

УДК 355.45

І.А. Таран

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТІВ ПОЛЬОТУ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА БЕЗПОСЕРЕДНЬО ПОБЛИЗУ ОБ'ЄКТУ УДАРУ ПРИ ОДНАКОВІЙ АПРІОРНІЙ НЕБЕЗПЕЦІ НАПАДУ З КОЖНОГО НАПРЯМКУ

В роботі наведені результати досліджень щодо використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання можливих маршрутів польоту засобів повітряного нападу до об'єктів удару безпосередньо поблизу об'єкту удару при однаковій апріорній небезпеці нападу з кожного напрямку. Наведені результати розрахунків.

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

Вступ

Постановка проблеми. Розпізнавання замислу повітряного противника є важливим завданням органів управління угруповань військ, що вирішується в ході оцінки обстановки та визначення вихідних даних для прийняття рішення та планування протиповітряної оборони (ППО). Дії повітряного противника важко передбачити. Проте можливо стверджувати, що з множини можливих дій противник буде вибирати ті, які будуть забезпечувати високу ефективність повітряних ударів. Важливим при виборі раціональної структури системи ППО є визначення маршрутів польоту засобів повітряного нападу повітряного противника безпосередньо поблизу об'єкту, що прикривається.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що як найбільш ймовірні маршрути польоту засобів повітряного нападу (ЗПН) можуть обиратися найкоротші, для чого аеродроми базування ЗПН з'єднуються з об'єктами удару (ОУ) дугами великого кола [1, 2]. В [3] наведений метод використання нечітких множин для вирішення задачі кластеризації ЗПН і визначення напрямку дій ЗПН. В [4] на основі нечіткої класифікації здійснюється визначення напрямків удару ЗПН. В [5] 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, при цьому напрямки дій ЗПН повітряного противника визначаються безпосередньо в ході удару, що затрудняє уточнення рішення та планування ППО і робить неможливим своєчасне нарощування елементів системи ППО на загрозливих напрямках.

В останні роки набувають розвитку мультиагентні методи штучного інтелекту, до яких відноситься

мурашиний алгоритм [6 – 8]. Переваги алгоритму (швидкодія, можливість дослідження нестационарних систем) роблять актуальним проведення дослідження стосовно можливості застосування мурашиного алгоритму та його різновидів для розпізнавання елементів замислу повітряного противника, а саме – маршрутів, профілів польоту груп ЗПН з аеродромів базування до ОУ, а також положення смуги прориву системи ППО. Відповідні дослідження проведені в [9], проте у цих роботах визначається *весь* маршрут польоту ЗПН від аеродрому базування до ОУ, що не завжди є необхідним; при цьому необхідно оцінити так звані "небезпеки" або "заборонені зони" на *всьому* маршруті польоту ЗПН від аеродрому базування до ОУ, що потребує залучення надмірно великих обсягів обчислювальних ресурсів та не завжди є можливим.

Метою даної статті є викладення результатів досліджень щодо використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання можливих маршрутів польоту засобів повітряного нападу безпосередньо поблизу об'єкту удару.

Виклад основного матеріалу

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 сере-

довищі являється немовби динамічною пам'яттю системи. Кожний агент в певний момент часу сприймає та змінює одну гратку цієї пам'яті – рівень феромону в околиці точки, в якій агент знаходиться.

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

В оригінальному мурашиному алгоритмі (Ant System – AS) в кожній ітерації M агентами здійснюється пошук рішення та оновлення феромонів на знайденому маршруті. Кожний m -й агент починає шлях з вихідної точки маршруту (ВТМ), послідовно проходить вибрані алгоритмом поворотні точки маршруту (ПТМ) і завершує шлях в одній з кінцевих точок (КТМ). Вибір ПТМ з J можливих здійснюється на основі ймовірнісного правила, що визначає ймовірність $P_i^m(t)$ переходу m -го агента в i -у ПТМ з врахуванням доступності i -ї ділянки маршруту L_i та концентрації феромонів на цій ділянці F_i в момент часу t наступним чином:

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

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

Доступність ділянки маршруту L_i в оригінальному мурашиному алгоритмі обернено пропорційна затратам на подолання ділянки. При цьому вважається, що затрати на подолання ділянки залежать тільки від довжини ділянки, тобто

$$L_i = 1/D_i, \quad (2)$$

де D_i – довжина i -ї ділянки маршруту.

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:

$$F_i(t+1) = (1-\rho)F_i(t) + \sum_{m=1}^M \Delta F_i^m, \quad (3)$$

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 (AS) являється мінімакний мурашиний алгоритм (MMAS) [7], який і буде застосовуватись в подальших дослідженнях. Його характерними особливостями є те, що тільки найкращі агенти підви-

щують 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:

$$\Delta F_i^{\text{best}} = \begin{cases} 1 / D_{\text{best}}, & \text{якщо } i - \text{найкоротший} \\ \text{маршрут в ітерації} \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases}, \quad (4)$$

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

В [9] наведені результати визначення маршрутів польоту ЗПН від аеродромів базування до об'єктів удару з використанням MMAS при наявності "заборонених зон" (рис. 1).

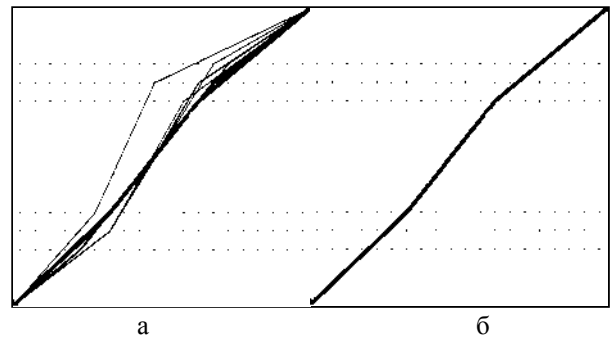


Рис. 1. Результати використання MMAS для визначення маршрутів польоту ЗПН при наявності "заборонених зон": а – після 100 ітерацій; б – після 300 ітерацій

На відміну від порядку проведення досліджень, запропонованого в (9), в даній статті використовуються наступні припущення та позначення.

1. Вважаємо відомим положення рубежу виконання завдання (РВЗ) повітряного противника відносно ОУ.

2. Вважаємо відомим просторове розташування множини вихідних точок маршруту (ВТМ) відносно ОУ; вважаємо, що поява ЗПН противника в будь-якій точці з множини ВТМ рівноймовірна, що відповідає однаковій небезпеці нападу повітряного противника з кожного з можливих напрямків ОУ-ВТМ. На рис. 2 точки множини ВТМ розташовані на певному рубежі, в загальному випадку просторове положення множини ВТМ може бути довільним.

3. Маршрут польоту ЗПН від ВТМ до РВЗ може проходити через "заборонені зони" (зони вогню засобів поразення), які позначені на рис. 2 колами.

На рис. 2 наведені результати розрахунків.

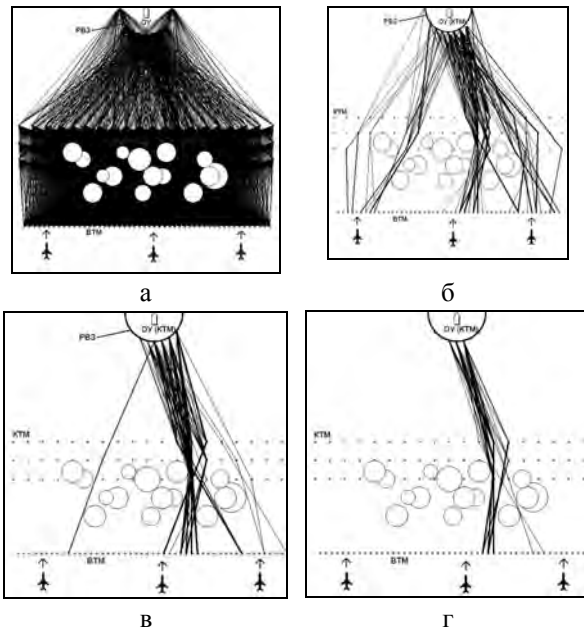


Рис. 2. Результати використання ММАС для визначення маршрутів польоту ЗПН безпосередньо біля ОУ:
а – після 50 ітерацій; б – після 300 ітерацій;
в – після 500 ітерацій; г – після 1000 ітерацій

Пояснимо наведені на рис. 2 результати досліджень. На початку ітераційного процесу (після 50 ітерацій – рис. 2, а) більшість можливих маршрутів польоту ЗПН до ОУ "зафарбована" феромоном з початковою концентрацією F_0 . Збільшення кількості ітерацій призводить до "висихання" феромонів на менш привабливих маршрутах та до збільшення їх кількості на найбільш привабливих. При збільшенні кількості ітерацій виділяються найбільш ймовірні маршрути польоту ЗПН повітряного противника безпосередньо поблизу об'єкту удару. Ця інформація може використовуватись при уточненні рішення та плануванні ППО.

Висновки

Таким чином, в даній роботі наведені результати досліджень щодо використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання можливих маршрутів польоту засобів повітряного нападу

безпосередньо поблизу об'єкту удару. Подальші дослідження можуть бути направлені на використання мультиагентних алгоритмів при визначенні переліку об'єктів системи ППО, що будуть поразатись повітряним противником в ході ударів, а також послідовності їх поразення.

Список літератури

1. Моделирование боевых действий войск (сил) противотранспортной обороны 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) / А.Я. Торочин, І.О. Кириченко, М.О. Єрмошин, Г.А. Дробаха, М.П. Долина. – Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.
3. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюминин. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
4. Олизаренко С.А. Метод формализации задачи распознавания направленных ударов СВН противника на основе нечеткой классификации / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2(100). – С. 70-80.
5. Тристан А.В. Метод зниження рівня невизначеності при плануванні та веденні бойових дій угрупованням Повітряних Сил / А.В. Тристан // Системи обробки інформації – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 5(72). – С. 13-18.
6. Dorigo M. Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colonna // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B. – Vol. 26, no. 1, 1996. – P. 29-41.
7. Stutzle T. MAX-MIN Ant System / T. Stutzle, H. Hoos // Future Gen. Comp. Systems. – Vol. 16, no. 8, 2000. – P. 889-914.
8. Dorigo M. An Introduction to Ant Colony Optimization / M. Dorigo, K. Socha // Tech. Report TR/IRIDIA/2006-010, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles, 2006. – P. 29-36.
9. Худов Г.В. Використання мульти-агентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замаскуваного повітряного противника / Г.В. Худов, І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2015. – № 3(43). – С. 179-185.

Надійшла до редколегії 19.01.2016

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА СРЕДСТВ ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА НЕПОСРЕДСТВЕННО ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА УДАРА ПРИ ОДИНАКОВОЙ АПРИОРНОЙ ОПАСНОСТИ НАПАДЕНИЯ ИЗ КАЖДОГО НАПРАВЛЕНИЯ

И.А. Таран

В работе приведены результаты исследований по использованию мультиагентного (мурашиного) алгоритма для распознавания возможных маршрутов полета средств воздушного нападения к объектам удара непосредственно вблизи объекта удара при одинаковой априорной опасности нападения с каждого направления. Приведены результаты расчетов.

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

DETERMINE THE OPTIMAL FLIGHT PATH OF AIR ATTACK TO STRIKE AN OBJECT DIRECTLY NEAR OBJECT WITH EQUAL A PRIORI DANGER OF ASSAULT FROM EVERY DIRECTION

I.A. Taran

The paper proposed the use of multi-agent (ant) algorithm to detect the possible flight paths of air attacks to strike targets directly near object with alike a priori danger of assault from every direction. 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.