

О.О. Тімочко

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

Для прийняття рішень з класифікації повітряних об'єктів використаний комбінований метод – нечіткі моделі на основі систем з нечіткою логікою, а також моделі на основі звичайної булевої логіки. На попередньому етапі оцінка здійснюється шляхом співставлення з еталонним набором ознак для кожного класу повітряних об'єктів. На основі модифікації синглетонної бази знань та оптимістичного критерію прийняття рішення запропонований механізм ієрархічного логічного виведення. Значення синглетонних функцій належності для неявних гілок дерева прийняття рішень розглядається як значення обчисленої достовірності інформації. База знань формується як матриця відповідності можливих ознак поведінки повітряного об'єкту кожному індексу належності (класу повітряних об'єктів). Механізм логічного виведення застосовує результати попереднього аналізу можливих варіантів рішення, має гілки явних та неявних рішень. За вагові коефіцієнти рівняння логічного виведення використовуються значення коефіцієнтів повноти інформації, обчислені на етапі аналізу вхідної інформації. Отримані рівняння та дерева логічного виведення дозволяють побудувати метод прийняття рішень для автоматизованої класифікації повітряних об'єктів. Запропонований метод класифікації повітряних об'єктів відрізняється від відомих: а) використанням різномірних джерел інформації про повітряні об'єкти і формалізацією ознак за допомогою нечітких множин, у тому числі 2-го типу; б) введенням ієрархічної системи класифікації повітряних об'єктів; в) обчисленням достовірності інформації про повітряні об'єкти і використанням її в якості значень синглетонних функцій належності вхідних ознак; г) організацією логічного виведення по детермінованій і нечіткій гілках прийняття рішень про повітряні об'єкти з формуванням вектору “довіри” до варіантів рішення. Вдосконалений метод оцінювання якості класифікації повітряних об'єктів може використовуватися на етапі тестування автоматизованої системи класифікації.

Ключові слова: повітряний об'єкт, класифікація повітряних об'єктів, база знань, функція приналежності, ознака повітряного об'єкта, логічне виведення

Введення

Постановка проблеми. Процес класифікації (кластеризації) ПО має відповідати певним вимогам [1]:

– відповідність математичної моделі класів ПО застосованому апарату формалізації, у т.ч. методам формалізації даних і знань;

– повнота і несуперечність формалізованих знань про ПО;

– адекватність надходжуваних початкових даних та оперативність інформації від зовнішніх джерел;

– застосування когнітивного підходу та відкритість системи підтримки прийняття рішення (СППР).

Якість класифікації повітряних об'єктів визначається методами представлення знань, насамперед, продукційних [2]. Продукція представляється трійкою: $\langle \text{ім'я продукції} \rangle \langle \text{умова } A \rangle \langle \text{вираз } B \rangle$. Зацікавленість щодо застосування продукційних моделей у питаннях ідентифікації ПО визначається їх природними перевагами, а саме, близькістю до логічних моделей, наочністю подання знань, легкістю інтерпретації, можливістю обробки неповної, спотвореної і(або) розмитої інформації, ефективністю процедур логічного виведення.

У процесі формалізації завдань класифікації ПО часто маємо справу з невизначеністю інформації. Для врахування і розкриття невизначеності часто використовується теорія нечітких множин [3]. Клас об'єкту є результатом логічного виведення. Причому залежно від апарату формалізації варіюється і логічне виведення – від нечітких продукційних правил, алгоритмів багатокритеріального вибору або прецедентів до вибору за аналогіями [4].

Фактично, як і для більшості предметних областей, клас ПО зазвичай визначається порівнянням поточних значень властивостей спостережуваного об'єкту з еталонними. У такому випадку традиційно розраховується міра схожості або відстань між об'єктами за Лукасевичем, Танімото, Дейком, Мінковським та ін. Віднесення ПО до деякого алфавіту вибирається за правилом, що сума відстаней $\sum_i^N D(S_i, S^*)$ від класу S^* до усіх інших класів S_i є мінімальною.

Підвищення ефективності прийнятого рішення про класифікацію ПО досягається комплексним застосуванням методів нечіткого розпізнавання з методами звичайної булевої алгебри і методу вибору

за аналогією відповідної процедури логічного виведення. Автоматизоване прийняття рішення про клас ПО при неповній інформації досягається комплексним застосуванням механізмів логічного виведення (нечіткого і детермінованого). При цьому використовуються мінімальні відстані між об'єктами (Кемени) шляхом для порівняння еталонних і поточних значень ознак повітряних об'єктів і встановлюється ступінь відповідності отриманих класів розробленим на етапі концептуалізації. Але отриманий результат не гарантує достовірності рішення за причини неповноти та нечіткості початкової інформації про ознаки повітряних об'єктів. У цьому зв'язку актуальним питанням є розробка підходів щодо однозначної класифікації повітряного об'єкта залежно від складу системи ознак, за якою він оцінюється.

Мета статті – розробка вдосконаленого методу класифікації повітряних об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Нечітка логіка ефективна в складних важко формалізуємих і погано структурованих процесах, які

можуть управлятися кваліфікованими операторами [8]. За нечіткими, на відміну від чітких, методами класифікації один і той самий об'єкт може належати одночасно декільком класам, але з різним ступенем впевненості.

Такі системи є гібридними через сумісну обробку статистичних і семантичних ознак кількісного та якісного характеру. За апарат формалізації в нечітких системах можуть бути застосовані нечіткі множини першого або другого роду. У результаті формалізації ознак повітряних об'єктів та застосування методів логічного виведення для класифікації вирішується завдання дослідження.

Нечітке логічне виведення для класифікації ПО характеризується ієрархічністю, синглетонним видом функцій належності вхідних термів, бінарністю або розрахунком вагових коефіцієнтів в правилах. Виведення в дереві мають здійснюватися по чітких операціях булевої алгебри або бути нечіткими.

Для класифікації ПО використовуємо модифіковану синглетонну базу знань на нечітких продукційних правилах виду [5]:

$$\begin{aligned}
 & \text{ЯКЩО } x_1 = a_{1,j1} \text{ I } x_2 = a_{2,j1} \text{ I } \dots \text{ I } x_n = a_{n,j1} \text{ з вагою } W_{j1} \\
 & \text{АБО } x_1 = a_{1,j2} \text{ I } x_2 = a_{2,j2} \text{ I } \dots \text{ I } x_n = a_{n,j2} \text{ з вагою } W_{j2} \\
 & \dots \\
 & \text{АБО } x_1 = a_{1,jk_j} \text{ I } x_2 = a_{2,jk_j} \text{ I } \dots \text{ I } x_n = a_{n,jk_j} \text{ з вагою } W_{jk_j}, \\
 & \text{ТО } y = \beta_j, \quad j = \overline{1, m},
 \end{aligned} \tag{1}$$

де a_{jp} – нечіткий терм для оцінки змінної x_i в правилі з номером j_p , $p = 1, \dots, k_j$, k_j – кількість правил, що описують клас β_j .

Формалізація нечітких множин для нечіткого логічного виведення здійснюється за допомогою функції належності вигляду:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} P_i, & \text{якщо } x \in A, \\ 0, & \text{якщо } x \notin A, \end{cases}$$

де P_i – достовірність інформації.

При прийнятті рішення на основі нечіткого логічного виведення використовується оптимістичний критерій, тобто вибирається варіант з найбільш достовірною інформацією – значення функції належності $\mu_{ip}(x_i^*)$. Міра приналежності об'єкту

$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ класу β_j розраховується так:

$$\begin{aligned}
 \mu_{\beta_j}(X) &= \max W_{jp} \max (\mu_{ip}(x_i^*)), \\
 p &= 1, \dots, k_j, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m,
 \end{aligned} \tag{2}$$

де $\mu_{ip}(x_i^*)$ – функція приналежності входу x_i нечіткому терму a_{ij} .

Рішенням є клас з максимальною мірою приналежності:

$$y^* = \arg \max (\mu_{\beta_1}(X^*), \mu_{\beta_2}(X^*), \dots, \mu_{\beta_m}(X^*)). \tag{3}$$

Вага кожного правила (його адекватність) визначається експертами або розраховується.

Відповідність ознак поведінки індексам приналежності задається у матричному вигляді (матриця знань). Вона фактично є базою знань для логічного виведення. Така матриця знань будується на апараті бінарних відношень. При реалізації алгоритму прийняття рішення з матриці логічного виведення вибирається правило з максимальною вагою і максимальною достовірністю (табл. 1). Система ухвалення рішень є ієрархічною з формуванням з одиничних ознак групової з вагою, яка дорівнює значенню достовірності.

Виведення β_j набуває значення класу або нечіткого терма “міра приналежності класу ПО”. При однозначній відповідності інформаційна ознака визначається автоматично за сукупністю ознак за допомогою булевої алгебри [5]. При невідповідності сукупності ознак еталонній для надійшовшого індексу приналежності формується можлива оцінка з видачею можливих варіантів рішення.

Синтез правил прийняття рішень з класифікації повітряних об'єктів

Представимо правила (рівняння ЛВ), що окремо описують класи першого й інших рівнів і супутні кожному $\beta_{m,n}$ [6].

Так, “Звичайний ПО” – це цивільний повітряний об'єкт, який дотримується тимчасового плану і маршруту польоту і відповідає звичайними (не аварійними) кодами. Наявність відповіді в системі RBS і відсутність відповіді у військових режимах упізнання системи Mk XA однозначно свідчить про приналежність об'єкту до класу “Цивільний”:

$$(\alpha_{6,1} \wedge \bar{\alpha}_{6,5} \wedge \bar{\alpha}_{6,6} \wedge \bar{\alpha}_{6,7} \wedge \alpha_{3,1}) \wedge (\alpha_{1,1} \wedge \alpha_{2,1}) \wedge (\bar{\alpha}_{6,3} \wedge \bar{\alpha}_{6,4}) \rightarrow \beta_{1,4} \quad (4)$$

Додатковою ознакою може бути інформація про наявність зв'язку з ПО і виконання ним команд з боку органів ОНР.

До звичайних ПО може бути також віднесений об'єкт, що не відповідає ні в одній системі вторинної радіолокації, наприклад, малорозмірний літак (вертоліт), установка відповідача на якому не передбачена,

але виконуючий політ по заявці на малій висоті ($\alpha_{4,5}$) за правилами візуальних польотів :

$$\bar{\alpha}_{6,1} \wedge (\bar{\alpha}_{6,3} \wedge \bar{\alpha}_{6,4}) \wedge \alpha_{4,5} (\alpha_{1,1} \wedge \alpha_{2,1}) \rightarrow \beta_{1,4} \quad (5)$$

Тоді загальне правило опису звичайного ПО

$$p_{15-14} : (((\alpha_{6,1} \wedge \bar{\alpha}_{6,5} \wedge \bar{\alpha}_{6,6} \wedge \bar{\alpha}_{6,7} \wedge \alpha_{3,1}) \wedge (\alpha_{1,1} \wedge \alpha_{2,1}) \wedge (\bar{\alpha}_{6,3} \wedge \bar{\alpha}_{6,4})) \vee (\bar{\alpha}_{6,1} \wedge (\bar{\alpha}_{6,3} \wedge \bar{\alpha}_{6,4}) \wedge \alpha_{4,5} (\alpha_{1,1} \wedge \alpha_{2,1}))) \wedge \beta_{1,5} \rightarrow \beta_{1,4} \quad (6)$$

де p_{15-14} – перехід з класу $\beta_{1,5}$ першого рівня до класу $\beta_{1,4}$.

Дерево логічного виведення класу “Звичайний ПО” наведено на рис. 1.

Аналогічно опишемо інші класи, наприклад “Повітряне судно по заявці”:

$$p_{33} : ((\alpha_{6,1} \wedge \bar{\alpha}_{6,5} \wedge \bar{\alpha}_{6,6} \wedge \bar{\alpha}_{6,7} \wedge \alpha_{3,1}) \wedge (\alpha_{1,1} \wedge \alpha_{2,1}) \wedge (\bar{\alpha}_{6,3} \wedge \bar{\alpha}_{6,4})) \vee (\bar{\alpha}_{6,1} \wedge (\bar{\alpha}_{6,3} \wedge \bar{\alpha}_{6,4}) \wedge \alpha_{4,5} \wedge (\alpha_{1,1} \wedge \alpha_{2,1})) \rightarrow \beta_{3,3} \quad (7)$$

Аналогічно синтезуються правила логічного виведення для інших класів.

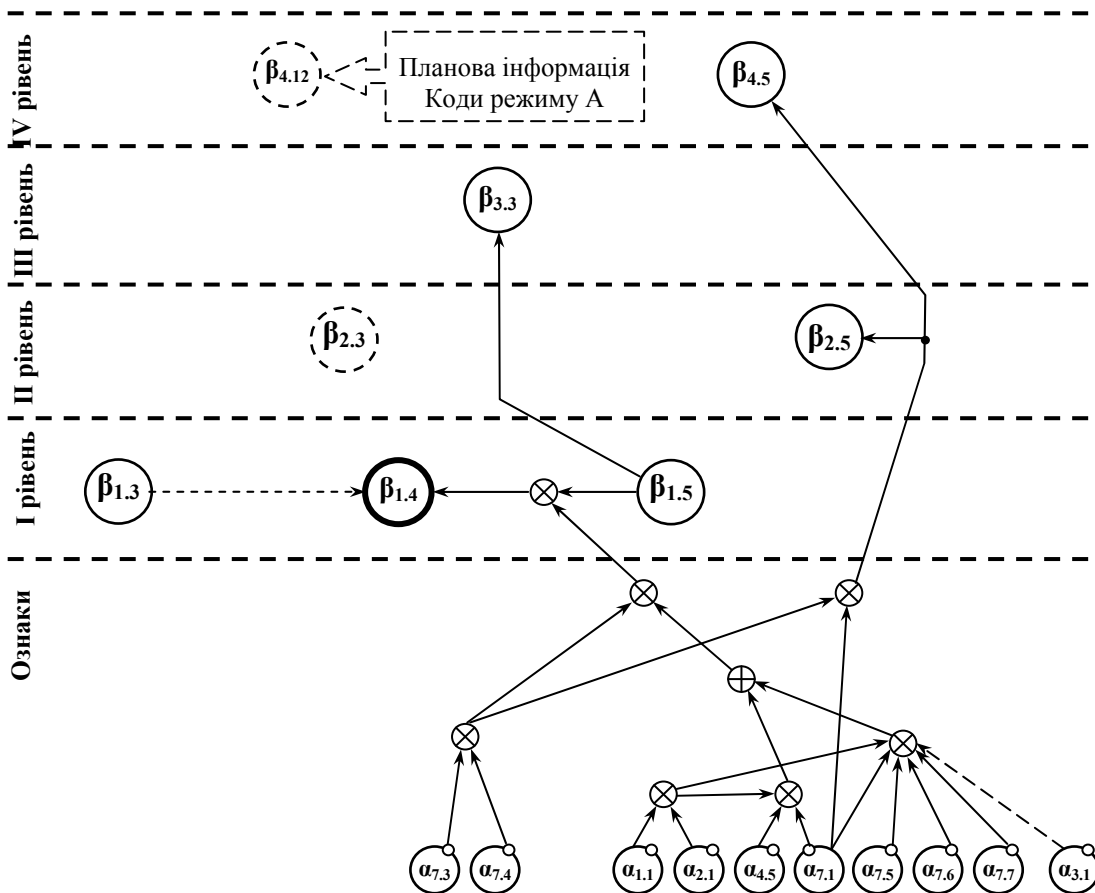


Рис. 1. Фрагмент дерева логічного виведення

Таблиця 1

Матрична реалізація процесу прийняття рішення про кластеризацію ПО (приклад)

$\mu_{1.j1}$	$\mu_{2.j1}$	...	$\mu_{n.j1}$	max	W_{11}	max	β_1
$\mu_{1.j2}$	$\mu_{2.j2}$	...	$\mu_{n.j2}$	max	W_{12}		
...		
$\mu_{1.jk}$	$\mu_{2.jk}$	...	$\mu_{n.jk}$	max	W_{1p}		
$\mu_{1.i1}$	$\mu_{2.i1}$	...	$\mu_{n.i1}$	max	W_{21}		
$\mu_{1.i2}$	$\mu_{2.i2}$	...	$\mu_{n.i2}$	max	W_{22}		
...		
$\mu_{1.ik}$	$\mu_{2.ik}$	...	$\mu_{n.ik}$	max	W_{2p}		
...		
$\mu_{1.m1}$	$\mu_{2.m1}$	...	$\mu_{n.m1}$	max	W_{n1}		
$\mu_{1.m2}$	$\mu_{2.m2}$	...	$\mu_{n.m2}$	max	W_{n2}		
...		

Імовірісно-часовий опис класів

Елементи вектору v_{mn} залежать лише від значень ознак $\alpha_{i,j}$ і часу $v_{mn} = F(\alpha_{i,j}, t)$.

Кожне бінарне рішення m -го рівня характеризується вектором достовірності:

$$\vec{V}_m = \|v_{m1} \ v_{m2} \ \dots \ v_{mn} \ \dots \ v_{mN}\|. \quad (8)$$

Вектор достовірності класів l рівня має вигляд:

$$\vec{V}_l = \|v_{l1} \ v_{l2} \ v_{l3} \ v_{l4} \ v_{l5}\|. \quad (9)$$

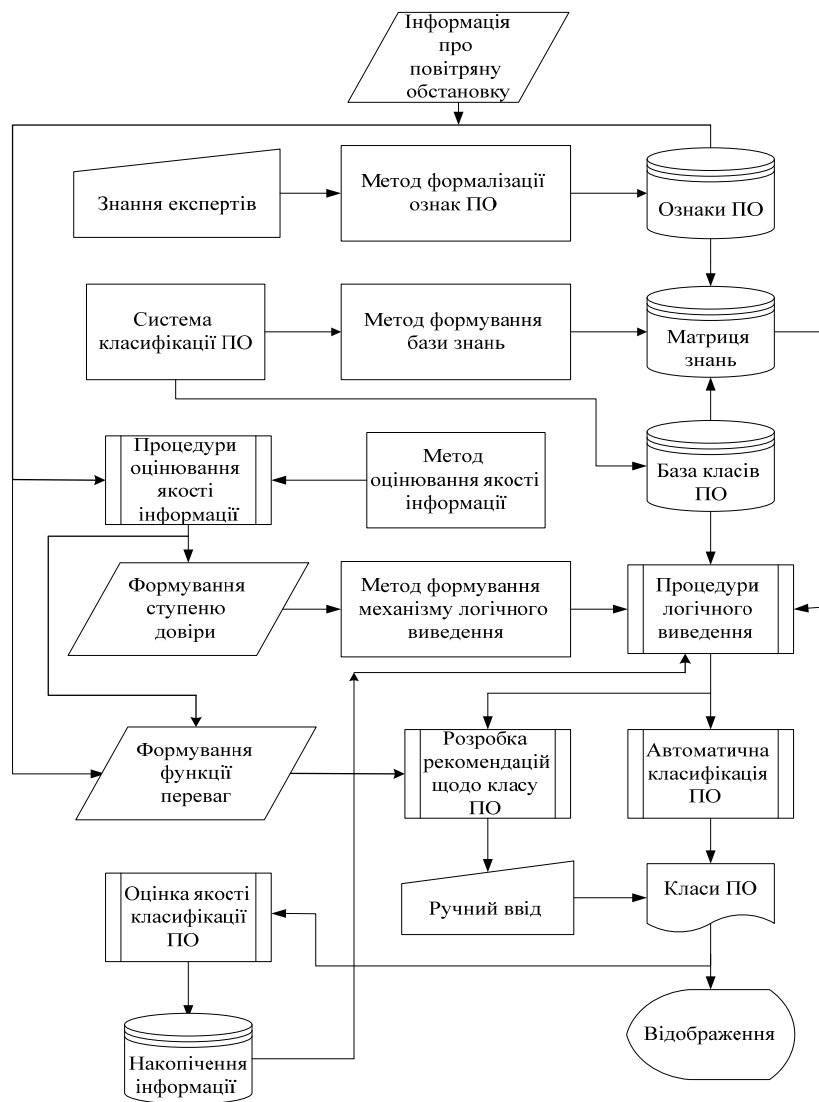


Рис. 2. Структура методу класифікації ПО

Вектор альтернативних класів може охоплювати частину класів деякого рівня. Так, на II рівні таких векторів два:

$$\begin{aligned}\vec{V}_{2,1} &= \|v_{21} \ v_{22} \ v_{23} \ v_{26}\|, \\ \vec{V}_{2,2} &= \|v_{24} \ v_{25} \ v_{26}\|.\end{aligned}\quad (10)$$

Можлива динаміка зміни класифікації ПО і значень достовірності \vec{V}_1 (класи першого рівня $\beta_{1,n}$ по кроках). Конкретні числові величини векторів на кожному кроці можуть бути встановлені експертами на попередньому розіграші можливих ситуацій.

Метод класифікації повітряних об'єктів

Ідентифікація ПО – багатоетапна процедура [5]. Отже, розроблений метод класифікації включає такі етапи (рис. 2):

1. Формалізація ознак ПО для матриці знань.
2. Формалізація правил БЗ.
3. Оцінка якості інформації про ПО.
4. Розробка ієрархічної системи класифікації ПО.
5. Розробка методу логічного виведення.

6. Уточнення вхідних даних про ПО, по яких ускладнено прийняття рішення.

7. Ототожнення сукупності ознак з відповідною інформаційною ознакою, формування його оцінки з видачею можливих варіантів рішення.

Висновки

Запропонований метод класифікації ПО відрізняється від відомих:

- а) використанням різномірних джерел інформації про ПО і формалізацією ознак за допомогою нечітких множин, у т.ч. 2-го типу;
- б) введенням ієрархічної системи класифікації повітряних об'єктів;
- в) обчисленням достовірності інформації про ПО і використанням її в якості значень синглетонних функцій належності вхідних ознак;
- г) організацією логічного виведення по детермінованій і нечіткій гілкам прийняття рішень про повітряні об'єкти з формуванням вектору “довіри” до варіантів рішення.

Список літератури

1. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
2. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
3. Неділько В.М. Забезпечення ефективності інформаційної підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах обслуговування повітряного руху з елементами штучного інтелекту: Дис... канд. техн. наук 05.22.13 / Неділько Віталій Миколайович – К.: НАУ, 2002. – 183 с.
4. Олизаренко С.А. Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции / С.А. Олизаренко, А.В. Капранов, А.В. Перепелица // Системы обработки информации. – 2011. – № 2(92). – С. 39-45.
5. Артеменко А.М. Методика прийняття рішень під час розпізнавання загрозливих ситуацій у повітрі / А.М. Артеменко, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1(5). – С. 15-20.
6. Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности / Г.Л. Бродецкий. – М.: Academia, 2010. – 336 с.
7. Артеменко А.М. Удосконалення принципів запиту та обробки сигналів відповіді у запитувачах НРЗ-П для підвищення якості впізнавання / А.М. Артеменко, Г.Г. Камалтинов, О.С. Маляренко // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 2(26). – С. 9-14.
8. Аналіз методів ергономіки для оцінки та розробки автоматизованих робочих місць в АСУ спеціального призначення / С.А. Толкаченко, М.А. Павленко, П.Г. Бердник, О.А. Черток // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4(53). – С. 119-121.
9. Несміян О.Ю. Аналіз інформаційного забезпечення та завантаженості каналів прийому інформації операторами систем АСУ / О.Ю. Несміян, М.А. Павленко // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2(46). – С. 129-133.
10. Адаптивний алгоритм супроводження траєкторій воздушних об'єктів с учетом их возможного неразрешения / Ю.А. Данилов, Д.Н. Обидин, А.А. Тимочко, П.Г. Бердник // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 1(49). – С. 101-104.

References

1. Rotshtein, A.P. (1999), “*Yntellektualnyye tekhnologyy ydentyfikacyu: nechetkiye mnozhestva, ghenetycheskiye alghorytmy, nejronnyye sety*” [Intellectual identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks], UNIVERSUM, Vinnitsa, 320 p.
2. Borisov, V.V., Kругlov, V.V. and Fedulov, A.S. (2007), “*Nechetkiye modely y sety*” [Fuzzy models and networks], Hotline – Telecom, Moscow, 284 p.
3. Nedilko, V.M. (2002), “*Zabezpechenniya efektyvnosti informacijnoji pidtrymky pryjnattja rishenij v avtomatyzovanykh systemakh obslughovuvannja povitranogho rukhu z elementamy shtuchnogho intelektu: dissertation*” [Ensuring the effectiveness of decision-making information support in automated air traffic service systems with artificial intelligence elements: dissertation], NAU, Kyiv, 183 p.
4. Olizarenko, S.A., Kapranov, A.V. and Perepelitsa, A.V. (2011), “Intervalnye nechetkie mnozhestva tipa 2. Terminologija, predstavlenie, operatsii”, *Information Processing Systems*, Vol. 2(92), pp. 39-45.
5. Artemenko A.M. “*Decision-making methodology for detecting threatening situations in the air*” / AM Artemenko G.V. Pevtsov // Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine – X.: ХУПС, 2011. – Вып. 1 (5). – P. 15-20.
6. Brodetsky, G.L. (2010), “*Systemnyj analiz v loghystyke. Vybor v uslovyjakh neopredelennosti*” [System analysis in logistics. Choice under uncertainty], Academia, Moscow, 336 p.

7. Artemenko, A.M., Kamal'tynov, H.H. and Maliarenko, O.S. (2011), "Udoskonalennia pryntsyviv zapytu ta obrobky sygnaliv vidpovidu u zapytuvachakh NRZ-P dlia pidvyshchennia yakosti vpiznavannia", *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(26), pp. 9-14.

8. Tolkachenko, Ye.A., Pavlenko, M.A., Berdnik, P.H. and Chertok, O.A. (2017), "Analiz metodiv erhonomiky dlia otsinky ta rozrobky avtomatyzovanykh robochykh mistv v ASU spetsialnoho pryznachennia" [Analysis methods of evaluation and development automation workstations with ergonomic], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, Vol. 4(53), pp. 119-121.

9. Nesmiian, O.Yu. and Pavlenko, M.A. (2016), "Analiz informatsiinoho zabezpechennia ta zavantazhenosti kanaliv pryiomu informatsii operatoramy system ASU" [Analysis of information provision and workload channel receiving information by operators of the automatization controlling systems], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(46), pp. 129-133.

10. Danilov, Iu.A., Obidin, D.N., Timochko, A.A. and Berdnik, P.G. (2017), "Adaptivnyi algoritm soprovozhdeniia traektorii vozdushnykh ob'iektov s uchetom ikh vozmozhnogo nerazresheniia" [Adaptive algorithm of trajectory assignment of air objects with the account of their possible non-resolution], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(49), pp. 101-104.

Надійшла до редколегії 19.11.2018

Схвалена до друку 20.12.2018

Відомості про автора:

Тімочко Олександр Олександрович
аспірант Львівської академії Національного
авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0424-0426>

Information about the author:

Oleksander Timochko
Doctoral Student of Flying Academy
of the National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0424-0426>

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Тимочко

Для принятия решений по классификации воздушных объектов использован комбинированный метод – нечеткие модели на основе систем с нечеткой логикой, а также модели на основе обычной булевой логики. На предварительном этапе оценка осуществляется путем сопоставления с эталонным набором признаков для каждого класса воздушных объектов. На основе модификации синглетонной базы знаний и оптимистичного критерия принятия решения предложен механизм иерархического логического вывода. Значение синглетонных функций принадлежности для неявных веток дерева принятия решений рассматривается как значение вычисленной достоверности информации. База знаний формируется как матрица соответствия возможных признаков поведения воздушного объекта каждому индексу принадлежности (классу воздушных объектов). Механизм логического вывода применяет результаты предыдущего анализа возможных вариантов решения, имеет ветки явных и неявных решений. Весовыми коэффициентами уравнений логического вывода являются значения коэффициентов полноты информации, вычисленные на этапе анализа входной информации. Полученные уравнения и деревья логического вывода позволяют построить метод принятия решений для автоматизированной классификации воздушных объектов. Предложенный метод классификации воздушных объектов отличается от известных: а) использованием разнородных источников информации о воздушных объектах и формализацией признаков с помощью нечетких множеств, в том числе 2-го типа; б) введением иерархической системы классификации воздушных объектов; в) вычислением достоверности информации о воздушных объектах и использованием ее в качестве значений синглетонных функций принадлежности входных признаков; г) организацией логического вывода по детерминированной и нечеткой веткам принятия решений о воздушных объектах с формированием вектора "доверия" к вариантам решения. Усовершенствованный метод оценивания качества классификации воздушных объектов может использоваться на этапе тестирования автоматизированной системы классификации.

Ключевые слова: воздушный объект, классификация воздушных объектов, база знаний, функция принадлежности, признак воздушного объекта, логический вывод

IMPROVED METHOD OF CLASSIFICATION OF AIR OBJECTS

O. Timochko

To make decisions on the classification of air objects use a combined method – fuzzy models based on systems with fuzzy logic, as well as models based on the usual Boolean logic. In the previous step, the assessment is carried out by comparing with a reference set of characteristics for each class of air objects. On the basis of the modification of the singleton knowledge base and the optimistic decision criterion, a mechanism for hierarchical logic derivation is proposed. The value of the Singleton membership functions for implicit tree branches of decision making is considered as the value of the computed reliability of the information. The knowledge base is formed as a matrix of the correspondence of possible signs of the behavior of the airspace to each index of membership (class of air objects). The mechanism of logical deduction uses the results of a preliminary analysis of possible solutions, with branches of explicit and implicit decisions. The weighting coefficients of the logical output equation are based on the values of the coefficients of completeness of information, calculated at the stage of analysis of the input information. The obtained equations and logic tree trees allow us to construct a decision-making method for the automated classification of air objects. The offered method of classification of air objects differs from the known: a) the use of heterogeneous sources of information on air objects and the formalization of signs with the help of fuzzy sets, including type 2; b) introduction of the hierarchical system of airspace classification; c) the calculation of the reliability of information about air objects and its use as values of singleton functions of the membership of the input features; d) the organization of the logical deduction in the deterministic and fuzzy branches of decision making on air objects with the formation of a vector of "trust" to the solution options. An improved method for assessing the quality of airspace classification can be used at the testing stage of an automated classification system.

Keywords: air object, classification of air objects, knowledge base, function of accessory, airborne object sign, logical conclusion.