

The article discusses the developed technology for creating multi-agent planning and scheduling systems, based on the developed tool to support the processes of creating multi-agent systems.

A significant number of practically important applied tasks in the automation of the educational process is reduced to combinatorial formulation. First of all, these include tasks whose formal formulation is reduced to a planning and scheduling model in conditions of limited resources and real-time constraints. This model corresponds to a wide range of fairly traditional tasks of scheduling. Given the changing approaches to training in connection with the introduction of quarantine, the task of compiling effective class schedules is very important. Recently, in connection with new trends in the use of network and information technologies in the field of organization of the educational process, performances have appeared that can take into account the level of knowledge, workload of the simulator and training material base, taking into account the individual learning path, training in groups for planning schedules.

**Keywords:** air traffic control dispatcher; intelligent training system; information and analytical system; training model; assessment and testing process.



УДК 004.82

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.021320

О. І. ТИМОЧКО<sup>1</sup>, доктор техн. наук, професор;

Г. В. ДУБОВИК<sup>2</sup>;

В. М. ПАВЛЕНКО<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

<sup>2</sup> Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, Київ

<sup>3</sup> Харківський національний університет імені В. М. Каразіна

## МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ У НЕЧІТКИХ УМОВАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

*Запропоновано метод розпізнавання повітряних об'єктів для систем керування повітряним рухом, який уможливи-  
лює оброблення даних різної природи. Головною відмінністю розгляданого методу є його придатність до роботи  
за умов неповноти та протилежності даних. Такий підхід дає змогу діставати задовільні розв'язки навіть за умов  
високої невизначеності та обмеженого ліміту часу на прийняття рішень. В основу розробленого методу покладено  
ідеї сумісного оброблення даних, ієрархічного аналізу, семантичних мереж подання та оброблення даних, а також  
процедур прийняття рішення, ґрунтуючись на підході, запропонованому Демпстером. Застосування цих підходів та  
методів дозволило розробити гнучкі процедури та методи прийняття рішень під час розпізнавання повітряних об'єктів  
із використанням інтелектуальних моделей опису знань про процеси прийняття рішень та опису предметної сфери. Це  
дає змогу здійснювати коректне об'єднання неузгоджених розподілів можливостей класів алфавіту з використанням  
правила Демпстера. Досліджено застосовність розроблених моделей, методів та правила під час об'єднання неузго-  
джених розподілів імовірностей класів алфавіту. Метод пошуку вирішень про класи розпізнаваних повітряних об'єктів  
на графі функціональної мережі відрізняється від відомих розробленим способом отримання інтервального оціню-  
вання ступеня істинності класів за умов відсутності даних щодо окремих ознак повітряних об'єктів і запропонованим  
евристичним правилом, що дає можливість скоротити розмірність множини вершин мережі, які перебираються під  
час пошуку вирішення про клас повітряних об'єктів. Метод дозволяє здійснювати пошук вирішень про класи повітря-  
них об'єктів за умов неповноти і надмірності даних про ознаки.*

**Ключові слова:** оброблення даних; ознаки повітряних об'єктів; розпізнавання; неповнота даних; прийняття рішень.

### ВСТУП

Однією з умов успішного розв'язання завдань керування повітряними об'єктами за різних умов є своєчасне розпізнавання типів повітряних об'єктів, визначення їх характеристик та вироблення адекватних команд керування для попередження порушень правил використання повітряного простору. У сучасних системах керування використовуються активні методи отримання інформації про повітряні об'єкти, але існують умови, коли визначення типу повітряного об'єкта необхідно проводити за умов невизначеності та неповноти даних. Такими умовами можуть бути: захоплення повітряного судна терористами, використання застарілих повітряних суден, які не оснащені системами активного сповіщення, використання бойової авіації, за умов радіоелектронного припущення тощо.

Тому постає завдання потреби у прийнятті рішень про тип, належність, характеристики повітряного об'єкта навіть у разі браку даних для цього завдання, або вони перебувають у протиріччі одне до одного.

Отже, наукове завдання розроблення методу автоматизації процесу розпізнавання повітряного об'єкта за умов різнорідності, неповноти даних про повітряний об'єкт набуває особливої актуальності.

© О. І. Тимочко, Г. В. Дубовик, В. М. Павленко, 2020

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Побудові систем розпізнавання повітряних об'єктів було присвячено чимало праць [1; 2]. Однак усі ці підходи розкривають процес розпізнавання в рамках тієї інформації, яка циркулює в цих системах [2–8]. Розроблені методи та моделі досить успішно це завдання вирішують, але питання, пов'язані з необхідністю об'єднання різнорідної інформації авторами або не розглядаються, або враховуються в обмеженому вигляді [6; 7]. Тому вивчення систем, які оперують кількісними та якісними ознаками за умов їх неповноти та протилежності відображуваних характеристик, є актуальним та потребує подальшого дослідження. Також у багатьох системах неможливо реалізувати систему пояснення здобутих результатів [3; 4; 9], що неприпустимо для систем розпізнавання типу повітряних об'єктів, що також має бути враховано в розробленому методі.

**Постановка проблеми.** У даній роботі пропонується підхід до розроблення методу розпізнавання повітряних об'єктів за умов різнорідності, неповноти і надмірності даних про ознаки, що характеризують повітряний об'єкт.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є метод розпізнавання повітряних об'єктів за умов різнорідності, неповноти і надмірності даних про ознаки, який враховує характеристики точності і вірогідності джерел інформації з нестохастичною невизначеністю і розробленими правилами узагальнення оцінок значень ознак у процесі багаторазового спостереження за повітряними об'єктами.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для контролю повітряного простору провадиться постійний його моніторинг та нагромаджуються дані про всі повітряні об'єкти (ПО), що рухаються та спостерігаються [1; 2; 6]. За результатами оброблення результатів спостережень має бути сформовано узагальнену характеристику прояви ознак ПО. У результаті узагальнення даних про ознаки ПО мають бути отримані характеристики законів розподілу значень ознак за інтервал спостереження. Узагальнені за інтервал спостереження характеристики значень ознак будуть у подальшому використані як вихідні дані для розпізнавання ПО. Розглянемо зміст пропонованого методу узагальнення даних про значення кількісних і якісних ознак ПО.

Як формалізм для подання апріорних і поточних даних про значення кількісних ознак візьмемо нечіткі  $LR$ -інтервали, узагальнену характеристику значень ознак за період спостереження також має бути подано у вигляді нечіткого  $LR$ -інтервалу [12].

Уважатимемо, що в результаті узагальнення виявлених за  $n - 1$  циклів оновлення інформації значень ознак ПО сформовано поточні характеристики закону їх розподілу. Нове значення кількісної ознаки, зареєстроване системою різнотипних джерел інформації (ДІ) у  $n$ -му циклі оновлення інформації, використовується для уточнення параметрів поточного закону розподілу. Оскільки дані від ДІ надходять послідовно в часі, пропонуються такі рекурентні співвідношення для їх узагальнення:

$$\begin{aligned} \underline{m}^{n*} &= \underline{m}^n; \\ \overline{m}^{n*} &= \overline{m}^n; \\ \alpha^{n*} &= \underline{m}^n - \min\left[\left(\underline{m}^{n-1} - \alpha^{n-1}\right), \left(\underline{m}^n - \alpha^n\right)\right]; \\ \beta^{n*} &= \max\left[\left(\overline{m}^{n-1} + \beta^{n-1}\right), \left(\overline{m}^n + \beta^n\right)\right], \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\langle \alpha, \underline{m}, \overline{m}, \beta \rangle_{LR}$  — параметри нечіткого  $LR$ -інтервалу поточного розподілу значень кількісної ознаки, отриманого за  $n - 1$  циклів спостереження;

$$\alpha^* = \begin{cases} \frac{\alpha}{\gamma}, & \frac{\alpha}{\gamma} \leq \underline{m} - x_{\min}, \\ (\underline{m} - x_{\min})\gamma, & \frac{\alpha}{\gamma} > \underline{m} - x_{\min}. \end{cases} \quad \beta^* = \begin{cases} \frac{\beta}{\gamma}, & \frac{\beta}{\gamma} \leq x_{\max} - \overline{m}, \\ (x_{\max} - \overline{m})\gamma, & \frac{\beta}{\gamma} > x_{\max} - \overline{m}. \end{cases}$$

$$\underline{m}^* = \begin{cases} \underline{m}, & \frac{\alpha}{\gamma} \leq \underline{m} - x_{\min}, \\ x_{\min} + (\underline{m} - x_{\min})\gamma, & \frac{\alpha}{\gamma} > \underline{m} - x_{\min}. \end{cases} \quad \overline{m}^* = \begin{cases} \overline{m}, & \frac{\beta}{\gamma} \leq x_{\max} - \overline{m}, \\ x_{\max} - (x_{\max} - \overline{m})\gamma, & \frac{\beta}{\gamma} > x_{\max} - \overline{m}. \end{cases}$$

Як рекурентне правило узагальнення результатів спостереження значень якісних ознак, поданих у вигляді відповідних алфавітів класів, візьмемо вираз

$$\pi^{n*}(K_i) = \frac{\pi^n(K_i) + \pi^{n-1}(K_i)}{2 \max_{\forall i} \pi^{n*}(K_i)},$$

де  $i = 1, \dots, I$ ,  $I$  — кількість класів алфавіту, що відповідають якісній ознаці;  $\pi^{n-1}(K_i)$ ,  $\pi^n(K_i)$ ,  $\pi^{n^*}(K_i)$  — значення міри можливості  $i$ -го класу, отримані в результаті узагальнення відповідно за  $n - 1$  циклів оновлення інформації, у  $n$ -м циклі і в результаті узагальнення за  $n^*$  циклів.

Таким чином, під час узагальнення результатів спостереження ПО формується опис прояву спостережуваним об'єктом ознак у вигляді параметрів законів розподілів їх значень. При цьому використовуються результати узагальнення, здобуті в попередніх циклах оновлення інформації і поточні оцінки значень ознак. Отримані узагальнені розподіли значень ознак використовуватимуться як вихідні дані для розв'язання завдання розпізнавання ПО.

**Розроблення методу розв'язання задачі розпізнавання повітряних об'єктів за умов різнорідності, неповноти і надмірності даних про ознаки**

У процесі побудови формалізованого опису класів необхідно враховувати логічний взаємозв'язок ознак. Опис класу об'єкта, що розпізнається, може бути подано у вигляді формули на мові булевої алгебри [14]:

$$K = \bigcup_{i \in I} \bigcap_{j \in J_i} X_{ij}, \tag{2}$$

де  $X_{ij}$  — змінні, що описують поняття, або їх доповнення.

Усі апіорні розподіли ознак за ступенем їх апіорної інформативності для розпізнавання об'єктів можна поділити на істотні (прямі) і неістотні (непрямі), аналогічно запропонованим у роботі [13].

Під істотними розумітимемо ознаки, виявлення яких однозначно свідчить про належність об'єкта, що спостерігається, лише до одного з аналізованих класів алфавіту.

Під неістотними будемо розуміти ознаки, виявлення яких свідчить про належність об'єкта, що спостерігається, одночасно до кількох аналізованих класів алфавіту.

З урахуванням уведених положень пропонується такий удосконалений метод формалізації описів класів:

- ◆ усі істотні ознаки об'єднуються з використанням операції диз'юнкції;
- ◆ усі неістотні ознаки об'єднуються в набори з використанням операції кон'юнкції, а набори об'єднуються спільно з істотними ознаками з використанням операції диз'юнкції.

Таким чином, особливостями запропонованого методу формалізації знань є таке:

- використання кількісних і якісних ознак в інтенціональному описі класів алфавіту, що відкриває можливість їх спільного використання під час розпізнавання ПО;
- використання як базові поняття описів класів апіорних розподілів значень ознак, що дає можливість формувати узагальнений опис класів алфавітів;
- виокремлення істотних і неістотних ознак дає змогу більш цілеспрямовано здійснювати побудову формалізованого опису класів ПО.

У процесі вибору принципів формалізованого опису процесу розпізнавання об'єктів можуть бути використані ідеї методу покрокової ієрархічної декомпозиції [15]. За принципи формалізації процесу розпізнавання ПО братимемо:

- модульність — опис складається з окремих компонентів;
- ієрархічність — кожний компонент формалізованого опису може мати власний внутрішній зміст;
- функціональність — опис на кожному кроці процесу розпізнавання являє собою деяку дію над вхідними параметрами для отримання результату.

З огляду на прийняті принципи пропонується формалізований опис процесу розпізнавання здійснювати у вигляді ієрархічної функціональної мережі (ФМ). Функціональна мережа — це орієнтований граф, складений з поіменованих дуг і вершин. Дуги графа відбивають той факт, що вершина, з якої виходить дуга, є аргументом вершини, до якої вона входить. Опис вершин мережі задає процедуру отримання результату за значеннями аргументів, пов'язаних вхідними дугами з даною вершиною [17]. Якщо вершини мають деяку власну структуру у вигляді мережі, то відповідні мережі називають ієрархічними. Розрізняють початкові, дочірні, батьківські та цільові вершини мережі.

Пропонується побудову ФМ здійснювати на підставі інтенціонального опису класів ознаками відповідно до виразу (1).

У процесі розв'язання поставленого завдання розпізнавання використовуватимемо такі типи вершин і їх зміст (рис. 1)

Початкові вершини мережі — апіорні і поточні розподіли значень ознак, подані для кількісних ознак нечітким LR-інтервалом, для якісних — розподілом повноважень класів, які відповідають даним ознакам.

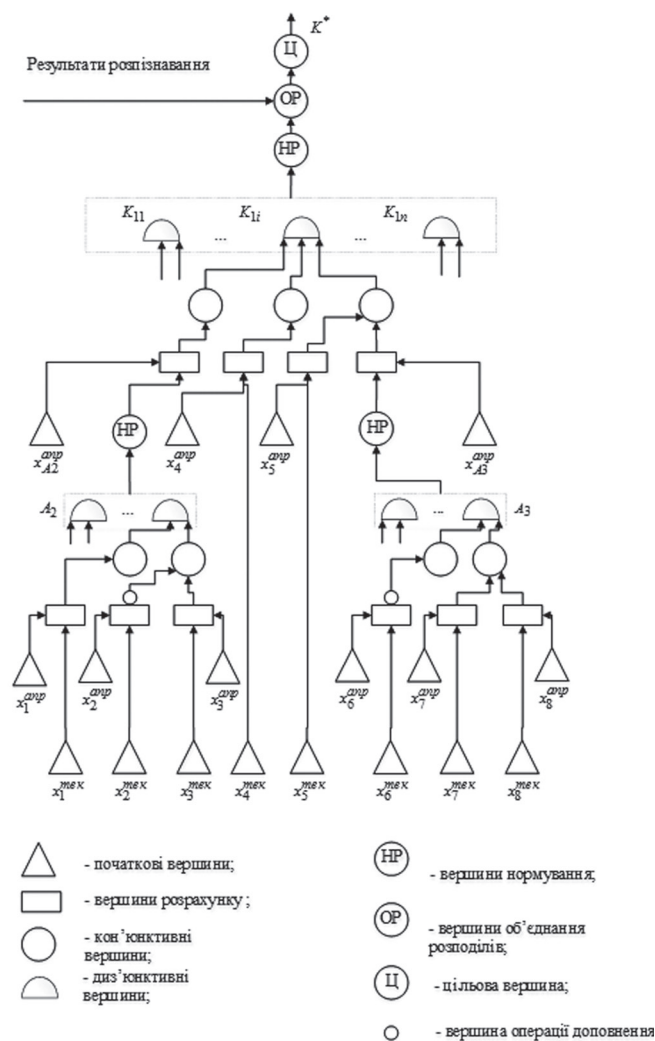


Рис. 1. Приклад графа функціональної мережі процесу розпізнавання ПО

Для прийняття остаточного вирішення про клас ПО необхідно, щоб вихідним розподілом алфавіту був також розподіл можливостей. Для цього вводиться розглядувана вершина з відповідною їй функцією:

$$\pi(K_i) = \frac{\vartheta(K_i)}{\sup_{j \in I} \vartheta(K_j)}$$

Вершини об'єднання розподілів отримано в результаті незалежного розпізнавання у збіжних алфавітах. Для зазначеної операції характерна різномірність розподілів, що об'єднуються. Один із відомих підходів до об'єднання незалежних розподілів засновано на використанні правила Демпстера [12].

Цільова вершина мережі реалізує вибране правило прийняття рішення про клас ПО, що спостерігається. За правило прийняття рішення про клас об'єкта може бути взято запропоноване в [12; 17] правило максимальної апостеріорної можливості класів, що враховує нечітку класифікацію ПО в алфавіті:

$$K_i^* = \arg \max_{\forall K_i} \pi(K_i), \text{ якщо } \pi(K_i^*) - \pi(K_j) > \delta_{\text{пор}},$$

де  $\pi(K_j)$  — апостеріорна міра можливостей класу;  $K_j$  — клас зі значенням апостеріорної міри можливостей, найбільш близької до  $\pi(K_i^*)$ ;  $\delta_{\text{пор}}$  — порогове значення, що вибирається залежно від розрізнення класів алфавіту.

В іншому разі вирішення про клас ПО прийняти неможливо внаслідок малої інформативності виявлених ознак. При цьому продовжується спостереження ПО з узагальненням інформації про ознаки і подальшим розпізнаванням згідно з прийнятими правилами.

Використання в задачах реального часу мережних моделей для формалізації знань (процесів) під час їх реалізації на рівні програмних модулів стикається з певними труднощами. Зокрема, подібне уявлення під час реалізації методів пошуку вирішень про класи об'єктів потребують аналізу значної кількості символічних даних, які є елементами відповідних багатовимірних матриць. Це, у свою чергу, ускладнює програмну реалізацію методів пошуку вирішень на структурі однорідної мережі в реальному масштабі часу.

Таким чином, як формалізований опис процесу розпізнавання взято граф ієрархічної функціональної мережі, що відбиває склад і зміст основних етапів процесу розпізнавання. Аналіз відношення між вершинами вибраної мережі свідчить про належність її до класу однорідних ФМ. Використання адресної матриці суміжності для формалізації відношення між вершинами мережі на рівні програмних модулів дає можливість значно скоротити час пошуку вирішення про клас спостережуваного об'єкта і реалізувати процес розпізнавання в реальному масштабі часу.

Наявність неточних і невірогідних даних про значення ознак ПО потребує для подання правдоподібних міркувань застосування логічних систем, котрі використовують чисельні значення ступенів істинності, які містяться між значеннями «істинно» і «хибно» [11; 12; 17]. Уважатимемо, що  $\forall i, \vartheta(x_i) \in [0, 1]$ , де  $\vartheta(x_i)$  — багатозначна ступінь істинності ознаки  $x_i$ .

З огляду на те, що на множині  $[0, 1] \times [0, 1]$  неможливо зберегти структуру булевої алгебри, вдається дістати тільки деяку «оптимальну» структуру [14], використовуючи операції максимуму і мінімуму як відповідно диз'юнкція і кон'юнкція.

Для значень ступеня істинності мають виконуватися такі рівності, справедливі в екстенціональній логіці [13]:

$$\begin{aligned} \vartheta(\sim X) &= 1 - \vartheta(X); \\ \vartheta(X_1 \vee X_2) &= \sup(\vartheta(X_1), \vartheta(X_2)); \\ \vartheta(X_1 \& X_2) &= \inf(\vartheta(X_1), \vartheta(X_2)). \end{aligned}$$

Диз'юнкція і кон'юнкція такої логіки є комутативними, асоціативними, ідемпотентними і дистрибутивними щодо один одного, але не задовольняють законам виключення третього і несуперечності в сенсі:

$$\begin{aligned} \vartheta(X) \wedge \vartheta(\sim X) &\neq 1; \\ \vartheta(X) \& \vartheta(X) &\neq 0. \end{aligned}$$

Невиконання цих законів має місце і в разі нечіткої класифікації ПО, коли можуть спостерігатися ПО зі значеннями ознак, що не належать до жодного з класів алфавіту, а також одні й ті самі значення ознак ПО можуть бути притаманні окремим класам алфавіту з різним ступенем істинності.

З огляду на прийнятий спосіб формалізації опису класів ознаками оцінювання ступеня істинності класів алфавіту може бути визначено у вигляді:

$$\vartheta(K_i) = \sup_{i \in I} (\inf_{j \in J} \vartheta(X_{ij})).$$

Ступінь істинності  $\vartheta(X)$  будь-якої ознаки будемо інтерпретувати як ступінь його емпіричної підтверженості. У цьому разі ступінь істинності ознаки можна розуміти як ступінь істинності  $v_{ij}(\delta, \xi)$  нечіткого твердження  $\delta$  про поточний розподіл міри невизначеності значень ознаки  $x_i$  об'єкта, що спостерігається, щодо деякого базового твердження  $\xi$ . Як базове твердження розглядатимемо апріорні нечіткі знання, подані відповідним розподілом однойменної ознаки, що характеризує певний клас  $K_i$ .

У [14–17] обґрунтовано використання понять можливості  $\Pi(\delta, \xi)$  і необхідності  $N(\delta, \xi)$  для оцінювання ступеня істинності твердження  $\delta$  відносно базового  $\xi$ , що являє собою експертні знання щодо реальної дійсності. Значення ступеня істинності в цьому разі обчислюється згідно з виразом:

$$v(\delta, \xi) = \frac{\Pi(\delta, \xi) + N(\delta, \xi)}{2}.$$

Такий підхід можна застосувати для випадку, коли можливість  $\Pi$  і необхідність  $N$  виступають як міра невизначеності тверджень, які є інтерпретацією відповідних функцій розподілу можливостей значень кількісних ознак:

$$\begin{aligned} \mu_\delta(x) &= \{\pi_\delta(x), x \in X_j\}, \\ \mu_\xi(x) &= \{\pi_\xi(x), x \in X_j\}. \end{aligned}$$

Також у [14–17] обґрунтовано, що для розподілу можливостей класів якісної ознаки може бути побудовано відповідний йому розподіл базисних імовірностей  $m(E_k)$  фокальних базових елементів  $E_k$  множини класів. Для двох розподілів базисних імовірностей, що відповідають розподілам класів збіжних алфавітів, існує характеристика ступеня їх неузгодженості  $m_0$  [15]:

$$m_0 = \sum_{E_i \cap E_j = \emptyset} m_1(E_i) m_2(E_j).$$

Значення  $m_0$  відбиває ступінь протиріччя двох розподілів розглядуваних базисних імовірностей.

За ступінь істинності якісних ознак пропонується взяти величину  $v(\delta, \xi) = 1 - m_0$ , де  $m_0$  — ступінь неузгодженості розподілів базисних імовірностей.

Якщо твердження  $\delta$  таке, що відповідний йому розподіл базисних імовірностей  $m_\delta(E_k)$  повністю узгоджений ( $m_0 = 0$ ) розподілом базисних імовірностей твердження  $\xi - m_\xi(E_i)$ , що є експертними знаннями, то ступінь істинності  $v(\delta, \xi) = 1$ . У разі повної неузгодженості ( $m_0 = 1$ ) вважається, що твердження  $\delta$  є хибним щодо експертних знань  $\xi$ .

Таким чином, відмітною особливістю розробленого методу є використання показника неузгодженості двох розподілів базисних імовірностей для оцінювання ступеня істинності якісних ознак.

З огляду на зазначене доходимо висновку, що за наявності серйозних протиріч між даними від різних джерел, необхідно шукати інші варіанти їх об'єднання [5–7]. Одним із таких варіантів, який широко застосовується на практиці, є прийняття як результуючі дані від найбільш вірогідного джерела [1].

Було проведено дослідження застосовності правила Демпстера й вибору порогового значення  $m_0^{\text{пор}}$  ступеня неузгодженості розподілів, що об'єднуються. Також проаналізовано залежність результатів розпізнавання за об'єднаними розподілами ймовірностей від порогового значення їх ступеня неузгодженості  $m_0^{\text{пор}}$ . У результаті досліджень побудовано сімейство залежностей імовірності правильного розпізнавання від значення  $m_0^{\text{пор}} : p^{\text{прав}}(m_0^{\text{пор}})$ , що унаочнює рис. 2.

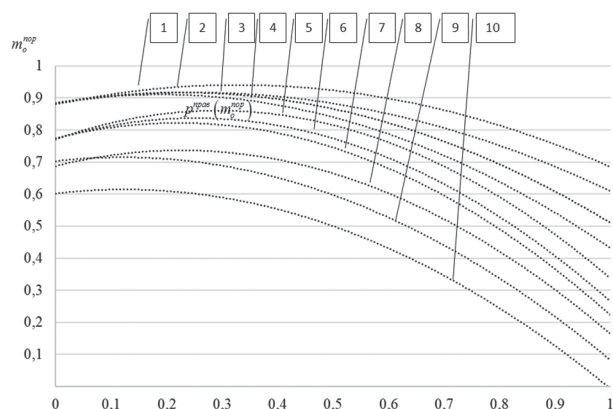


Рис. 2. Оцінювання ймовірності правильного розпізнавання

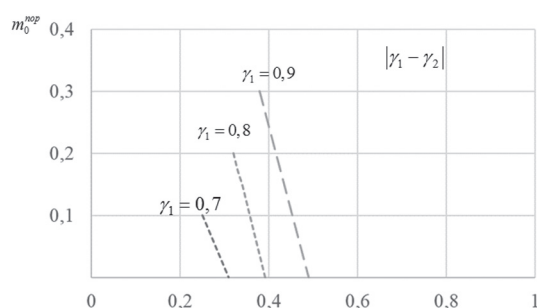


Рис. 3. Значення ступеня неузгодженості даних

Із використанням отриманих залежностей побудовано сімейство кривих (рис. 3), що дають можливість визначати граничне значення ступеня неузгодженості за даними про вірогідність ДІ.

### Висновки

В основу розробленої методики розв'язання задачі розпізнавання ПО покладено методи формалізації процесу розпізнавання, оцінювання ступеня істинності різнорідних ознак, об'єднання незалежних результатів розпізнавання, пошуку вирішень про класи розпізнаваних об'єктів із урахуванням неповноти й надмірності даних про ознаки.

Розроблений метод формалізації процесу розпізнавання ПО на основі описів класів різнорідними ознаками відрізняється від відомих використанням ієрархічної функціональної мережі. Показано, що функціональна мережа процесу розпізнавання є однорідною в сенсі однорідності відношення між вершинами. Оцінювання ступеня істинності різнорідних ознак відрізняється тим, що використано відоме правило визначення ступеня неузгодженості двох розподілів базисних імовірностей для визначення багатозначної істинності якісних ознак. Розроблений метод дає можливість визначити багатозначні значення ступеня істинності кількісних й якісних ознак та спільно використовувати їх для визначення ступеня істинності класів, що розпізнаються.

Удосконалення методу об'єднання незалежних результатів розпізнавання на основі правила Демпстера полягає в попередньому перетворенні одного з неузгоджених розподілів можливостей класів алфавіту в розподіл імовірностей. Це дає змогу проводити коректне об'єднання неузгоджених розподілів можливостей класів алфавіту з використанням правила Демпстера.

Досліджено застосовність розробленого правила під час об'єднання неузгоджених розподілів імовірностей класів алфавіту. У результаті було побудовано сімейство кривих, що дає змогу визначити порогове значення ступеня неузгодженості розподілів, що об'єднуються, за даними про вірогідність джерел інформації. У разі перевищення значенням ступеня неузгодженості порогового, як результуючий береться розподіл від найбільш вірогідного джерела.

### Список використаної літератури

1. Малярченко А. С. Системи вторичної радіолокації для управління повітряним движением и государственного опознавания: справочник. Харьков: ХУВС, 2007. 78 с.

Збільшення ймовірності правильного розпізнавання при  $m_0 < m_0^{pop}$  відбувається внаслідок прийняття рішень на основі досить узгодженої (отже — підтвердженої) й об'єднаної згідно з прийнятим правилом інформації від двох незалежних ДІ. Розпізнавання ПО з використанням значно неузгодженої об'єднаної інформації призводить до збільшення невизначеності об'єднаних розподілів і, як наслідок, до зниження вірогідності прийнятих рішень.

1.  $\gamma_1 = 0,9, \gamma_2 = 0,9$ ; 6.  $\gamma_1 = 0,8, \gamma_2 = 0,7$ ;
2.  $\gamma_1 = 0,9, \gamma_2 = 0,8$ ; 7.  $\gamma_1 = 0,8, \gamma_2 = 0,6$ ;
3.  $\gamma_1 = 0,9, \gamma_2 = 0,7$ ; 8.  $\gamma_1 = 0,7, \gamma_2 = 0,7$ ;
4.  $\gamma_1 = 0,9, \gamma_2 = 0,6$ ; 9.  $\gamma_1 = 0,7, \gamma_2 = 0,6$ ;
5.  $\gamma_1 = 0,8, \gamma_2 = 0,8$ ; 10.  $\gamma_1 = 0,6, \gamma_2 = 0,6$ ;

У разі зниження точностних характеристик джерел інформації зменшується і граничне значення ступеня неузгодженості результатів розпізнавання, що об'єднуються. Даний факт зумовлено зростанням невизначеності розподілів, які об'єднуються, що, у свою чергу, призводить до збільшення невизначеності результатів об'єднання й зниження вірогідності прийнятих рішень.

2. *Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 12 Category 21 ADS-B Target Reports*, EUROCONTROL, 2015.
3. *George F. L. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem-Solving*. 4 ed. Williams, 2005. 864 p.
4. *Яхъяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети*. Москва: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2011. 320 с.
5. *Флоров И. Б. Информационные технологии в радиотехнических системах*. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 846 с.
6. *Системно-концептуальні положення й організаційно-методичні основи обґрунтування, вибору і реалізації обрисів перспективної системи озброєння протиповітряної оборони держави та її збройних сил* / О. В. Туринський, Б. О. Демідов, Д. А. Гриб, О. О. Хмелевська // *Системи озброєння і військова техніка*. 2019. № 2(58). С. 55-69. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.08>.
7. *Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация*. Москва: Радио и связь, 1992. 416 с.
8. *Верба В. С., Меркулов В. И. Многопозиционные радиолокационные системы наведения. Возможности и ограничения*. Москва: Радиотехника, 2013. С. 94–99.
9. *Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания*. Москва: Высш. школа, 2004. 261 с.
10. *Гафаров Е. Р. Графический метод решения задач комбинаторной оптимизации* // *Автоматика и телемеханика*. 2016. № 12. С. 26–36.
11. *Журавлев Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации* // *Проблемы кибернетики*. 2005. Вып. 33. С. 5–68.
12. *Dempster A. The Dempster-Shafer calculus for statisticians*, IJAR. 2008. Vol. 48. P. 365–377.
13. *Dezert J., Tchamova A. On the behavior of Dempster's rule of combination*, School on Belief Functions Theory and Applications // Autrans, France, 4-8 April 2011. URL: <http://hal.Archives-ouvertes.Fr/hal-00577983/>
14. *Dezert J., Tchamova A., Dambreville F. On the mathematical theory of evidence and Dempster's rule of combination* // May 2011. URL: <http://hal.Archives-ouvertes.Fr/hal-00591633/fr/>
15. *Метод визначення напрямків удару засобів повітряного нападу на оперативному напрямку* / М. А. Павленко, В. К. Медведєв, П. Г. Берднік, Р. В. Сафронов // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2016. № 3(24). С. 24–27.
16. *Використання кліткового автомату у методі вибору варіанту маршруту польоту ударних літаків щодо ураження наземних цілей* / Є. С. Воробйов, М. А. Павленко, Є. Ю. Хлебніков, М. Г. Гладішев // *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 1(53). С. 84–90. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.12>.
17. *Павленко М. А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени* // *Системи обробки інформації*. 2004. № 9(37). С. 124–133.

А. И. Тимочко, Г. В. Дубовик, В. М. Павленко

### МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Предложен метод распознавания воздушных объектов для систем управления воздушным движением, который позволяет обрабатывать данные различной природы. Основным отличием предложенного метода является его пригодность к работе в условиях неполноты и противоположности данных. Такой подход позволяет получать удовлетворительные решения даже в условиях высокой неопределенности и в условиях ограниченного лимита времени на принятие решений. В основу разработанного метода положены идеи совместной обработки данных, иерархического анализа, семантических сетей представления и обработки данных, а также процедур принятия решения на основе подхода, предложенного Демпстером. Использование этих подходов и методов позволило разработать гибкие процедуры и методы принятия решений при распознавании воздушных объектов с использованием интеллектуальных моделей описания знаний о процессах принятия решений и описания предметной области. Это позволяет проводить корректное объединение несогласованных распределений возможностей классов алфавита с использованием правила Демпстера. Проведено исследование применимости разработанных моделей, методов и правила при объединении несогласованных распределений вероятностей классов алфавита. Разработанный метод поиска решений о классах распознаваемых воздушных объектов на графе функциональной сети отличается от известных разработанным способом получения интервальной оценки степени истинности классов в условиях отсутствия данных по отдельным признакам воздушных объектов и предложенным эвристическим правилом, что позволяет сократить размерность множества вершин сети, которые перебираются при поиске решения о классе

воздушных объектов. Метод позволяет проводить поиск решений о классах воздушных объектов в условиях неполноты и избыточности данных о признаках.

**Ключевые слова:** обработка данных; признаки воздушных объектов; распознавания; неполнота данных; принятие решений.

*O. Timochko, G. Dubovik, V. Pavlenko*

### METHOD OF SOLVING THE PROBLEM OF RECOGNITION OF AIR OBJECTS UNDER FUZZY DECISION-MAKING CONDITIONS

The paper proposes a method of recognition of airborne objects for air traffic control systems, which allows you to process data of various nature. The main difference of the proposed method is its suitability for work when data are incomplete and opposite. Such an approach makes it possible to obtain satisfactory decisions even in conditions of high uncertainty and in conditions of a limited time for decision making. The developed method is based on the ideas of joint data processing, hierarchical analysis, semantic networks of presentation and data processing, as well as decision-making procedures based on the approach proposed by Dempster. Using these approaches and methods allowed us to develop flexible procedures and decision-making methods for recognizing airborne objects using intelligent models for describing knowledge about decision-making processes and describing a subject area. It allows us to correctly combine inconsistent distributions of the capabilities of alphabet classes using the Dempster rule. A study of the applicability of the developed models, methods and rules when combining inconsistent probability distributions of alphabet classes was made. The developed method for finding solutions for classes of recognizable air objects on the graph of the functional network differs from the known methods for obtaining an interval estimate of the degree of truth of classes in the absence of data on individual attributes of air objects and the proposed heuristic rule, which allows us to reduce the dimension of the set of network vertices that are sorted during the search decisions about the class of air objects. The method allows you to search for solutions about classes of airborne objects under conditions of incompleteness and redundancy of feature data.

**Keywords:** data processing; features of air objects; recognition; incomplete data; decision making.

## Шановні колеги!

*Передплата на науковий журнал  
завжди триває!*

Її ви можете оформити за «Каталогом видань України» та «Каталогом видань зарубіжних країн»:

- ❖ у відділеннях поштового зв'язку
- ❖ в операційних залах поштамтів
- ❖ у пунктах приймання передплати
- ❖ на сайті ДП «Преса» [www.presa.ua](http://www.presa.ua)
- ❖ на сайті УДППЗ «Укрпошта» [www.ukrposhta.ua](http://www.ukrposhta.ua)

**ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС  
74224**



*Підтримуйте фахове галузеве видання — завжди надійне джерело достовірної інформації!*