

ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ, РАДІОЛОКАЦІЇ, РАДІОНАВІГАЦІЇ

УДК 621.396.62:621.396.96

ЗАСТОСУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Бичков В.Є., Правда В.І., Мрачковський О.Д.

Побудова радіолокаційних зображень є актуальною для розширення інформаційних можливостей радіолокаційних комплексів [1]. Зображення дозволяють наглядно ідентифікувати рухомий або фіксований об'єкт як у цивільних так і військових радіолокаційних системах (РЛС). Поява надширокосмугової радіолокації дозволяє зробити інструмент радіолокаційного дослідження більш „тонким” та чутливим. В цьому випадку прийнятий сигнал несе інформацію не тільки про наявність цілі в окремому секторі, її швидкості та дальності, а також про її окремі елементи [2].

Якщо перспективність використання цих систем не визиває жодних нарікань, то теоретична база для дослідження відбитих сигналів, побудови радіолокаційної картинки з використанням надширокосмугової технології, потребує більш детального осмислення та розгляду.

Теоретичні викладки

Одним з залежних показників якості відбитого сигналу є ефективна поверхня розсіювання цілі. Визначення ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) в надширокосмуговій (НШС) радіолокації є одним з найбільш важких питань. ЕПР, незалежно від виду сигналу, визначається залежністю:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{E_s^2}{E_0^2}, \text{ де } R - \text{відстань до цілі, } E_s - \text{напруженість електричного поля}$$

у приймальної антени РЛС, E_0 – напруженість електричного поля, що падає на ціль. Окремі елементи цілі розсіюють енергію падаючої хвилі незалежно одна від іншої та об'єкт розглядається як сукупність набору елементів, кожний з яких є незалежним відбивачем. Загалом кажучи, таке подання об'єкта недостатньо правомірно, оскільки різні елементи об'єкту можуть затінювати один одного, а також можливі багаторазові перевідбиття хвилі між окремими елементами об'єкта.

Параметри відбитого імпульсу будуть залежати від вигляду імпульсної характеристики локального елемента та можуть бути визначені, як згортка цієї характеристики $h(t)$ з функцією, що описує падаючий на об'єкт сигнал $f(t)$. З цією ж метою може бути використане інтегральне перетворення частотної характеристики об'єкта зі спектром сигналу.

Імпульсна характеристика локального елемента $h(t)$ у загальному ви-

гляді, може бути знайдена шляхом рішення рівнянь Максвелла для сигналу, заданого у вигляді дельта функції $g(t)$ або її апроксимації для області простору, що не містить сторонніх джерел струму. Однак рішення цих рівнянь у загальному вигляді можливо лише для обмеженого числа найпростіших елементів. Загалом можна скористатися для рішення цього завдання рядом відомих методів.

Методи геометричної оптики відносно прості, але не дозволяють одержати відповідь у ряді випадків і, зокрема, для плоских поверхонь. Методи фізичної оптики дозволяють вирішити це завдання, але не дають відповіді на межі тіні. Фізична й геометрична теорії дифракції дозволяють скорегувати результати, отримані в наближенні до фізичної та геометричної оптики. Однак жоден із цих методів не дозволяє оцінити внесок поверхневої хвилі, що біжить, у розсіюванні сигналу на тілі довільної форми. Справа в тім, що в імпульсну характеристику багатьох видів цілей значний внесок вносять так звані повзучі хвилі - поверхневі хвилі, що поширюються в області тіні й огинають розсіювач. Для їх обліку в останні роки розроблений цілий ряд нових методів, з яких одним з найбільш ефективних є метод сингулярних розкладань [2]. Однак необхідно констатувати, що сьогодні поки відсутній теоретичний і розрахунковий апарат, який би з достатньою точністю міг би дати оцінку ЕПР складної цілі, що опромінюється надширококутовим (НШС) сигналом.

Розглянемо, як відрізняються відбиті сигнали при опроміненні об'єкта вузькосмуговим (ВС) та НШС сигналами. Фізична довжина в просторі вузькосмугового сигналу буде дорівнює $\sigma_{BC} > L$, де L - розмір об'єкта, а фізична довжина НШС сигналу - $\sigma_{ншс} \ll L$. "Довгий" вузькосмуговий сигнал, відбитий від всіх N відбиваючих точок цілі, буде являти собою суму N гармонійних коливань із випадковими фазами або, що теж саме, їх векторну суму. У цьому випадку ЕПР цілі дорівнює: $\sigma_{BC} = \sum_{k=1}^N \sigma_k \cos 2\pi \frac{R}{\lambda}$, де σ_k - ЕПР k -ї точки; R - відстань від РЛС до цієї точки.

Оскільки сума гармонійних коливань однієї частоти є гармонійним коливанням, то відбитий сигнал буде являти собою синусоїду з амплітудою, що не змінюється та випадковою фазою. Сума гармонійних сигналів, відбитих від різних точок об'єкта, може в деяких кутових напрямках привести до повної компенсації поля, відбитого в напрямку РЛС, що еквівалентно утворенню нуля у вторинній діаграмі спрямованості (ДС) цілі.

Інша картина буде мати місце при відбитті від цілі НШС сигналу в якого $\sigma_{ншс} \ll L$. У цьому випадку відбитий сигнал буде являти собою послідовність N імпульсів, випадково розташованих в інтервалі $\Delta t = L/c$ і утворюючих так званий "портрет" цілі (рис.1).

Відеоімпульси, що складають "портрет", можуть мати різну амплітуду. Вона залежить від ЕПР відповідної відбивної точки цілі. Полярність

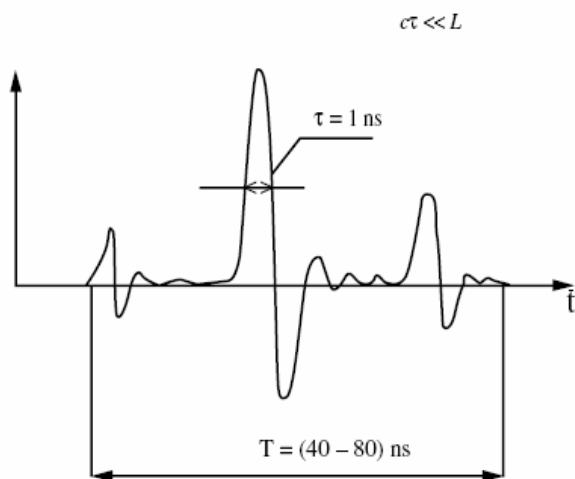


Рис. 1

цих відеоімпульсів може змінюватись. Це залежить від магнітної проникності матеріалу, що відбиває сигнал. При відбитті від провідника електрична складова поля змінює свою полярність. При відбитті від матеріалів з високою магнітною проникністю ця полярність не змінюється. Нарешті, відеоімпульси, відбиті від цілі, можуть змінити свою первісну (наприклад, прямокутну) форму. Це відбудеться в тому випадку, коли

відбивні точки цілі мають резонансні властивості та смугу частот менш ніж ширина спектру НШС сигналу. Крім того форма відбитого сигналу буде ускладнена перевідбиттям відеоімпульсу між відбиваючими точками цілі. У результаті ЕПР об'єкта стає залежною від часу $\sigma_{\text{НШС}} = \sigma_{\text{НШС}}(t)$. Якщо алгоритм обробки НШС сигналу дозволяє підсумувати відбиття від окре-

мих блискучих точок, то ЕПР об'єкту не залежить від часу:
$$\sigma_{\text{НШС}} = \sum_{k=1}^n \sigma_k$$

Якщо прийняти, що кожна блискуча точка об'єкта відбиває однакову енергію, незалежно від виду сигналу, то практично у всіх випадках $\sigma_{\text{НШС}} \gg \sigma_{\text{вс}}$.

Таким чином, при НШС сигналі є вигреш у величині ЕПР. Це обставина, а також відсутність нулів у вторинній діаграмі спрямованості об'єкту, сприяє більш стійкому спостереженню. Отже:

1. Є два фактори, що визначають перетворення ШС сигналу при його розсіюванні ціллю. Перший пов'язаний з геометрією та орієнтацією об'єкта й приводить до перетворення одного імпульсу, що опромінює, у пачку імпульсів. Другий фактор пов'язаний з відмінністю форми (або спектра) сигналу, що опромінює елемент об'єкту, від імпульсної (або частотної) характеристики цього елемента. Це приводить до зміни форми одиночного імпульсу в пачці.

2. ЕПР об'єкта для НШС сигналу є функцією часу. При узгодженій обробці відбитого НШС сигналу ЕПР об'єкта буде більше, ніж для вузькосмугового сигналу. Вторинна ДС об'єкту не буде мати провалів, що виникають при його опроміненні вузькосмуговим сигналом за рахунок інтерференції хвиль, відбитих від різних елементів об'єкта. Це дозволяє забезпечити більш надійний і стійкий прийом відбитих сигналів.

При різній просторовій тривалості зондуючого сигналу (τ_c) по відношенню до фізичного розміру об'єкту, а також в залежності від розміру елементарної комірки розрізнення за азимутном, можна отримати декілька

основних випадків відбиття від цілі для різних елементів конструкції, як це показано на рис. 2.

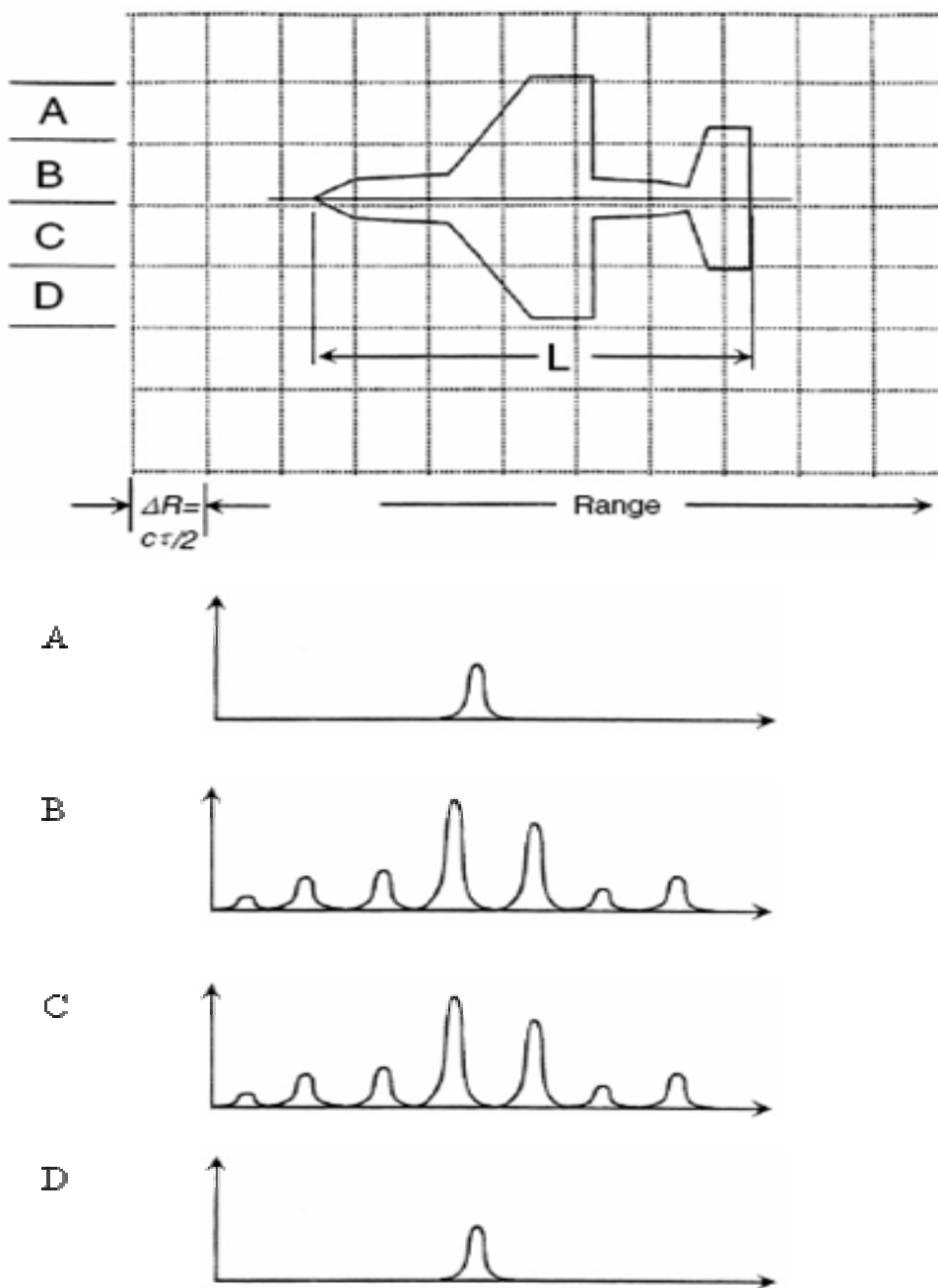


Рис. 2

При розгляді результатів відбиттів, що отримані радіолокаторами високої роздільної здатності можна побачити, що визначення об'єкту залежить від так званої, найсильнішої відбиваючої точки. У будь-якому випадку, при розпізнаванні цілі, необхідно мати певну інформативну базу елементів цілі, що мають найбільшу відбивну здатність. Подальше порівняння радіолокаційних результатів відбиття з базовими дозволяє ідентифікувати ціль.

Діаграми зворотного вторинного випромінювання реальних цілей мож-

на отримати завдяки математичним моделям відбиттів або безпосередньо за реальними цілями. Виміри у деяких випадках здійснюють як на реальних об'єктах, так і на моделях. В останньому випадку вторинне випромінювання моделі співвідноситься з вторинним випромінюванням еталону.

Ще одним з важливіших питань є проблема визначення порогу, невірний вибір якого може збільшити ймовірність хибної тривоги при радіолокаційному визначенні об'єкту. Для випадку використання надширокопосмугового сигналу відсутність апріорної інформації про форму прийнятого сигналу [3] не дозволяє застосувати для процедури визначення класичні алгоритми. Тому для цього випадку було запропоновано використання алгоритму, в якому використовується єдиний відомий параметр відбитого сигналу – такий як період повторення. Сигнал, що відбито від цілі $U_c(t)$ являє собою пачку з M портретів цілі $U_o(t)$ що поступають з періодом T_{Π} (рис. 3)

$$U_c(t) = \sum_{k=0}^{M-1} U_o(t - kT_{\Pi})$$

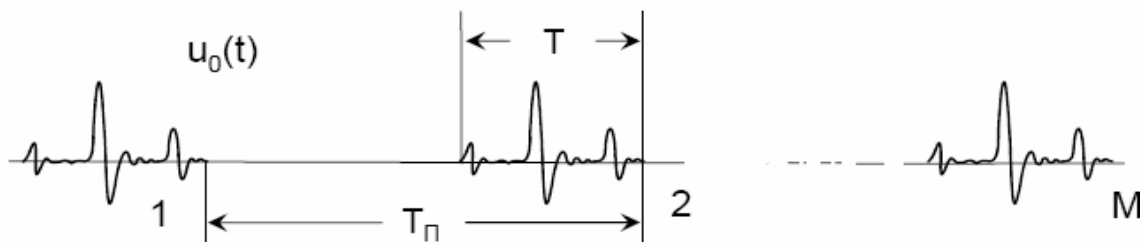


Рис. 3

Для отримання оптимального алгоритму визначення сигналу, в залежність логарифму відношення функціоналів правдоподібності замість відомих параметрів сигналу підставляємо максимальну правдоподібність оцінки невідомих параметрів. Отримаємо оптимальний алгоритм визначення

сигналу з невідомою формою:
$$U_{\text{вих}}(t) = \int_0^T \left(\sum_{k=0}^{M-1} u(t + kT_{\Pi}) \right)^2 dt \geq U_{\text{пор}}$$

Ця залежність дозволяє побудувати тракт обробки, в якому на опорний

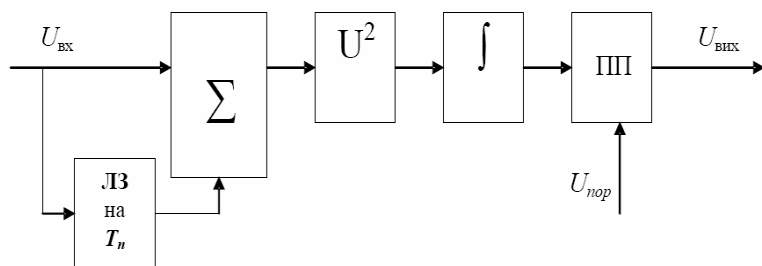


Рис. 4

канал подається сигнал з попередньої прийнятої реалізації, що затримано на час T_n . Структурна системи обробки, що реалізує цей алгоритм може бути представлена наступним чином (рис. 4). В цій схемі: ЛЗ – лінія за-

тримки, ПП – пороговий пристрій.



Рис. 5

На рис. 5 наведено приклад зображення цілі [4], що була побудована для радару стиснення імпульсу, який працює в діапазоні 3,2 ГГц. Це зображення було отримане після оброблення та застосування деякої априорної інформації про цілі.

Висновки

Таким чином, завдяки використанню надширокопосмугової технології можна, з достатньою ймовірністю,

ідентифікувати тип об'єкту який спостерігається. Одночасно, форма відбитого сигналу спотворюється, тому потрібно використовувати дещо модифіковану структуру оптимального пристрою обробки, а також мати базу сигнальних відбиттів від цілі для подальшої точної ідентифікації цілі. В багатьох практичних випадках роздільна здатність за азимутом не буде достатньою на великих відстанях, тому відбиття від цілі може змінюватись у зв'язку із зміною азимуту або роздільної здатності об'єкту.

Ефективність радару з великою роздільною здатністю може бути визначена в поняттях максимальної дальності визначення цілі, а також ймовірності визначення типу об'єкта.

Література

1. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана. М.: Сов. Радио. — 1970 — 540 с.
2. Taylor J. Ultra Wideband Radar Technology, CRC Press. Boca Raton, London, 2001.
3. Radar Handbook. Edited by Merrill I. Skolnik, Mc. Graw Hill. Boston, Massachusetts, Burr Ridge, Illinois, California, 2000.
4. Astanin Y., Kostylev A. Radar Target Characteristics: Measurements and Applications, CRC Press, Boca Raton 1994, pp.201-235.

Бычков В.Е., Правда В.И., Мрачковский О.Д. Застосування широкопосмугових систем для побудови радіолокаційних зображень Розглянуто особливості використання широкопосмугових радіолокаційних систем для побудови радіолокаційного зображення цілі.

Розглянута побудова узгодженого тракту обробки сигналу з невідомою формою

Ключові слова: радіолокація, радіолокаційні системи, ідентифікація об'єкту

Бычков В.Е., Правда В.И., Мрачковский О.Д. Применение широкополосных систем для построения радиолокационного изображения Рассмотрены особенности использования широкополосных радиолокационных систем для построения радиолокационных изображений цели. Рассмотрено построение согласованного тракта обработки сигнала с неизвестной формой

Ключевые слова: радиолокация, радиолокационные системы, идентификация объекта

Bychkov V.E., Pravda V.I., Mrachkovsky O.D. Usage of ultra wide-band systems for constructing of radar image Features of usage ultra wide-band radar systems for constructing of radar image are considered. Constructing of the matched processing section of a signal with the unknown form is considered

Key words: radiolocation, radiolocation systems, identification object