

УДК 681.3

Н.О. Королюк, В.В. Синявський, Д.О. Хаустов

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

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСІВ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИ РОЗПІЗНАВАННІ ТИПУ ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТА

В статті розроблено метод формалізації процесів розпізнавання типів повітряних об'єктів на основі використання математичного апарату алгебри предикатів. Метод заснований на визначенні семантичних складових на етапі попередньої обробки інформації при формуванні радіолокаційного, спектрального зображення і дозволяє отримати істотні зменшення обсягу переданих даних. В автоматизованих системах військового призначення розпізнавання типів ЛА необхідне для побудови плану тактичних та стратегічних заходів і вибору алгоритму протидії повітряному противнику. Успішне рішення задачі впливає на якість ведення бойових дій.

Ключові слова: алгебра предикатів, розпізнавання повітряних об'єктів, спектральне зображення, людина-оператор.

Вступ

Постановка проблеми. Характерною рисою сучасного світу є впевнений розвиток інформатики та кібернетики, що пов'язаний з розробкою різноманітних інтелектуальних програм і систем.

Недолік класичних систем виявлення полягає в низькій автоматизації процесів обробки даних, в тому числі в системах класифікації та радіолокаційного розпізнавання відміток повітряних об'єктів за спектральною розпізнавальною ознакою. Вирішення цієї проблеми стає в край важливим у тих випадках, коли об'єкти і відносини предметної області пов'язані складними логічними залежностями, що, в свою чергу, вимагає побудови математичних моделей, завдяки яким можливий ефективний логічний висновок, що відповідає вимогам користувача.

Актуальним є наближення процедури розпізнавання ПО до логіки обробки інформації, що здійснюється людиною-оператором. Характерною особливістю логіки є послідовний аналіз ситуацій, множини розпізнавальних ознак об'єктів і завдань, що в свою чергу, трансформуються в задачу знакової класифікації (розпізнавання) типу повітряного об'єкта.

Аналіз літератури. Сучасні автоматичні системи розпізнавання образів здатні виконувати операції додавання, диференціювання функцій однієї змінної, інтегрування функцій двох змінних, перетворення функцій Фур'є. Однак основна складність даних систем полягає в реалізації логічного розпізнавання образів, низькій автоматизації процесів обробки даних, в тому числі в системах виявлення та розпізнавання сигналів об'єктів за різними ознаками сигнальних образів (спектрального зображення).

Аналіз літературних джерел показує, наявність різних методів, підходів, універсальних апаратів формалізації процесу розпізнавання ПО,

що оперують символічною інформацією. Метод формалізації знань по розпізнаванню об'єктів на базі алгебри кінцевих предикатів довів свою ефективність в області теорії штучного інтелекту [1; 6–7]. Застосування апаратної алгебри кінцевих предикатів сприяло розвитку теорії компараторної ідентифікації, завдяки якій з'явилась можливість в зручній формі записати будь який кінцевий алфавітний оператор [3]. Введення кінцевих предикатів дає можливість подання не тільки однозначних кінцевих алфавітних операторів, але і багатозначних операторів, яким відводиться роль засобу математичного опису діяльності інтелекту.

Мета статті. В статті розроблено метод формалізації процесів розпізнавання типів повітряних об'єктів на основі використання математичного апарату алгебри предикатів. Метод заснований на визначенні семантичних складових на етапі попередньої обробки інформації при формуванні радіолокаційного, спектрального зображення і дозволяє отримати істотні зменшення обсягу переданих даних. Завдяки цьому розроблений та програмно реалізований метод розпізнавання повітряних об'єктів за радіолокаційним спектральним зображенням. Спектральна картина описується предикатом на множині спектральних каналів, які перевищили якість граничне значення. Для ідентифікації спектральних типів вводяться ознаки-предикати. За їх поєднанням будь який спектр однозначно співвідноситься з одним з типів згідно розробленого рівняння предикатних операцій. Метод дозволяє, всі операції розпізнавання по спектральним зображенням прийнятих сигналів від повітряної цілі, виконувати розпізнавання типів ЛА автоматично і в реальному часі.

Виклад основного матеріалу

Для досліджень були використані різні види радіолокаційного відбитого сигналу, отриманих на

оглядовій радіолокаційній станції (РЛС) сантиметрового діапазону (тривалість імпульсу 1мкс, частота зондування 365 Гц, період огляду 10 с.). Аналіз особливостей спектральних зображень заважаючих відбитих сигналів (ЗВС), дискретних заважаючих відбитих сигналів (ДЗВС) і сигналів повітряних об'єктів (ПО), наведених у [16–18], показує, що інформативним є лише вид спектрального зображення картини. Виходячи з цього, всі можливі форми "миттєвих" спектрів були розбиті на чотири типи, що мають різну ступінь "правдоподібності" відбитих сигналів від ЗВС, ДЗВС і ПО (рис. 1).

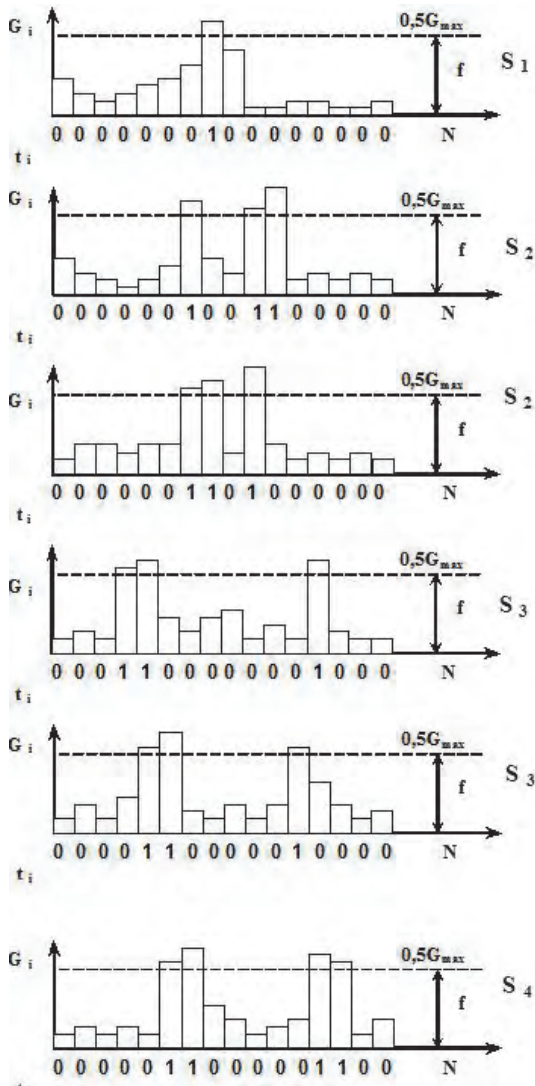


Рис. 1. Типи спектральних зображень

Для РЛС спектральне зображення флукутації огинаючої пачки $\dot{G}_i, i=1...N$ представлено в базисі дискретного перетворення Фур'є як:

$$\dot{G}_i = \sum_{m=1}^N y_m \cdot e^{-j(2\pi/N)m_i}. \quad (1)$$

Для автоматичної обробки отриманого спектрального зображення запропоновано використання математичного апарату алгебри предикатів, що

включає операції формалізації процесів сприйняття, перетворення картин спектральних складових зображення, семантичної обробки [4; 19].

Нехай $M = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ фіксована множина, що складається з k елементів – значень спектральних складових (компонент), A – деякі з його підмножин A/M спектральні складові q_i перевищують граничне значення $|G_n| = |G_{max}|/2$.

Для множини A складаємо набір логічних елементів (t_1, t_2, \dots, t_k) за наступним правилом: якщо $q_i \in A$, то $t_i = 1$; якщо $q_i \notin A$, то $t_i = 0, i = \overline{1, n}$.

Набір (t_1, t_2, \dots, t_n) є характеристикою множини A , як спектральної картини. Предикат $A(x)$ на множині спектральних каналів M , які перевищили поріг записується формулою:

$$A(x) = x(q_1) \vee x(q_2) \vee \dots \vee x(q_k). \quad (2)$$

Визначення спектральних каналів, що перевищили поріг, можна записати в більш зручній формі:

$$A(x) = x^{q_1} \vee x^{q_2} \vee \dots \vee x^{q_k}. \quad (3)$$

Кожному спектральному типу S_j відповідає певна комбінація нулів і одиниць у предикаті $A(x)$. Наприклад, тип S_1 «проявляється» в $A(x)$ у вигляді групи одиниць серед всіх інших нулів. Для типу S_2 характерні дві групи одиниць, кількість нулів між якими менше або дорівнює двом. Тип S_3 представлений у вигляді однієї або двох груп одиниць (рис. 1).

Для ідентифікації спектральних типів необхідно запровадити систему ознак, «чутливу» до кількості і нерозривності нулів, та одиниць у предикаті $A(x)$. Представимо $A(x)$ у вигляді $F(y)$, елементи якого $(f_1, f_2, \dots, f_{k-1})$ визначаються шляхом підсумовування по модулю для кожного елемента q_i суміжних елементів q_{i+1} . Для аналізу спектральних типів картин використовуємо арифметичну суму Φ та її логічний аналог – предикат $F(y)$, що визначаються як:

$$\Phi = \sum_i^{k-1} f_i = \sum_{i=1}^{k-1} [q_i + q_{i+1}] | M_2, \quad (5)$$

де індекс M_2 означає підсумовування по модулю два.

Для зручності подальших перетворень визначимо, що довжина масиву множини F дорівнює довжині масиву множини A . Тоді предикат $F(y)$ має вигляд:

$$F(y) = y^{f_1} \vee y^{f_2} \vee \dots \vee y^{f_k}. \quad (6)$$

Аналіз можливих значень Φ для різних типів спектральних картин показує, що для групи зімкнутих одиниць у множині F результат підсумовування

завжди дорівнює двом, незалежно від ширини піка, тобто від кількості зімкнутих одиниць. Для двох віддалених один від одного груп зімкнутих одиниць результат такої операції дорівнює чотирьом, для трьох піків – шести і т.д.

З урахуванням зазначених закономірностей введемо предикати-ознаки L_i що дозволяють відрізняти картини спектральних зображень. Для визначення кількості віддалених один від одного груп зімкнутих одиниць введемо ознаку $L_1^{j_1}$, верхній індекс якого вказує на наявність в предикаті $A(x)$ спектральної картини груп зімкнутих одиниць (спектральних піків) і визначається за наступним правилом: якщо $\Phi \geq 2$, то $j_1 = \Phi/2$, інакше $j_1 = 0$.

Введемо ознаку $L_2^{j_2}$, верхній індекс якого вказує на кількість нулів між групами одиниць в предикаті $A(x)$. Значення ознаки $L_2^{j_2}$ при $j_2 \leq 3$ класифікують прийнятий сигнал, як «повітряний об'єкт», а при $j_2 \geq 3$ класифікують як заваду, наприклад «грозова хмара». В цьому випадку рівняння області визначення цих груп на мові алгебри предикатів має вигляд

$$L_2^0 \vee L_2^1 \vee L_2^2 \vee \dots \vee L_2^3 = 1. \quad (7)$$

Для обліку відмінностей спектральних картин з потужності прийнятого сигналу введемо ознаку $L_3^{s_i}$. Ідентифікація спектральних типів проводиться шляхом вирішення розроблених рівнянь предикатних операцій. Алгоритм ідентифікації типів S_j радіолокаційних спектральних зображень, описується наступними рівняннями:

$$S_2 = L_1^2 \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee L_2^2 \vee L_2^3) \wedge (L_3^2 \vee L_3^3 \vee L_3^4);$$

$$S_3 = L_1^2 \wedge (L_2^5 \vee L_2^6 \vee L_2^7 \vee L_2^8) \wedge L_3^3;$$

$$S_4 = L_1^2 \wedge (L_2^4 \vee L_2^5 \vee L_2^6) \wedge (L_3^4 \vee L_3^5 \vee L_3^6);$$

$$S_j = (L_1^{j_1} \vee \dots \vee L_1^{j_2}) \wedge (L_2^{j_1} \vee \dots \vee L_2^{j_2}) \wedge (L_3^{j_1} \vee \dots \vee L_3^{j_2}).$$

У загальному вигляді

$$S_j = (V_{j_1}^{j_1} L_1^{j_1}) \wedge (V_{j_2}^{j_2} L_2^{j_2}) \wedge (V_{j_3}^{j_3} L_3^{j_3}). \quad (8)$$

Таким чином, на підставі отриманих рівнянь побудована функціональна схема автоматичного визначення спектральних типів S_j , узагальнена функціональна схема алгоритму автоматичного визначення спектральних типів (рис. 2).

Розпізнавання повітряних об'єктів здійснюється за результатами ідентифікації спектральних типів.

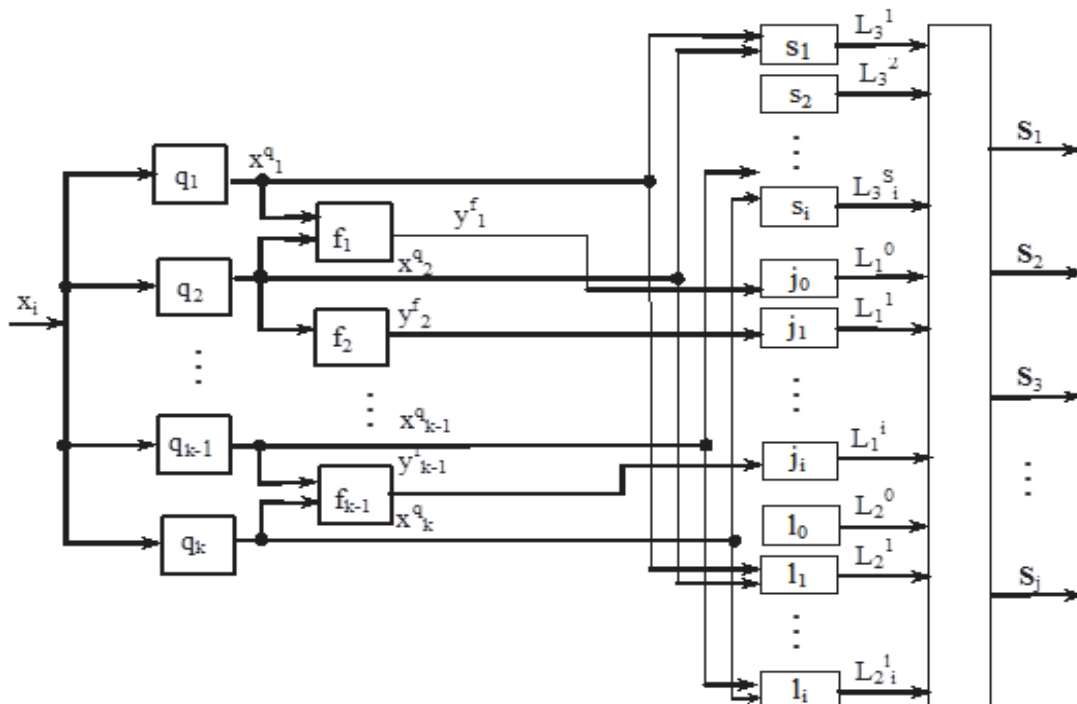


Рис. 2. Узагальнена функціональна схема алгоритму автоматичного визначення спектральних типів

Висновки

Таким чином, запропонований метод формалізації процесів розпізнавання типів повітряних об'єктів на основі використання алгебри предикатів та розроблений метод розпізнавання повітряних об'єктів за радіолокаційним спектральним зображен-

ням на основі алгоритму автоматичного визначення спектральних типів. Суть алгоритму зводиться до виконання операцій формалізації процесів перетворення картин спектральних складових зображення, визначення предикатних ознак спектрального зображення, семантична обробка. Операції радіолокаційного розпізнавання ПО на основі запропоновано-

го алгоритму виконуються автоматично в реальному масштабі часу.

Перевагою запропонованого методу є наявність порогу формування елементів q_1 , що не являються фіксованим, а адаптується в кожній конкретній ситуації за рівнем максимуму спектрального піку. Така адаптація дозволяє відобразити інформацію про форму спектра незалежно від енергетики пачки, що стабілізує ймовірність помилки при визначенні типу форми спектра.

Список літератури

1. Ярош С.П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управлінських інформаційних систем ППО: монографія / С.П. Ярош; ред. І.О. Кириченко. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.
2. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры / Г.И. Шпаковский. – Минск: БГУ, 2011. – 176 с.
3. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных параметризованных вычислительных системах: моногр. / Г.А. Поляков, С.И. Шматков, Е.Г. Толстолужская, Д.А. Толстолужский; Харьк. нац. ун-т им. В.Н. Каразина, Акад. наук прикладной радиоэлектроники (АН ПРЭ). – Х.: ХНУ, 2012. – 670 с.
4. Поляков Г.А. Функциональный синтез параллельных неперестраиваемых спецпроцессоров с использованием аппарата структур семантико-числовой спецификации / Г.А. Поляков, В.В. Лысых, В.В. Толстолужская // Научные ведомости Белгородского государственного

университета. Серия: Экономика. Информатика. – Белгород, 2012. – Вып. № 13–1 (132). – С. 142–149.

5. Кириллов И.Г. Методика оценки потенциальной распараллеливаемости циклических задач / И.Г. Кириллов, Е.Г. Толстолужская // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2006. – Вып. 5(54). – С. 44–52.

6. Кириллов И.Г. Анализ эффективности мультипараллельных вычислений в системах первичной и вторичной обработки радиолокационной информации / И.Г. Кириллов, А.П. Сахаров, В.В. Лашин // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2016. – Вып. 2 (139). – С. 27–30.

7. Гвоздева Т.В. Проектирование информационных систем / Т.В. Гвоздева, Б.А. Баллод. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 508 с.

8. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. – М.: Оникс, 2005. – 640 с.

9. Организация управления у войсково-технических системах / Ю.П. Пятков, С.А. Войтович, І.О. Романенко, І.О. Борозенець [за ред. Ю.П. Пяткова]. – Х.: ХУПС, 2006. – 239 с.

Надійшла до редколегії 4.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. Ю.В. Стасев, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ТИПА ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА

Н.О. Королюк, В.В. Синявский, Д.О. Хаустов

В статье разработан метод формализации процессов распознавания типов воздушных объектов на основе использования математического аппарата алгебры предикатов. Метод основан на определении семантических составляющих на этапе предварительной обработки информации при формировании радиолокационного, спектрального изображения и позволяет получить существенные уменьшения объема передаваемых данных. В автоматизированных системах военного назначения распознавания типов ЛА, необходимые для построения плана тактических и стратегических мероприятий и выбора алгоритма противодействия воздушному противнику. Успешное решение задачи влияет на качество ведения боевых действий.

Ключевые слова: алгебра предикатов, распознавание воздушных объектов, спектральное изображение, человек-оператор.

ADVANCED SOFTWARE SYSTEMS AUTOMATION MEANS UPON DETECTION TYPE AIR FACILITY

N. Koroliuk, V. Sinyavsky, D. Khaustov

Method of formalization of processes of recognition of types of air objects on the basis of using the mathematical apparatus of algebra of predicates was developed in the article. The method is based on the definition of semantic components at the stage of preliminary information processing in the formation of a radar, spectral image and allows to obtain significant decreases in the volume of transmitted data. In automated military systems, the recognition of aircraft types is necessary for constructing a plan of tactical and strategic measures and choosing an algorithm for countering an air enemy. A successful solution of the problem affects the quality of combat operations.

Keywords: algebra of predicates, recognition of air objects, spectral image, human operator.