

УДК 681.322

С.А. Олізаренко¹, О.В. Шевченко¹, С.А. Бідний²

¹Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків

²Повітряне командування «Центр», Київ

ПОБУДОВА МЕТОДИКИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН – ЗАГРОЗ ЗДІЙСНЕННЯ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТИВ

Розглядається один з підходів до формалізації знань про процес прийняття рішень з класифікації повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів на основі використання нечітких продукційних моделей.

система підтримки прийняття рішень, повітряне судно – загроза здійснення терористичного акту, нечітка змінна, лінгвістична змінна, функція приналежності, нечітка продукційна модель, логічне виведення

Вступ

Постановка проблеми. Події у світі останніх років свідчать про важливість своєчасного та якісного вирішення завдань щодо виявлення, достовірної класифікації та припинення дій у повітряному просторі повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів (у подальшому повітряне судно-загроза (ПСЗ)).

Відповідно до існуючої загрози здійснення терористичних актів з повітря в рамках Державної програми розвитку Збройних Сил України (ЗСУ) на 2006 – 2011 роки одним із завдань ЗСУ визначено завдання щодо ефективної протидії терактам з повітря, а постановою Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2007 року затверджений Порядок, згідно з яким встановлюються ознаки, за якими повітряне судно класифікується як ПСЗ та визначається триступенева система класифікації ПСЗ [1] (фактично аналог "Концепції оперативного зміцнення ППО НАТО у ситуації виникнення загроз здійснення терористичних атак", яка прийнята Військовим комітетом НАТО у 2002 році).

Одним з напрямків підвищення оперативності та достовірності класифікації ПСЗ є автоматизація даного процесу за рахунок використання систем підтримки прийняття рішень (СППР), які на даний час відсутні, зі складу комплексів засобів автоматизації (КЗА) на автоматизованих пунктах управління Повітряних Сил ЗСУ у ході бойового чергування.

Одним з основних етапів при розробці СППР є етап формалізації знань про процеси, які підлягають автоматизації, у даному випадку – знань про проце-

си прийняття рішень щодо класифікації ПСЗ. Тобто, існує нагальна потреба в проведенні формалізації відповідних знань.

У той же час, існуючі підходи до формалізації процесів прийняття рішень з класифікації (ідентифікації) об'єктів не спроможні повною мірою забезпечити необхідний рівень представлення знань безпосередньо про процеси прийняття рішень з класифікації ПСЗ.

Розглянута суперечність визначає актуальність теми статті і відповідних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З теми класифікації (ідентифікації) об'єктів на даний час існує значна кількість досліджень. Наприклад, цим питанням були присвячені дослідження, які проводилися під керівництвом таких вчених, як Горелік, Ротштейн, Герасимов [2 – 5], а також дослідження безпосередньо щодо розпізнавання класів повітряних об'єктів на пунктах управління протиповітряної оборони [6 – 10].

Однак розроблені в рамках цих досліджень методи або не дозволяють у повному обсязі врахувати всі фактори, які впливають на процес формалізації знань щодо класифікації безпосередньо ПСЗ (основними з яких є такі: значна кількість ознак для опису класів ПСЗ, неоднорідність даних для визначення ознак класів, лінгвістична невизначеність при описі ознак класів, лінгвістична невизначеність опису процесу класифікації ПСЗ, необхідність постійного поповнення (корегування) знань), або ґрунтуються на математичному апараті без врахування сучасних тенденцій у відповідній галузі науки.

Метою статті є визначення побудови методики формалізації знань про ознаки ПСЗ та структуру процесу прийняття рішень з їх класифікації в рамках єдиного формалізму з подальшою організацією на основі формалізованих знань логічного виведення.

Основний матеріал

Визначимо основні вимоги, які ставляться до методики формалізації процесу прийняття рішень з класифікації ПСЗ. У рамках використання методики повинні забезпечуватися:

повнота і несуперечність формалізованих знань щодо класифікації ПСЗ;

можливість поповнення і корегування формалізованих описів знань не тільки на етапі розробки СППР, але і на етапі її експлуатації;

апарат формалізації повинен забезпечувати можливість формалізації знань про класифікацію ПСЗ у рамках єдиного формалізму для кожного класу ПСЗ з урахуванням лінгвістичної невизначеності описів ознак і процесу класифікації ПСЗ.

Досягнення мети статті з урахуванням вимог до методики, що розробляється, можливе за рахунок вирішення таких завдань:

- 1) розробки процедури формалізації ознак ПСЗ;
- 2) розробки процедури формалізації структури знань про процес прийняття рішень з класифікації ПСЗ;
- 3) розробки процедури логічного виведення на формалізованих знаннях за результатами вирішення попередніх завдань.

Відповідно до [1] визначимо таку множину класів ПСЗ $\{k_1, k_2, k_3\}$, де:

k_1 = «повітряне судно – підозрювана загроза»;

k_2 = «повітряне судно – правдоподібна загроза»;

k_3 = «повітряне судно – підтверджена загроза».

Введемо ще один клас повітряного судна

k_0 = «повітряне судно – відсутня загроза»

У рамках вирішення першого завдання запропоновано можливий варіант процедури формалізації ознак ПСЗ з використанням положень теорії нечітких множин, основні етапи якої представлені на рис. 1.

Сутність основних етапів процедури полягає в наступному:

представлення ознаки ПСЗ як базової лінгвістичної змінної (ЛЗ) або нечіткої змінної (НЗ);

опис лінгвістичних або нечітких змінних, які є складовими для базової або інших лінгвістичних змінних;

формування та опис, в разі необхідності, узагальнюючої лінгвістичної змінної;

формування множини термів у разі представлення ознаки як лінгвістичної змінної та визначення універсальної множини можливих значень для будь-якої змінної;

представлення відношень між складовими змінними у вигляді таблиці (рис. 1).

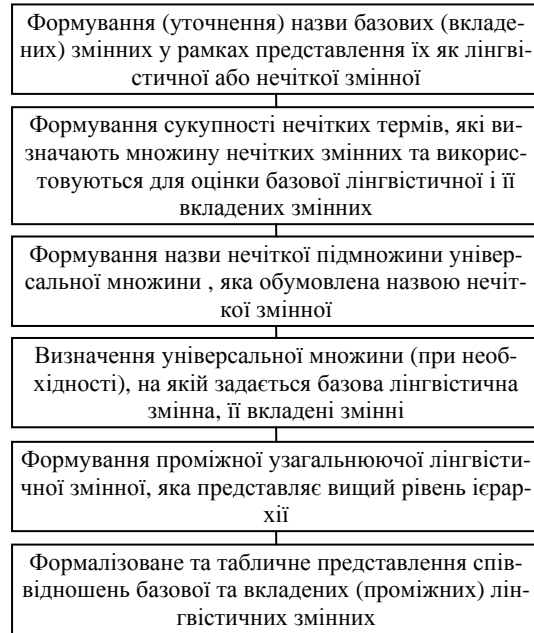


Рис. 1. Основні етапи процедури формалізації ознак ПСЗ

У рамках вирішення другого завдання запропоновано можливий варіант процедури формалізації структури процесу прийняття рішень щодо класифікації ПСЗ з використанням положень теорії нечітких множин та представлення продукційних моделей, основні етапи якої представлені на рис. 2.

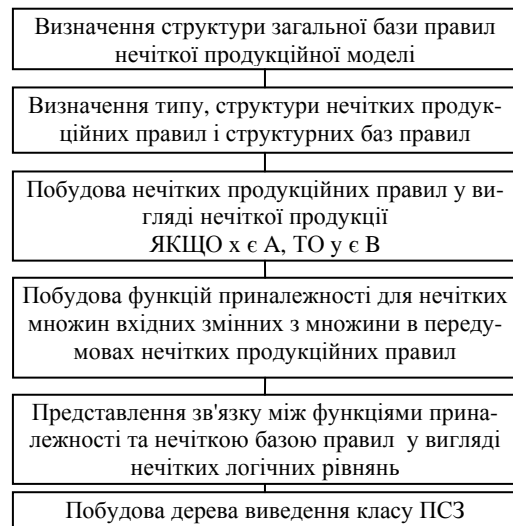


Рис. 2. Основні етапи процедури формалізації структури процесу прийняття рішень з класифікації ПСЗ

Сутність основних етапів процедури полягає в наступному:

визначення структури загальної бази правил нечіткої продукційної моделі;

визначення типу, структури та побудова нечітких продукційних правил, у передумовах і висновках яких використовуються лінгвістичні змінні, визначені при вирішенні першого завдання. При цьому для кожного правила визначається ступінь істинності з подальшим вибором з правил, що мають протиріччя (одна передумова, але різні висновки), того, у якого ступінь найбільший;

побудова функцій приналежності для нечітких множин вхідних змінних;

представлення зв'язку між функціями приналежності та нечіткою базою правил у вигляді нечітких логічних рівнянь.

Результатом вирішення першого та другого завдань є нечітка продукційна модель $BP_{M_{TAC}}$ процесу прийняття рішень щодо класифікації ПСЗ, графічне представлення якої відображається у вигляді дерева виведення.

Декомпозиція базових змінних, відповідно до дерева виведення, виконується до того часу, коли дані змінні можуть бути означеними за результатами знімання інформації з первинних джерел інформації. Узагальнення базових змінних, з одного боку, дозволяє уникнути проблеми «прокляття розмірності», з іншого боку, дозволяє в рамках узагальнених змінних визначити проміжні класи повітряних суден.

У рамках вирішення третього завдання запропоновано можливий варіант процедури організації логічного виведення на моделі процесу прийняття рішень з класифікації ПСЗ з використанням положень нечіткого логічного виведення на нечітких продукційних моделях, основні етапи якої представлені на рис. 3.

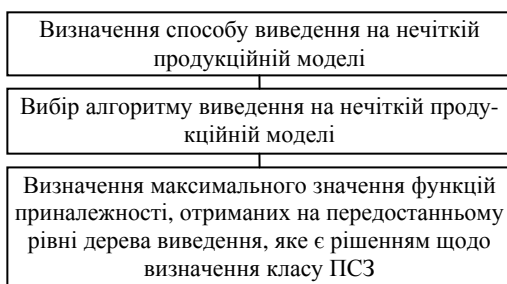


Рис. 3. Основні етапи процедури виведення на формалізованих знаннях про ПСЗ

Сутність основних етапів процедури полягає в наступному:

1) визначення способу виведення на нечіткій продукційній моделі. У даному випадку це нечітке правило виведення *modus ponens*:

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B),$$

де A' – нечітка множина, яка визначена на чіткій

множині X (у даному випадку області визначення умови нечіткого правила виведення *modus ponens*), з ФП $\mu_{A'}(x) \in [0,1]$, x – значення вхідної лінгвістичної змінної, $x \in X$;

A – нечітка множина, яка визначена на чіткій множині X (у даному випадку області визначення передумови (антецедента) нечіткого продукційного правила), з функцією приналежності (ФП) $\mu_A(x) \in [0,1]$, x – значення вхідної лінгвістичної змінної, $x \in X$;

B – нечітка множина, яка визначена на чіткій множині Y (у даному випадку області визначення висновку (консеквента) нечіткого продукційного правила), з ФП $\mu_B(y) \in [0,1]$, y – значення вихідної лінгвістичної змінної, $y \in Y$;

B' – нечітка множина, яка визначена на чіткій множині Y (у даному випадку області визначення висновку нечіткого правила виведення *modus ponens*), з ФП $\mu_{B'}(y) \in [0,1]$, y – значення вихідної лінгвістичної змінної, $y \in Y$;

2) вибір алгоритму виведення на нечіткій продукційній моделі. У даному випадку це алгоритм Мамдані, у зв'язку з чим нечітка імплікація представлена у вигляді *min-кон'юнкції* або нечіткої імплікації Мамдані на основі відомих функцій приналежності $\mu_A(x)$ та $\mu_B(y)$, формальне представлення якої має такий вигляд

$$\begin{aligned} \mu_R(x, y) &= \mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \\ \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) &= \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \end{aligned}$$

При цьому відповідно до умов виведення в рамках алгоритму Мамдані:

а) при побудові бази правил $BP_{M_{TAC}}$ висуваються такі обмеження:

тип нечітких лінгвістичних продукційних правил, в яких як передумови, так і висновки правил є нечіткими висловлюваннями (*fuzzy proposition*), при цьому передумови і висновки формуються на основі нечітких множин 1-го типу;

структурно відповідні правила є складовими, де в передумовах нечіткі висловлювання з'єднуються нечіткими логічними операціями «ТА», «АБО» і відносяться до різних вхідних змінних;

використовується MISO-структура бази правил, тобто багато входів – один вихід (*Multi Inputs – Single Output*);

б) як декартове множення нечітких множин в передумовах нечітких висловлювань використовується такий вираз

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(x_1, \dots, x_n) = \min\{\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\}$$

в) акумулювання активізованих висновків правил виконується з використанням *max-диз'юнкції*;

д) як вхідні змінні використовуються тільки чі-

ткі (з проведенням етапу фазифікації типу синглетон) або точкові нечіткі множини відповідно до нечіткої моделі нечіткого виведення Мамдані, яка відповідно має вигляд

$$\mu_{B'}(y) = \max_{i=1, n} \sup_{x \in X} \left\{ \min \left[\mu_{A'}(x), \mu_{A \rightarrow B}(x, y) \right] \right\}.$$

У зв'язку з тим, що ФП $\mu_{B_i}(y)$ не залежить від Т-норми, то попередній вираз набирає такого вигляду

$$\mu_{B'}(y) = \max_{i=1, n} \sup_{x \in X} \mu_{A \rightarrow B}(x, y);$$

з) визначення максимального значення серед функцій приналежності, отриманих на передостанньому рівні дерева виведення, яке у свою чергу є рішенням щодо визначення класу ПСЗ, яке можна представити у вигляді такого виразу

$$k = \max_{i=1, n} \left\{ \mu_{B'}(y_i) \right\};$$

$$k \in \{k_0, k_1, k_2, k_3\}.$$

Наведені логіко-математичні основи формалізації закономірностей прояву ознак у процесі класифікації ПСЗ з використанням апарату нечітких множин і нечітких продукцій дозволяють урахувати різноманітність ознак ПСЗ, нечіткість подань експертів про закономірності прояву цих ознак та формалізувати процес прийняття рішення щодо класу ПСЗ.

Висновки

Запропонований варіант побудови методики дозволяє:

формально представити ознаки ПСЗ, яким притаманна лінгвістична невизначеність, у вигляді ієрархічно зв'язаних ЛЗ та НЗ у рамках теорії нечітких множин;

формально представити процес прийняття рішення з класифікації ПСЗ у вигляді нечітких логічних рівнянь, аргументами яких є значення функцій приналежності нечітких множин;

забезпечити на основі наявних знань щодо контролю повітряного простору формування логічних виведень на нечіткій продукційній моделі, реалізація яких безпосередньо приводить до розв'язання завдань з класифікації ПСЗ;

побудувати початкову базу нечітких продукційних правил, яка ґрунтується на евристичних припущеннях на основі апріорних даних експертів для забезпечення повноти і несуперечності формалізованих знань;

поповнювати формалізовані описи знань на всіх етапах життєвого циклу СППР на основі експериментальних даних шляхом відповідного корегування значень ФП у базі знань.

Практична значущість отриманих результатів визначається можливістю їх використання при розробці перспективних зразків КЗА зі складу автоматизованої системи управління авіацією та протиповітряною обороною.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у розробці нечіткої продукційної моделі процесу прийняття рішень з класифікації ПСЗ з використанням запропонованої методики.

Список літератури

1. Порядок взаємодії з припинення протиправних дій повітряних суден, які можуть використовуватися для вчинення терористичних актів у повітряному просторі України у мирний час. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2007 р. N 153.

2. Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Субач І.Ю. Системи підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. – Севастополь: Издательский центр, 2004. – 318 с.

3. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмишин Н.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.

4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.

5. Горелик А.Л. и др. Современное состояние проблем распознавания: Некоторые аспекты. – М.: Радио и связь, 1985. – 160 с.

6. Низиенко Б.И., Шевченко О.В., Александров А.В. Методика автоматизированного синтеза формализованных описаний для распознавания ВО // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ – 2000. – Вып. 1. – С. 29-35.

7. Грачев В.М., Попрыгин А.Н. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети // Сб. научн. тр. ХВУ. – 1995. – Вып. 8. – С. 49-54.

8. Володин М.И., Олизаренко С.А., Першина Э.Ю. Разработка методики определения важности нештатных ситуаций воздушной обстановки на этапе проектирования системы поддержки принятия решений // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС. – 2005. – Вып. 4 (44). – С. 23-29.

9. Затхей В.А., Павленко М.А., Першин А.В., Александров А.В. Выбор метода решения задачи распознавания воздушных объектов в экспертной системе реального времени // Моделирование та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ИПМЕ. – 2004. – Вып. 26. – С. 67-74.

10. Володин М.И., Першина Е.Ю., Капранов В.О., Шмоляк Б.М. Метод визначення типу повітряного об'єкту // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС. – 2005. – Вып. 1(59). – С. 24-28.

Надійшла до редколегії 1.09.2007

Рецензент: к-т техн. наук проф. Б.І. Нізієнко, Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків.