

УДК 004.825

М.А. Павленко, О.Г. Матющенко, С.І. Сімонов, Д.В. Головняк

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ ПОРУШЕННЯ ПРАВИЛ ВИКОРИСТАННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ ПОВІТРЯНИМИ СУДАМИ

У статті розглядаються питання, пов'язані з розробкою методу формалізації знань про процес розпізнавання ситуацій порушення правил руху повітряними судами для використання отриманих результатів при розробці спеціального математичного та програмного забезпечення в перспективних комплексах засобів автоматизації.

Ключові слова: СППР, формалізація знань, модель знань, повітряний рух.

Вступ

У складі будь-якого рішення по оцінці повітряної обстановки лежить збір, обробка й аналіз інформації, що її характеризують. Процес прийняття рішення при управлінні складними об'єктами і системами нерозривно пов'язаний з вирішенням задачі розпізнавання ситуацій, що складаються у повітряному просторі. Але висока складність завдань розпізнавання ситуацій не дозволяє вважати повністю вирішеними питання формалізації процесу їх вирішення.

Розпізнавання ситуації зводиться до оцінки ступеня близькості спостережуваної сукупності ознак до однієї з виділеної ситуації, визначених на етапі планування, підготовки та розробки системи розпізнавання. При цьому слід зазначити, що, як правило, інформація, що надходить від джерел інформації про різні параметри обстановки, має випадкову складову різної природи, що ускладнює її аналіз.

Процес розпізнавання являє собою задачу перетворення вхідної множини інформаційних ознак у вихідну класифікацію ситуацій, що складаються у повітряному просторі. Вирішення цієї задачі потребує додаткових досліджень з розробки формального опису процесу її вирішення, що дозволить впровадити систему розпізнавання до складу спеціального математичного та програмного забезпечення пер-

спективних комплексів засобів автоматизації.

Аналіз літератури. Методи рішення задачі визначення напрямку удару засобів повітряного нападу противника були розглянуті у роботах [1 – 6].

Так, в роботах [1, 2] розглянуто підхід з визначення характеру дій засобів повітряного нападу противника, що передбачає розподіл усіх засобів повітряного нападу (ЗПН) на тактичні групи згідно ознак їх дій, враховуючи об'єкти оборони, на які можливий напад. Спільна дія тактичних груп не розглядається, інформація про напрям удару та їх знаходження у просторі не надходить.

У роботах [3 – 6] запропонований підхід з використанням інтелектуальних інформаційних технологій до рішення задачі розпізнавання ситуацій. На жаль, в даних роботах не враховуються дані про тактику застосування ЗПН, правила використання повітряного простору, цілях та задачах, що вирішуються противником при кожному повітряному нападі [5].

Проведений аналіз літератури вказує на те, що задача розпізнавання ситуацій – це складне завдання, яке потребує системного розгляду та вирішення.

Мета. Основною метою статті є розробка методу формалізації знань про процес розпізнавання ситуацій порушення правил використання повітряного простору повітряними судами з використанням інтелектуальних інформаційних технологій.

Основна частина

Впровадження нових інформаційних технологій дозволить здійснити перехід від розподілу задач між комплексами засобів автоматизації та операторами. Основною метою розпізнавання є побудова ефективних обчислювальних моделей і методів формалізованих описів ситуацій для віднесення їх до відповідних класів. За умови встановлення відповідності між класами, заданими на множині рішень і множині розпізнаних ситуацій, автоматизація процедур розпізнавання стає елементом автоматизації прийняття рішень.

Розробка формалізованого представлення знань про предметну область включає в себе кілька етапів:

- визначення обмежень на обсяг знань, що підлягають формалізації, вибір методу отримання знань від експерта;
- попередня обробка отриманих експертних знань;
- виявлення характерних зв'язків між об'єктами і поняттями;
- доповнення отриманих знань від експерта та ін. [3 – 6].

Система розпізнавання може використовувати знання, які можна умовно розділити на такі групи:

- знання про властивості засобів повітряного нападу і джерела інформації;
- знання про внутрішню структуру оперативно-тактичної обстановки (ОТО) і їх взаємозв'язках;
- знання про процес трансформації ОТО;
- знання про взаємозв'язки ОТО.

При побудові класів ситуацій слід враховувати той факт, що кількість ознак, що характеризують даний клас, може бути практично необмеженою.

Тому під класом ситуацій слід розуміти сукупність ознак об'єктів, що характеризуються наявністю спільних властивостей.

Під алфавітом класів $A_L = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, $L = \overline{1, s}$ слід розуміти класи, що не перетинаються, котрі описують ту чи іншу ситуацію порушення правил використання повітряного простору.

Згідно керівних документів з контролю повітряного простору України та порядку його використання повітряними судами слід відокремити дві основні ситуації, що виникають в повітряному просторі – «штатну» та «позаштатну».

«Штатна» ситуація передбачає рух повітряного судна в заданому коридорі польоту (Z_k), з заданою швидкістю (ΔV_3), та висотою (ΔH_3), курсом руху ($\Delta \psi_3$), в заданому проміжку часу (Δt_3), у відповідності з розкладом (заявою) на політ та кількістю (K_i) вказаними у заявці.

Під «позаштатною» ситуацією мається на увазі рух повітряного судна з порушенням деяких параметрів «штатної» ситуації.

Слід зазначити, що «позаштатна» ситуація може містити ряд різновидів порушень правил використання повітряного простору (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Ситуації, що виникають в повітряному просторі

Для формалізації таких завдань доцільне використання мережевих і логічних моделей знань. Зокрема, мова йде про використання комбінованих моделей, заснованих на використанні структури цільових настанов (СЦН) та обчислення предикатів першого порядку (ОП) [5].

Таблиця 1

Основні різновиди порушень повітряними судами правил використання повітряного простору

№	Назва ситуації	Опис ситуації
1	Штатна	Всі повітряні об'єкти рухаються відповідно до заявок і розкладів руху
2	Загроза перетину кордону	Повітряний об'єкт рухається в напрямі кордону поза заявою (без заявки) на політ
3	Перетин кордону повітряними судном	Повітряний об'єкт перетинає кордон з зовні, поза заявою (без заявки) на політ
4	Форс-мажорна ситуація	Повітряний об'єкт перетинає державний кордон з зовні, поза заявою на політ у зв'язку з форс-мажорною ситуацією
5	Викрадення повітряного судна	Повітряне судно рухається в напрямі кордону з території України поза заявою на політ
6	Порушення правил використання повітряного простору	Повітряне судно рухається відповідно до заявки на політ з порушенням правил використання повітряного простору

Для процесу визначення ознак порушення правил використання повітряного простору необхідно проаналізувати сукупність інформаційних ознак (Ю). Ці дані можна розділити на дві групи:

1) Дані, що надходять від радіолокаційної розвідки. Такі дані характеризуються мінімальною затримкою за часом, оскільки формуються за результатами кожного огляду повітряного простору радіолокаційними засобами.

До таких даних належать:

– плоскісні координати повітряного об'єкту на даний момент часу X_j, Y_j ;

– висота польоту повітряного об'єкту H_j ;

– швидкість руху повітряного об'єкту V_j ;

– курс руху повітряного об'єкту ψ_j ;

– час польоту t_j ;

– номер заявки на політ N_j ;

– кількість повітряних об'єктів K_j ;

– наявність чи відсутність сигналу лиха R_j ;

– ознака державної належності ДП;

– наявність чи відсутність несприятливої метеобстановки M_j ;

– наявність чи відсутність несприятливої орнітологічної обстановки O_{rj} ;

2) Дані диспетчерського контролю:

– заданий ешелон висоти ΔH_j ;

– задана швидкість польоту ΔV_j ;

– заданий курс польоту $\Delta \psi_j$;

– заданий інтервал часу польоту повітряного судна Δt_j ;

– запланований номер повітряного судна $N_{зпл}$;

– кількість повітряних об'єктів указаних в заяві на політ K_3 ;

В загальному випадку дані диспетчерського контролю L_D а радіолокаційної розвідки L_R можна представити як вирази 1 та 2:

$$L_D = \Delta H_j, \Delta V_j, \Delta \psi_j, \Delta t_j, N_{зпл}, K_3 \quad (1)$$

$$L_R = X_j, Y_j, H_j, V_j, \psi_j, N_j, t_j, K_j, R_j, M_j, O_{rj}, ДП. \quad (2)$$

Також необхідно враховувати знаходження повітряного об'єкту у певній зоні повітряного простору. Зони повітряного простору зображені на рис. 2.

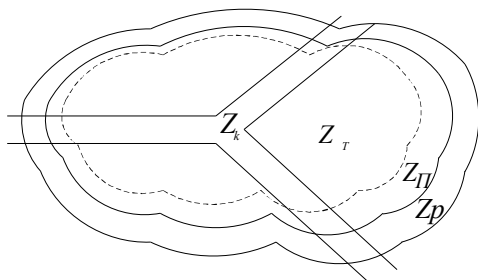


Рис. 2. Просторове представлення границь зон повітряного простору

Зони повітряного простору розділяють на:

– коридори польоту повітряного об'єкту (Z_k);

– безпосередню зону відповідальності (Z_T);

– зовнішню прикордонну зону (Z_P);

– зону розвідки повітряного простору за межами територіальної межі відповідальності Z_P (Z_P).

Якщо зону відповідальності позначити через Z_0 , то співвідношення, що описує її складові ділянки (рис. 2), може бути представлено таким виразом:

$$\{Z_P, Z_T, Z_П, Z_K\} \subset Z_0. \quad (3)$$

Згідно з правилами використання повітряного простору розроблені логіко-лінгвістичні описи ситуацій руху повітряних об'єктів:

Опис 1. Якщо повітряний об'єкт рухається згідно заяві (розкладу) на політ з дотриманням встановленого порядку та правил використання повітряного простору, така ситуація характеризується як штатна (S_0).

Опис 2. Якщо повітряний об'єкт рухається без заявки (поза розкладом) на політ чи порушує встановлений порядок (правила) використання повітряного простору, то така ситуація характеризується як позаштатна (S_1).

Опис 2.1. Якщо повітряний об'єкт іншої держави рухається без заявки (поза розкладом) на політ, та його поточні координати належать зоні Z_P розвідки, а екстрапольовані координати належать зоні Z_T , то така ситуація може характеризуватись як загроза перетину державного кордону ($S_{1.1}$).

Опис 2.2. Якщо повітряний об'єкт іншої держави рухається без заявки (поза розкладом) на політ, та його поточні координати належать зоні Z_T , а попередні координати належать зоні, то така ситуація може характеризуватись як перетин державного кордону ($S_{1.2}$).

Таким же чином складаються інші описи.

Виходячи з отриманих вище співвідношень можна отримати вирази, що визначають ситуації в повітряному просторі.

Штатна (S_0) і позаштатна (S_1) ситуація можуть бути представлені в вигляді: формалізованого опису:

$$\left(\{X_i, Y_i\} \in Z_k \right) \cap \left(V_j \in \Delta V_3 \right) \cap \left(H_j \in \Delta H_j \right) \cap \left(\Psi_j \in \Delta \Psi_j \right) \cap \left(t_j \in \Delta t_3 \right) \cap \left(N_{3j} = N_{зпл} \right) \cap \left(K_j = K_3 \right) \cap \left(R_j = 0 \right) \Rightarrow S_0, \quad (4)$$

$$\left(\{X_i, Y_i\} \notin Z_k \right) \cap \left(V_j \notin \Delta V_3 \right) \cap \left(H_j \notin \Delta H_j \right) \cap \left(\Psi_j \notin \Delta \Psi_j \right) \cap \left(t_j \notin \Delta t_3 \right) \cap \left(N_{3j} \neq N_{зпл} \right) \cap \left(K_j \neq K_3 \right) \cap \left(R_j = 1 \right) \Rightarrow S_1. \quad (5)$$

Загроза перетину державного кордону :

$$\left(\{X_i, Y_i\} \in Z_P \right) \cap \left(N_{3j} \neq N_{зпл} \right) \cap \left(\{X_i^e, Y_i^e\} \in Z_T \right) \cap \left(ДП_j = 0 \right) \Rightarrow S_{1.1}. \quad (6)$$

Перетин державного кордону :

$$\left(\{X_i, Y_i\} \in Z_T \right) \cap \left(N_{3j} \neq N_{зпл} \right) \cap \left(\{X_i', Y_i'\} \in Z_П \right) \cap \left(ДП_j = 0 \right) \Rightarrow S_{1.2}. \quad (7)$$

Форс – мажорна ситуація :

$$\left(\{X_i, Y_i\} \in Z_p \right) \cap \left(N_{3j} \neq N_{3пл} \right) \cap \left(\{X_i^e, Y_i^e\} \in Z_{II} \right) \cap \left(R_j = 1 \right) \cap \left(ДП_j = 0 \right) \cap \left(M = 1 \right) \cap \left(Or = 1 \right) \Rightarrow S_{1,3}. \quad (8)$$

Аналіз описів приведених вище дозволяє виявити взаємозв'язок між різнорідними даними, об'єднання яких дає можливість виявити позаштатні ситуації в повітряному просторі.

З опису 1 можна виявити наступні співвідношення:

а) відношення приналежності (\in). Наприклад, поточних площинних координат повітряного об'єкту (X_i, Y_i) до коридорів прольоту (z_k) , яке визначається співвідношенням:

$$(X_i, Y_i) \in Z_k, \quad (9)$$

б) співвідношення подібності ($=$). Наприклад, номера заявки (розкладу) на політ реального (N_{3j}) і планового $(N_{3пл})$, яке визначається співвідношенням:

$$(N_{3j} = N_{3пл}), \quad (10)$$

в) співвідношення присутності (відсутності). Наприклад, відсутність ознак лиха на борту повітряного судна, що визначається співвідношенням:

$$(R_j = 0), \quad (11)$$

г) відношення приналежності (\in). Наприклад, поточних площинних координат повітряного об'єкту (X_i, Y_i) , до зони Z_p , яке визначається співвідношенням:

$$(X_i, Y_i \in Z_p). \quad (12)$$

На основі отриманих виразів можливо скласти модель знань у вигляді структури цільових настанов для розпізнавання ситуацій у повітряному просторі.

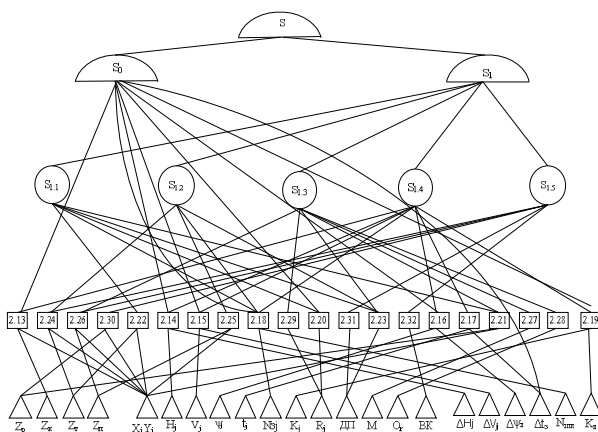


Рис. 3. Приклад структури цільових настанов для розпізнавання ситуацій в повітряному просторі

Для розпізнавання шести класів ситуацій необхідно розділити інформаційні ознаки, що характеризують ситуацію на кількісні \overline{D}_j та якісні \overline{F}_j :

$$\overline{D}_j = \{H_j, V_j, X_j, Y_j, X_j^3, Y_j^3, X_j^2, Y_j^2, \psi_j\}, \quad (13)$$

$$\overline{F}_j = \{N_j, K_j, t_j, R_j, BK_j, Or_j, M_j\}. \quad (14)$$

У залежності від прийнято способу опису апріорних даних можуть бути побудовані різні алгоритми розпізнавання. Найчастіше для опису апріорних даних використовується математичний апарат нечітких множин. Формалізований опис кількісних ознак представляється функцією приналежності значення ознак у виді нечіткого інтервалу (LR-інтервалу) [2].

Розпізнавання ситуації у повітряному просторі можна представити як процес віднесення поточної ситуації до деякого з класів алфавіту $S_0, S_1, S_{1.2}, S_{1.3}, S_{1.4}, S_{1.5}$.

Прийняття рішення про ситуацію у повітряному просторі для кожної СЦН (ΦM_{1-6}) здійснюється з використанням наступних операцій:

$$\Phi M_1 = \prod_{i=1}^n \overline{D}_j + \prod_{i=1}^n \overline{F}_j, \quad (15)$$

$$\Phi M_2 = \sum_{i=1}^n \overline{D}_j \cdot \sum_{i=1}^n \overline{F}_j, \quad (16)$$

$$\Phi M_3 = \max(\min(x_i y_i)), \quad (17)$$

$$\Phi M_4 = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{D}_j \overline{F}_j}{N}, \quad (18)$$

$$\Phi M_5 = \min(\max(x_i y_i)), \quad (19)$$

$$\Phi M_6 = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{D}_j \overline{F}_j) - \prod_{i=1}^n (\overline{D}_j \overline{F}_j)}{1 + \sum_{i=1}^n (\overline{D}_j \overline{F}_j) - 2 \cdot \prod_{i=1}^n (\overline{D}_j \overline{F}_j)}. \quad (20)$$

Після проведення тестування можна оцінити ефективність роботи СЦН за різними правилами ΦM_{1-6} .

Результати розпізнавання з використанням СЦН за виразами ΦM_{1-6} відображено в табл. 2.

Таблиця 2
Коефіцієнти правильного розпізнавання ситуацій СЦН

ΦM1	ΦM2	ΦM3	ΦM4	ΦM5	ΦM6
0,73	0,81	0,35	0,92	0,35	0,85

За даними, наведеними в табл. 2, побудуємо діаграму, що відображає ефективність ΦM_{1-6} при вирішенні задачі розпізнавання ситуацій (рис. 4).

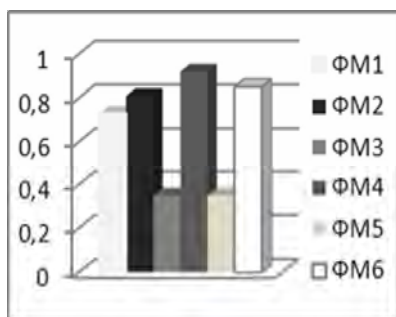


Рис. 4. Результати роботи алгоритму розпізнавання

Проведемо аналіз СЦН. Встановимо порогове значення, що дорівнює 0,5. ФМ₃ та ФМ₅ має занадто низький коефіцієнт правильного визначення ситуації, тобто є не ефективними. Це обумовлено логічними правилами, що використовуються в даних СЦН. Якщо хоча б одне значення дорівнює 0, то інші значення не враховуються.

При аналізі наведеної діаграми видно, що ФМ₄ є найбільш точною та має коефіцієнт 0,92, оскільки при проведенні тесту з 26 ситуацій правильно розпізнано 24.

Проте слід звернути увагу на ФМ₆, коефіцієнт якої дорівнює 0,85. Дана ФМ може бути застосована на рівні з ФМ₄ при рішенні задачі розпізнавання ситуації з іншими числовими значеннями.

Таким чином ФМ₄ та ФМ₆ має достатні показники для впровадження їх як елементів автоматизації прийняття рішення, при автоматизації процедури розпізнавання.

Висновки

Проведено аналіз, а також представлена формалізована структура визначення ситуацій в повітряному просторі з визначенням штатних та позаштатних ситуацій. Обґрунтовано алфавіт ситуацій порушення правил використання повітряного простору повітряними судами. Розроблено метод формалізації даних та розроблена модель знань у вигляді структури цільових настанов для формалізації про-

цесу вирішення задачі розпізнавання ситуацій, що можуть скластись в повітряному просторі.

Проведено дослідження розробленої моделі знань з використанням математичного апарату нечітких множин та приведені результати опису значень інформаційних ознак за допомогою LR-інтервалів.

Отримані результати дозволять розробити математичне та програмне забезпечення перспективних АСУ управління повітряним простором.

Список літератури

1. Иванов С.И. Модель представления знаний о типах нарушений правил движения воздушными судами / С.И. Иванов, С.В. Сомов // Збірник наукових праць ХВУ. – Х., 2002. – Вип. 1 (39). – С. 46-50.
2. Павленко М.А. Метод формализации знаний о процессе распознавания ситуаций нарушения правил движения воздушными судами / М.А. Павленко // Системы управления, навигации и зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2012. – Вип. 2(22). – С. 86-92.
3. Павленко М.А. Системы поддержки принятия решений и задачи их эргономического проектирования / М.А. Павленко, В.Н. Руденко, П.Г. Бердник, Ю.В. Данюк // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – Львів: Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2010. – Вип. 3. – С. 3-7.
4. Королюк Н.А. Информационная поддержка принятия решений при уничтожении воздушных целей / Н.А. Королюк, М.А. Павленко, Е.А. Коршеч, С.И. Симонов // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С.Нахімова. – Севастополь: АМВС імені П.С.Нахімова, 2012. – Вип.1(9). – С. 80-85.
5. Павленко М.А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени / М.А. Павленко // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 9(37). – С. 124-133.
6. Павленко М.А. Разработка метода многоэтапной формализации знаний о процессе распознавания оперативно-тактических ситуаций / М.А. Павленко, П.Г. Бердник, С.В. Кукобко, Ю.В. Данюк // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2012. – Вип. 5(103). – С. 60-64.

Надійшла до редколегії 29.05.2013

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Б.М. Судаков, НТУ «ХПІ», Харків.

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ СИТУАЦИЙ НАРУШЕНИЯ ПРАВИЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ

М.А. Павленко, О.Г. Матющенко, С.И. Симонов, Д.В. Головняк

В статье рассматриваются вопросы связанные с разработкой метода формализации знаний о процессе распознавания ситуаций нарушения правил движения воздушными судами для использования полученных результатов при разработке специального математического и программного обеспечения в перспективных комплексах средств автоматизации.

Ключевые слова: СППР, формализация знаний, модель знаний, воздушное движение.

METHOD FOR RECOGNITION SITUATIONS OF VIOLATIONS OF AIRSPACE USE AIRCRAFT

M.A. Pavlenko, O.G. Matyushchenko, S.Y. Simonov, D.V. Golovnyak

The questions related to the development of a method of formalizing knowledge about the process of recognizing situations, violations of traffic regulations for the use of aircraft results in the development of special mathematical and software tools automate advanced complexes.

Keywords: DSS, the formalization of knowledge, knowledge model, air traffic.