерації аналізується множина рішень, що дозволяє детально досліджувати простір пошуку і значно скоротити час на пошук раціонального варіанту [5]. Важливою перевагою генетичного алгоритму також являється можливість розпаралелювання з використанням багатопроцесорних систем. При цьому головний процесор керує генетичним пошуком, а на підпорядкованих процесорах здійснюється розрахунок

значень цільової функції. Це приводить до підвищення швидкодії генетичного алгоритму, що актуально, особливо при дослідженні складних систем.

Тому **метою статті** є розробка методичних підходів щодо синтезу раціональної структури системи розвідки угруповання ППО з використанням генетичного алгоритму.

Виклад основного матеріалу

В загальному випадку існує безліч варіантів дій повітряного противника. Очевидно, що з усіх можливих варіантів ведення бойових дій повітряний противник буде обирати найбільш ефективні. Ефективність кожного варіанту дій противника буде залежати, в тому числі, і від структури системи розвідки. Якщо взяти до уваги те, що елементи системи ППО та її підсистем, як правило, викриваються противником до початку бойових дій, можливо стверджувати, що раціональною структурою системи розвідки S_{opt} являється структура, яка забезпечує мінімальну ефективність ведення бойових дій повітряним противником при умові вибору ним найбільш ефективного варіанту дій в існуючих умовах обстановки (при структурі системи розвідки S_{opt}), або:

$$E(S_{opt}, Z(S_{opt}), P) = \min_{S \in \Omega} \max_{Z \in \Psi} E(S, Z(S), P), \quad (1)$$

де Ω – множина можливих структур системи розвідки; $S \in \Omega$ – можлива структура системи розвідки; Ψ – множина можливих варіантів дій ПП; $Z(S) \in \Psi$ – варіант дій повітряного противника, визначений для структури S системи розвідки; P – сукупність інших умов обстановки; $E(S, Z(S), P)$ – показник ефективності ведення бойових дій (цільова функція).

Застосування відомих математичних методів класичної теорії оптимізації [6] для визначення раціональної структури системи розвідки неможливе, насамперед, із-за складності математичного опису виразу для показника ефективності (1). Для визначення S_{opt} можливо використовувати метод перебору. При цьому для всіх можливих структур системи розвідки при незмінних інших умовах розпізнаються варіанти дій ПП та оцінюється ефективність ведення бойових дій угрупованням ППО.

На практиці використання методу перебору ускладнене із-за великої кількості можливих варіантів структур. В даній статті для пошуку раціональної структури системи розвідки використовується генетичний алгоритм.

Сутність генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм [5] заснований на ідеї еволюції за допомогою природного відбору та по суті являє собою штучну імітацію таких властивостей живої природи, як природний відбір, пристосованість до змінюваних умов середовища, спадкоємність нащадками властивостей батьків і та ін.

Сутність генетичного пошуку полягає в циклічній заміні однієї популяції наступною, більш пристосованою. Можна вважати, що вся популяція складається в часі з дискретних поколінь $\Omega^{(0)}, \Omega^{(1)}, \Omega^{(2)}, \dots, \Omega^{(T)}$. Покоління $\Omega^{(t+1)}$ – це сукупність особин, батьки яких належать поколінню $\Omega^{(t)}$. Покоління $\Omega^{(0)}$ є початковою популяцією. Процес формування покоління $\Omega^{(t)}$ називається *ініціалізацією*. Кожне наступне покоління є результатом циклу роботи генетичного алгоритму.

Для кожної особини поточного покоління визначається значення цільової функції, яке характеризує пристосованість особини. У ході *відбору (селекції)* найменш пристосовані особини гинуть, а найбільш пристосовані дістають можливість відтворити нащадків у ході попарного *схрещування*. Це приводить до появи нових особин, які наслідують від батьків деякі властивості. Таким чином, з покоління в покоління, гарні властивості розповсюджуються по всій популяції. Для підвищення різноманітності пошуку і більш повного дослідження простору пошуку застосовується *мутація* – введення в популяцію нових особин. Зрештою, популяція збігатиметься до найбільш пристосованої особини (до оптимального рішення).

Для використання властивостей особин популяції у генетичному алгоритмі ці властивості подаються в закодованому вигляді – у вигляді *хромосоми*. Хромосома являє собою сукупність *генів*, кожний з яких зберігає певну властивість (ознаку, характеристику) особини. В залежності від того, які властивості необхідно закодувати і, відповідно, які значення можуть приймати гени, розрізняють бінарні, числові та векторні хромосоми, а в залежності від структури простору пошуку хромосоми можуть бути одно-, дво- або багатомірними. Таким чином, генетичні оператори (схрещування, мутації, відбору) здійснюють перетворення хромосом без використання інформації про внутрішню структуру об'єкта досліджень.

Визначення, допущення та обмеження. В межах статті використовувались наступні визначення, допущення та обмеження.

Система розвідки – це організоване та узгоджене за метою, завданнями, простором та часом поєднання зон виявлення засобів розвідки (ЗР), пунктів управління, що розгорнуті в бойовий порядок і поєднані в єдину мережу для виконання бойового завдання, яке полягає у виявленні повітряного противника і наданні бойової інформації вогневим засобам (ВЗ) ППО. Пункт управління (ПУ) здійснює збір розвідувальних даних від ЗР, їх обробку, видачу бойової інформації на ВЗ.

Структура системи розвідки – це сукупність елементів системи розвідки (ЗР, ПУ), а також управляючих та інформаційних зв'язків між ЗР та

ПУ (внутрішніх зв'язків), а також між ПУ та ВЗ (зовнішніх зв'язків).

На рис. 1 наведений варіант структури системи розвідки, елементами якої є два ЗР (1, 2) та два ПУ (3,4). Елементи системи розвідки поєднані зв'язками (показані пунктирними стрілками) між собою та з трьома вогневыми засобами (5 – 7).

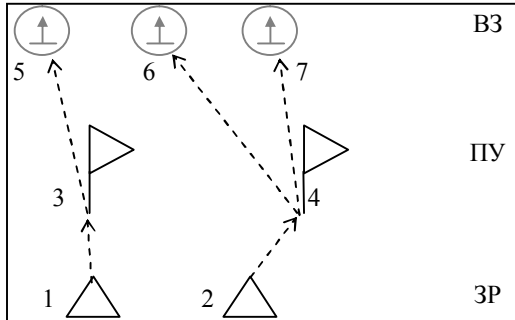


Рис. 1. Приклад структури системи розвідки

Представлення структури системи розвідки у вигляді хромосоми.

При застосуванні генетичного алгоритму для синтезу раціональної структури системи розвідки необхідно представити цю структуру у вигляді хромосоми, яка по суті являє собою математичну модель інформаційної системи з відображенням її елементів та суттєвих зв'язків між ними.

Відомо [1, 2], що достатньо адекватною для вирішування задачі дослідження інформаційної структури є математична модель, яка зображується у вигляді матриці інцидентності, у якій номери рядків відповідають номерам джерел інформації, а номери стовпців – номерам споживачів інформації. Елементи на перетині рядків та стовпців набувають значення характеристики інформаційного зв'язку, що з'єднує відповідне джерело інформації з відповідним споживачем. При числових розрахунках також виникає необхідність використання різновиду матриці інцидентності – ортонормованої матриці інцидентності, в якій значення елементів можуть набувати значення 0 або 1. Така матриця може бути використана у тому випадку, якщо для дослідження є необхідність визначити наявність інформаційних зв'язків між відповідними елементами структури системи без визначення характеристики зв'язку.

Приклад ортонормованої матриці інцидентності для структури системи розвідки, наведеної на рис. 1, має вигляд:

		споживачі інформації					
		3	4	5	6	7	
S =	джерела інформації	1	0	0	0	0	(2)
	2	0	1	0	0	0	
	3	0	0	1	0	0	
	4	0	0	0	1	1	

Ортонормована матриця інцидентності (2) являється двомірною бінарною хромосомою і може використовуватись для представлення структури системи розвідки в генетичному алгоритмі. В загальному випадку структура хромосоми може бути і іншою. Це буде визначатись змістом задачі, що вирішується. При визначенні числового значення характеристики зв'язків між елементами структури необхідно використовувати числові хромосоми, якщо ж визначається значення декількох характеристик зв'язку, необхідно використовувати векторну хромосому.

На рис. 2 наведена схема роботи генетичного алгоритму. Пояснимо роботу окремих елементів алгоритму докладніше.

Ініціалізація початкової популяції.

При ініціалізації початкової популяції $\Omega^{b(0)}$ випадковим чином створюються N_b хромосом – матриць виду (2). При цьому необхідно враховувати обмеження на вигляд матриць (2), що будуть визначатись характером задачі, що вирішується, наприклад:

на вогневий засіб поступає бойова інформація тільки від одного ПУ – це означає, що у відповідних стовбцях матриці може бути тільки одна одиниця, інші елементи стовбців – нулі;

засіб розвідки надає розвідувальні дані тільки на один ПУ – це означає, що у відповідних рядках матриці може бути тільки одна одиниця, інші елементи рядків – нулі;

пункт управління може отримувати і обробляти розвідувальні дані не більше ніж від $N_{ЗРmax}$ засобів розвідки та надавати бойову інформацію не більше ніж $N_{ВЗmax}$ вогневим засобам.

Застосування операторів схрещування та мутації.

При схрещуванні хромосоми поточної популяції $\Omega^{b(t)}$ випадковим чином розбиваються на пари. Оператор схрещування здійснює обмін генів хромосом кожної пари. В результаті формується популяція хромосом–нащадків $\Omega^{c(t)}$ чисельністю N_c . Схрещування потрібно виконувати з урахуванням обмежень на вигляд матриці (2), щоб в результаті не отримати хромосоми, відповідні яким структури створити неможливо. В прикладі, наведеному нижче (рис. 3), застосований блочний оператор схрещування для двомірних хромосом. При схрещуванні хромосоми здійснюють обмін генами, розташованими на ділянці, положення якої визначається випадковим чином з врахуванням наведених вище обмежень.

Також обмеження на вигляд хромосоми повинні враховуватись при застосуванні оператора мутації, який полягає в заміні одного або декількох генів хромосоми, вибраної випадковим чином з множини $\Omega^{b(t)}$, на протилежне значення, що стосовно досліджуваної структури системи розвідки означає створення або ж видалення зв'язків між її елементами. В

результаті у кожному циклі генетичного алгоритму формується популяція хромосом-мутантів $\Omega^{m(t)}$.

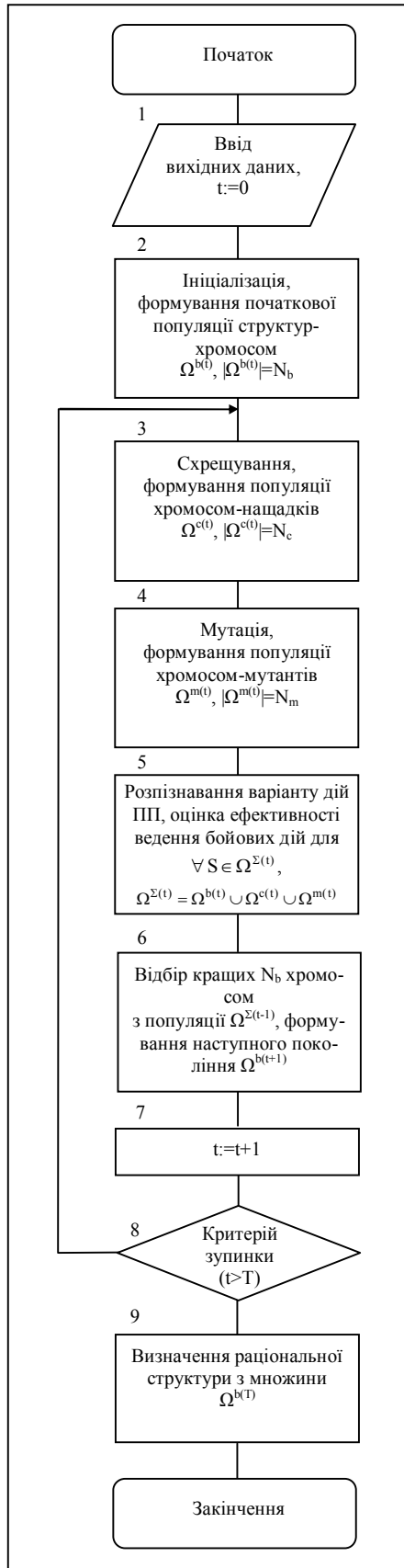


Рис. 2. Схема генетичного алгоритму при визначенні раціональної структури системи розвідки

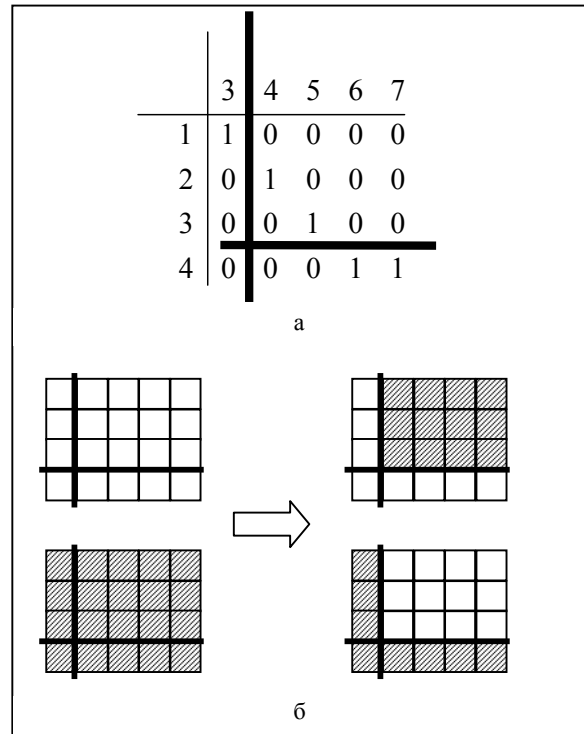


Рис. 3. Блочний оператор схрещування а – визначення ділянки обміну генів двомірних хромосом; б – приклад застосування оператора схрещування

Розпізнавання варіанту дій ПП та оцінка ефективності ведення бойових дій при структурі системи розвідки $S \in \Omega^{\Sigma(t)}$, де $\Omega^{\Sigma(t)} = \Omega^{b(t)} \cup \Omega^{c(t)} \cup \Omega^{m(t)}$, здійснюється або з використанням відомих методик [1], або з використанням мультиагентного алгоритму, запропонованого в [7,8]. На кожному t-му циклі роботи генетичного алгоритму для кожної хромосоми S множини $\Omega^{\Sigma(t)}$ розпізнається варіант дій ПП та оцінюється ефективність ведення бойових дій у групування ППО.

Наступним кроком циклу генетичного алгоритму є *відбір* кращих N_b хромосом з популяції $\Omega^{\Sigma(t)}$ за значенням цільової функції (1). Отримані хромосоми утворюють нову популяцію $\Omega^{b(t+1)}$, яка являється початковою для наступного циклу генетичного алгоритму.

Після виконання T циклів робота генетичного алгоритму припиняється. Аналіз значень цільової функції (1) для отриманої множини хромосом $\Omega^{b(T)}$ дозволяє визначити одну чи декілька раціональних структур системи розвідки у групування ППО.

Висновки

Таким чином, у статті запропоновані методичні підходи щодо синтезу структури системи розвідки у групування ППО з використанням генетичного алгоритму.

Структура системи розвідки представляється у вигляді двомірної матриці інцидентності. Ця матри-

ця використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Елементи матриці інцидентності, що описують зв'язки між елементами структури системи розвідки, у генетичному алгоритмі являються генами.

В кожному циклі генетичного алгоритму здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини генів, що для досліджуваної системи розвідки означає появу та знищення відповідних зв'язків між елементами.

Розрахунок значень цільової функції (ефективності ведення бойових дій) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій повітряного противника.

Подальші дослідження можуть бути направлені на розробку методик синтезу раціональної структури системи розвідки угруповання ППО з використанням генетичного алгоритму з визначенням складу елементів системи та їх розташування на місцевості.

Список літератури

1. Моделирование бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): моногр. / [В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко] – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.

2. Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності (теорія, практика, тенденції розвитку): моногр. / [А.Я. Торочин, І.О. Кириченко, М.О. Єрмошин, Г.А. Дробаха, М.П. Долина] – Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

3. Тристан А.В. Метод зниження рівня невизначеності при плануванні та веденні бойових дій угрупованням Повітряних Сил / А.В. Тристан // Системи обробки інформації – Х.: НАНУ, ПАИМ, ХУПС. – 2008. – Вип. 5(72). – С. 13-18.

4. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: моногр. / С.П. Ярош; за ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.

5. Суботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейромережних моделей: моногр. / С.О. Суботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник; під заг. ред. С.О. Суботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.

6. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [2-е изд. стер.] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

7. Таран І.А. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника / Г.В. Худов, І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 3(43). – С. 179-185.

8. Таран І.А. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника з урахуванням наряду засобів повітряного нападу / Г.В. Худов, І.А. Таран, О.А. Заболотний // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 3(20). – С. 61-63.

Надійшла до редколегії 22.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ ГРУППИРОВКИ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

І.А. Таран

В работе предложены методические подходы к использованию генетического алгоритма для синтеза рациональной структуры системы разведки группировки противовоздушной обороны. Структура системы разведки представляется в виде матрицы инцидентности, которая используется как хромосома операторами генетического алгоритма. Расчет значений эффективности ведения боевых действий для каждого варианта структуры предлагается осуществлять с использованием мультиагентного алгоритма.

Ключевые слова: генетический алгоритм, искусственный интеллект, оптимизация, маршрут, система разведки, огневое средство, средство разведки, пункт управления.

METHOD OF SYNTHESIS OF RATIONAL STRUCTURE OF AIR DEFENSE GROUPING INTELLIGENCE SYSTEM WITH USING GENETIC ALGORITHM

I.A. Taran

The paper proposed the use of genetic algorithm to synthesis of rational structure of air defense grouping intelligence system. Structure of intelligence system is made as chromosome for use by genetic algorithm operators. It is proposed to use multiagent algorithm to estimate the effect of battle.

Keywords: genetic algorithm, artificial intelligence, optimization, flight path, reconnaissance system, fire means, reconnaissance means, command operations center.