

# Дослідження Алгоритмів Обробки Сигналів в Інтелектуальних Радіолокаційних Комплексах

Ігор Малицький  
кафедра Програмної Інженерії  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки  
Харків, Україна  
igor.malytskyi@nure.ua

Ігор Шубін  
кандидат технічних наук, професор  
кафедра Програмної Інженерії  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки  
Харків, Україна  
igor.shubin@nure.ua

## Research of Algorithms of Signal Processing in Intelligent Radar Systems

Igor Malytskyi  
Department of Software Engineering  
Kharkiv National University  
of Radio Electronics  
Kharkiv, Ukraine  
igor.malytskyi@nure.ua

Igor Shubin  
PhD, associate professor  
Department of Software Engineering  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
Kharkiv, Ukraine  
igor.shubin@nure.ua

**Анотація**—Вирішена науково-практична задача підвищення ефективності обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах шляхом створення методу, моделей та інформаційної технології семантичної обробки сигнальної інформації. Створено спектрально-семантичну і просторово-семантичну моделі обробки радіолокаційних сигналів.

**Abstract**—The scientific and practical task of increasing the efficiency of signal processing in intelligent radar systems is solved by creating a method, models and information technology for semantic processing of signal information. Spectral-semantic and space-semantic models of radar signal processing were created.

**Ключові слова**—інтелектуальний радіолокаційний комплекс, компараторна ідентифікація, обробка та розпізнавання сигналів, просторово-семантична модель, спектрально-семантична модель

**Keywords**—intellectual radar complex, comparator identification, radar signal processing, spatial-semantic model, spectral-semantic model.

### I. ВСТУП

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.

### II. СТАН ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

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 базу знань та 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 [1, 2].



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.

Метою дослідження є підвищення ефективності обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах шляхом створення методу, моделей та інформаційної технології семантичної обробки сигнальної інформації. 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 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 роботи [3].

### III. ОСНОВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

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.

Ступінь формалізації процесів сприйняття та перетворення сигналів визначається семантичною складовою. Процес обробки сигналів і сигнальних образів визначений як дія при компараторній ідентифікації. Компаратор – це перетворювач із  $m$  входами, якими є внутрішні стани інтелектуальної системи та виходом, що є двійковою реакцією компаратора

Семантичні складові зображення картини радіолокаційної обстановки навколо аналізованого у відповідний момент елемента зони огляду РЛС описуються за допомогою предикатних ознак. Предикатні ознаки для кожного елемента обробки, 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 формування трасового сліду сигнальної відмітки має вигляд предикатного рівняння, де номери елементів зображення трасового сліду щодо аналізованого елемента, визначаються розв'язуванням систем предикатних рівнянь покрокової перевірки наявності складових трасового сліду сигнальних відміток, та приймає значення залежно від швидкості повітряних об'єктів. 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. Шляхом розв'язування рівняння знаходяться значення поруч розташованого елемента обробки з предикатною ознакою, що відподна до відходу відмітки з елемента обробки. На *другому* кроці при складанні предикатного рівняння для знаходження наступного номера враховується напрямок трасового сліду (напрямок руху повітряного об'єкта), що позначився на першому кроці. При перевірці у вертикальному або горизонтальному напрямках номера елементів для перевірки визначаються, далі проводиться перевірка в діагональних напрямках, коли, перевіряються елементи, де номери формуються з урахуванням знаків [4].

Тоді для визначення застосовуються предикатні рівняння. У результаті вирішення системи предикатних рівнянь знаходяться всі значення 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 [5].

Також в практичній реалізації 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 картин завд навколо елемента обробки. Розроблено інтелектуальну адаптивну систему виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, основу на поєднанні сигнального та логічного спектрального аналізу з адаптацією параметрів виявлення до статистики та типу спектра завд.

Досліджується множина, що складається із значень спектральних складових, та деяка з її підмножин, спектральні складові якої перевищують порогове значення. Кожному типу спектра, відповідає певна комбінація нулів і одиниць у предикаті. Наприклад, тип 1 проявляється у вигляді єдиної групи одиниць серед всіх інших нулів. Для типу 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. Предикат перетворюється в інший вид предиката, де, побудованого на множині, елементи якої визначаються шляхом підсумовування за модулем два кожного елемента з суміжним елементом.

Для аналізу типів спектра використовується арифметична сума [6, 7]. Аналіз можливих значень  $\Phi$  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  $L$ , що дозволяють відрізнити спектри за кількістю груп одиниць і розривності нулів між ними. Для визначення кількості піків вводиться ознака, верхній індекс якої вказує на наявність у предикаті спектральних піків.

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 для кожної комірки дальності визначається за допомогою розробленого алгоритму.

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.

Верифікацію запропонованої інформаційної технології виконано методом імітаційного моделювання. Модель побудовано шляхом визначення сукупності числових значень, які для типів спектра визначаються як багатовимірні величини реального сигналу з накладенням випадкової складової. Значення, що представляють об'єкт або явище, надходять на вхід блоку аналізу, в якому визначається належність сигналу до одного з класів.

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

#### IV. ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження сформульовано й обґрунтовано перспективність використання моделей, методів і технологій обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах. Розроблено метод формалізації і функціонально-семантичної обробки сигналів на основі застосування алгебри скінченних предикатів і компараторної ідентифікації для моделювання діяльності експерта при обробці й аналізі радіолокаційних сигналів і зображень, що дозволяє суттєво зменшити обсяг переданих даних про сигнали. 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 та розроблено інформаційну технологію обробки сигналів на основі спектрально-семантичної і просторово-семантичної моделей.

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

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Bondarenko M (2007). Teoriya Intellekta / M.F. Bondarenko, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko. Kharkiv.: «СМІТ», 2007. – 221 p.
- [2] Bondarenko M (2005). Algebra Predikatov i Predikatnykh Operaciy / M. Bondarenko, Z. Dudar, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko // Radioelectronics & Informatics. – Kharkiv: KhNURE, 2005. – № 1. – pp. 80–87
- [3] Solonska S.V.(2005) Intellectual multisurvey processing of radar information / V. V. Zhirnov, S. V. Solonska // Proceedings 6th International Conference on Antenna theory and techniques. – K. : НТУУ «КПІ», 2005. – С. 341-343.
- [4] Солонская С. В. (2014) Использование алгебры предикатов для распознавания воздушных объектов по радиолокационному спектральному изображению / С. В. Солонская, В. В. Жирнов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2014. – № 6/9(72) – С. 4-9.
- [5] Kuzikov B. Programme Zabezpechennya Dlya Pobudovy Individualnih Navchalnyh Traektorij / B.O.Kuzikov // Informatika, Matematika, Avtomatika : Materialy ta programma naukovo-tehnichnoi konferencii, 2012, Sumy. –: SumDU, 2012. –pp. 54-55.
- [6] Shubin I., Karmanenko O., Umyarov K. (2015) The Methods of Adaptation in Computer-Based Training Systems // (ITIB 2015) – Kharkiv, 2015. – S 64-67
- [7] Shubin I., Kirichenko I. (2016) Informatsionnye Technologii Modelirovaniya Adaptivnykh System Obucheniya // Matherials of The 5Th Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Informatsionnye sistemy i tehnologii ICT-2016», Kharkiv, 2016 – S. 244-245.

