

УДК 004.825

С.Б. Клімов¹, С.А. Войтович², Я.Ю. Стасєва²

¹Штаб Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕС ОЦІНКИ ДІЙ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА

Запропонований метод формалізації про процес оцінки дій повітряного противника з огляду на визначення напрямку удару ЗПН на оперативному напрямку для підсистеми інформаційного забезпечення в перспективних автоматизованих системах керування складними об'єктами.

формалізація процесу управління, повітряний удар, оперативний напрямок, дії повітряного противника

Вступ

Постановка проблеми. Однією з основних задач оцінки дій повітряного противника є задача оцінки напрямку удару засобів повітряного нападу, під час рішення котрої вирішується низка допоміжних задач. Такими задачами є: розпізнавання тактичних груп повітряного противника, визначення можливих об'єктів удару, вибір плану ведення бойових дій та інші. Вирішення задачі визначення напрямків удару ЗПН противника на оперативному напрямку є однією зі складових процесу оцінки повітряної обстановки (ПО) як на етапі планування, так і в ході бойових дій. Основна складність вирішення даної задачі полягає в тому, що ініціатива у виборі напрямків і способів дій належить противникові. У зв'язку з цим необхідно

враховувати [1, 2]:

характер дій противника (його задум, цілі, задачі, можливі способи їх виконання);

фактичне положення засобів повітряного нападу (ЗПН) противника в просторі в теперішній момент часу, а також само накопичені дані про положення ЗПН за весь період спостереження, що дасть можливість проводити прогноз розвитку обстановки і вчасно виявляти можливі її зміни;

положення своїх об'єктів оборони;

стан своїх сил і засобів;

знання про ймовірні способи і прийоми ведення бойових дій повітряним противником.

Таким чином, розробка методу формалізації удару ЗПН з метою автоматизації цього процесу є актуальною.

Аналіз літератури. Підходи до вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН були розглянуті в роботах [1 – 8]. У [1 – 5] розглянутий підхід до визначення характеру дій ЗПН, що передбачає розподіл всіх ЗПН противника на тактичні групи за рядом поведінкових ознак з урахуванням можливих об'єктів оборони, по яких можуть бути нанесені удари тактичними групами. У [6] запропонований підхід до вирішення задачі визначення напрямків ударів ЗПН противника. Даний підхід базується на застосуванні методу кластерного аналізу для групування ЗПН. У даній роботі не враховуються знання про тактику застосування ЗПН, правила побудови повітряних ударів, цілі і задачі, розв'язувані противником у кожному з повітряних ударів [7]. У [8] запропонований метод визначення напрямку удару ЗПН.

Існуючі методи оцінки дій повітряного противника не дозволяють повною мірою описати процес вирішення задачі з урахуванням динаміки зміни повітряної обстановки, накопичення інформації про дії ЗПН. Зазначене свідчить на користь актуальності розробки методу формалізації знань про процес оцінки дій повітряного противника.

Мета статті. Викласти суть методу формалізації знань про процес оцінки дій повітряного противника на оперативному напрямку, що враховує просторове положення ЗПН, знання про правила побудови повітряних ударів, цілі і задачі, розв'язувані противником в ударі, динаміку зміни даних про повітряну обстановку та просторовий розподіл меж відповідальності.

Результати досліджень

Для оцінки обстановки необхідно визначити всі умови, що можуть вплинути на хід бойових дій, а також установити причинно-наслідкові зв'язки всіх її елементів, характер впливу на вирішення бойової задачі, розкрити тенденції й закономірності розвитку обстановки.

Введемо ряд припущень й обмежень [3]: 1) противник діє цілеспрямовано й прагне до досягнення своїх цілей; 2) основною метою дій ЗПН противника є знищення об'єктів ППО, об'єктів, що прикривають ППО, та авіації в повітрі; 3) противник керується накопиченим досвідом ведення бойових дій, що уможливило використання даного досвіду при розробці методу формалізації знань про процес вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН; 4) противник намагається мінімізувати свої втрати в кожному повітряному ударі; 5) противник керується нормативами [1] при побудові повітряних ударів, і ці дані використовуються при визначенні напрямків повітряних ударів; 6) вихід до об'єктів удару повітряний противник здійснює найкоротшим шляхом. При прориві системи ППО на початку вогневого впливу побудова удару не порушується доти, поки ЗПН не досягли певної точки розльоту по об'єктах.

Нехай про ЗПН відомі $\bar{a}(x_a, y_a, z_a, Q_a, v_a)$, де

x_a, y_a, z_a – координати повітряного об'єкта, Q_a – курс повітряного об'єкта, v_a – швидкість повітряного об'єкта; відомі дані про ширину й глибину ділянки прориву ППО [2] $S = (s_{ш}, s_{г})$. Тоді можна задати «габарити» просторового стропа, у якому можлива побудова одного удару $M(m_{ш}, m_{г})$, при цьому $m_{ш} = s_{ш}$, а $m_{г}$ визначається бойовими можливостями ЗПН. Значення даних параметрів вводяться в систему розпізнавання можливих напрямків ударів ЗПН на етапі її настроювання або безпосередньо при її використанні.

Проведемо групування ЗПН з урахуванням того, що відомі інтервали й дистанції між ЗПН ($C = (c_{п}, c_{3}, c_{тг})$, $D = (d_{п}, d_{3}, d_{тг})$), що діють як окремо, так і в складі пар, ланок і тактичних груп. Таким чином, надалі при визначенні спільної дії ЗПН у межах «габариту» масованого удару спільно можливий розгляд як окремих ЗПН, так ТГ ЗПН.

Математична постановка задачі зводиться до наступного: необхідно серед множини ЗПН

$$A = (\bar{a}_j), \quad j = \overline{1, N} \quad (1)$$

виділити такі підмножини $\Gamma_1, \dots, \Gamma_g$, для яких будуть виконуватися умови:

$$\Gamma_k \cap \Gamma_l = \emptyset, \text{ якщо } k \neq l; \quad \bigcup_{i=1}^g \Gamma_i = A. \quad (2)$$

Аналіз тактики дій імовірного противника при проведенні ударів різнорідних ЗПН показує, що удар містить у собі ешелон прориву (придушення) системи ППО й ударний ешелон [8]. Для успішного прольоту авіації противник передбачає пробити в смузі оборони Повітряних Сил кілька коридорів шириною $s_{ш}$ на глибину $s_{г}$.

Аналіз даних, що характеризують повітряні об'єкти, показує, що при визначенні напрямків ударів ЗПН можливе застосування методів кластерного аналізу [4, 8], які ґрунтуються на критерії мінімуму відстані між об'єктами, з урахуванням просторових характеристик можливого повітряного удару й динаміки зміни повітряної обстановки. Надалі поставимо у відповідність кожному кластеру, що описує множини ЗПН, один з напрямків, на якому вони діють, і будемо розглядати кластер, що складається з підкластерів, кожному з яких відповідають певні ешелони. Задамо процедуру розмежування множини ЗПН на кластери. Нехай задані параметри масованого удару $M(m_{ш}, m_{г})$ й параметри ешелонів в ударі $E((e_{ш}^1, e_{г}^1), \dots, (e_{ш}^p, e_{г}^p))$. При виявленні нового (першого) ЗПН \bar{a}_j вважаємо його як першим об'єктом кластера Γ_1 із границями $(e_{ш}^1, e_{г}^1) \in M(m_{ш}, m_{г})$, так і центром кластера. При виявленні наступних ЗПН перевіряємо можливість об'єднання їх у ТГ [8].

Відстань між виявленими об'єктами для перевірки умов додавання об'єктів до кластера є:

$$r_{j,j+1} = \left| (\hat{\Gamma}_{1x}, \hat{\Gamma}_{1y}, \hat{\Gamma}_{1z}) - (a_{jx}, a_{jy}, a_{jz}) \right|, \quad (3)$$

де $(\hat{\Gamma}_{1x}, \hat{\Gamma}_{1y}, \hat{\Gamma}_{1z})$ – геометричний центр кластера Γ_1 .

Після цього знаходимо геометричний центр даного кластера ($a_j \in \Gamma_1$):

$$\hat{\Gamma}_1(\hat{\Gamma}_{1x}, \hat{\Gamma}_{1y}, \hat{\Gamma}_{1z}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_{jx}, a_{jy}, a_{jz}), \quad (4)$$

при цьому $r_{\hat{\Gamma}_1, a_j} > r_{\hat{\Gamma}_2, a_j}$, якщо $a_j \in \Gamma_1$, інакше $r_{\hat{\Gamma}_1, a_j} < r_{\hat{\Gamma}_2, a_j}$. Дана умова виконується для центрів підкластерів кластера Γ_1 . Далі визначаємо середню швидкість ЗПН у розглянутому кластері ($a_j \in \Gamma_1$):

$$\hat{\Gamma}_1(v) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (v_{a_j}), \quad (5)$$

Спочатку центр кластера пов'язаний з першим об'єктом. Надалі перераховується для всіх об'єктів, що потрапили в даний кластер, і виробляється перевірка влучення в кластер із центром $\hat{\Gamma}_1$ і характеристиками підкластера (e_{sh}^1, e_h^1) .

Після чого перевіряється умова належності даних ЗПН (ТГ) кластеру $M(m_{sh}, m_h)$:

$$m_{sh \min} \leq a_{jx} \leq m_{sh \max}; \quad m_{h \min} \leq a_{jz} \leq m_{h \max}. \quad (6)$$

Якщо об'єкт \bar{a}_j не задовольняє умова (6), тоді утворюється новий кластер Γ_2 , до якого й зараховується даний об'єкт.

Далі для всіх об'єктів \bar{a}_j , що потрапили в кластер Γ_g , розраховується узагальнений курс об'єктів, об'єднаних у рамках кластерів:

$$\alpha_{\Gamma_g} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_{a_j}, \quad (7)$$

який і приймається за напрямок рух даного кластера.

Така процедура виконується для всіх виявлених кластерів і підкластерів ЗПН. При виявленні декількох кластерів ЗПН перевіряється можливість їх об'єднання в рамках одного кластера. Якщо вектори, які характеризують узагальнений курс руху $\alpha_{\Gamma_1}, \alpha_{\Gamma_2}$ і належать кластерам Γ_1, Γ_2 , перетинаються до входу в зону ураження конфронтуючого об'єднання ПС, то дані кластери можуть об'єднатися або діяти спільно на двох сусідніх ділянках.

Для перевірки даної умови будується одиничний вектор \bar{e}_{Γ_g} [5] для кожного кластера:

$$\bar{e}_{\Gamma_g} (\cos(\alpha_{\Gamma_g}), \sin(\alpha_{\Gamma_g})). \quad (8)$$

У випадку, якщо вектори колінеарні, а за умови урахування помилок виміру, якщо їх курси практично збігаються, то:

$$\theta_{\min} \leq \cos(\alpha_{\Gamma_1}) \cdot \sin(\alpha_{\Gamma_2}) - \sin(\alpha_{\Gamma_1}) \cdot \cos(\alpha_{\Gamma_2}) \leq \theta_{\max}. \quad (9)$$

Якщо вектори не колінеарні, перевіряється умова можливості їх перетину. Для цього вираховується кут τ між векторами \bar{e}_{Γ_g} . Якщо його значення лежить в інтервалі $0^0 < \tau < 90^0$, то перетин можливий:

$$\arccos(\tau) = \bar{e}_{\Gamma_1} \cdot \bar{e}_{\Gamma_2} / \left(\left| \bar{e}_{\Gamma_1} \right| \cdot \left| \bar{e}_{\Gamma_2} \right| \right). \quad (10)$$

Якщо ці умови не виконуються одночасно, тоді ухвалюється рішення, що два кластери не перетинаються й надалі їх необхідно розглядати окремо.

Для перевірки умови можливості перетину узагальнених курсів ЗПН, що належать кластерам Γ_1, Γ_2 , необхідно вирішити таку задачу: нехай відомі координати точок Γ_1, Γ_2 , узагальнені курси ЗПН у розглянутих кластерах α_{Γ_1} і α_{Γ_2} . Необхідно знайти координати точки Р, якщо це можливо.

Задамо множину задач Z таким чином:

$$Z(z_s), s = \overline{1.S}. \quad (11)$$

Множина цілей, переслідуваних противником при проведенні масованих ударів, задається як

$$C(c_r), r = \overline{1.R}. \quad (12)$$

Множина об'єктів оборони представляється як

$$O(o_v), v = \overline{1.V}. \quad (13)$$

Множину задач, вирішення яких необхідно для досягнення цілі c_r , можна задати морфізмом μ_{c_r} такого вигляду [5, 6]:

$$\mu_{c_r} : c_r \xrightarrow{s=1.S} z_s, \quad (14)$$

який породжує підмножину $Z_1^{c_r} \in Z$, що включає множину задач $Z_1^{c_r}(z_1^{c_r}, \dots, z_k^{c_r})$, вирішення яких необхідно для досягнення цілі c_r в розглянутому ударі й залежить від номера удару (перший, другий тощо), а також від результатів, досягнутих противником у попередньому ударі.

Таким чином, можна задати морфізм, що визначає перелік об'єктів оборони, до знищення яких противник буде прагнути, вирішуючи задачу $Z_u^{c_r}, u = \overline{1.U}$ для досягнення цілей c_r :

$$\mu_{Z_u^{c_r}} : z_t^{c_r} \xrightarrow{t=1.k} o_v. \quad (15)$$

Після чого визначається множина об'єктів оборони, які противник планує знищити при $Z_u^{c_r}$, як

$$O_f(o_1^{z_u^{c_r}}, \dots, o_c^{z_u^{c_r}}).$$

Розроблені правила визначення кластерів ЗПН із урахуванням даних про побудову ударів, а також знання цілей і задач, розв'язуваних противником в ударі, дозволяють провести формалізацію розв'язання даної задачі з використанням підходів, запропонованих у [6 – 8]. Зважаючи на вимоги керів-

них документів щодо порядку побудови сил ППО [2] і динаміку зміни повітряної обстановки, доцільно весь повітряний простір розбити на оперативно-тактичні напрямки. У ряді робіт обґрунтоване використання як параметра оцінки повітряної обстановки кількості ЗПН на оперативно-тактичному напрямку (ОТН) [1 – 4].

Для математичної формалізації пропонується описувати ОТН у вигляді деякого просторового сектора, обмеженого трьома прямими або чотирма точками $[(x_{j1}, y_{j1}), (x_{j2}, y_{j2}), (x_{j3}, y_{j3}), (x_{j4}, y_{j4})]$. При цьому з однієї сторони j – сектор є відкритим і обмежується тільки прямими утвореними точками $[(x_{j1}, y_{j1}), (x_{j2}, y_{j2}), (x_{j3}, y_{j3}), (x_{j4}, y_{j4})]$. Математично напрямком можна представити як:

$$\begin{cases} y(x_{j3} - x_{j2}) - x(y_{j3} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j3} + y_{j3}x_{j2} \geq 0; \\ y(x_{j1} - x_{j2}) - x(y_{j1} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j1} + y_{j1}x_{j2} \leq 0; \\ y(x_{j4} - x_{j3}) - x(y_{j4} - y_{j3}) - y_{j3}x_{j4} + y_{j4}x_{j3} > 0, \end{cases} \quad (16)$$

де $x, y \in T$; T – оперативно-тактичний напрямок.

Повітряний простір можна описати як об'єднання всіх оперативно-тактичних напрямків

$$ВП = \bigcup_i T_i, \quad (17)$$

де T_i – i -й оперативно-тактичний напрямок.

Задача визначення приналежності повітряного об'єкта (ПО) ОТН повинна вирішуватися при кожній зміні його положення.

Початковими параметрами, для вирішення задачі, є просторові координати ПО ($x_{ПО}, y_{ПО}$).

Необхідно визначити, якому ОТН належить точка місця знаходження ПО.

Вирішення задачі зводиться до перебору напрямків і визначення, для якого напрямку точка ($x_{ПО}, y_{ПО}$) задовольняє систему нерівностей:

$$\begin{cases} У_{ПО}(x_{j3} - x_{j2}) - x_{ПО}(y_{j3} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j3} + y_{j3}x_{j2} \geq 0; \\ У_{ПО}(x_{j1} - x_{j2}) - x_{ПО}(y_{j1} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j1} + y_{j1}x_{j2} \leq 0; \\ У_{ПО}(x_{j4} - x_{j3}) - x_{ПО}(y_{j4} - y_{j3}) - y_{j3}x_{j4} + y_{j4}x_{j3} > 0, \end{cases} \quad (18)$$

де $x_{ПО}, y_{ПО}$ – координати повітряного об'єкта;

$x_{ji}, y_{ji}, i = 1..4$ – координати точок меж ОТН.

Оцінка повітряної обстановки проводиться з метою одержання кількісних характеристик і формулювання висновків, необхідних для ухвалення рішення на бойові дії (бойове застосування).

Елементами оцінки повітряної обстановки є:

- кількість своїх літаків;
- кількість чужих літаків;
- кількість літаків, висота яких менше 1 км;
- кількість літаків, висота яких більше 17 км.

Таким чином, автоматизація процесу визначення кількості повітряних об'єктів, що діють на певному ОТН, є внеском в автоматизацію оцінки повітряної обстановки.

На основі результатів вирішення задачі визначення ОТН, на якому знаходиться ПО, може бути визначена кількість ПО й літаків на ОТН.

$$N_{Tj} = \sum_i (ПО_i \in T_j), \quad (19)$$

де $ПО_i$ – повітряний об'єкт, який знаходиться на T_j напрямку; N_{Tj} – загальна кількість $ПО_i$, які знаходяться на T_j напрямку;

$$S_{Tj} = \sum_i S_{ПО_i}, \quad \text{при } ПО_j \in T_j. \quad (20)$$

Представимо дії (3) – (19) у вигляді висловлень мовою вираховання предикатів першого порядку:

$$P_1, \dots, P_{23}, \quad (21)$$

де $P_1(a_j, \Gamma_g, r_{a_j, \Gamma_g})$ – правило віднесення об'єкта a_j до кластера Γ_g за умови, що r_{a_j, Γ_g} не більше заданого. Інші правила P_1, \dots, P_{23} мають схожу конструкцію.

Остаточо вирішальне правило для визначення напрямку удару повітряного противника буде мати такий вигляд:

$$MP_{14} = P_1 \vee \dots \vee P_{23}. \quad (22)$$

Далі для формалізації знань, що використовуються при вирішенні задачі визначення напрямку удару повітряного противника, скористаємося методикою, запропонованою в [6, 7].

При цьому як вихідні дані для вирішення задачі визначення напрямків масованого застосування ЗПН візьмемо такі:

$$\begin{aligned} \bar{a}(x_a, y_a, z_a, Q_a, v_a), \quad S = (s_{ш}, s_{г}), \quad M(m_{ш}, m_h), \\ C = (c_n, c_3, c_{тр}), \quad D = (d_n, d_3, d_{тр}), \\ Z(z_s), \quad s = I.S, \quad C(c_r), \quad r = I.R, \quad O(o_v), \quad v = I.V, \quad T_j, \quad S_{T_j}, \end{aligned}$$

а також номер удару на даному напрямку, втрати противника в попередньому ударі й ін.

У результаті одержимо СЦУ вирішення задачі визначення напрямку дій повітряного противника та оцінки дій повітряного противника.

Висновки

Розроблений у даній статті метод формалізації дій повітряного противника з огляду про процес оцінки визначення напрямків ударів ЗПН противника на оперативному напрямку, відрізняється від відомих врахуванням, поряд із просторовими характеристиками повітряних об'єктів, також знань про побудову ЗПН в ударі та про розподіл простору на межі відповідальності й інтенсивність дії на них ЗПН.

Також реалізовано врахування цілей, переслідуваних противником при нанесенні удару, розв'язуваних при цьому тактичних завдань, і одержання переліку можливих об'єктів оборони, до знищення яких буде прагнути противник.

Список літератури

1. Стасєв Ю.В., Клімов С.Б., Павленко М.А. Метод формалізації процесу вирішення задачі визначення напрямків удару засобів повітряного нападу на оперативному напрямку // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 1(13). – С. 3-8.
2. Моделювання бойових дій військ (сил) проти повітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.
3. Средства воздушно-космического нападения противника и их характеристик как целей для ПВО / Под редакцией В.К. Стрельникова. – Х.: ВИРТА, 1987. – 372 с.
4. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. – М.: Высш. шк., 1983. – 295 с.
5. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1972. – 872 с.

6. Низиенко Б.И., Павленко М.А., Бердник П.Г. Метод формализации знаний, содержащих модальности для экспертных систем реального времени // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 10 (38). – С. 117-125.

7. Павленко М.А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 9 (37). – С. 124-133.

8. Павленко М.А., Сисков А.В., Перепелица А.В., Руденко В.Н. Метод определения направления удара ЗПН в границах оперативного направления // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ІПМЕ, 2005. – Вип. 33. – С. 112-121.

Надійшла до редколегії 14.09.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.І. Бобир, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.