

УДК 355.45

І. А. Таран, С. О. Стародубцев

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ УДАРУ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО АЛГОРИТМУ

Розроблено методичні підходи до визначення об'єктів удару повітряного противника з використанням мультиагентного алгоритму. Показана можливість визначення маршрутів польоту засобів повітряного нападу до об'єктів прикриття та до елементів системи протиповітряної оборони – об'єктів удару та послідовності їх ураження. Наведені результати розрахунків.

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

Постановка проблеми. У ході завдання удару з повітря сторона, яка завдає удар [далі – повітряний противник (ПП)], намагається досягнути певних цілей, для чого виділеними групами засобів повітряного нападу (ЗПН) зі складу ударного ешелону будуть уражуватися важливі адміністративно-політичні, промислові об'єкти, а також об'єкти військового призначення. Ці об'єкти є об'єктами прикриття (ОП) системи протиповітряної оборони (ППО).

Елементи системи ППО, які будуть здійснювати прикриття зазначених важливих об'єктів і при цьому самі не є об'єктами прикриття, у свою чергу, можуть бути об'єктами удару ПП і по них у ході завоювання переваги у повітрі будуть завдаватися удари виділеними групами ЗПН зі складу ешелону прориву ППО. У ході завоювання переваги у повітрі також будуть уражуватися елементи системи ППО, які не здійснюють прикриття важливих адміністративно-політичних, військових та промислових об'єктів, але здійснюють прикриття інших елементів системи ППО.

Визначення елементів системи ППО, по яких буде завдаватися удар у ході завоювання переваги у повітрі, є важливим завданням органів управління ППО. Розроблення відповідних методик та алгоритмів дозволить підвищити оперативність прийняття рішення, визначити доцільні способи виконання поставлених завдань, передбачити заходи щодо введення противника в оману, визначити заходи щодо відновлення боєздатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у зазначеній предметній області [1–4] засвідчив, що визначення об'єктів удару зі складу елементів системи ППО здійснюється, як правило, у ході моделювання бойових дій

військ (сил) ППО. При цьому зазвичай розглядається обмежена кількість можливих варіантів дій ПП, що пояснюється складністю та великим обсягом розрахунків, які необхідно провести при моделюванні бойових дій військ (сил) ППО для кожного варіанта дій ПП.

У методиках [5, 6] визначаються пріоритети об'єктів прикриття, тобто числові характеристики, які або визначаються у ході аналізу певного набору ознак об'єкта прикриття [5], або характеризують ступінь досягнення противником мети бойових дій при ураженні об'єкта [6]. При цьому елементи системи ППО, по яких буде завдаватися удар повітряний ПП, не визначаються.

Метою статті є розроблення методичних підходів до визначення об'єктів удару ПП зі складу елементів системи ППО з використанням відносно нового перспективного оптимізаційного методу – мультиагентного алгоритму. У статті прийнято, що ураження певного переліку як ОП, так і елементів системи ППО, вимагає від ПП за різних варіантів дій різних затрат. Запропоновано методичні підходи до визначення цих затрат. У ході порівняння рівня затрат для різних варіантів дій ПП здійснюється розпізнавання замислу дій ПП як такого варіанта дій, за якого затрати мінімальні, та визначаються елементи системи ППО, по яких буде завдаватися удар.

Виклад основного матеріалу.

Припущення та позначення. У межах цієї статті використовувалися такі припущення та позначення:

1) вважаємо відомим перелік об'єктів прикриття (ОП); об'єкти прикриття складають множину Ω_0 ;

2) під об'єктами удару – елементами системи ППО (далі – ОУППО) у цій статті розуміємо об'єкти – елементи системи ППО, які створюють “зони небезпеки” (ЗН) (зони вогню, розвідки, подавлення) на маршрутах польоту ЗПН до об'єктів прикриття і які будуть уражуватися виділеними групами ЗПН зі складу ешелону прориву ППО ПП;

3) ОУППО, які створюють ЗН на маршрутах польоту ЗПН до ОП, складають множину Ω_1 ; ОУППО, які створюють ЗН на маршрутах польоту ЗПН до ОУППО множини Ω_1 , складають множину Ω_2, \dots ; ОУППО, які створюють ЗН на маршрутах польоту ЗПН до ОУППО множини Ω_{z-1} , складають множину Ω_z ;

4) об'єктами удару ПП Ω вважаємо сукупність ОП та всіх ОУППО, тобто
$$\Omega = \bigcup_{z=0}^Z \Omega_z,$$
 де Z – кількість множин ОУППО, які створюють ЗН на маршрутах польоту ЗПН до ОП та інших ОУППО;

5) для всіх k вважаємо відомою кількість (наряд) ЗПН ПП $N_{ЗПН,k}$, необхідний для ураження k -го ОП (ОУППО), при виході на рубіж виконання завдання (РВЗ);

6) вважаємо, що ураження ОП та ОУППО (здійснюється після ураження інших ОУППО, які створюють “зони небезпеки” на маршрутах польоту ЗПН; з усіх маршрутів польоту, які не проходять через ЗН (огинають ЗН), ПП вибере найкоротший; вибір варіанта “знищувати небезпеку” чи “облетіти” здійснюється ПП у ході порівняння значень показника затрат на подолання відповідних маршрутів польоту;

7) маршрут польоту ЗПН подаємо як сукупність таких 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, ділянки зниження до рубежу виконання завдання (РВЗ) або кінцевої точки маршруту (КТМ). Горизонтальні ділянки проходять через поворотні точки маршруту (ПТМ), у яких відбувається зміна курсу, а в загальному випадку – і висоти польоту.

Сутність мультиагентного алгоритму. Мультиагентні алгоритми, використані у цьому дослідженні, ґрунтуються на імітації природних механізмів самоорганізації колонії

мурах (агентів) [7]. 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 знаходитися поблизу маршруту руху першого, сприймає феромон і з високою ймовірністю продовжить рух по шляху першого агента, у свою чергу, відкладаючи феромон (підвищуючи його концентрацію на маршруті). Чим вище концентрація феромона на маршруті, тим вище привабливість цього маршруту для наступних агентів. Розподіл феромона у навколишньому середовищі є динамічною пам'яттю системи. Кожний агент у певний момент часу сприймає та змінює одну гратку цієї пам'яті – рівень феромона в околі точки, в якій агент знаходиться.

Із часом феромон випаровується, що забезпечує зворотній зв'язок. Оскільки, як зазначено вище, концентрація феромона буде поступово збільшуватися на вдалих маршрутах, а швидкість випаровування феромона є постійною, через деякий час невдалі маршрути зникнуть, і дедалі більше агентів будуть здійснювати рух лише вдалими маршрутами. Використання зворотного зв'язку (випаровування) попереджує завчасну збіжність рішень – вибір агентами одного й того ж самого субоптимального маршруту.

У кожній ітерації запропонованого у цьому дослідженні мультиагентного алгоритму 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) із J можливих здійснюється на основі ймовірнісного правила, що визначає ймовірність переходу m -го агента в i -ту ПТМ з урахуванням привабливості i -ї ділянки маршруту L_i та концентрації феромонів на цій ділянці F_i у 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 (підбираються експериментально).

На початку ітераційного процесу кількість феромона на ділянках маршруту приймається однаковою і такою, що дорівнює деякому невеликому числу F_0 . Після кожної ітерації концентрація феромонів на вибраних агентами ділянках оновлюється за правилом

$$F_i(t+1) := (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (2)$$

де $\rho \in [0,1]$ – швидкість випаровування феромона; ΔF_i^m – концентрація феромона на i -й ділянці маршруту, що створюється проходженням m -го агента.

У цьому дослідженні застосована модифікація оригінального мурашиного алгоритму – мінімакний мурашиний алгоритм (Min-max Ant system – MMAS) [8]. Його характерними особливостями є те, що тільки найкращі агенти підвищують рівень феромона на своїх маршрутах, а також те, що рівень феромона на маршрутах обмежений, тобто:

$$\begin{aligned} \text{якщо } F_i(t+1) > F_{\max}, \text{ то } F_i(t+1) &:= F_{\max}, \\ \text{якщо } F_i(t+1) < F_{\min}, \text{ то } F_i(t+1) &:= F_{\min}, \end{aligned}$$

де F_{\max} та F_{\min} – верхня та нижня межі рівня феромона, що вибираються експериментально.

Привабливість ділянки маршруту L_i у класичному MMAS обернено пропорційна затратам на подолання ділянки C_i [8, 9]:

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

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

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

де D_i – довжина i -ї ділянки маршруту.

Особливості використання MMAS під час визначення об'єктів удару повітряного противника. Розробка методичних підходів, визначених метою статті, потребує модернізації MMAS для врахування специфіки завдань, що виконуються.

У [10] запропоновано під час визначення затрат на подолання ділянки маршруту L_i

ураховувати наряд ЗПН, призначений для ураження ОП. У цьому випадку

$$C_i = D_i \cdot N_{\text{ЗПН},k} \cdot S_l, \quad (5)$$

де $N_{\text{ЗПН},k}$ – наряд ЗПН, призначений для ураження k -го ОП (ОУППО); S_l – затрати на подолання одиниці довжини маршруту ЗПН l -го типу.

Необхідно зауважити, що у дослідженнях, проведених у [8, 10], затрати на подолання ділянки L_i , яка 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 і переходить до розгляду наступного. У разі, якщо елементи системи ППО створюють суцільну ЗН, у якій відсутні розриви, алгоритм не знайде оптимального вирішення.

У цьому дослідженні використовується інший підхід до розрахунку затрат на подолання ділянки, що проходить через ЗН. Згідно із прийнятим вище припущенням у тому випадку, якщо маршрут польоту ЗПН проходить через ЗН, створені об'єктами системи ППО, відповідні ОУППО будуть попередньо уражатися виділеними нарядами ЗПН. У цьому разі затрати на подолання ділянки маршруту з ЗН будуть складатися із затрат на знищення ОУППО, що створюють ці ЗН, та затрат на подолання тієї ж ділянки маршруту за відсутності ЗН, тобто

$$C_{\Omega_0}^* = C_{\Omega_0} + \min_{\Psi_1} C_{\Omega_1}^*, \quad (6)$$

де $C_{\Omega_0}^*$ – затрати на ураження об'єктів прикриття (з множини Ω_0) з урахуванням наявності ЗН; C_{Ω_0} – затрати на ураження об'єктів прикриття (з множини Ω_0) без урахування наявності ЗН; $C_{\Omega_1}^*$ – затрати на ураження ОУППО, що створюють ЗН на маршрутах польоту до об'єктів множини Ω_0 ; Ψ_1 – множина можливих маршрутів польоту ЗПН до об'єктів множини Ω_1 .

Під час визначення значення $C_{\Omega_1}^*$ виходимо з таких міркувань. Згідно із наведеними вище припущеннями ОУППО є об'єктом удару, для ураження якого виділяються групи ЗПН зі

складу ешелону прориву ППО, що базується на аеродромах (ВТМ). Можливих варіантів польоту груп ЗПН до ОУППО множина, із них противник буде вибирати ті, які забезпечать виконання завдань з найменшими затратами. Для прокладання маршрутів 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 за відсутності на ділянці, що розглядається, ЗН, розраховуємо затрати на подолання ділянки маршруту за (5). У тому випадку, якщо на ділянці є ЗН, визначення затрат на подолання ділянки здійснюємо як

$$C_{\Omega_1}^* = C_{\Omega_1} + \min_{\psi_2} C_{\Omega_2}^*, \quad (7)$$

де C_{Ω_1} – затрати на ураження ОУППО множини Ω_1 без урахування наявності ЗН; $C_{\Omega_2}^*$ – затрати на ураження ОУППО, що створюють ЗН на маршрутах польоту до об'єктів множини Ω_1 ; ψ_2 – множина можливих маршрутів польоту ЗПН до об'єктів множини Ω_2 .

При цьому для розрахунку затрат на знищення ОУППО знову використовуємо ММАС. Таким чином, на кожній z -й ітерації множина ОУППО збільшується на Ω_z . Крім множини об'єктів удару ПП запропоновані методичні підходи дозволять визначити маршрути польоту ЗПН до ОП, маршрути польоту ЗПН до ОУППО, послідовність ураження ОУППО, склад груп ударного ешелону та ешелону прориву ППО ЗПН ПП.

Схема визначення об'єктів удару ПП зображена на рис. 1.

На рисунку 2 подано результати реалізації запропонованої методики за різних варіантів побудови системи ППО.

Множини ПТМ1 та ПТМ2 показані рядами точок у середній частині рисунку (нижні чотири ряди – ПТМ1, верхні – ПТМ2), ЗН – колами, уражені ОУППО перекреслюються. Отримані в результаті застосування методики маршрути польоту груп ЗПН до ОП показано жирними лініями. Об'єкти прикриття (їх у прикладі п'ять) подано у верхній частині рисунку, кожен із них оточений трьома ЗН, до



Рис. 1. Схема визначення об'єктів удару

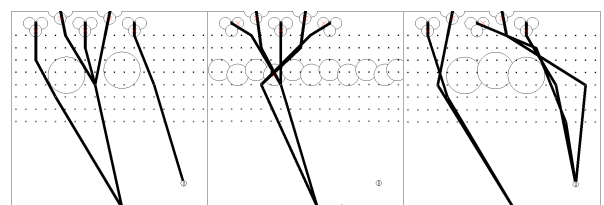


Рис. 2. Результати реалізації методики за різних варіантів побудови системи ППО

них прокладені маршрути. Для підвищення наочності маршрути польоту груп ЗПН зі складу ешелону прориву ППО до ОУППО не показані. Реалізація одного прогону відповідного алгоритму займала кілька секунд. Правильність проведених розрахунків перевірялася методом перебору варіантів, на це ПЕОМ витратила кілька годин. Деякі відмінності отриманих результатів (положення маршрутів, визначення ВТМ) при одних і тих же самих вихідних даних пояснюються тим, що мінімаксний мурашиний алгоритм є

квазіоптимальним, і результатом його роботи є рішення, близьке до оптимального. Зазначене є, скоріше, перевагою запропонованої методики, оскільки дозволяє визначити кілька варіантів дій повітряного противника, кожен із яких може бути вибраним противником. Також слід зауважити, що переліки ОУППО за різних реалізацій методики збігаються.

Висновки

Мультиагентні алгоритми знаходять широке застосування у процесі проведення наукових досліджень у різних областях знань. Цей напрям штучного інтелекту є молодим і ще малодослідженим, проте мультиагентні алгоритми показують гарні результати під час розв'язання найрізноманітніших задач оптимізації, що підтверджує перспективність їх розвитку.

У цій статті запропоновано методичні підходи до визначення 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 уражуватися ЗПН повітряного противника у ході завдання повітряних ударів, та послідовності їх ураження. Також застосування запропонованої методики дає змогу 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 установити положення смуги прориву системи ППО. При цьому результати отримувались оперативно, за декілька секунд. Швидкодія є однією з переваг застосованої у процесі розроблення методики мінімаксного мурашиного алгоритму.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на використання мультиагентних алгоритмів під час визначення раціональної структури системи ППО та її підсистем.

Список використаних джерел

1. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку) [Текст] : монографія / В. П. Городнов, Г. А. Дробаха, М. О. Єрмошин та ін. – 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) [Текст] : монографія / А. Я. Торопчин, І. О. Кириченко, М. О. Єрмошин та ін. – Х. : ХУПС, 2006. – 350 с.
3. Теорія прийняття рішень органами військового управління [Текст] : монографія / В. І. Ткаченко, Є. Б. Смірнов, Г. А. Дробаха та ін. ; за ред. В. І. Ткаченка, Є. Б. Смірнова. – Х. : ХУПС, 2008. – 545 с.
4. Ярош, С. П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони [Текст] : монографія / С. П. Ярош ; за ред. І. О. Кириченка. – Х. : ХУПС, 2012. – 512 с.
5. Городнов, В. П. Методика оцінки важности объектов, прикрываемых силами и средствами ПВО [Текст] / В. П. Городнов, С. В. Лазебник, В. Г. Малюга // Збірник наукових праць. – Х. : ХВУ, 2003. – Вип. 4 (47). – С. 8–12.
6. Смірнов, Є. Б. Методика визначення важливості об'єктів прикриття з використанням методу аналізу ієрархій / Є. Б. Смірнов, І. А. Таран, А. В. Тристан // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : зб. наук. пр. – Х. : ХУПС, 2014. – Вип. 2 (15). – С. 21–24.
7. M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni, "Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 29–41, 1996.
8. T. Stutzle and H. H. Hoos, "MAX-MIN Ant System," *Future Generation Computer Systems*, vol. 16, no. 8, pp. 889–914, 2000.

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

10. Худов, Г. В. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника з урахуванням наряду засобів повітряного нападу [Текст] / 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.

11. Суботін, С. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейромережних моделей [Текст] : монографія / С. О. Суботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник; за заг. ред. С. О. Суботіна. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. – 375 с.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2016 р.

Рецензент – доктор військових наук, професор Г. А. Дробаха, Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

УДК 355.45

І. А. Таран, С. А. Стародубцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕКТОВ УДАРА ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО АЛГОРИТМА

Предложены методические подходы к определению объектов удара воздушного противника с использованием мультиагентного алгоритма. Показана возможность определения маршрутов полета средств воздушного нападения к объектам прикрытия и элементам системы противовоздушной обороны – объектам удара и последовательности их поражения. Приведены результаты расчетов.

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

UDC 355.45

I. A. Taran, S. O. Starodubtsev

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

The paper proposed the method of using the multi-agent 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: multi-agent system, artificial intelligence, optimization, flight path, air defense system, means of air attack, object of air attack, penetration corridor.

Таран Ігор Андрійович – кандидат технічних наук, доцент, докторант Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Стародубцев Сергій Олександрович – кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри управління повсякденною діяльністю Національної академії Національної гвардії України