

УДК 355.45

І.А. Таран

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ – ОБ'ЄКТІВ УДАРУ З ВИКОРИСТАННЯМ МІНІМАКСНОГО МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ

В роботі запропонована методика визначення елементів системи протиповітряної оборони – об'єктів удару з використанням мінімаксного мурашиного алгоритму. З використанням запропонованої методики також визначаються маршрути польоту засобів повітряного нападу до об'єктів прикриття та до елементів системи протиповітряної оборони – об'єктів удару та послідовність їх поразення. Наведені результати розрахунків.

Ключові слова: мультиагентний алгоритм, штучний інтелект, оптимізація, маршрут польоту, система протиповітряної оборони, засіб повітряного нападу, об'єкт удару.

Вступ

Постановка проблеми. Для забезпечення виконання системою протиповітряної оборони (ППО) своїх функцій необхідно створити таку систему ППО, яка б забезпечувала задану ефективність при всіх можливих варіантах дій повітряного противника (ПП). Для можливих варіантів дій ПП органами управління визначаються варіанти дій своїх військ та раціональна структура системи ППО, які забезпечують задану ефективність виконання завдань. Аналіз останніх досліджень і публікацій в даній предметній області [1 – 4] показав, що в загальному вигляді існуючі методики визначення раціональної структури системи ППО та її підсистем включають:

визначення можливих варіантів дій ПП. Варіанти дій ПП або задаються дослідником на основі інтуїтивних уявлень про його можливий характер дій, або можуть визначатись згідно методики [1];

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

моделювання бойових дій для кожної пари "варіант ведення бойових дій ПП – варіант ведення ППО", оцінка ефективності ведення ППО, вибір варіанту дій своїх військ та структури системи ППО, що задовольняє заданим критеріям.

При цьому, як правило, розглядається обмежена кількість можливих варіантів дій ПП, що пояснюється складністю та великим обсягом розрахунків, які необхідно провести для визначення відповідних кожному варіанту дій ПП найбільш ефективних варіантів дій своїх військ та раціональної структури системи ППО.

В загальному випадку існує безліч варіантів дій ПП. Очевидно, що з усіх можливих варіантів ведення бойових дій ПП буде обирати найбільш ефективні. Ефективність кожного варіанту дій ПП

буде залежати, в тому числі, і від варіанту побудови системи ППО. Якщо взяти до уваги те, що об'єкти системи ППО, як правило, викриваються ПП до початку бойових дій, доцільно визначати (точніше, розпізнавати) варіант дій ПП виходячи з побудови системи ППО, а не навпаки. При цьому, оптимальним варіантом побудови системи ППО буде варіант, який забезпечує мінімум ефективності виконання завдань ПП при умові вибору ним найбільш ефективного варіанту дій в існуючих умовах обстановки, або [5]:

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

де Ω – множина можливих структур системи ППО та її підсистем;

$S_T \in \Omega$ – уявлення ПП про структуру системи ППО та її підсистем;

Ψ – множина можливих замислів удару ПП;

$Z(S_T) \in \Psi$ – замисел удару ПП, визначений ним на основі його уявлення S_T щодо побудови системи ППО. В загальному випадку на замисел ПП будуть впливати і інші умови обстановки, їх сукупність позначена як P ;

$(E(Z(S_T), S, P))$ – показник ефективності удару ПП.

Застосування відомих математичних методів дослідження операцій для визначення оптимальної структури системи ППО за (1) неможливе через складність математичного опису цільової функції та обмежень. Тому існує необхідність розробки нових методів і алгоритмів, які забезпечують оперативне визначення ефективності ударів ПП при різних варіантах побудови системи ППО, розпізнати замисел ПП, що дозволить розробити методи і алгоритми синтезу раціональної структури системи ППО і її підсистем.

В останні роки набувають розвитку мультиагентні методи штучного інтелекту, до яких відноситься мурашиний алгоритм, запропонований М. Доріго в 1992 році [6]. Переваги алгоритму (такі, як, наприклад, швидкодія) спонукали до проведення досліджень [7, 8] щодо використання мультиагентних алгоритмів для розпізнавання маршрутів польотів засобів повітряного нападу (ЗПН) до об'єктів удару.

Метою даної статті є розробка методики визначення елементів системи протиповітряної оборони – об'єктів удару з використанням мінімаксного мурашиного алгоритму. Припускається, що розроблені в статті положення можуть бути використані при розробці методів і алгоритмів синтезу раціональної структури системи ППО і її підсистем.

Виклад основного матеріалу

При розробці методики використовувались наступні допущення:

вважаємо відомим перелік об'єктів прикриття (ОП), також для ОП визначені їх важливості у досягненні ПП мети ведення бойових дій;

під об'єктами удару – елементами системи ППО (далі – ОУППО) в даній роботі розуміємо об'єкти – елементи системи ППО, які створюють "зони небезпеки" (зони вогню, розвідки, подавлення) на маршрутах польоту ЗПН до об'єктів прикриття, і які будуть поразатись виділеними групами ЗПН зі складу ешелону прориву ППО ПП;

вважається, що як ОП, так і ОУППО, поразатись при виході на відповідні рубежі виконання завдання (РВЗ) відомої кількості (наряду) ЗПН ПП;

вважається, що удар ЗПН як по ОП, так і по ОУППО, здійснюється після поразення інших ОУППО, які створюють "зони небезпеки" (ЗН) на маршрутах польоту ЗПН; з усіх маршрутів польоту, які не проходять через ЗН (огинають ЗН), ПП вибере найкоротший; вибір варіанту "знищувати небезпечку" чи "облетіти" здійснюється ПП в ході порівняння значень показника затрат на подолання відповідних маршрутів польоту;

маршрут польоту ЗПН представляємо як сукупність наступних ділянок: ділянки зльоту з вихідної точки маршруту (ВТМ) та набору висоти, горизонтальних ділянок, на яких відбувається крейсерський політ, подолання зони ППО, вихід на об'єкт удару, ділянка зниження до рубежу виконання завдання (РВЗ) або кінцевої точки маршруту (КТМ).

Горизонтальні ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), в яких відбувається зміна курсу, а в загальному випадку, і висоти польоту.

Мультиагентні алгоритми, використані в даному дослідженні, ґрунтуються на імітації природних

механізмів самоорганізації колонії мурах (агентів). Самоорганізація системи забезпечується низькорівневою взаємодією агентів, при цьому агенти обмінюються тільки локальною інформацією, для передачі якої вони використовують спеціальний секрет, феромон, що відкладається агентом на своєму маршруті. Наступний агент, який буде знаходитись поблизу маршруту руху першого, сприймає феромон та з високою ймовірністю продовжить рух по шляху першого агента, в свою чергу відкладаючи феромон (підвищуючи його концентрацію на маршруті). Чим вище концентрація феромону на маршруті, тим вища привабливість цього маршруту для наступних агентів. Розподіл феромону в навколишньому середовищі являється динамічною пам'яттю системи. Кожний агент в певний момент часу сприймає та змінює одну гратку цієї пам'яті – рівень феромону в околі точки, в якій агент знаходиться.

З часом феромон випаровується, що забезпечує зворотній зв'язок. Оскільки, як зазначено вище, концентрація феромону буде поступово збільшуватись на вдалих маршрутах, а швидкість випаровування феромону є постійною, через деякий час невдалі маршрути зникнуть, і все більше агентів будуть здійснювати рух лише по вдалих маршрутах. Використання зворотного зв'язку (випаровування) попереджує завчасну сходимість рішень – вибір агентами одного і того ж субоптимального маршруту.

В оригінальному мурашиному алгоритмі в кожній ітерації M агентами здійснюється пошук рішення (найкращого маршруту) та оновлення феромонів на знайденому маршруті.

Кожний m -й агент починає шлях з ВТМ (аеродрому базування ЗПН), послідовно проходить вибрані алгоритмом поворотні точки маршруту (ПТМ) і завершує шлях на РВЗ (в одній з КТМ).

Вибір ПТМ (КТМ) з J можливих здійснюється на основі ймовірнісного правила, що визначає ймовірність переходу m -го агента в i -ту ПТМ з врахуванням привабливості i -ої ділянки маршруту L_i та концентрації феромонів на цій ділянці F_i в момент часу t таким чином:

$$P_i^m(t) = \frac{F_i(t)^\alpha \cdot L_i^\beta}{\sum_{j=1}^J F_j(t)^\alpha \cdot L_j^\beta}, \quad (1)$$

де α і β – параметри, що задають вагу феромона і доступності ділянки, відповідно.

На початку ітераційного процесу кількість феромону на ділянках маршруту приймається однаковою і рівною деякому невеликому числу F_0 .

Після кожної ітерації концентрація феромонів на вибраних агентами ділянках оновлюється за правилом:

$$F_i(t+1) := (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m,$$

де $\rho \in [0,1]$ – швидкість випаровування феромону;

ΔF_i^m – концентрація феромону на i -й ділянці маршруту, що створюється проходженням m -го агента.

Розвитком оригінального мурашиного алгоритму являється мінімакний мурашиний алгоритм (Min-max Ant system - MMAS) [9], який і буде застосовуватись в подальших дослідженнях. Його характерними особливостями є те, що тільки найкращі агенти підвищують рівень феромону на своїх маршрутах, а також те, що рівень феромону на маршрутах обмежений.

Оновлення рівня феромону на маршрутах здійснюється за правилом:

$$F_i(t+1) = [(1-\rho)F_i(t) + \Delta F_i^{\text{best}}]_{F_{\min}}^{F_{\max}},$$

де F_{\max} та F_{\min} – верхня та нижня межі рівня феромону;

$[x]_b^a$ – оператор, який визначається як:

$$[x]_b^a = \begin{cases} a, & \text{якщо } x > a; \\ b, & \text{якщо } x < b; \\ x & \text{в інших випадках,} \end{cases}$$

а ΔF_i^{best} визначається як:

$$\Delta F_i^{\text{best}} = \begin{cases} 1/D_{\text{best}}, & \text{якщо } i - \text{найкоротший} \\ \text{маршрут в ітерації,} \\ 0 & \text{в інших випадках,} \end{cases}$$

а D_{best} – довжина найкоротшого маршруту в ітерації.

Привабливість ділянки маршруту L_i в (1) обернено пропорційна затратам на подолання ділянки C_i ,

$$L_i = \frac{1}{C_i}, \quad (3)$$

а затрати на подолання ділянки в мурашиному алгоритмі залежать тільки від його довжини, тобто

$$C_i = D_i, \quad (4)$$

де D_i – довжина i -ї ділянки маршруту.

Відповідно, значення сумарних затрат на подолання всього маршруту, яке використовується для порівняння маршрутів, визначається як

$$C = \sum_{i=1}^I C_i,$$

В [8] запропоновано при визначенні затрат на подолання ділянки маршруту L_i враховувати наряд ЗПН, призначений для поразення ОП. В цьому випадку:

$$C_i = D_i \cdot N_{\text{ЗПН.к}}. \quad (5)$$

де $N_{\text{ЗПН.к}}$ – наряд ЗПН, призначений для поразення k -го ОП.

Прирошення рівня феромону ΔF_i^{best} визначається як:

$$\Delta F_i^{\text{best}} = \begin{cases} 1/(D_{\text{best}} \cdot N_{\text{ЗПН.к}}), & \text{якщо } i - \\ \text{найкоротший маршрут в ітерації,} \\ 0 & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (6)$$

Необхідно зауважити, що в дослідженнях, проведених в [7, 8], затрати на подолання ділянки L_i , що проходить через ЗН, дорівнюють ∞ , відповідно доступність цієї ділянки L_i дорівнює нулю.

У випадку проходження ділянки маршруту через хоча б одну ЗН алгоритм MMAS "відбраковує" відповідний маршрут та переходить до розгляду наступного. У випадку, якщо елементи системи ППО створюють суцільну ЗН, у якій відсутні розриви, алгоритм не знайде оптимального рішення.

У даній роботі використовується інший підхід до розрахунку затрат на подолання ділянки, що проходить через ЗН. Згідно зробленого вище припущення у тому випадку, якщо маршрут польоту ЗПН проходить через ЗН, створені об'єктами системи ППО, відповідні ОУППО будуть попередньо знищуватись виділеними нарядами ЗПН. У цьому випадку затрати на подолання ділянки маршруту з ЗН будуть складатись з затрат на знищення ОУППО, що створюють ці ЗН, та затрат на подолання тієї ж ділянки маршруту при відсутності ЗН, тобто:

$$C_i^* = C_i + \sum_{j=1}^J C_{ji.\text{ППО}}, \quad (7)$$

де C_i^* – затрати на подолання i -ї ділянки маршруту з урахуванням наявності ЗН;

C_i – затрати на подолання i -ї ділянки при відсутності ЗН, що розраховуються за (5);

J – кількість ОУППО, що створюють ЗН на i -й ділянці маршруту;

$C_{ji.\text{ППО}}$ – затрати на знищення j -го ОУППО з тих, що створюють ЗН на i -й ділянці маршруту.

Виникає питання – як визначити $C_{ji.\text{ППО}}$? Згідно зроблених вище припущень ОУППО являється об'єктом удару, для поразення якого виділяється група ЗПН зі складу ешелону прориву ППО, що базується на одному з аеродромів (ВТМ). Можливих варіантів польоту групи ЗПН до ОУППО безліч, з них противник буде вибирати ті, які забезпечать виконання завдань з найменшими затратами.

Для прокладання маршруту польоту "ВТМ – ОУППО" знову застосовуємо ММАС. Вибір ПТМ та КТМ на нових маршрутах здійснюється на основі ймовірнісного правила (1), розрахунок привабливості ділянок маршруту – за (3), для чого при відсутності на ділянці, що розглядається, ЗН, розраховуємо затрати на подолання ділянки маршруту за (5).

У тому випадку, якщо на ділянці є ЗН, для визначення затрат на подолання ділянки застосовуємо (7), при цьому для розрахунку затрат на знищення ОУППО знову використовуємо ММАС. Таким чином, методика включає проведення рекурсивної процедури, у ході виконання якої визначаються:

- маршрути польоту ЗПН до ОП;
- маршрути польоту ЗПН до ОУППО;

перелік ОУППО, які будуть поразатись в ході нанесення повітряного удару та послідовність їх поразення;

склад груп ударного ешелону та ешелону прориву ППО.

Аналіз можливих об'єктів прикриття, маршрутів польоту ЗПН та переліку ОУППО також дозволяє встановити положення смуги прориву системи ППО.

На рис. 1 – 3 показані результати реалізації запропонованої методики при різних варіантах побудови системи ППО.

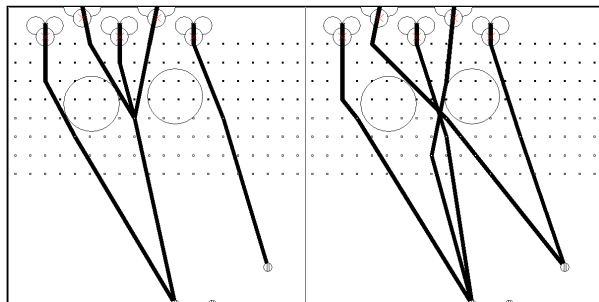


Рис. 1. Результати реалізації методики при першому варіанті побудови системи ППО

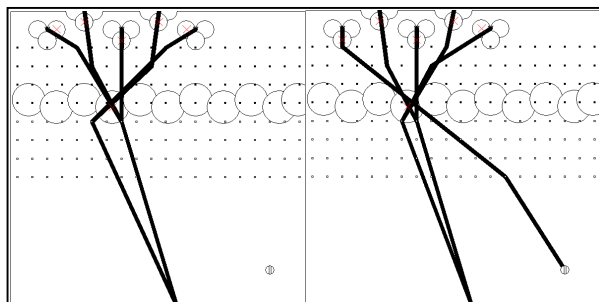


Рис. 2. Результати реалізації методики при другому варіанті побудови системи ППО

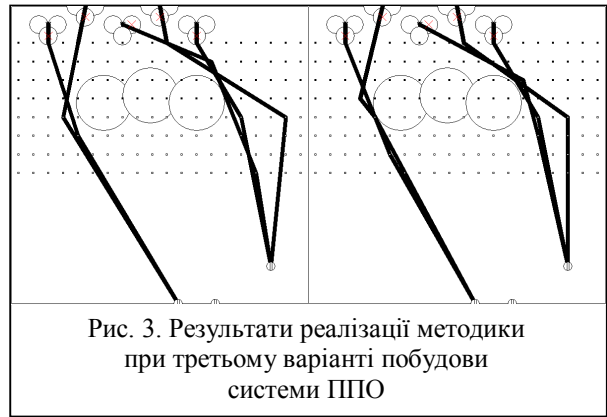


Рис. 3. Результати реалізації методики при третьому варіанті побудови системи ППО

Об'єкти прикриття показані трикутниками в верхній частині рисунку,

множини ПТМ1 та ПТМ2 – квадратами в середній частині рисунку (нижні чотири ряди – ПТМ1, верхні – ПТМ2),

ЗН – колами, поразені ОУППО перекреслюються.

Отримані в результаті застосування методики маршрути польоту груп ЗПН до ОП показані жирними лініями.

Для підвищення наочності маршрути польоту ЗПН до ОУППО не показані. Реалізація одного прогону відповідного алгоритму займала кілька секунд. Правильність проведених розрахунків перевірялась методом перебору варіантів, на це ПЕОМ витратила декілька годин.

Деякі відмінності отриманих результатів (положення маршрутів, визначення ВТМ) при одних і тих же вихідних даних пояснюються тим, що мінімакний мурашиний алгоритм є квазіоптимальним, і результатом його роботи є рішення, близьке до оптимального. Зазначене є скоріше перевагою запропонованої методики, оскільки дозволяє визначити декілька варіантів дій повітряного противника, кожний з яких може бути вибраним противником. Також слід зауважити, що переліки ОУППО при різних реалізаціях методики співпадають.

Висновки

Мультиагентні алгоритми знаходять широке застосування при проведенні наукових досліджень в різних областях знань. Даний напрям штучного інтелекту є молодим і ще мало дослідженим, проте мультиагентні алгоритми показують гарні результати при вирішенні самих різних задач оптимізації, що говорить про перспективність їх розвитку.

В даній роботі запропонована методика визначення елементів системи протиповітряної оборони – об'єктів удару повітряного противника з використанням різновидності мультиагентних алгоритмів – мінімаксного мурашиного алгоритму. Наведені результати досліджень дозволяють

зробити висновок про можливість застосування мінімаксного мурашиного алгоритму для визначення переліку об'єктів-елементів системи ППО, які будуть поражатись ЗПН повітряного противника в ході нанесення повітряних ударів, та послідовності їх поразення. Також застосування запропонованої методики дозволяє визначати маршрути польоту груп ЗПН до зазначених об'єктів-елементів системи ППО та об'єктів прикриття, склад груп ударного ешелону та ешелону прориву ППО. Аналіз отриманих результатів дозволить встановити положення смуги прориву системи ППО. При цьому результати отримувались оперативно, за декілька секунд. Швидкодія являється однією з переваг застосованого при розробці методики мінімаксного мурашиного алгоритму.

Результати застосування методики показали, що поряд з перевагами ММАС має і недоліки, які необхідно враховувати при проведенні подальших досліджень. Серед них:

складність теоретичного аналізу, оскільки підсумкове рішення формується в результаті послідовності випадкових рішень; дослідження є більш експериментальними, ніж теоретичними;

сильна залежність отриманих результатів від початкових параметрів (α , β), які підбираються експериментально.

Подальші дослідження можуть бути направлені на використання мультиагентних алгоритмів при визначенні раціональної структури системи ППО та її підсистем.

Список літератури

1. Моделирование бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): монографія / [Городнов В.П., Дробаха Г.А., Єрмошин М.О., Смірнов Є.Б., Ткаченко В.І.] – 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): монографія / [Городнич А.Я., Кириченко І.О., Єрмошин М.О., Дробаха Г.А., Долина М.П.] – Х.: ХУ ПС, 2006.

3. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов, Г.А. Дробаха та ін.; за ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова. – Х.: ХУ ПС, 2008. – 545 с.

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

5. Таран І.А. Формулювання задач синтезу раціональної структури системи протиповітряної оборони угруповання військ (сил) та її підсистем відповідно до замислу дій повітряного противника / І.А. Таран // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУ ПС, 2015. – №. 2(19). – С. 27-29.

6. Dorigo M. Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1996. – Part B, vol. 26, no. . – P. 29-41.

7. Худов Г.В. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника / Г.В. Худов, І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС, 2015. – №. 3(43). – С. 179-185.

8. Худов Г.В. 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.: ХУ ПС, 2015. – №. 3(20). – С. 61-63.

9. Stutzle T. MAX-MIN Ant System / T. Stutzle, H.H. Hoos // Future Generation Computer Systems. – 2000. – Vol. 16, no. 8. – P. 889-914.

Надійшла до редколегії 5.10.2015

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

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ – ОБЪЕКТОВ УДАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНИМАКСНОГО МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА

И.А. Таран

В работе предложена методика определения элементов системы противовоздушной обороны – объектов удара с использованием минимаксного муравьиного алгоритма. С использованием предложенной методики также определяются маршруты полета средств воздушного нападения к объектам прикрития к элементам системы противовоздушной обороны объектам удара и последовательность их поражения. Приведены результаты расчетов.

Ключевые слова: муравьиный алгоритм, искусственный интеллект, оптимизация, маршрут полета, система противовоздушной обороны, средство воздушного нападения, объект удара.

USING MIN-MAX ANT ALGORITHM TO DETERMINE AIR ENEMY PLAN TO DESTROY ELEMENTS OF AIR DEFENSE SYSTEM

I.A. Taran

The paper proposed the method of using the min-max ant algorithm to determine air enemy plan to destroy elements of air defense system. Using this method we can determine means of air attack flight paths. There are the results of the calculations.

Keywords: ant system, artificial intelligence, optimization, flight path, air defense system, means of air attack, object of air attack, penetration corridor.