

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

СОЛОНСЬКА СВІТЛАНА ВОЛОДИМИРІВНА



УДК 004.89: 621.396

МОДЕЛІ, МЕТОД ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ
СИГНАЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ
КОМПЛЕКСАХ

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Шабанов - Кушнарєнко Сергій Юрійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри
програмної інженерії

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Шаронова Наталія Валеріївна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри інтелектуальних
комп'ютерних систем

доктор технічних наук, професор
Асєєв Георгій Георгійович,
Харківська державна академія культури,
завідувач кафедри інформаційних технологій

Захист відбудеться "3" листопада 2016 р. о 15-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий "3" жовтня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Дорофєєв Ю. І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується доцільністю створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, які визначають здатність людини до сприйняття змістовної сторони явищ або процесів та врахування її в процесі прийняття рішень. Розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень є особливо важливою для таких технологічних систем, як, наприклад, системи моніторингу радіолокації повітряного простору, системи управління рухомими об'єктами, системи медичної діагностики тощо.

Внесок у розвиток теоретичних і практичних основ моделювання процесів обробки та розпізнавання зорових образів з точки зору психофізики сприйняття належить Фехнеру Р. Т., Стівенсу С. С., Бардіну К. В., Забродіну Ю. М., Марр Д.; використання шуму з метою ускладнення розпізнавання – Ллойд Дж., Бахманну Т., Красильникову Н. Н., Свенсону А. Н.; моделювання шумових полів – Палагіну Ю. І., Гімельфарбу Р. Л., Залесному А. В.; теоретичних основ моделювання систем штучного інтелекту – Глушкову В. М., Івахненко А. Р., Шабанову-Кушнарєнку Ю. П., Поспелову Г. С.; процесів розпізнавання – Журавльову Ю. І., Грицику С. С., Василенку Ю. А., Кожем'якіну В. П., Русину Б. П. та іншим вченим.

Перспективою розвитку існуючих технологій збору й обробки інформації є використання статистичних методів для змістовного аналізу інформації стосовно зорового сприйняття сигналів і сигнальних образів та опису складних планів поведінки в динамічних середовищах. Це обумовлює вдосконалення процедури автоматизованої обробки сигнальної інформації до логіки людини, що дозволить підвищити працездатність технологічних систем, зокрема в інтелектуальних радіолокаційних комплексах. Інтелектуальний радіолокаційний комплекс – це сукупність радіолокаційної станції (РЛС) та інших пристроїв, об'єднаних для спільної роботи і заснованих на технології обробки сигналів, яка використовує семантичну складову процесу. Визначено, що на теперішній час перспективною є розробка моделей, методів та інформаційної технології обробки сигналів і їх образів з метою застосування в інтелектуальних радіолокаційних комплексах.

Отже, науково-практична задача підвищення ефективності обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах шляхом створення методу, моделей та інформаційної технології семантичної обробки сигнальної інформації є актуальною, що визначає напрямок дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках держбюджетних НДР МОН України: «Фундаментальні дослідження складових інтегрованої радіоелектронної системи управління рухомими об'єктами» (№ ДР 0104U004641) та «Підвищення інформативності засобів і систем контролю

повітряного простору на основі спільної обробки інформації різнорідних вимірювальних каналів» (№ ДР 0103U001570), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методів для підвищення ефективності виявлення та розпізнавання сигналів в радіолокаційних комплексах шляхом інтелектуалізації обробки сигнальної інформації.

Для досягнення наміченої мети поставлені наступні задачі:

- проаналізувати основні наукові досягнення та перспективи розвитку інформаційних технологій в галузі обробки сигналів;
- розробити метод формалізації процесів сприйняття та перетворення сигналів і сигнальних образів з урахуванням семантичної складової сигнальної інформації;
- удосконалити математичну модель виявлення та розпізнавання сигналів об'єктів за радіолокаційним спектральним образом;
- створити математичну модель формування й аналізу зорових картин сигналів, що змінюються в часі й просторі;
- розробити інформаційну технологію обробки сигналів на основі спектрально-семантичної і просторово-семантичної моделей;
- провести верифікацію та впровадження результатів дослідження в практику роботи радіолокаційних комплексів.

Об'єктом дослідження є процеси інтелектуальної обробки сигнальної інформації та сигнальних образів.

Предмет дослідження складають метод, моделі та інформаційна технологія інтелектуальної обробки сигналів в радіолокаційних комплексах.

Методи досліджень. Концептуальні й теоретичні основи дисертаційної роботи базуються на методах логічного аналізу, теорії інтелекту та алгебри скінченних предикатів для розробки методу формалізації процесів сприйняття і перетворення сигналів і сигнальних образів; методах теорії розпізнавання зображень та образів для побудови вирішальних правил; методах спектрального аналізу для створення моделі виявлення та розпізнавання сигналів об'єктів за радіолокаційним спектральним образом; методі компараторної ідентифікації для створення просторово-семантичної моделі; методах теорії ймовірності для оцінки ефективності розроблених моделей і методу. Для практичної реалізації розроблених моделей використані методи математичного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

- отримав подальший розвиток метод формалізації процесів сприйняття і перетворення сигналів та сигнальних образів на основі використання математичного апарату алгебри скінченних предикатів (АСП), що дозволяє визначити семантичні складові на етапі попередньої обробки інформації;
- вперше розроблено модель виявлення та розпізнавання об'єктів за радіолокаційним спектральним образом шляхом введення ознак-предикатів для ідентифікації спектральних типів та адаптації на неоднаковість предикатної ознаки завади й повітряних об'єктів, що дозволяє всі операції з ознакової

класифікації та радіолокаційного розпізнавання повітряних об'єктів виконувати автоматизовано в реальному часі;

- удосконалено модель формування й аналізу зорових картин сигналів, що змінюються в часі й просторі, за рахунок зіставлення карти інтенсивності сигнальних відміток на основі інформації про поведінку сигналу в кожному аналізованому елементі та предикатів подій, що дозволяє класифікувати об'єкти на основі аналізу системи ознак;

- отримала подальший розвиток інформаційна технологія семантичної обробки сигналів і сигнальних образів у радіолокаційних комплексах на основі просторово-семантичної та спектрально-семантичної моделей, що дозволяє зменшити обсяги даних для передачі й обробки, а також урахувати динаміку процесу.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані в дисертаційній роботі метод і моделі складають основу інформаційної технології автоматичної обробки сигналів, використання якої дозволяє покращити якісні й кількісні характеристики інтелектуальних радіолокаційних комплексів. Розроблена інформаційна технологія може використовуватися в системах радіолокаційного моніторингу повітряного простору, системах медичної діагностики, системах управління рухомими об'єктами тощо.

Результати дисертаційних досліджень упроваджені:

- в модулі багатооглядової обробки радіолокаційних сигналів й інформації для оглядових РЛС МО України (акт впровадження від 25.02.08 р.);

- в науково-дослідному проекті «Розробка систем радіоконтролю, радіомоніторингу та систем пасивної пеленгації» ТОВ НВФ «Оптима» (м. Харків, довідка № 2701/1 від 27.01.16 р.);

- теоретичні результати дисертації використані в навчальному процесі на кафедрі інформаційних технологій і мехатроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, що виносяться на захист, одержано здобувачем особисто. Серед них: метод формалізації процесів сприйняття й перетворення сигналів і сигнальних образів; алгоритм розпізнавання об'єктів за радіолокаційним спектральним образом на основі спектрально-семантичної моделі та його програмна реалізація; алгоритм інтелектуальної системи трасової фільтрації на основі просторово-семантичної моделі; алгоритм розпізнавання об'єктів за радіолокаційним спектральним образом, в якому використовуються адаптивні вагові коефіцієнти.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на: 9-й і 10-й Міжнародних наукових конференціях «Теорія і техніка передачі, прийому й обробки інформації» (Харків-Туапсе, 2003, 2004); 5-й і 6-й Міжнародних наукових конференціях «Antenna theory and techniques» (Київ, 2005, Севастополь, 2007); 2-му Міжнародному радіоелектронному форумі (Харків, 2005); Міжнародній науково-практичній конференції ATVN-EU-GP (Пултуск, Польща, 2005); 1-й Міжнародній науковій конференції

«Глобальні інформаційні системи. Проблеми і тенденції розвитку» (Харків–Туапсе, 2006); XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами» (Харьков–Одесса, 2015); 4-й Міжнародній науково-технічній конференції «Информационные системы и технологии» (Харків, 2015).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 22 наукових публікаціях, зокрема, 10 статей у наукових фахових виданнях України (2 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз), 12 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатку. Загальний обсяг роботи складає 141 сторінка, із них: 32 рисунки та 2 таблиці по тексту, список використаних джерел зі 100 найменувань на 12 сторінках, 1 додаток на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовано основну мету й задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок здобувача й публікації.

У першому розділі проведено аналіз задач обробки сигналів та сигнальних образів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах, а також підходів і технологій їх вирішення. Визначено, що перспективи розвитку існуючих радіолокаційних комплексів полягають у підвищенні рівня автоматизації процесів обробки даних, у тому числі в системах класифікації та радіолокаційного розпізнавання повітряних об'єктів за спектральним образом. Наряду з цим доцільно вдосконалити технології обробки сигналів, коли об'єкти та їх відображення пов'язані складними логічними залежностями, що наближує процедури сприйняття й аналізу сигналів до логіки людини. Проведено аналіз можливостей використання математичного апарату алгебри скінченних предикатів для формалізації процесів сприйняття та аналізу сигналів.

На підставі критичного аналізу існуючих невирішених проблем і задач автоматизації обробки сигналів сформульовані й обґрунтовані цільові задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено розробці методу формалізації процесів сприйняття й перетворення сигналів і сигнальних образів, а також побудові просторово-семантичної моделі формування й аналізу зорових картин сигналів.

Для формування картини позиційної поведінки сигналів від повітряних об'єктів та завад запропоновані наступні основні операції алгоритму багатооглядової обробки радіолокаційних сигналів та інформації:

- формування елементів зони огляду РЛС, карти інтенсивності сигналів з урахуванням багатооглядової поведінки сигналу в кожному елементі обробки;

– формування елементів зони огляду РЛС, карти предикатів подій наявності, повтору в цьому елементі, повтору в сусідніх елементах і виходу сигналу з елемента обробки на основі міжоглядового зіставлення карти інтенсивності відміток і предикатів подій.

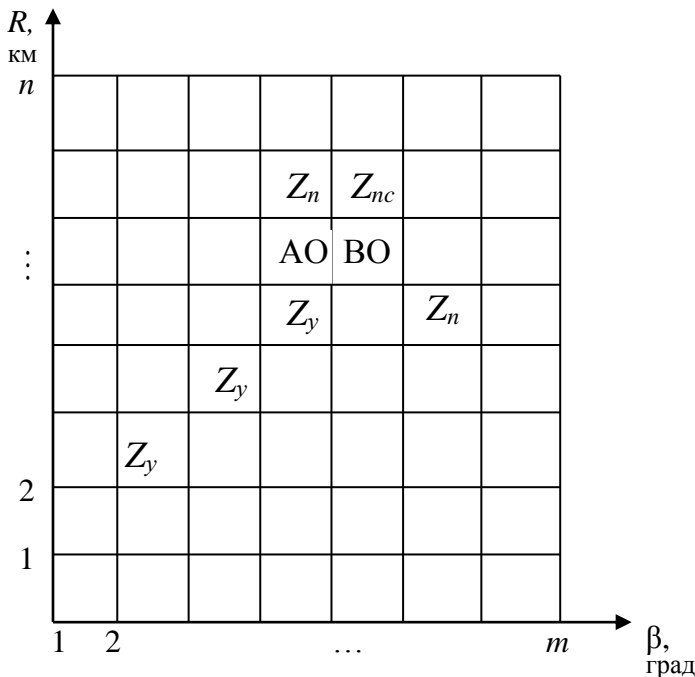


Рисунок 1 – Позиційна поведінка сигналів

Ступінь формалізації процесів сприйняття та перетворення сигналів визначається семантичною складовою. Процес обробки сигналів і сигнальних образів визначена як дія при компараторній ідентифікації. Компаратор – це перетворювач із m входами y_1, y_2, \dots, y_m , якими є внутрішні стани інтелектуальної системи та виходом $t \in E = \{0, 1\}$ – двійкова реакція компаратора, $y_i \in B_i$, $i = \overline{1, m}$, де B_i – множина станів певного типу. Компаратор установлює, чи знаходяться вхідні сигнали y_1, y_2, \dots, y_m в заданому

відношенні. Якщо знаходяться, то реалізується сигнал $t = 1$, якщо ні – сигнал $t = 0$.

Вводиться множина $M = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn}\}$ елементів обробки зони огляду РЛС. Предикат $A_1(X_1)$, де $X_1 = \{x_{ij}\}$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ на множині M відповідає множині B елементів обробки, що перевищили поріг

$$A_1(X_1)^k = \bigvee_{i=1, j=1}^{mn} x_{ij}^{q_{ij}}, \quad (1)$$

де вираз $x_{ij}^{q_{ij}}$ – форма впізнавання події, i, j – номери дискрет за дальністю R й азимуту β , k – номер огляду. При $x_{ij} = q_{ij}$ визначається $x_{ij}^{q_{ij}} = 1$. На рис. 1 представлено приклад позиційної поведінки сигналу, де Z_n – ознака повтору в елементі обробки сигналів попереднього ($k-1$) і поточного (k) оглядів; Z_{nc} – ознака повтору в сусідньому елементі обробки сигналів ($k-2$) і ($k-1$) оглядів для елементів обробки $i(\pm 1)j$, $i(j \pm 1)$; Z_y – ознака відходу відмітки за межі елемента обробки за період огляду; BO, AO – відмітки повітряного об'єкта й ангел-луни об'єкта відповідно.

Семантичні складові зображення картини радіолокаційної обстановки навколо аналізованого у відповідний момент елемента зони огляду РЛС описуються за допомогою предикатних ознак наступним чином:

$$\begin{aligned}
Z_{nij} = 1 \text{ при } A_1(x_{ij})^k > 0 \wedge A_1(x_{ij})^{k-1} > 0; \quad Z_{ncij} = 1 \text{ при } Z_{n(i+l),(j+l)} = 1; \\
Z_{yij} = 1 \text{ при } A_1(x_{ij})^{k-1} > 0 \wedge A_1(x_{ij})^k = 0 \wedge Z_{nij} = 0,
\end{aligned} \tag{2}$$

де Z_{nij} – ознака повтору сигналу в a_{ij} елементі обробки, Z_{ncij} – ознака повтору сигналу в сусідньому елементі, Z_{yij} – ознака відходу відмітки з елемента аналізу.

Предикатні ознаки для кожного елемента обробки, що визначені згідно з (2), запам'ятовуються в оперативній пам'яті разом із величинами сигналів у міру надходження поточної радіолокаційної інформації. Значення ознак залишаються незмінними або змінюються залежно від поведінки сигналу в елементі обробки й у прилеглих до нього елементах. За результатами аналізу динаміки поведінки предикатних ознак із плином часу приймається рішення про виявлення відмітки об'єкта в елементі обробки.

Предикатна ознака Z_{tyij} формування трасового сліду сигнальної відмітки має вигляд предикатного рівняння

$$\begin{aligned}
Z_{tyij} = \bigvee_{k_1, l_1}^{k_n, l_n} Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} = Z_{y(i+k_1)(j+l_1)} \wedge Z_{y(i+k_2)(j+l_2)} \wedge \\
\wedge Z_{y(i+k_{n-1})(j+l_{n-1})} \wedge Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} = 1,
\end{aligned} \tag{3}$$

де (k_n, l_n) – номери елементів зображення трасового сліду щодо аналізованого елемента (i, j) , які визначаються розв'язуванням систем предикатних рівнянь покрокової перевірки наявності складових трасового сліду сигнальних відміток, l приймає значення від $-L$ до $+L$ залежно від швидкості повітряних об'єктів.

Для вирішення (3) запропонована наступна послідовність розрахунків.

На *першому* кроці складається предикатне рівняння шляхом порівняння ознаки наявності сигналу в центральному елементі підматриці або вікна аналізу з сусідніми 8-ма елементами попарно на можливість наявності в них предикатної ознаки Z_y

$$\begin{aligned}
(Z_{y(i+1)j} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee (Z_{y(i-1)j} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee (Z_{yi(j+1)} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee (Z_{yi(j-1)} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee \\
\vee (Z_{y(i+1)(j+1)} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee (Z_{y(i+1)(j-1)} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee (Z_{y(i-1)(j+1)} \wedge A_1(x_{ij})^k) \vee \\
\vee (Z_{y(i-1)(j-1)} \wedge A_1(x_{ij})^k) = \bigvee_{k=-1, l=-1}^{k=+1, l=+1} (Z_{y(i+k)(j+l)} \wedge A_1(x_{ij})^k) = 1.
\end{aligned} \tag{4}$$

Шляхом розв'язування рівняння (4) знаходяться значення k_1, l_1 поруч розташованого елемента обробки з ознакою Z_{yij} відходу відмітки з елемента обробки.

На *другому* кроці при складанні предикатного рівняння для знаходження наступного номера $k = k_2$ і $l = l_2$ урахується напрямок трасового сліду

(напрямок руху повітряного об'єкта) $(a_{ij}, a_{i+k_1j+l_1})$, що позначився на першому кроці. При перевірці у вертикальному $(k_1 = \mp 1, l_1 = 0)$ або горизонтальному напрямках $(k_1 = 0, l_1 = \pm 1)$ номери елементів для перевірки визначаються наступним чином: $(i + k_1 \pm 1 \text{ і } j + l_1 \pm 1)$. При перевірці в діагональних напрямках, коли $(k_1 = \mp 1, l_1 = \mp 1)$, перевіряються елементи, де номери формуються з урахуванням знаків k_1, l_1 $(i + k_1 + (0 \mp 1), j + l_1 + (0 \mp 1))$.

Тоді для визначення $k = k_2$ і $l = l_2$ застосовуються предикатні рівняння: при $(k_1 = +1, l_1 = +1)$

$$\begin{aligned} & (Z_{y(i+k_1)(j+l_1)} \wedge Z_{y(i+k_1+1)(j+l_1+1)}) \vee (Z_{y(i+k_1)(j+l_1)} \wedge Z_{y(i+k_1+1)(j+l_1)}) \vee \\ & \vee (Z_{y(i+k_1)(j+l_1)} \wedge Z_{y(i+k_1)(j+l_1+1)}) = 1; \end{aligned} \quad (5)$$

при $(k_1 = -1, l_1 = 0)$

$$(Z_{y(i+k_1)j} \wedge Z_{y(i+k_1-1)j}) \vee (Z_{y(i+k_1)j} \wedge Z_{y(i+k_1-1)j+1}) \vee (Z_{y(i+k_1)j} \wedge Z_{y(i+k_1-1)j-1}) = 1 \quad (6)$$

і так далі.

На n -му кроці предикатне рівняння має вигляд:

$$\begin{aligned} & (Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} \wedge Z_{y(i+k_n+1)(j+l_n+1)}) \vee (Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} \wedge Z_{y(i+k_n+1)(j+l_n)}) \vee \\ & \vee (Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} \wedge Z_{y(i+k_n)(j+l_n+1)}) = 1. \end{aligned} \quad (7)$$

У результаті вирішення системи предикатних рівнянь (5) – (7) знаходяться всі значення $k_1, l_1, \dots, k_n, l_n$ і визначається напрямок трасового сліду. Запропонована модель дозволяє на основі інформації про поведінку сигналу в кожному аналізованому елементі обробки й предикатів подій (ознак) відрізнити об'єкт від завади не за перевищенням порога, а в результаті аналізу кваліфікаційних ознак, що є найбільш ефективним при виділенні слабких луна-сигналів малопомітних об'єктів.

У третьому розділі розроблено модель класифікації повітряних об'єктів за спектральним образом. Для ідентифікації типів спектра вводяться предикати-ознаки, за їх поєднанням будь-який спектр однозначно співвідноситься з одним із типів згідно з розробленим рівнянням предикатних операцій. Запропоновано використовувати не тільки енергетичну ознаку перевищення порогу, а і логічну інформацію розпізнавання обстановки шляхом аналізу спектральних образів завод навколо елемента обробки. Розроблено інтелектуальну адаптивну систему виявлення малопомітних повітряних об'єктів, основу на поєднанні сигнального та логічного спектрального аналізу з адаптацією параметрів виявлення до статистики та типу спектра завод.

Досліджується множина $M = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$, що складається із N значень спектральних складових, B – деяка з її підмножин $B \subseteq M$, спектральні складові q_i якої перевищують порогове значення $|G_n| = |G_{\max}| / 2$. Предикат $A_2(X_2)$, де $X_2 = \{x_i\}$, $i = \overline{1, N}$, на множині M , який відповідає множині B спектральних каналів, що перевищили поріг, визначається формулою

$$A_2(X_2) = \bigvee_{i=1}^N x_i^{q_i}. \quad (8)$$

Кожному типу спектра S_j , представленому на рис. 2, відповідає певна комбінація нулів і одиниць у предикаті $A_2(X_2)$. Наприклад, тип S_1 проявляється у вигляді єдиної групи одиниць серед всіх інших нулів. Для типу S_2 характерними є дві групи одиниць, кількість нулів між якими менше або дорівнює двом. Для ідентифікації типів спектра вводиться система ознак, чутлива до кількості й нерозривності нулів та одиниць у предикаті $A_2(X_2)$. Предикат $A_2(X_2)$ перетворюється в інший вид предиката $F(Y)$, де $Y = \{y_i\}$, $i = \overline{1, N-1}$, побудованого на множині F , елементи f_1, f_2, \dots, f_{N-1} якої визначаються шляхом підсумовування за модулем два кожного елемента q_i з суміжним елементом q_{i+1} .

Для аналізу типів спектра використовується арифметична сума Φ , що визначається формулою

$$\Phi = \sum_i^{N-1} f_i = \sum_{i=1}^{N-1} [q_i + q_{i+1}] | M_2, \quad (9)$$

де $|M_2$ означає підсумовування за модулем два. Предикат $F(Y)$, що є логічним аналогом Φ , матиме вигляд

$$F(Y) = \bigvee_{i=1}^{N-1} y_i^{f_i}. \quad (10)$$

Аналіз можливих значень Φ для різних типів спектра показує, що для одиночної групи одиниць у множині F результат підсумовування завжди дорівнює двом, незалежно від ширини піка. Для двох віддалених один від одного піків результат такої операції дорівнює чотирьом, для трьох піків – шести тощо.

На підставі отриманих закономірностей вводяться ознаки L_i , що дозволяють відрізнити спектри за кількістю груп одиниць і розривності нулів між ними в $A_2(X_2)$. Для визначення кількості піків вводиться ознака $L_1^{d_i}$, верхній індекс якої вказує на наявність у предикаті $A_2(X_2)$ спектральних піків і визначається наступним чином: якщо $\Phi \geq 2$, то $d_i = \Phi/2$, інакше $d_i = 0$. Вводиться ознака

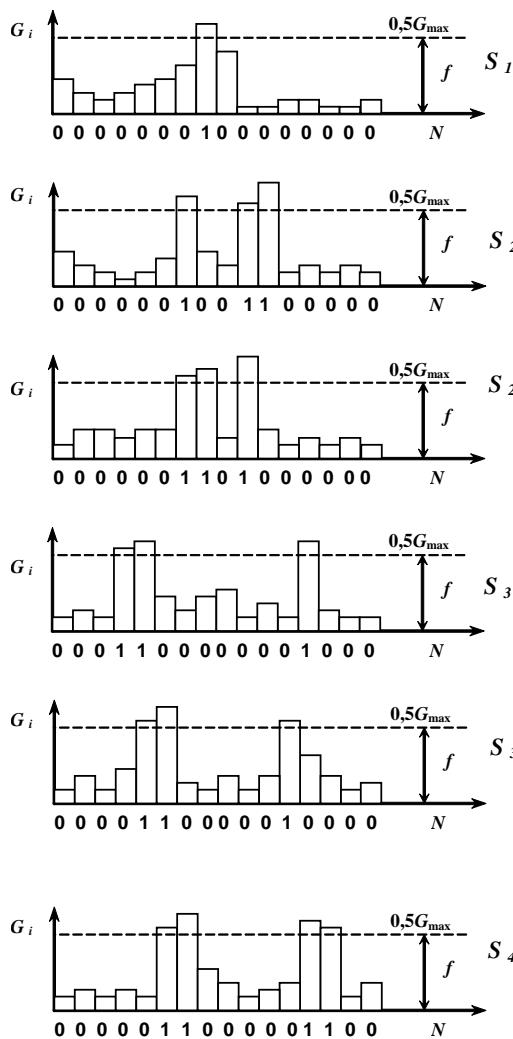


Рисунок 2 – Типи спектра

L_2^l , верхній індекс якої вказує на відстань між піками в предикаті $A_2(X_2)$.

Значення ознаки $L_2^{l_i}$ при $l_i \leq 3$ класифікує прийнятий сигнал як повітряний об'єкт (ПО), при $l_i > 3$ як заважаюче відбиття (ЗВ), наприклад, «грозова хмара» або дискретне заважаюче відбиття (ДЗВ) – ангел-луна. Щоб відрізнити спектри за потужністю прийнятого сигналу вводиться ознака $L_3^{s_i}$, верхній індекс якої вказує на кількість одиниць у предикаті $A_2(X_2)$ і визначається підсумовуванням $s_i = \sum_{j=1}^N q_j$. Комбінація значень даних ознак дозволяє виділити

4 типи об'єктів: повітряні об'єкти двох типів, заважаючі відбиття й дискретні заважаючі відбиття (ангел-луна).

Модель ідентифікації типів S_j описується рівняннями:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= L_1^1 \wedge L_2^0 \wedge (L_3^1 \vee L_3^2), \\
 S_2 &= L_1^2 \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee L_2^2 \vee L_2^3) \wedge (L_3^2 \vee L_3^3 \vee L_3^4), \\
 S_3 &= L_1^2 \wedge (L_2^5 \vee L_2^6 \vee L_2^7 \vee L_2^8) \wedge L_3^3, \\
 S_4 &= L_1^2 \wedge (L_2^4 \vee L_2^5 \vee L_2^6) \wedge (L_3^4 \vee L_3^5 \vee L_3^6), \\
 &\dots \\
 S_j &= (L_1^{d_1} \vee \dots \vee L_1^{d_2}) \wedge (L_2^{l_1} \vee \dots \vee L_2^{l_2}) \wedge (L_3^{s_1} \vee \dots \vee L_3^{s_2}).
 \end{aligned} \tag{11}$$

Однією з причин низької ефективності систем виявлення малопомітних цілей є мала величина відношення сигнал/завада. Для покращення розпізнавання радіолокаційних сигналів запропоновано використовувати адаптивну вагову обробку образу спектра. Адаптація вагових коефіцієнтів корекції спектрального образу здійснюється на основі інформації, одержаної в низькочастотних спектральних каналах. Підставою для такого підходу є експериментально виявлена закономірність наявності широкого спектра сигналів заважаючих відбиттів ангел-луна, що охоплює «хвостом» високочастотну частину спектра, в якій переважно з'являється відбиття корисного сигналу рухомого об'єкта. В адаптивній системі поріг виявлення V_i для кожної комірки дальності визначається за формулою:

$$V_i = V_0 + \alpha \sigma_v, \tag{12}$$

де V_0 – оцінка середнього значення сигналів у ковзаючому вікні за дальністю; σ_v – оцінка середньоквадратичного значення відхилень сигналів у тому ж ковзаючому вікні; α – коефіцієнт, який приймає значення α_2 , якщо відповідний спектральний канал знаходиться всередині полоси спектра заважаючих відбиттів та значення α_3 , в іншому випадку.

Оцінка середнього значення сигналів здійснюється в ковзаючому вікні розміру $(2I+1)$ шляхом усереднення I – сигналів елементів до i після досліджуваної комірки. Аналогічно проводиться обчислення дисперсії в цьому ж вікні щодо середнього значення. В результаті, оцінка порога виявлення

адаптується не тільки до оцінок числових характеристик завад, а й до результатів аналізу спектрального образу заважаючих відбиттів.

На рисунку 3 наведено функціональну схему алгоритму виявлення малопомітних цілей на основі вирішення предикатних рівнянь.

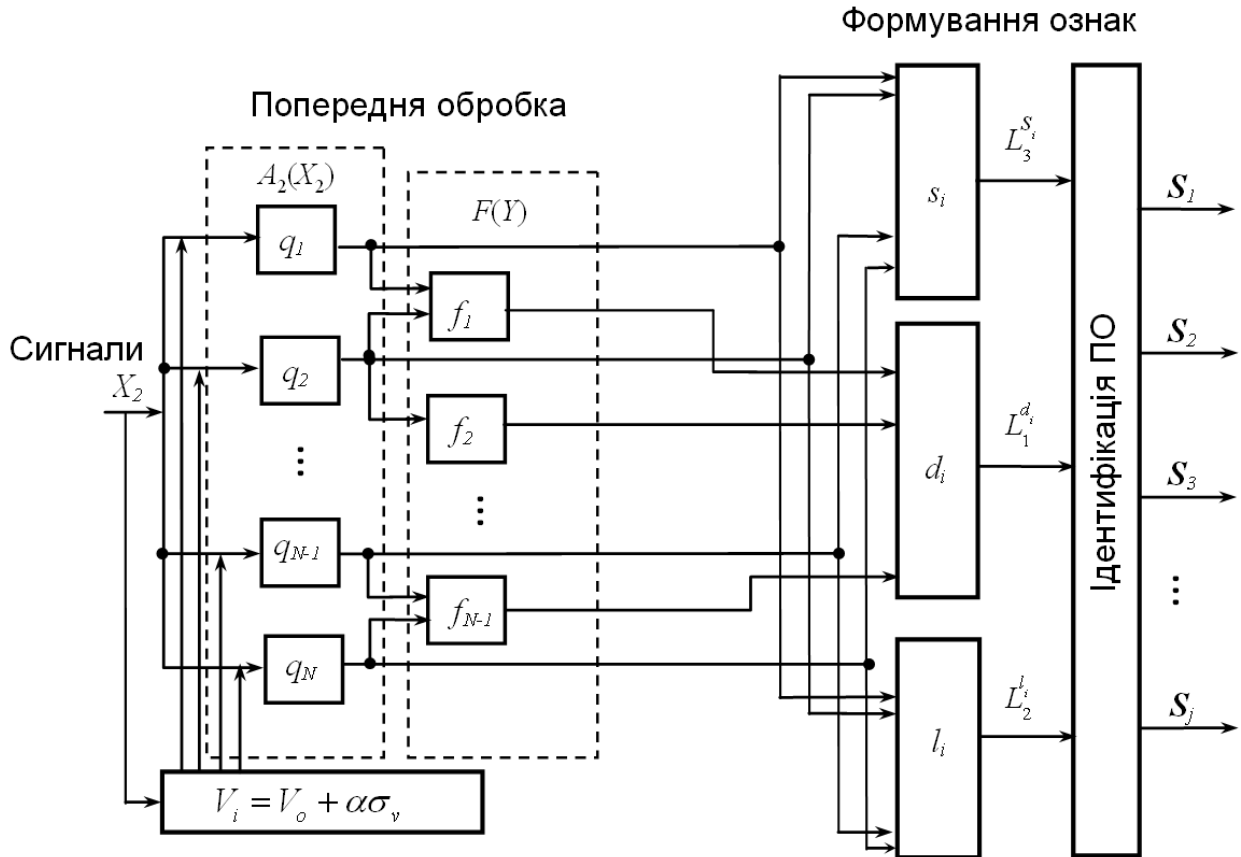


Рисунок 3 – Схема ідентифікації об'єктів за спектральним образом

На першому етапі алгоритму реалізується внутрішньооглядова обробка на основі спектрально-семантичної моделі. На другому етапі для об'єктів, класифікованих як ангел-луна або повітряні об'єкти, проводиться міжоглядова обробка, в основі якої лежить просторово-семантична модель. Остаточне рішення стосовно ідентифікації типу об'єкта приймається на підставі вирішення рівняння ідентифікації трасового сліду.

У четвертому розділі наведено результати верифікації розроблених моделей, методу й інформаційної технології обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах.

Створена інформаційна технологія обробки радіолокаційних сигналів є послідовністю кроків, поданих на рис. 4. Розроблені моделі та метод семантичної обробки сигналів апробовано в інтелектуальному радіолокаційному комплексі, представленою на рис. 5. Реалізація інформаційної технології визначається наступною послідовністю кроків, які дозволяють автоматизувати процес обробки сигнальної інформації на основі спектрально-семантичної та просторово-семантичної моделей, розроблених у дисертаційній роботі.

1. Отримання даних $X_2 = \{x_i\}$, $i = \overline{1, N}$.
2. Обчислення порога $|G_n| = |G_{\max}| / 2$.
3. Обчислення предиката перевищення порога за формулою (8), де

$$x_i^{q_i} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_i = q_i, \\ 0, & \text{якщо } x_i \neq q_i. \end{cases}$$
4. Обчислення арифметичної суми Φ за формулою (9).
5. Обчислення предиката $F(Y)$ за формулою (10).
6. Обчислення ознаки $s_i = \sum_{j=1}^N q_j$ – сума одиниць в $A_2(X_2)$.
7. Обчислення кількості піків d_i : якщо $\Phi \geq 2$, то $d_i = \Phi/2$, інакше $d_i = 0$.
8. Обчислення відстані між піками l_i .
9. Обчислення ознаки $L_1^{d_i} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } d_i \neq 0, \\ 0, & \text{якщо } d_i = 0. \end{cases}$
10. Обчислення ознаки $L_2^{l_i}$. Значення ознаки $L_2^{l_i}$ при $l_i \leq 3$ класифікує прийнятий сигнал як повітряний об'єкт, при $l_i > 3$ – як заважаюче відбиття, наприклад, «грозова хмара» або дискретне заважаюче відбиття – ангел-луна.
11. Обчислення ознаки $L_1^{s_i} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } s_i \neq 0, \\ 0, & \text{якщо } s_i = 0. \end{cases}$
12. Оцінка значень ознак та ідентифікація типів об'єктів здійснюється за формулою (10).

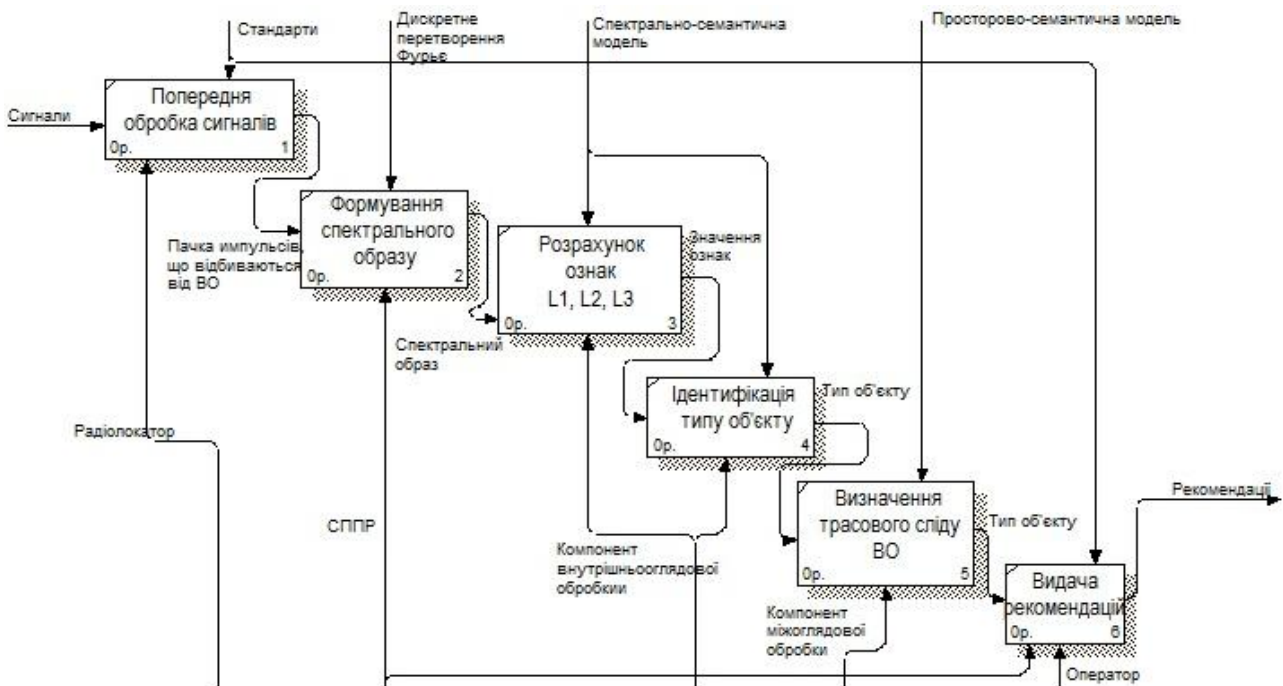


Рисунок 4 – Інформаційна технологія обробки сигналів

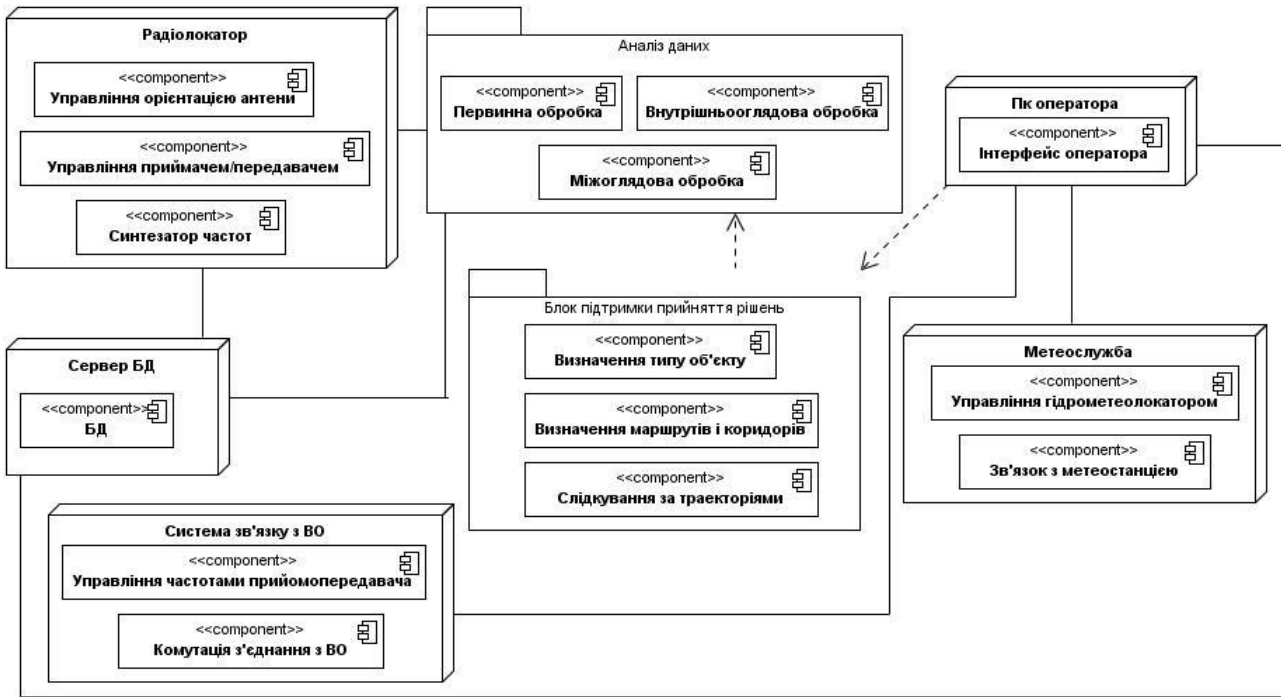


Рисунок 5 – Архітектура радіолокаційного комплексу

13. Якщо ідентифікований об'єкт належить до типу S_1 або S_2 , то перейти до просторово-семантичної моделі.

14. Отримання даних x_{ij} , де $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ – номери елементів обробки за дальністю R і азимуту β відповідно.

15. Обчислення предиката $A_1(X_1)$ за формулою (1), де $x_{ij}^{q_{ij}} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{ij} = q_{ij}, \\ 0, & \text{якщо } x_{ij} \neq q_{ij}. \end{cases}$

16. Обчислення ознаки повтору сигналу $Z_{nij} = 1$ при $A_1(x_{ij})^k > 0 \wedge A_1(x_{ij})^{k-1} > 0$, де $A_1(X_1)$ – предикат наявності-відсутності сигналу в елементі обробки k -го огляду.

17. Обчислення ознаки повтору сигналу в сусідньому елементі $Z_{ncij} = 1$ при $Z_{n(i+1)(j+1)} = 1$.

18. Обчислення ознаки відходу сигналу з елемента обробки Z_{yij} при $A_1(x_{ij})^{k-1} > 0 \wedge A_1(x_{ij})^k = 0 \wedge Z_{nij} = 0$.

19. Визначення напрямку трасового сліду здійснюється за формулою (4).

20. При $(k_1 = +1), (l_1 = +1)$ за формулою (5).

21. При $(k_1 = -1), (l_1 = 0)$ за формулою (6) і тому подібне.

22. На n -му кроці предикатне рівняння має вигляд (7).

23. Вирішення рівняння ідентифікації трасового сліду повітряного об'єкта

$$Z_{tyij} = \bigvee_{k_1, l_1}^{k_n, l_n} Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} = Z_{y(i+k_1)(j+l_1)} \wedge Z_{y(i+k_2)(j+l_2)} \wedge Z_{y(i+k_{n-1})(j+l_{n-1})} \wedge Z_{y(i+k_n)(j+l_n)} = 1.$$

24. Видача рекомендацій щодо типу та поведінки об'єкта і перехід до кроку 1.

Верифікацію запропонованої інформаційної технології виконано методом математичного моделювання. Модель побудовано шляхом визначення сукупності числових значень x_i , які для типів S_j визначаються як багатовимірна величина реального сигналу з накладенням випадкової складової. Значення x_1, \dots, x_n , що представляють об'єкт або явище, надходять на вхід блоку аналізу, в якому визначається належність сигналу до одного з класів S_1, \dots, S_n .

Як критерій обрана безумовна ймовірність правильного рішення задачі

$$W = \sum_{i=1}^n p_i P(S_j), \text{ де } p_i \approx N_c / K, N_c - \text{кількість правильних відповідей, } K -$$

загальне число випробувань, $P(S_j)$ – апіорні ймовірності появи сигналів від різних типів об'єктів S_j . Такий підхід дозволяє знайти залежність ймовірності W від кількості ознак L_1, \dots, L_n і точності $\delta_1, \dots, \delta_s$ технічних засобів, якими оснащується вимірювальна система досліджуваного об'єкта або явища.

На основі реальних даних (рис. 6) змодельовані типи характерних пачок радіолокаційних сигналів. За результатами експериментів всі вони були правильно розпізнані та класифіковані.

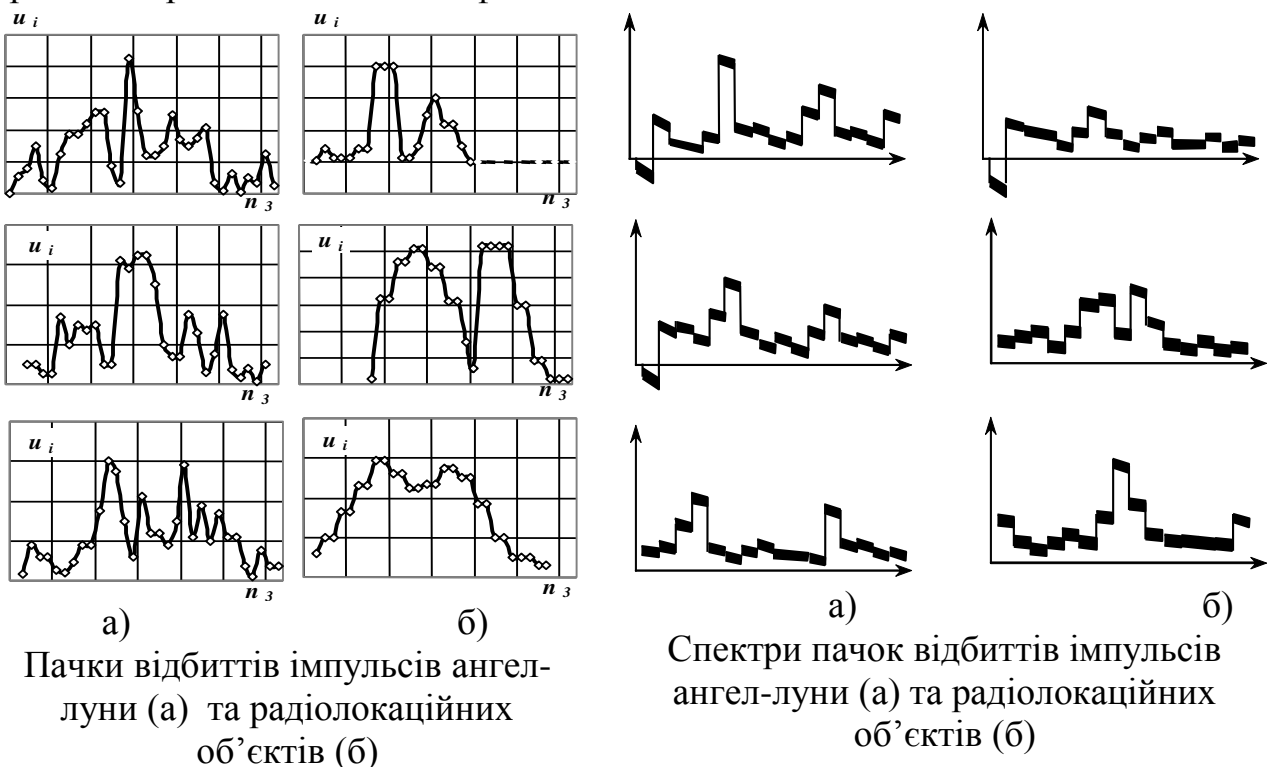


Рисунок 6 – Реальні пачки радіолокаційних сигналів та їх спектри

Проведені експерименти показали, що при застосуванні методу обробки сигналів на основі АСП ймовірність правильного виявлення повітряних об'єктів при малих значеннях відношення сигнал/завада, які не перевищують 10 дБ, вище, ніж при обробці існуючими методами (табл. 1), а при значеннях більше 15 дБ їх результати наближуються. Усі операції з класифікації та розпізнавання виконуються **автоматично** в реальному часі.

Таблиця 1 – Ймовірності розпізнавання повітряних об'єктів при різних значеннях відношення сигнал/завада

Відношення сигнал/завада (h , дБ)	Метод обробки сигналів на основі АСП ($P1$)	Метод обробки сигналів на основі адаптивних решітчастих фільтрів ($P2$)	Δ
5	0,12	0,06	+0,06
10	0,34	0,27	+0,07
15	0,5	0,48	+0,02
20	0,66	0,658	+0,002
25	0,77	0,76	+0,01
30	0,82	0,82	0
35	0,86	0,86	0
40	0,94	0,89	+0,05

Апробація просторово-семантичної моделі формування й аналізу зорових картин сигналів, що змінюються в часі й просторі, проведена відповідно до правила, якщо: 1) відмітці відповідають предикатні ознаки Z_n або Z_{nc} або їх сукупність, то відмітка належить до класу ангел-луни об'єктів; 2) відмітці відповідає предикатна ознака Z_y одна або в сукупності з ознаками Z_n і Z_{nc} , то відмітка належить до класу повітряних об'єктів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача розроблення методу для підвищення ефективності виявлення та розпізнавання сигналів в радіолокаційних комплексах шляхом інтелектуалізації обробки сигнальної інформації. Одержано наступні наукові та практичні результати.

1. Проаналізовано основні наукові досягнення та перспективи розвитку інформаційних технологій в галузі обробки сигналів. Сформульовано й обґрунтовано перспективність використання моделей, методів і технології обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах.

2. Розроблено метод формалізації і функціонально-семантичної обробки сигналів на основі застосування алгебри скінченних предикатів і компараторної ідентифікації при обробці радіолокаційних сигналів і зображень, що дозволяє зменшити обсяг переданих даних про сигнали.

3. Удосконалено спектрально-семантичну модель ідентифікації об'єктів за спектральним образом на основі методу компараторної ідентифікації і з урахуванням семантичної складової спектра сигналів об'єктів, що дозволяє всі операції з ознакової класифікації та радіолокаційного розпізнавання повітряних об'єктів виконувати автоматизовано в реальному часі.

4. Створено просторово-семантичну модель аналізу зорових картин сигналів, що змінюються в часі й просторі, яка полягає в зіставленні карти інтенсивності сигнальних відміток на основі інформації про поведінку сигналу в кожному аналізованому елементі обробки й предикатів подій, що дає змогу класифікувати об'єкти на основі аналізу кваліфікаційних ознак.

5. Розроблено інформаційну технологію обробки сигналів на основі спектрально-семантичної і просторово-семантичної моделей.

6. Проведено верифікацію розробленого методу, моделей та інформаційної технології шляхом математичного моделювання, яка показала перевагу запропонованих засобів обробки сигналів над існуючими методами.

7. Розроблені в дисертаційній роботі метод, моделі й інформаційна технологія використані в модулі багатооглядової обробки радіолокаційних сигналів та інформації для оглядових РЛС МО України, у науково-дослідному проекті «Розробка систем радіоконтролю, радіомоніторингу та систем пасивної пеленгації» ТОВ НПФ «Оптима», а також у навчальному процесі на кафедрі інформаційних технологій та мехатроніки ХНАДУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Солонская С. В. О возможности использования алгебры предикатов для классификации воздушных объектов по радиолокационному спектральному изображению / С. В. Солонская // Радіотехніка. – Харків : ХНУРЕ, 2004. – № 139. – С. 73-76.

2. Солонская С. В. Интеллектуальная система радиолокационного обнаружения малозаметных воздушных объектов / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Радіоелектроніка та інформатика. – Харків : ХНУРЕ, 2005. – № 3. – С. 134-138.

Здобувач запропонувала алгоритм для аналізу спектрів радіолокаційних сигналів.

3. Солонская С. В. Распознавание радиолокационных отметок по спектральному изображению с адаптивными весовыми коэффициентами / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Радіоелектроніка та інформатика. – Харків : ХНУРЕ, 2006. – № 1. – С. 121-124.

Здобувач розробила алгоритм розпізнавання об'єктів за радіолокаційним спектральним образом з адаптивними ваговими коефіцієнтами.

4. Солонская С. В. Частотно-импульсное кодирование радиолокационных дискретных мешающих отражений типа «ангел-эхо» / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Радіотехніка. – Харків : ХНУРЕ, 2006. – № 147. – С. 33-36.

Здобувачем запропоновано підхід стосовно частотно-імпульсного кодування радіолокаційних дискретних заважаючих відбиттів ангел-луна.

5. Солонская С. В. Интеллектуальная система многообзорной обработки радиолокационной информации / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Радіоелектроніка та інформатика. – Харків : ХНУРЕ, 2007. – № 3. – С. 6-12.

Здобувач запропонувала автоматизувати операції багатокадрової картинної обробки інформації.

6. Солонская С. В. Алгоритм интеллектуальной системы трассовой фильтрации для выделения радиолокационных отметок / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Радіотехніка. – Харків : ХНУРЕ, 2007. – № 151. – С. 271-277.

Здобувач розробила алгоритм інтелектуальної системи трасової фільтрації на основі просторово-семантичної моделі.

7. Солонская С. В. Оценка эффективности метода функционально-семантической обработки радиолокационных спектральных изображений / С. В. Солонская, В. В. Жирнов, С. Ю. Шабанов-Кушнарченко // Радіотехніка. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – № 165. – С. 240-248.

Здобувач розробила і програмно реалізувала алгоритм спектрально-семантичної обробки радіолокаційних сигналів.

8. Солонская С. В. Применение вейвлет-преобразования для формирования радиолокационных виртуальных изображений / В. В. Жирнов, С. В. Солонская, И. И. Зима // Радіотехніка. – Харків : ХНУРЕ, 2013. – № 175. – С. 142-146.

Здобувач запропонувала використання вейвлет-перетворення для аналізу радіолокаційних сигналів.

9. Солонская С. В. Использование алгебры предикатов для распознавания воздушных объектов по радиолокационному спектральному изображению / С. В. Солонская, В. В. Жирнов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків : НПП «Технологічний центр», 2014. – № 6/9(72) – С. 4-9.

Здобувач розробила спектрально-семантичну модель для розпізнавання спектрів радіолокаційних сигналів.

10. Солонская С. В. Технология обработки сигналов в интеллектуальной системе обнаружения и распознавания воздушных объектов / С. В. Солонская, В. В. Жирнов // Системи обробки інформації. – Харків : ХУПС, 2015. – № 11(136) – С. 68-72.

Здобувач розробила інформаційну технологію обробки радіолокаційних сигналів.

11. Солонская С. В. Совершенствование приемного тракта РЛС за счет использования нелинейных элементов обработки сигналов при обнаружении слабых сигналов / В. В. Жирнов, С. В. Солонская, Л. З. Сахновская // Сб. научн. трудов 9-й Междунар. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». – Харьков-Туапсе : ХНУРЭ, 2003. – С. 121-122.

Здобувачу належить пропозиція стосовно використання нелінійної обробки сигналів.

12. Солонская С. В. Использование алгебры конечных предикатов для радиолокационного распознавания отметок воздушных объектов / С. В. Солонская // Сб. матер. 8-го Междунар. молод. форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков : ХНУРЭ, 2004. – Ч.1. – С. 43.

13. Солонская С. В. Характеристики интеллектуальной системы классификации воздушных объектов по форме спектра / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Сб. научн. трудов 10-й Междунар. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». – Харьков-Туапсе : ХНУРЭ, 2004. – С. 165-66.

Здобувач запропонувала алгоритм інтелектуальної системи класифікації

повітряних об'єктів.

14. Солонская С. В. Интеллектуальная система обработки радиолокационных спектральных изображений / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Сб. научн. трудов 10-й Междунар. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». – Харьков-Туапсе : ХНУРЭ, 2004. – С. 169-170.

Здобувачем розроблено моделі та програмні рішення для інтелектуальної системи обробки радіолокаційних сигналів за спектральним образом.

15. Solonska S. V. Intellectual system of detection low-sized air objects / S. V. Solonska, V. V. Zhirnov // Proceedings 5th International Conference on Antenna theory and techniques (ICATT-05). – К : НТУУ «КПІ», 2005. – С. 368-371.

Здобувач запропонувала концепцію системи виявлення малорозмірних повітряних об'єктів.

16. Солонская С. В. Распознавание радиолокационного спектрального изображения с адаптивными весовыми коэффициентами методами алгебры предикатов / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Сб. научн. тр. 2-го Междунар. радиоэлектронного форума (МРФ-2005). – Харьков : ХНУРЭ, 2005. – Т. I. – С. 258-260.

Здобувачу належить концепція розпізнавання радіолокаційних об'єктів за спектром з адаптивними ваговими коефіцієнтами.

17. Солонская С. В. Модель человека-оператора в интеллектуальных системах радиолокационного распознавания / С. В. Солонская, В. В. Жирнов // Сб. научн. тр. 2-го Междунар. радиоэлектронного форума (МРФ-2005). – Харьков : ХНУРЭ, 2005. – Т. I. – С. 258-260.

Здобувачу належить пропозиція щодо використання моделі людини-оператора в системах радіолокаційного розпізнавання.

18. Solonska S.V. Data transformation in information systems of mobile objects management / S. V. Solonska, V. V. Zhirnov // Pultusk, near Warsaw, Poland, Conference Proceedings ATVN-EU-GP : 2005. – С. 102-105.

Здобувач запропонувала алгоритм перетворення даних в інформаційних системах управління рухомими об'єктами.

19. Солонская С. В. Асинхронный частотно-импульсный код радиолокационных дискретных мешающих отражений / В. В. Жирнов, С. В. Солонская // Сб. матер. 1-й Междунар. научной конференции «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития. – Харьков–Туапсе : ХНУРЭ, 2006. – С. 472-473.

Здобувачем запропоновано використання частотно-імпульсного кодування для розпізнавання дискретних заважаючих відбиттів.

20. Solonska S.V. Intellectual multisurvey processing of radar information / V. V. Zhirnov, S. V. Solonska // Proceedings 6th International Conference on Antenna theory and techniques. – К. : НТУУ «КПІ», 2005. – С. 341-343.

Здобувачем запропоновано підхід до багатооглядової обробки радіолокаційної інформації.

21. Солонская С. В. Информационные технологии обработки сигналов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / С. В. Солонская // Сб. матер. XIII Международной научно-практ. конференции «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами». – Харьков – Одесса : НАУ «ХАИ», 2015. – С. 45-47.

22. Солонская С. В. Информационные технологии обработки сигналов в интеллектуальных системах обнаружения и распознавания / С. В. Солонская // Сб. матер. 4-й Международной научно-техничн. конфер. «Информационные системы и технологии». – Харьков : ХНУРЭ, 2015. – С. 106-107.

АНОТАЦІЇ

Солонська С. В. Моделі, метод та інформаційна технологія обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача розроблення методу для підвищення ефективності виявлення та розпізнавання сигналів в радіолокаційних комплексах шляхом інтелектуалізації обробки сигнальної інформації. У роботі проаналізовано наукові досягнення в галузі обробки сигналів, визначено задачі обробки сигналів та підходи до їх вирішення. У технології обробки радіолокаційних сигналів запропоновано виділити два етапи: внутрішньооглядова й міжоглядова обробка сигналів. На основі цього підходу створено спектрально-семантичну і просторово-семантичну моделі обробки радіолокаційних сигналів. Проведено апробацію й оцінку ефективності результатів дослідження, отриманих на базі розробленої інформаційної технології. Результати впроваджено в модулі багатооглядової обробки радіолокаційних сигналів та інформації для оглядових РЛС МО України, у науково-дослідному проекті «Розробка систем радіоконтролю, радіомоніторингу та систем пасивної пеленгації» ТОВ НПФ «Оптима», а також у навчальний процес кафедри інформаційних технологій та мехатроніки ХНАДУ.

Ключові слова: інформаційна технологія, інтелектуальний радіолокаційний комплекс, компараторна ідентифікація, обробка та розпізнавання сигналів, просторово-семантична модель, спектрально-семантична модель.

Солонская С.В. Модели, метод и информационная технология обработки сигналов в интеллектуальных радиолокационных комплексах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи разработки метода для повышения эффективности обнаружения и распознавания сигналов в радиолокационных комплексах путем интеллектуализации обработки сигнальной информации. В работе проанализированы научные достижения в области обработки сигналов, определены задачи обработки сигналов и подходы к их решению. В технологии обработки радиолокационных сигналов предложено выделить два этапа: внутриобзорная и междуобзорная обработка сигналов. На основе данного подхода разработаны спектрально-семантическая и пространственно-семантическая модели обработки радиолокационных сигналов.

В работе усовершенствован метод формализации процессов восприятия и преобразования сигналов и сигнальных образов, который основан на компараторной идентификации, и позволяет определять семантическую составляющую сигналов и сигнальных образов на этапе предварительной обработки информации.

Предложена реализация информационной технологии обработки сигналов в интеллектуальных радиолокационных комплексах с учетом спектрально-семантической и пространственно-семантической моделей. Данный подход позволяет моделировать процессы обработки и распознавания радиолокационных сигналов и сигнальных образов средствами алгебры конечных предикатов.

На этапе внутриобзорной обработки сигналов и сигнальных образов объекты классифицируются по спектральному образу с помощью спектрально-семантической модели. Предварительная обработка пачки сигналов основана на формировании предикатной формы спектрального образа, затем на ее основе определяются значения признаков, и осуществляется идентификация объекта.

На этапе междуобзорной обработки сигналов для уточнения результатов идентификации объектов используется пространственно-семантическая модель. Рассматривается система дискретных выборок – элементов обработки по дальности и азимуту. Для описания ситуации вокруг анализируемого в данный момент элемента изображения (элемента зоны обзора РЛС), вводится система предикатных признаков. По оценке значений признаков в каждом элементе обработки и полученным предикатным уравнениям определяется воздушный объект. Предложенная модель позволяет определять отметки воздушных объектов на фоне мешающих отражений и наблюдать динамику изменения в течение нескольких обзоров РЛС.

Ключевые слова: информационная технология, интеллектуальный радиолокационный комплекс, компараторная идентификация, обработка и распознавание сигналов, пространственно-семантическая модель, спектрально-семантическая модель.

Solonskaya S.V. Models, method and information technology to process signals in intellectual radar complexes. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree in technical science, specialty 05.13.06 – Information Technologies. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. – Kharkiv, 2016.

This thesis deals with a topical theoretical and practical task to improve the efficiency of information technologies for the processing and identifying of radar signals. Scientific achievements in signal processing are analysed, tasks to process signals and approaches to their solution are determined in the thesis. It is proposed to distinguish two stages in the technology of radar signal processing: intrasurveillance and intersurveillance signal processing. On the basis of this approach, spectral-semantic and spatial-semantic models are developed. Testing and the evaluation of the research results, which are based on the information technology developed, are made. The results are put into practice in: the module of multisurveillance processing of radar signals and data for surveillance radars of the Ministry of Defence of Ukraine; the research project Development of Systems of Radiomonitoring and Passive Direction Finding; Scientific Production Firm Optima Ltd.; an educational process of the Department of Information Technologies and Mechatronics in Kharkov National Automobile and Highway University.

Keywords: information technology, intellectual radar complex, comparator identification, radar signal processing, spatial-semantic model, spectral-semantic model.

