

УДК 355.45

Г.В. Худов<sup>1</sup>, І.А. Таран<sup>1</sup>, О.А. Заболотний<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАМИСЛУ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА З УРАХУВАННЯМ НАРЯДУ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ

В роботі наведені результати досліджень щодо використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання можливих маршрутів польоту засобів повітряного нападу до об'єктів удару та смуги прориву системи протиповітряної оборони. Досліджений вплив кількості засобів повітряного нападу (наряду), необхідних для поразення об'єкта удару з заданою ймовірністю або ступенем. Наведені результати розрахунків.

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

### 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 противник буде вибирати ті дії, які будуть забезпечувати високу ефективність повітряних ударів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що при розпізнаванні замислу повітряного противника 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.

В останні роки набувають розвитку мультиагентні методи штучного інтелекту, до яких відносяться мурашиний алгоритм [6, 7]. 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 ае-

родромів базування до ОУ, а також положення смуги прориву системи ППО. Відповідні дослідження проведені в [8], проте без врахування впливу важливості об'єктів удару та кількості засобів повітряного нападу (наряду), необхідних для поразення об'єкта удару з заданою ймовірністю або ступенем.

**Метою даної роботи** є викладення результатів досліджень щодо використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання можливих маршрутів польоту засобів повітряного нападу до об'єктів удару та смуги прориву системи протиповітряної оборони з урахуванням впливу кількості засобів повітряного нападу (наряду), необхідних для поразення об'єкта удару з заданою ймовірністю або ступенем.

### 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 вище привабливість цього маршруту для наступних агентів. Розподіл феромону в навколишньому середовищі являється немовби динамічною пам'яттю системи. Кожний агент в певний момент часу сприймає та змінює одну градку 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, кон-

центрація 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 (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 переходу  $m$ -го агента в  $i$ -у ПТМ з врахуванням доступності  $i$ -ої 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  $\alpha$  і  $\beta$  – 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;  $\Delta F_i^m$  – концентрація феромону на  $i$ -й ділянці маршруту, що створюється проходженням  $m$ -го агента.

Розвитком оригінального мурашиного алгоритму (AS) являється мінімакний мурашиний алгоритм (MMAS) [6], 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  $\Delta F_i^{\text{best}}$  визначається як

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

де  $D_{\text{best}}$  – довжина найкоротшого маршруту в ітерації.

В [8] наведені результати визначення смуги прориву системи ППО та маршрутів польоту ЗПН до об'єктів удару з використанням MMAS (рис. 1). Проте при цьому не врахований вплив важливості об'єктів удару та кількості засобів повітряного нападу (наряду), необхідних для поразення об'єкта удару з заданою ймовірністю або ступенем поразення ЗПН.

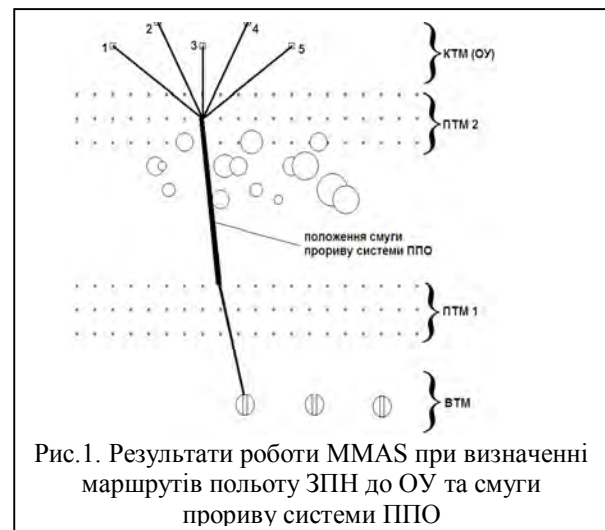


Рис. 1. Результати роботи MMAS при визначенні маршрутів польоту ЗПН до ОУ та смуги прориву системи ППО

Змінимо порядок обчислення доступності ділянки маршруту  $L_i$ . На відміну від (2) у наступній формулі для розрахунку затрат на подолання ділянки маршруту польоту до  $k$ -го ОУ (КТМ) враховується не тільки довжина ділянки  $D_i$ , але і наряд ЗПН, призначений на  $k$ -й ОУ  $N_{\text{ЗПН},k}$

$$L_i = \frac{1}{D_i \cdot N_{\text{ЗПН},k}}. \quad (5)$$

Прирошення рівня феромону  $\Delta F_i^{\text{best}}$  будемо визначати як:

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

На рис. 2 наведені результати розрахунків для контрольного прикладу, наведеного в [8], але при цьому доступності ділянок маршруту та приращення рівня феромону обчислювались за (5,6).

В усіх випадках алгоритм визначив маршрути польоту ЗПН таким чином, щоб забезпечувались найменша довжина маршруту від ВТМ до тих об'єктів удару, для яких призначені найбільші наряди

ди ЗПН. Достовірність отриманих результатів перевірялась їх порівнянням з результатами, отриманими методом повного перебору.

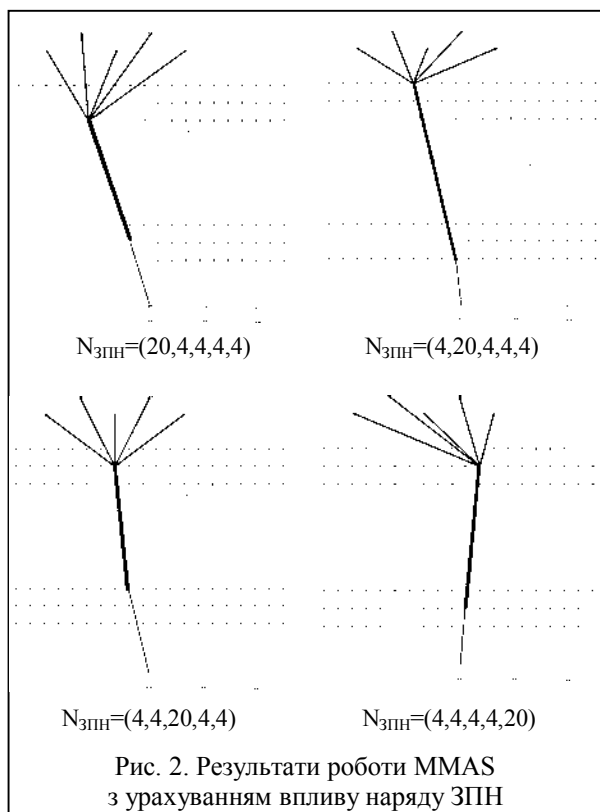


Рис. 2. Результати роботи MMAS з урахуванням впливу наряду ЗПН

## Висновки

Таким чином, в даній роботі наведені результати досліджень щодо використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання можливих маршрутів польоту засобів повітряного нападу до об'єктів удару та смуги прориву системи ППО з врахуванням впливу наряду засобів повітряного нападу, необхідних для поразення об'єкта удару з заданою ймовірністю або ступенем. Подальші дослідження можуть бути направлені на використання

мультиагентних алгоритмів при визначенні переліку об'єктів системи ППО, що будуть поразатися повітряним противником в ході ударів, а також послідовності їх поразення.

## Список літератури

1. Моделирование боевых действий войск (сил) противовоздушной обороны 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 / [Торопчин А.Я., Кириченко І.О., Єрмошин М.О., Дробаха Г.А., Долина М.П.] – Х.: ХУПС, 2006.
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 направлений ударов СВН противника на основе нечеткой классификации / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 2 (100). – С. 70–80.
5. Тристан А.В. Метод снижения уровня неопределенности при планировании та веденні бойових дій у групуванні Повітряних Сил / А.В. Тристан // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2008. – Вып. 5(72). – С. 13–18.
6. Stutzle T. MAX-MIN Ant System / T. Stutzle, H. Hoos // Future Generation Computer Systems. – 2000. – Vol. 16, no. 8. – P. 889–914.
7. Dorigo M. An Introduction to Ant Colony Optimization / M. Dorigo, K. Socha. – Technical Report TR/IRIDIA/2006-010, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles, 2006.
8. Худов Г.В. Використання мульти-агентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника / Г.В. Худов, І.А. Таран // Системы озброєння і військова техніка. – 2015. – Вып. 3(43). – С. 178–180.

Надійшла до редколегії 4.08.2015

Рецензент: д-р військ. наук проф. Є.Б. Смірнов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Харків.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЫСЛА ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА С УЧЕТОМ НАРЯДА СРЕДСТВ ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ

Г.В. Худов, И.А. Таран, О.А. Заболотный

В работе предложено использование мультиагентного (мурашиного) алгоритма для распознавания возможных маршрутов полета средств воздушного нападения к объектам удара и полосы прорыва системы противоздушной обороны. Исследовано влияние количества средств воздушного нападения (наряда), необходимого для поражения объекта удара с заданной вероятностью или степенью. Приведены результаты расчетов.

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

## USING ANT ALGORITHM TO DETERMINE THE ELEMENTS OF AIR ENEMY PLAN CONSIDERING THE NUMBER OF AIR ATTACK MEANS

G.V. Khudov, I.A. Taran, O.A. Zabolotny

The paper proposed the use of multi-agent (ant) algorithm to detect the possible flight paths of air attacks to strike targets and stripes overcome air defense systems. Abstract original ant algorithm (AS) and an improved version, the minimax ant algorithm. There are the results of the calculations. The possibility of algorithms using in non-stationary environments is demonstrated.

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