

ТЕОРІЯ КІЛ ТА ОБРОБКА СИГНАЛІВ

УДК 621.396.96

І.Н. Прудіус, Л.В. Лазько, Д.О. Мимріков
Національний університет “Львівська політехніка”

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОБУДОВИ РАДІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ВИДІЛЕННЯ ОБ’ЄКТІВ

© Прудіус І.Н., Лазько Л.В., Мимріков Д.О., 2012

Запропоновано модель формування радіометричного зображення з врахуванням впливу параметрів сцени, системи моніторингу та середовища поширення. Досліджено виявлення об’єктів на основі радіометричного зображення за дії шуму.

Ключові слова: радіометричне зображення, адитивний шум, виявлення об’єктів.

In the paper the model of radiometric image with regard to the impact parameters of the scene, monitoring and distribution environment is presented. The object detection algorithm based on radiometric image under the influence of noise is investigated.

Key words: radiometric images, additive noise, object recognition.

Вступ. Системи моніторингу знаходять широке застосування у народному господарстві, науці та військовій техніці для виявлення, розпізнавання та ідентифікації повітряних, наземних і надводних об’єктів [1]. Дані у системах моніторингу аналізують за сформованими зображеннями в різних ділянках спектра електромагнітних хвиль. У процесі функціонування систем моніторингу виникають такі основні задачі: 1) формування зображень; 2) обробка зображень (усунення розмиття, шумів різного походження, геометричних спотворень тощо); 3) виявлення об’єктів; 4) розпізнавання образів. При цьому оперують зображенням-оригіналом $f(i, j)$ та сформованим зображенням $f_{form}(i, j)$ (де i, j – кількість рядків і стовпців відповідно). На якість формування зображень впливають шуми і завади, які ускладнюють виявлення та розпізнавання об’єктів. Ступінь впливу завад залежить від характеру взаємодії корисного сигналу і завади.

Шуми, що визначаються фоном місцевості, мають адитивний характер та властивості, подібні до корисного сигналу. Моделлю фону можна вважати суму великої кількості сигналів від елементів об’єктів, що розташовані на підстилаючій поверхні, з випадковою амплітудою та фазою. Додатково присутні внутрішні шуми приймача, що є типовим природним адитивним шумом, який маскує корисний сигнал.

У роботі розглянуто моделювання формування радіометричних (РМ) зображень та виділення об’єктів на їх основі при впливі завад. Для оцінювання впливу шуму та завад на роботу системи моніторингу використовують різні критерії оцінювання якості роботи системи. Зокрема для оцінювання достовірності виявлення об’єктів за певного відношення сигнал/шум використовують ймовірнісні критерії, такі як ймовірність пропуску цілі та хибної тривоги, які є загальноприйнятими критеріями оцінювання якості роботи такого роду систем. Хибна тривога відповідає ситуації виділення об’єкта, який не належить об’єктам із зображення-оригіналу. Пропуск цілі відповідає ситуації, коли не виділено всі об’єкти, які є на зображенні-оригіналі.

Дискретне представлення радіометричного зображення. Радіометричний канал спостереження належить до пасивних засобів спостереження, які виявляють частину електромагнітних хвиль, сформованих безпосередньо формотвірною поверхнею спостережуваного об'єкта, який має фізичну температуру, більшу за 0°K, та перевідбитого випромінювання.

Фізичною основою радіометричного виявлення є ефективна власна або перевідбита яскравісна температура об'єктів, а також величина і знак їх яскравісного контрасту відносно яскравісної температури ділянки поверхні фону, на якій розглядається об'єкт. Тобто основними чинниками розрізнення об'єктів над фоном є різниця ефективних яскравісних температур об'єкта і фону, геометрія об'єкта, кут спостереження [2].

Основним інформаційним параметром, яким оперують під час формування радіометричних зображень, є антенний радіотепловий контраст ΔT_A об'єкта відносно фону, який визначається як [2]:

$$\Delta T_A = T_A - T_{A\phi} \quad (1)$$

де T_A – антенна температура; $T_{A\phi}$ – антенна температура фону, яка визначається з:

$$T_{A\phi} = \frac{\int F(\Omega) \cdot T_\phi(\Omega) d\Omega}{\int_{4p} F(\Omega) \cdot d\Omega}, \quad (2)$$

де $F(\Omega)$ – діаграма напрямленості антени; $T_\phi(\Omega)$ – розподіл яскравісної температури фону; Ω – координати просторового кута сцени.

У випадку, якщо в точці простору приймання антени знаходиться об'єкт з площею проекції на площину формування зображення більшою за площу перерізу ДНА у цій площині, то антенну температуру об'єкта $T_{Aоб}$ розраховують:

$$T_{Aоб} = \frac{\int_{\Omega_{об}} F(\Omega) \cdot T_{об}(\Omega) d\Omega + \int_{4p-\Omega_{об}} F(\Omega) \cdot T_\phi(\Omega) d\Omega}{\int_{4p} F(\Omega) \cdot d\Omega}, \quad (3)$$

де $\Omega_{об}$ – тілесний кут об'єкта; $T_{об}(\Omega)$ – розподіл яскравісної (власної чи перевідбитої) температури об'єкта.

Отже, підставляючи вирази (2) і (3) до виразу (1), отримуємо:

$$\Delta T_A = \frac{\int F(\Omega) \cdot [T_{об}(\Omega) - T_\phi(\Omega)] d\Omega}{\int_{4p} F(\Omega) d\Omega}. \quad (4)$$

Тобто радіометричне зображення формується як просторовий розподіл енергетичного параметра прийнятого сигналу.

Формування сигналу РМ системи $I_{PMцен}(\Omega_{ск})$, що відповідає одному напрямку, в загальному випадку описується виразом [3]:

$$I_{PMцен}(\Omega_{ск}) = \int_0^{t_{нак}} \int_{\Omega_{цен}} F_{syst}(\Omega - \Omega_{ск}, t) \cdot [T_{об}(\Omega) - T_\phi(\Omega)] d\Omega dt + n(\Omega_{ск}), \quad (5)$$

де $\Omega_{ск}$ – просторий кут сканування; $F_{syst}(\Omega - \Omega_{ск}, t)$ – функція системи, яка враховує параметри системи моніторингу, такі як діаграма спрямованості, час накопичення тощо; $t_{нак}$ – час накопичення сигналу; $n(\Omega_{ск})$ – розподіл адитивного шуму.

У дискретному вигляді інтенсивність пікселя сформованого зображення:

$$I_{PMцен}(k_{ск}, l_{ск}) = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{k,l} F_{syst}(k - k_{ск}, l - l_{ск}, t_{нак}) \cdot [T_{об}(k, l) - T_\phi(k, l)] + n(k_{ск}, l_{ск}) \quad (6)$$

$$k = 1..M; l = 1..N;$$

де k_{ck}, l_{ck} – координати точки сканування, тобто номер рядка і стовпця в матриці сформованого зображення; M, N – кількість рядків і стовпців матриці, відповідає повному азимутальному куту і куту місця вхідної сцени.

Для моделювання використовувалася тестова сцена, на якій розташовано два об'єкти за ідеальних погодних умов (рис. 1). Об'єкт №1 (рис. 1) розташований на віддалі $D_1=100\text{м}$ від точки спостереження, а об'єкт №2 – на віддалі $D_2=120\text{м}$.

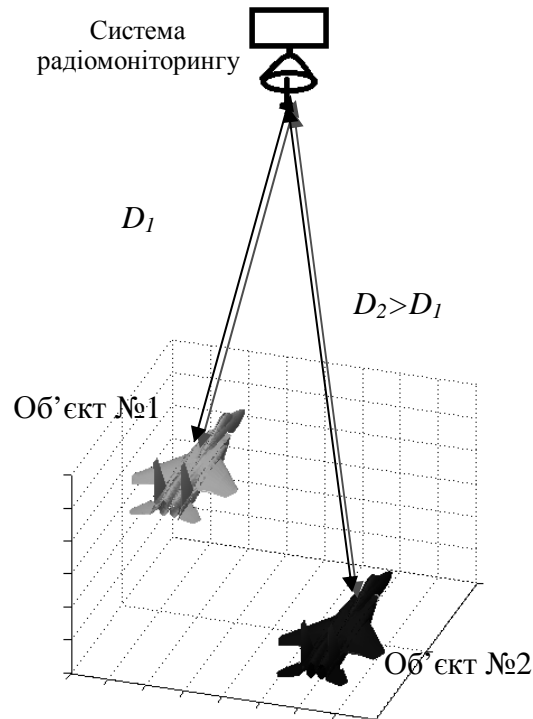


Рис. 1. Тестова сцена

Формування РМ зображення відбувається шляхом сканування з однієї точки спостереження поворотом антени за прямокутним растровим законом. Під час формування було наперед сформовано всі необхідні змінні для кожної точки простору і збережено у вигляді матриць [4]. Параметри системи моніторингу (діаграма спрямованості) та середовища також записуються у вигляді матриць, що дає змогу спростити і пришвидшити процес моделювання та врахувати велику кількість різних параметрів. Відповідно до тестової сцени на основі виразу (6) без врахування шуму було сформовано РМ зображення системою моніторингу (рис. 2).

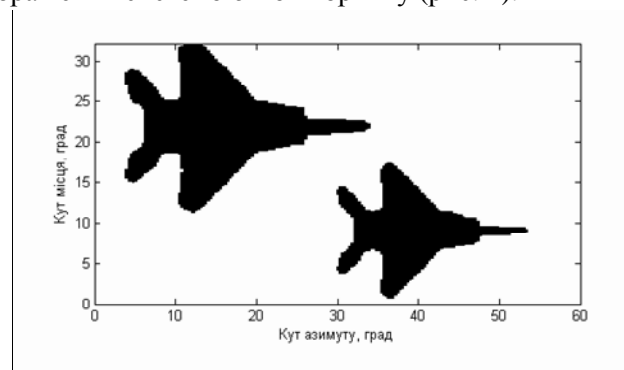


Рис. 2. Сформоване РМ зображення

Моделювання процесу виявлення об'єктів на основі радіометричного зображення. При виділенні об'єктів необхідно використовувати певні алгоритми, які функціонують на основі заданого порогу, кластерів тощо. Одним з найпростіших у використанні та найшвидшим для

реалізації у реальному масштабі часу є виявлення об'єктів за певним заданим порогом. Для виявлення об'єктів на основі РМ зображень необхідно задати два пороги. Перший, який надає змогу отримати бінарне зображення за певним рівнем інтенсивності прийнятого сигналу. Другий поріг визначає мінімальну площу об'єкта на сцені. Оскільки виділяють об'єкт за сформованим зображенням, то порогом є мінімальна кількість суміжних пікселів, які і визначають площу об'єкта. Перевагою алгоритму виділення об'єктів за заданим порогом є можливість адаптивної зміни порогу на основі результатів калібрування, бази даних чи заводової обстановки.

Процес виділення об'єктів на основі РМ зображень було реалізовано в середовищі Matlab [5]. За вищезгаданими принципами було сформовано бінарне зображення та виявлено два різні об'єкти.

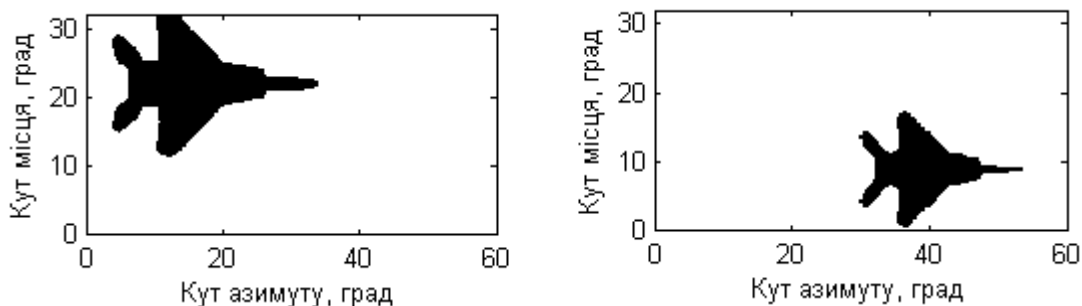


Рис. 3. Виділений об'єкт №1 (ліворуч), об'єкт № 2 (праворуч)

Вплив дії адитивної завади на виділення об'єктів було оцінено шляхом визначення ймовірностей виявлення та пропуску цілі. Для цього за заданої потужності завади і постійного рівня сигналу було проведено $N_{експ}=1000$ експериментів і знайдено ймовірності хибної тривоги P_{xm} та пропуску цілі P_{nc} . Оскільки тестову сцену було змодельовано, чітко відомо, які пікселі відповідають об'єктам у зображенні-оригіналі. Для цієї тестової сцени і заданого рівня шуму можна виділити такі ситуації виявлення/пропуску цілі для N -го експерименту:

– Виділено два незалежні об'єкти, які відповідають об'єктам на зображенні-оригіналі (рис. 4. А, Б) $P_{nc}(N)=0$; $P_{xm}(N)=0$.

– Виділено тільки один об'єкт. Цей об'єкт відповідає об'єкту на зображенні-оригіналі $P_{nc}(N)=1$; $P_{xm}(N)=0$.

– Виділено тільки один об'єкт. Цей об'єкт не відповідає об'єктам на зображенні-оригіналі $P_{nc}(N)=1$; $P_{xm}(N)=1$.

– Виділено декілька об'єктів, два з яких відповідають об'єктам на зображенні-оригіналі (рис.4. В) $P_{nc}(N)=0$; $P_{xm}(N)=1$.

– Виділено декілька об'єктів, хоча б один з яких не відповідає об'єктам на зображенні-оригіналі (рис.4. Г) $P_{nc}(N)=1$; $P_{xm}(N)=1$.

Сумарна ймовірність пропуску цілі для всіх $N_{експ}$ визначається так:

$$P_{СVM_nc}(S/N) = \frac{1}{N_{експ}} \cdot \sum_{N_{експ}} P_{nc}(N) \quad (7)$$

Сумарна ймовірність хибної тривоги для $N_{експ}$ визначається аналогічно:

$$P_{СVM_xm}(S/N) = \frac{1}{N_{експ}} \cdot \sum_{N_{експ}} P_{xm}(N) \quad (8)$$

Залежність ймовірності хибної тривоги $P_{СVM_xm}(S/N)$ та пропуску цілі $P_{СVM_nc}(S/N)$ від відношення сигнал/шум для згаданих вище умов наведено на рис. 5. Кожна точка на цій залежності відповідає ймовірності процесу виявлення об'єктів для 1000 експериментів.

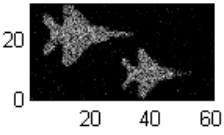
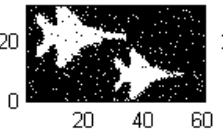
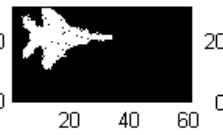
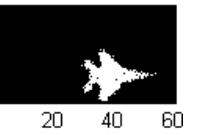
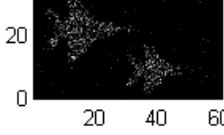
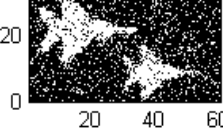
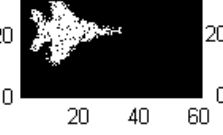
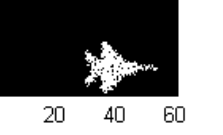
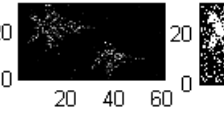
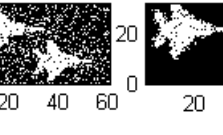
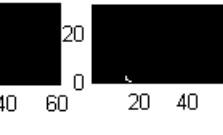
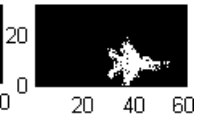
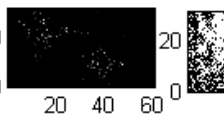
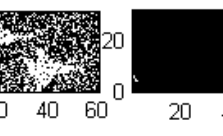
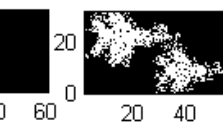
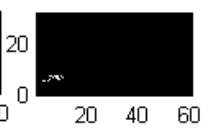
| № з/п | Сигнал/Шум | Сформоване РМЗ | Бінарне РМЗ | Виділенні об'єкти | |
|-------|---------------------------|---|---|--|---|
| А | +10 дБ Експеримент N |  |  |  |  |
| Б | 0 дБ Експеримент N |  |  |  |  |
| В | 0 дБ Експеримент $N+1$ |  |  |  |  |
| Г | -5 дБ Експеримент N |  |  |  |  |

Рис. 4. Приклади виділення об'єктів для різних відношень сигнал/шум

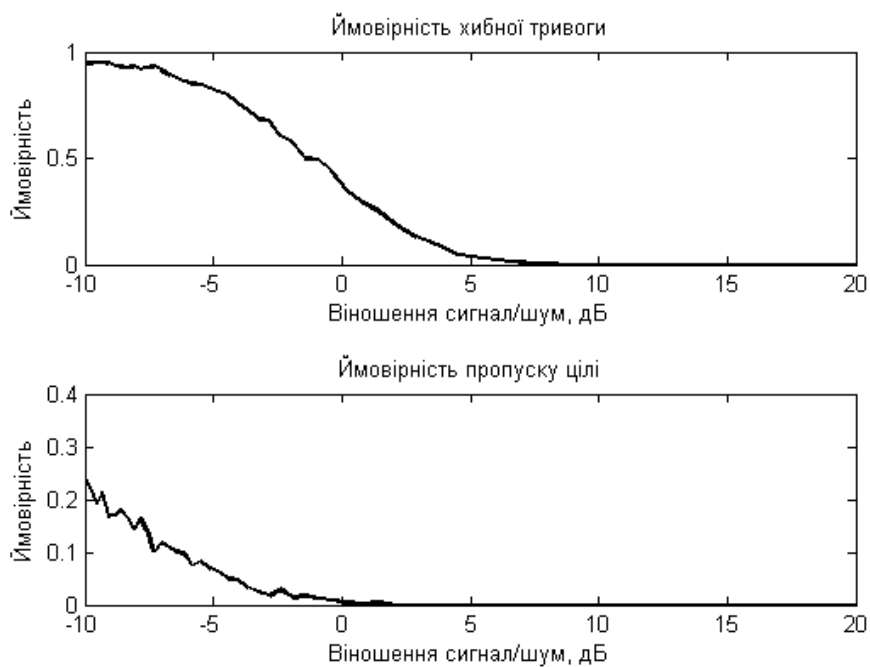


Рис. 5. Залежність ймовірності хибної тривоги P_{CVM_xm} та пропуску цілі P_{CVM_m} від відношення сигнал / шум

Висновки. Запропонована модель побудови радіометричних зображень дає можливість врахувати параметри сцени, середовища поширення хвиль і системи моніторингу та оцінити їх вплив на якість сформованого зображення та процес виявлення об'єктів.

Розроблена модель дає змогу враховувати заводську обстановку та вплив шумів на результат формування та виділення об'єктів, що дає змогу на етапі проектування систем оцінити їх ефективність. Також досліджені в роботі алгоритми формування РМ зображень та виділення об'єктів дають змогу враховувати різного роду шумів та інших дестабілізуючих факторів, що спрощує аналіз роботи систем моніторингу.

1. Борозов А.Б. Радиолокационные системы: научно-технические достижения и проблемы развития техники миллиметрового диапазона радиоволн. / А.Б. Борозов, Р.П. Быстров, В.Г. Дмитриев и др. // Успехи современной радиоэлектроники. – 2001. – №5. – С. 3–49. 2. Формирование радиотепловых контрастов объектов в миллиметровом диапазоне длин волн. /Л. И. Федосеев, А.А. Швецов // Российская академия наук “Журнал радиоэлектроники”. – № 7. – 2010 (электронный журнал, ISSN 1684-1719) – С.1–13. 3. Prudyus I.N., Lazko L.V., Mymrikov D.O., Multilobes radiometric monitoring system MWK'2011 Metrologia Wspomagana Komputerowo Waplewo – WDW „Warmia” 24÷27 maja 2011 r. 4. Прудюс І.Н., Лазько Л.В., Мимріков Д.О. Моделювання процесу формування радіолокаційного зображення системи моніторингу // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2011. – № 705. – С. 190–193. 5. Гонсалес Р., Вудс Р., Єддине С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

УДК 621.372.061

Ю.І. Шаповалов, Б.А. Мандзій, Д.Р. Смаль
Національний університет “Львівська політехніка”

ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОГО СИМВОЛЬНОГО МЕТОДУ ДО БАГАТОВАРІАНТНОГО АНАЛІЗУ ЛІНІЙНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ КІЛ

© Шаповалов Ю.І, Мандзій Б.А., Смаль Д.Р., 2012

Розглянуто застосування частотного символьного методу до багатоваріантного аналізу лінійних параметричних кіл на підставі визначення їх чутливості.

Ключові слова: лінійні параметричні кола, відхилення параметрів, частотний символьний метод, чутливість кіл.

In this paper are considered the application of frequency symbolic method to multivariate analysis of linear parametric circuits on the basis of determining of their sensitivity.

Key words: linear parametric circuits, deviation of parameters, frequency symbolic method, sensitivity of circuits.

Вступ. Важливим питанням багатоваріантного аналізу у процесі проектування кіл є визначення чутливості характеристик цих кіл до зміни параметрів їх елементів. Наявність функцій чутливості зазвичай позитивно впливає на вибір методів проектування, що забезпечує вищу якість та цілеспрямованість процесу проектування загалом. У статті це продемонстровано під час визначення відхилень характеристик лінійного параметричного кола методом моментів за такою залежністю [1]:

$$\delta W \cong \sum_{i=1}^n S_{l_i}^W \cdot \delta l_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{l_i l_j}^W \cdot \delta l_i \cdot \delta l_j, \quad (1)$$