

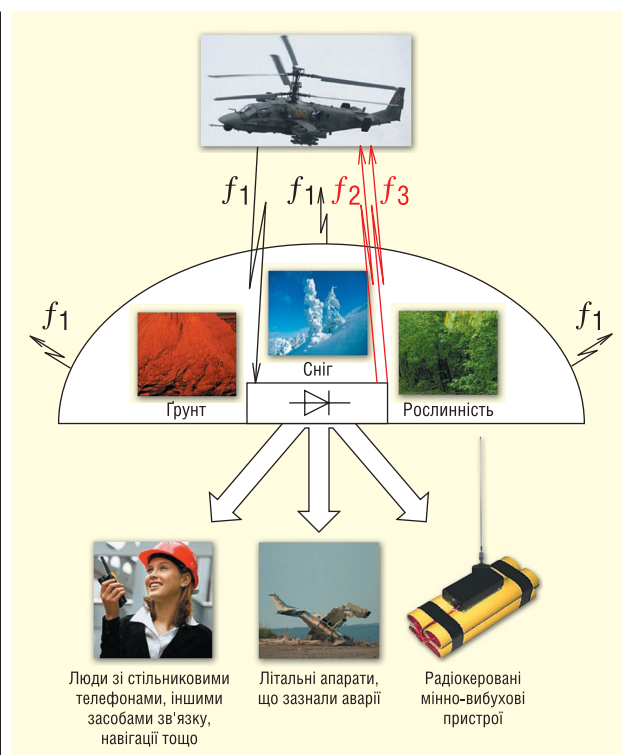
# Перспективи розвитку технології виявлення та розпізнавання об'єктів із нелінійними електричними властивостями в маскувальних середовищах

**Застосування технології виявлення та розпізнавання об'єктів з нелінійними електричними властивостями в маскувальних середовищах (середовищах з великим відсотком природніх завод), попри можливість отримання радіолокаційних зображень, не дає змоги однозначно ідентифікувати позначки цілей, які спостерігаються. У статті подано загальну характеристику проблемних питань, пов'язаних із розпізнаванням об'єктів за радіолокаційними зображеннями, і запропоновано перспективні шляхи їхнього розв'язання.**

Серед технічних засобів виявлення та просторової локалізації об'єктів, що містять елементи з нелінійними електричними властивостями (ОНЕВ), найбільшого поширення набули нелінійні радіолокаційні станції (НРЛС). Вони успішно використовуються під час розв'язання широкого кола завдань, починаючи від загальних наукових і закінчуючи суто прикладними. Серед них — виробнича дефектоскопія, пошук вибухових пристроїв з електронним управлінням підризу, радіомоніторинг господарських угідь із можливим місцезнаходженням заіржавілих бомб, фугасів, мін тощо, пошук малогабаритних автономних радіоелектронних засобів несанкціонованого знімання інформації, застосування спеціальних медичних радіомаркерів, маркування та контроль руху товарів на підприємствах та складах, пошук людей, які зазнали лиха, визначення місцеположення технічних засобів, що потерпіли катастрофу, пошук захованих металевих конструкцій, запобігання зіткненню автомобілів, посадка літальних апаратів на аеродроми без авіадиспетчера, стеження за рухомими об'єктами, на яких виникають випадкові контакти електропровідних елементів конструкції, проведення огляду на пунктах пропуску тощо.

Однак у низці випадків потрібні більш ефективні засоби, особливо під час вирішення таких завдань, як інформаційна безпека, порятунок людей, які зазнають лиха, і боротьба з тероризмом (рис. 1).

Для підвищення ефективності пропонується комплексувати принципи радіобачення та нелінійної радіолокації.



**Рис. 1. Застосування технології виявлення та розпізнавання ОНЕВ в маскувальних середовищах на частотах зондувального сигналу  $f_1$ , його другої  $f_2$  і третьої  $f_3$  гармонік**

Це дає змогу вести мову про технологію виявлення і розпізнавання ОНЕВ, яка може бути реалізована на практиці в нелінійних радіолокаційних станціях із синтезованою апертурою антени (НРСА). До теперішнього часу теоретична складова розглянутого підходу в нелінійній радіолокації представлена досить широко. Подібне вдосконалення технічних засобів нелінійної радіолокації в досліджуваній науково-технічній галузі повністю відповідає тенденції, загальній для радіолокації загалом, яка полягає в переході до радіобачення, під яким розуміють виявлення, визначення просторового положення і розпізнавання об'єктів спостереження в радіодіапазоні з детальною оптичних систем.

Застосування технології виявлення і розпізнавання ОНЕВ в маскувальних середовищах характеризується такими важливими перевагами.

По-перше, комплексування принципів радіобачення і нелінійної радіолокації одночасно забезпечує високу кутову роздільну здатність і збільшення дальності виявлення об'єктів.

По-друге, сформоване радіолокаційне зображення (РЛЗ) має підвищену інформативність, оскільки є суперпозицією вхідних сигналів системи оброблення на носійній частоті зондувального сигналу  $f_1 = f_0$ , а також частотах гармонік  $f_2 = 2f_0$  і  $f_3 = 3f_0$ . Тут зміна кольоропередавання РЛЗ на частотах  $2f_0$  і  $3f_0$  дає наочне уявлення про розташування об'єктів із нелінійними електричними властивостями відносно елементів навколишнього простору (рис. 2).

По-третє, пошук, виявлення і просторова локалізація ОНЕВ забезпечуються як на відкритій місцевості, так і в маскувальних середовищах (у рослинності, у різних спорудах, під завалами, шаром снігу або ґрунту) незалежно від ступеня освітленості та погодних умов.

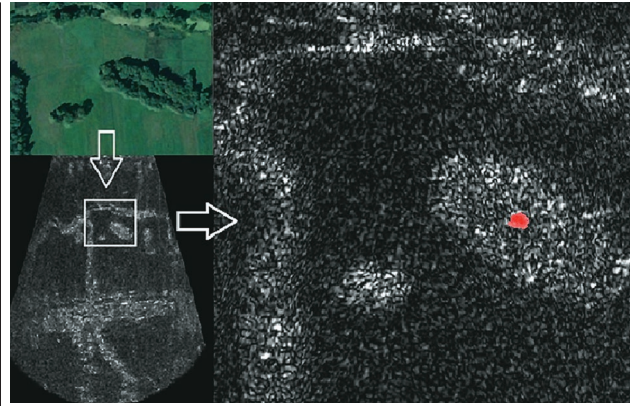
По-четверте, незначні маса і геометричні розміри дають змогу встановлювати їх на різні типи носіїв, зокрема малогабаритні безпілотні літальні апарати (БЛА).

Однак отримане НРСА радіолокаційне зображення, що є розподілом нелінійної ефективної площі розсіювання на площині в координатах «дальність — поперечна дальність», хоча й містить докладну інформацію про стан спостережуваних ОНЕВ у момент зондування, саме по собі нічого не дає — необхідне додаткове опрацювання радіолокаційних сигналів гармонік в інтересах розв'язання задачі розпізнавання та формулювання висновків щодо приналежності об'єкта до того чи іншого типу (класу) цілей. У цьому контексті формування РЛЗ є лише одним з етапів вилучення інформації про об'єкти, що спостерігаються, де найскладнішим буде процес їхнього розпізнавання.

Результати розпізнавання ОНЕВ на РЛЗ надалі можуть скласти основу операцій їхньої класифікації, встановлення взаємозв'язку з іншими об'єктами, забезпечити виконання процедур оцінювання основних кількісних характеристик електрофізичних параметрів, визначення стану та характеру функціонування радіолокаційних цілей, що спостерігаються.

Попри широкі дослідження, проведені в галузі нелінійної радіолокації, наразі наявні знання зосереджені здебільшого в галузі теоретичних досліджень. При цьому відсутній адекватний опис алфавіту й ознак розпізнавання об'єктів із нелійними електричними властивостями, які можуть скласти основу математичного та програмного забезпечення перспективних нелінійних РЛС із повною автоматизацією процесу функціонування, починаючи від формування зондувального сигналу (ЗС) і закінчуючи видачею оператору готового результату для ухвалення рішення. Це свідчить про важливість, своєчасність та актуальність детального опрацювання питань, так чи інакше пов'язаних із розпізнаванням об'єктів у нелінійній радіолокації.

Очевидно, між можливістю радіобачення на гармоніках зондувального радіолокаційного сигналу, з одного боку, і математичним забезпеченням сучасних нелінійних локаторів для ідентифікації ОНЕВ, яке не дає змоги розв'язувати задачі багатоальтернативного розпізнавання цілей на сформованих радіолокаційних зображеннях, — з іншого, є наукова суперечність. Її подолання вимагає розв'язання прагматичної проблеми наукового обґрунтування та експериментального підтвердження працездатності методів, моделей і методик формування ознакового простору ОНЕВ, які є базовим



**Рис. 2. Радіолокаційне зображення підвищеної інформативності**

компонентом математичного та програмного забезпечення технічних засобів нелінійної радіолокації та дають змогу в умовах переходу до радіобачення ефективно розв'язувати задачі розпізнавання цілей, що візуалізуються на РЛЗ.

Звідси випливає необхідність у дослідженнях, що мають на меті обґрунтування та розроблення технічних і алгоритмічних рішень, спрямованих на досягнення практичної реалізованості автоматичного розпізнавання цілей НРСА, а також оцінку ефективності результатів досліджень і формулювання основних рекомендацій щодо їх практичного використання.

Для досягнення зазначеної мети необхідно визначити основні шляхи вдосконалення системи оброблення сигналів, що забезпечують розширення інформаційних можливостей технічних засобів нелінійної радіолокації, обґрунтувати раціональні способи оброблення радіолокаційних сигналів гармонік і формування набору суттєвих ознак, що характеризують відмінності між цілями, і вибір найсуттєвіших із них із конкретизацією сфер їхнього визначення та врахуванням параметрів функціонування застосовуваних технічних засобів.

Суть розпізнавання тут полягає в тому, щоб установити приналежність ОНЕВ до певного типу (класу) завдяки аналізу радіолокаційних сигналів гармонік, які розсіяні цілями й містять інформацію про їхні характерні особливості. У цих умовах для якісного розпізнавання об'єктів, що містять елементи з нелійними електричними властивостями, необхідне апіорі вірогідне формування ознак, що характеризують відмінності між цілями, і вибір найсуттєвіших із них із конкретизацією сфер їхнього визначення та врахуванням параметрів функціонування застосовуваних технічних засобів.

Водночас усупереч відсутності принципових обмежень, опис простору ознак розпізнавання ОНЕВ пов'язаний із низкою труднощів технічного й технологічного характеру. Найсуттєвішими серед них є такі.

По-перше, функціонування нелінійних РЛС тільки на другій або тільки на третій гармоніці ЗС зумовлює неможливість розпізнавання ОНЕВ без застосування спеціальних заходів. Річ у тім, що відмінності електрофізичних властивостей напівпровідникових компонентів радіоелектронної апаратури та контактних з'єднань типу «метал-окис-метал» однозначно визначають інтенсивність тих чи інших частотних складових спектра розсіяного радіолокаційного сигналу, і порівняння рівнів сигналів другої й третьої гармонік, які приймають НРЛС, дає змогу сформулювати висновок про передбачуваний тип нелінійності об'єкта, за яким ведеться спостереження. В умовах, коли порівняння неможливо реа-

лізувати, може знадобитися, наприклад, аналіз людиною-оператором коливань звукових частот, що отримуються завдяки виділенню обвідної сигналу радіолокаційного сигналу, який приймає НРЛС.

По-друге, відсутні реальні зразки НРЛС із реалізованим режимом синтезування апертури антени. Це робить неможливим проведення безпосередніх натурних експериментів і ускладнює інтерпретацію результатів, які отримують непрямим шляхом завдяки комп'ютерному моделюванню та імітації процесу виявлення ОНЕВ у лабораторних умовах спеціально сконструйованим макетом, що послідовно виконує основні процедури формування радіолокаційних зображень на частотах другої та (або) третьої гармонік ЗС.

По-третьє, під час розсіювання ОНЕВ радіолокаційних сигналів гармонік не виконується принцип суперпозиції. Якщо припустити, що НРЛСА опромінює об'єкт двома монохроматичними сигналами з амплітудами  $S_{01}$ ,  $S_{02}$  і початковими фазами  $\varphi_{01}$ ,  $\varphi_{02}$  на частотах  $f_{01}$  і  $f_{02}$  відповідно (одним на частоті другої гармоніки ЗС, іншим — на частоті третьої гармоніки):

$$s_1(t) = S_{01} \cos(2\pi f_{01} t + \varphi_{01}), \quad (1)$$

$$s_2(t) = S_{02} \cos(2\pi f_{02} t + \varphi_{02}), \quad (2)$$

то результат формування розсіяного сигналу за ідеально квадратичної вольтамперної характеристики ОНЕВ:

$$i(t) = k_n s_n^2(t), \quad (3)$$

де  $s_n(t) = s_1(t) + s_2(t)$  — сигнал, що падає на ОНЕВ (зондувальний сигнал);  $i(t)$  — струм, сформований у колах ОНЕВ;  $k_n$  — деякий коефіцієнт пропорційності, який залежить від електрофізичних властивостей об'єкта, що описуватиметься виразом:

$$\begin{aligned} i(t) &= k_n (S_{01} \cos(2\pi f_{01} t + \varphi_{01}) + S_{02} \cos(2\pi f_{02} t + \varphi_{02}))^2 = \\ &= k_n S_{01}^2 (\cos(2\pi f_{01} t + \varphi_{01}))^2 + 2k_n S_{01} S_{02} \cos(2\pi f_{01} t + \varphi_{01}) \cos(2\pi f_{02} t + \varphi_{02}) + \\ &+ k_n S_{02}^2 (\cos(2\pi f_{02} t + \varphi_{02}))^2 = \\ &= k_n / 2 (S_{01}^2 + S_{02}^2) + k_n S_{01} S_{02} \cos(2\pi(f_{01} - f_{02})t + \varphi_{01} - \varphi_{02}) + \\ &+ (k_n S_{01}^2) + 2\cos(4\pi f_{01} t + 2\varphi_{01}) + k_n S_{01} S_{02} \cos(2\pi(f_{01} + f_{02})t + \varphi_{01} + \varphi_{02}) + \\ &+ (k_n S_{02}^2) / 2\cos(4\pi f_{02} t + 2\varphi_{02}). \end{aligned} \quad (4)$$

Як показує аналіз правої частини виразу (4), сума двох одностатних сигналів породжує п'ять спектральних складових у розсіяному сигналі на частотах 0,  $f_{01} - f_{02}$ ,  $f_{01} + f_{02}$ ,  $2f_{01}$  і  $2f_{02}$ .

Очевидно, за одночасного впливу на ОНЕВ суми сигналів відгук на кожен із них залежить від характеру та інтенсивності інших сигналів. Якщо додати до цього апріорну невизначеність щодо характеру нелінійності ОНЕВ, завдання аналітичного опису розсіяних цілями електромагнітних коливань істотно ускладнюється.

По-четверте, процес нелінійного перетворення радіолокаційних сигналів не обмежується одним лише збагаченням їхнього спектрального складу. Неминуче присутні при цьому негативні чинники (поглинання слабкого сигналу сильним, перекресні спотворення, інтермодуляція та амплітудно-фазова конверсія) спотворюють обвідну:

$$S_p(t) = G(t) s_1(t) = G(t) S_{01} \cos(2\pi f_{01} t + \varphi_{01}), \quad (5)$$

де  $G(t)$  — деяка притаманна ОНЕВ модульовальна (спотворювальна) функція, і вимагають обґрунтовано відповісти на запитання, у якій ділянці опрацювання сигналів буде найбільш раціональним — у тимчасовій чи в частотній. Крім того, згідно з рівністю Парсеваля:

$$\int_{-\infty}^{\infty} s_p^2(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{S}_p(j\omega)|^2 d\omega, \quad (6)$$

де  $\dot{S}_p(j\omega)$  — спектр сигналу  $s_p(t)$ , за однієї й тієї самої енергетики радіолокаційного сигналу залежно від обраного способу оброблення, застосованого технічного рішення та безпосередньо оброблюваного інформативного параметра виходять результати, які вельми істотно різняться між собою.

По-п'яте, спектр прийнятого радіолокаційного сигналу не є нескінченним. Він зосереджений в околицях другої і третьої гармонік ЗС і визначається смугою пропускання приймача НРЛС. Цей факт зумовлює ухвалення рішень щодо типів нелінійностей об'єктів, що спостерігаються, із залученням підходів, які передбачають відновлення, наприклад, часових залежностей із використанням зворотного перетворення Фур'є за обмеженими спектральними емпіричними даними.

По-шосте, жорсткі обмеження масо-габаритних показників, що визначаються як використанням НРЛС у поточному форматі, так і розміщенням на мобільній базі (наприклад, на борту БЛА), диктують необхідність обґрунтування теоретичних положень та розроблення з опорою на них нових технічних рішень із модернізації апаратної частини техніки нелінійної радіолокації завдяки використанню прогресивних досягнень у галузі технологій виробництва радіоелектронної апаратури та її елементів, висунення необхідних вимог до обчислювальних засобів і програмного забезпечення, а також заміни сукупності наявних антен для випромінювання носійної частоти ЗС  $f_0$  і приймання ехо-сигналів гармонік ( $2f_0$ ,  $3f_0$ ), конструктивно об'єднаних у єдиному блоці, на одну універсальну малогабаритну приймально-передавальну надширокопосмугову антену.

Таким чином, розв'язання перерахованих труднощів у доступній для огляду перспективі дасть змогу створити математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення, необхідне для впровадження в технологію виявлення й розпізнання ОНЕВ в маскувальних середовищах повного циклу опрацювання інформації про об'єкти дистанційного зондування аж до їхнього автоматичного розпізнавання в масштабі часу, близькому до реального. Така технологія насамперед потрібна в МО, МВС і МНС через те, що є універсальним засобом розв'язання завдань, які дотепер залишалися або такими, які важко розв'язувати, або такими, які не розв'язуються зовсім. **СН**

## НОВИЙ TFT LCD ДИСПЛЕЙ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Компанія **Winstar** представила новий високопродуктивний 2.8-дюймовий TFT LCD модуль WF28KTZAJDNG0, спеціально розроблений для промислових застосувань. WF28KTZAJDNG0 оснащений проекційно-емнісною сенсорною панеллю (PCAP) і технологією O-Film, яка забезпечує широкі кути огляду. TFT дисплей обладнаний драйвером ST7789V і підтримує SPI інтерфейс для швидкої та надійної передачі даних. Сенсорна панель базується на драйвері CF1124 і підтримує інтерфейс I<sup>2</sup>C, забезпечуючи плавну та чутливу роботу сенсора з підтримкою одного дотику.

Розроблений для роботи у складних умовах промислового середовища, WF28KTZAJDNG0 ідеально підходить для таких застосувань, як портативні медичні монітори.

Номенклатура продукції складається з символічних, графічних і кольорових PKI, TAB, COG, TFT та OLED індикаторів.

[www.winstar.com.tw](http://www.winstar.com.tw)