

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.396.96

І.Н. Прудіус, Л.В. Лазько, Д.О. Мимріков
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗОБРАЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

© Прудіус І.Н., Лазько Л.В., Мимріков Д.О., 2011

Наведено модель формування зображення в активному каналі системи радіо-моніторингу, яка враховує параметри системи для різних типів об'єктів і підстилаючих поверхонь, а також розглянуто питання її реалізації.

Ключові слова: зображення, радіомоніторинг.

In the paper there is presented an image formation model in the active channel of a radio monitoring system, which counts the system parameters for different types of objects and underlying surfaces, besides there is considered a question of its realization.

Key words: image, radio monitoring.

Вступ

Для розв'язання актуальних задач розпізнавання та ідентифікації об'єктів необхідно будувати двовимірні високоякісні зображення за допомогою систем моніторингу. Оскільки радіолокаційний канал спостереження дозволяє сформувати зображення за довільних погодних умов і в будь-який час доби, то його використання є актуальним і високоефективним. Тому радіолокаційні системи моніторингу ближньої дії (до 5 км) можна використовувати для візуалізації об'єктів з метою ідентифікації та керування рухом в складних метеорологічних умовах та з метою попередження та запобігання зіткнень різних транспортних засобів (кораблів, літаків тощо).

Актуальність побудови моделі формування радіолокаційних зображень [1] полягає в необхідності моделювання роботи системи моніторингу з метою перевірки теоретичних розрахунків, розроблення та відпрацювання методів подальшого оброблення зображень, таких, як відновлення, комплексування, класифікації та розпізнавання.

На формування радіолокаційних зображень впливають:

- параметри та характеристики локаційної системи, такі, як діаграма спрямованості, потужність випроміненого сигналу, метод оброблення прийнятого сигналу, вид поляризації тощо;
- властивості об'єктів та сцени, такі, як геометрична форма об'єкта, шорсткість поверхні об'єкта, матеріал об'єкта тощо;
- параметри середовища поширення зондуючого сигналу;
- завади сторонніх джерел.

Із вказаних вище лише параметри радіолокаційної системи можливо вибрати для досягнення оптимальної якості зображення та ідентифікації об'єкта за відповідних погодних умов. Особливо важливим для забезпечення високої кутової роздільної здатності системи є використання антени з гостронаправленою діаграмою спрямованості в короткохвильовому діапазоні хвиль [2].

1. Дискретне представлення сигналу радіолокаційного зображення

У загальному випадку радіолокаційне зображення формується двовимірним скануванням сцени діаграмою спрямованості радіолокаційної системи. Радіолокаційне зображення внаслідок сканування простору діаграмою спрямованості приймальної антени являє множину дискретних значень прийнятого сигналу, записаних у системі координат системи сканування. Прийнятий сигнал антеною в заданому напрямку (піксель на зображенні) подається в комплексному вигляді і містить інформацію про параметри об'єкта та сцени.

У роботі модель об'єкта подана сукупністю великої кількості елементарних точкових відбивачів з подібними властивостями. Прийняту системою моніторингу (рис.1) радіолокаційну інформацію подано двома складовими – дзеркальною та дифузною [3].

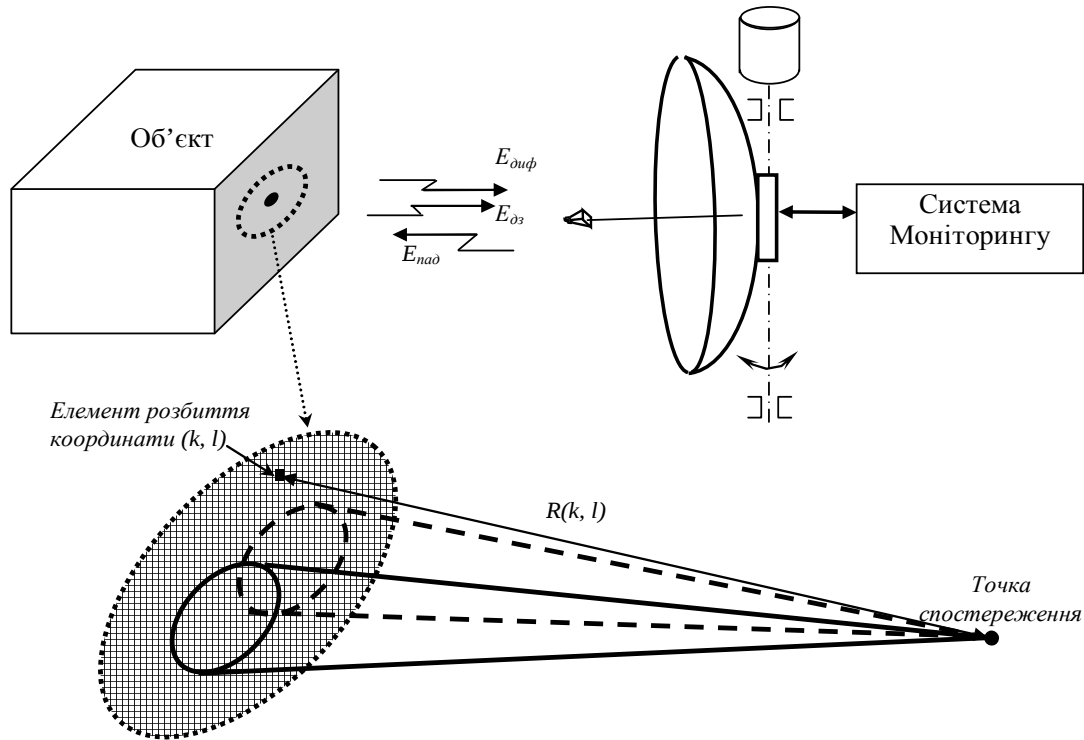


Рис. 1. Узагальнена схема системи моніторингу

Дзеркальна складова корисного радіолокаційного сигналу $\dot{E}_{\text{дз}}(\Omega)$ для кожного напрямку сцени визначається:

$$\dot{E}_{\text{дз}}(\Omega) = \frac{1}{2R(\Omega)} \cdot \dot{k}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}}) \cdot \dot{F}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}}) \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot 2R(\Omega)} \quad (1)$$

де Ω – координати просторового кута сцени; $R(\Omega)$ – віддаль від точки спостереження до кожної точки на сцені; $\Omega_{\text{ск}}$ – просторовий кут координати сканування; $\dot{k}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}})$ – комплексний коефіцієнт відбиття для кожної точки сканування, який залежить від напрямку сканування, параметрів та структури поверхні об'єкта і сцени, довжини хвилі і поляризації; $\dot{F}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}})$ – функція відбиття поверхні об'єктів, яка залежить від діаграми спрямованості передавальної антени; $\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ – фазовий коефіцієнт; λ – робоча довжина хвилі.

Дифузна складова сигналу $\dot{E}_{\text{диф}}(\Omega)$ для кожного напрямку сцени визначається так:

$$\dot{E}_{\text{диф}}(\Omega) = \frac{1}{2R(\Omega)} \cdot (1 - \dot{k}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}})) \cdot \dot{F}_{\text{диф}}(\Omega) \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot (2R(\Omega) + \Delta_{\text{роз}}(\Omega))} \quad (2)$$

де $\dot{F}_{\text{диф}}(\Omega)$ – діаграма зворотного розсіювання об'єктів на сцені; $\Delta_{\text{розс}}(\Omega)$ – зміна фази сигналу, спричинена неоднорідністю об'єкта розсіювання.

Інтенсивність сигналу радіолокаційного зображення (пікселя) $\dot{I}_{\text{РЛсцен}}(\Omega_{\text{ск}})$ визначається результатом підсумовування сигналів від багатьох точок в межах одного елемента розрізнення.

$$\dot{I}_{\text{РЛсцен}}(\Omega_{\text{ск}}) = \int_{\Omega_{\text{сцен}}} \dot{F}(\Omega - \Omega_{\text{ск}}) \cdot \frac{1}{2R(\Omega)} \cdot [\dot{k}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}}) \cdot \dot{F}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}}) \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot 2R(\Omega)} + (1 - \dot{k}_{\text{відб}}(\Omega, \Omega_{\text{ск}})) \cdot \dot{F}_{\text{диф}}(\Omega) \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot (2R(\Omega) + \Delta_{\text{розс}}(\Omega))}] d\Omega \quad (3)$$

де $\dot{F}(\Omega - \Omega_{\text{ск}})$ – комплексна діаграма спрямованості приймальної антени; $\Omega_{\text{сцен}}$ – просторовий кут, в межах якого проводиться сканування.

Для одержання зображення, придатного для цифрової обробки проводиться дискретизація зображення, а також квантування аналогового сигналу (3). У дискретному вигляді сигнал у радіолокаційному каналі $\dot{I}_{\text{РЛсцен}}(k_{\text{ск}}, l_{\text{ск}})$, що відповідає одному пікселю, описується так:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\text{РЛсцен}}(k_{\text{ск}}, l_{\text{ск}}) = & \frac{1}{N \cdot M} \sum_{k,l} \dot{F}(k - k_{\text{ск}}, l - l_{\text{ск}}) \cdot \frac{1}{2R(k,l)} \cdot \\ & [\dot{k}_{\text{відб}}(k, l, k_{\text{ск}}, l_{\text{ск}}) \cdot \dot{F}_{\text{відб}}(k, l, k_{\text{ск}}, l_{\text{ск}}) \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot 2R(k,l)} + \\ & + (1 - \dot{k}_{\text{відб}}(k, l, k_{\text{ск}}, l_{\text{ск}})) \cdot \dot{F}_{\text{диф}}(k, l) \cdot e^{-j \cdot \beta \cdot (2R(k,l) + \Delta_{\text{розс}}(k,l))}] , \\ & k = 1..M; l = 1..N; \end{aligned} \quad (4)$$

де $k_{\text{ск}}, l_{\text{ск}}$ – координати точки сканування, тобто номер рядка і стовпця в зображенні; M, N – кількість рядків і стовпців матриці.

2. Числове моделювання процесу формування зображень

Для моделювання процесу формування зображень вибирається тестова модель (рис.2), яка являє собою сукупність матриць $Z_i[N \times M]$, кожна з яких є набором значень i -х параметрів, що входять в (4). Загальна кількість елементів кожної матриці $S = N \times M$.

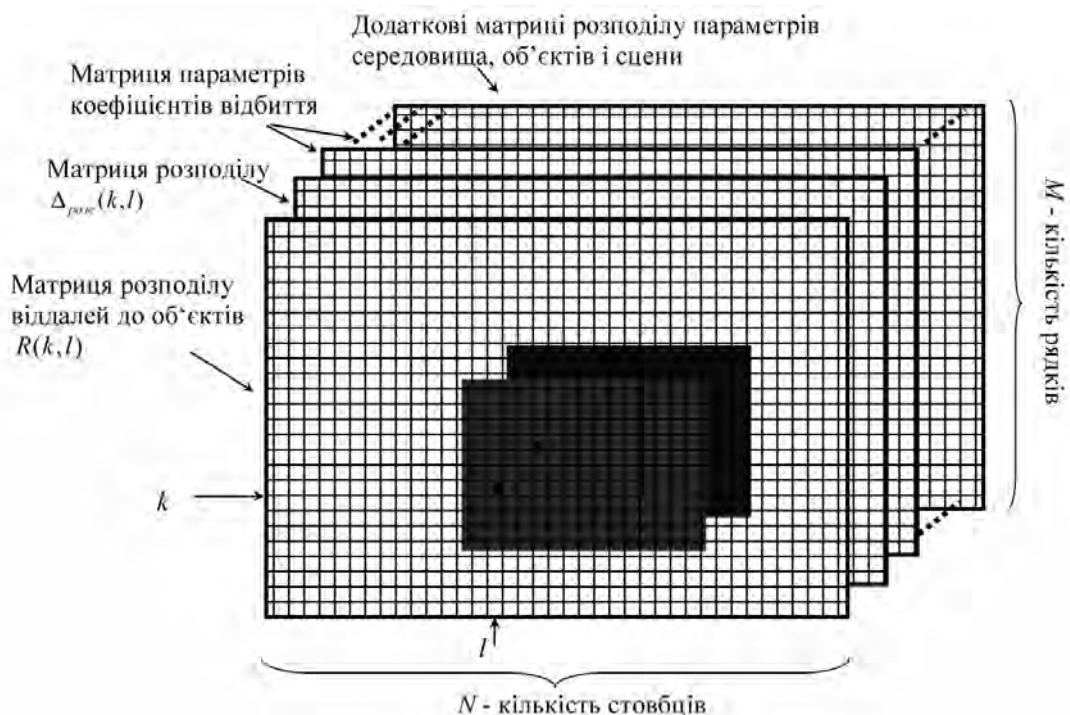


Рис. 2. Модель формування параметрів вхідного зображення

У моделі введено матриці таких параметрів:

- матриця розподілу віддалей $R(k, l)$ від точки спостереження до точки об'єкта (сцени);
- матриця розподілу кутів нахилу $R(k, l)$ для кожної точки сцени відносно центра прямокутної матриці;
- матриця комплексних параметрів коефіцієнтів відбиття від вибраної поверхні об'єкта (сцени) для заданої довжини хвилі;
- матриця розподілу параметрів середовища об'єктів і сцени;
- матриця розподілу випадкової фази $\Delta_{роз}(k, l)$ дифузної складової сигналу, параметри якої залежать від шорховатості поверхні.

Для реалізації запропонованого алгоритму створено сцену огляду розміром 320×600 пікселів у вигляді цегляної стіни, на передньому плані якої на віддалі 15м розташовано вантажний автомобіль (рис.3). Для радіолокаційного сигналу з довжиною хвилі $\lambda = 3\text{мм}$, що випромінюється антеною зі скануючою осесиметричною діаграмою спрямованості $2\theta_{0,5} \approx 0,5^\circ$, розраховано елементи вище наведених матриць, а також згідно з (4) в середовищі MATLAB [5] побудовано зображення, наведене на рис. 4.

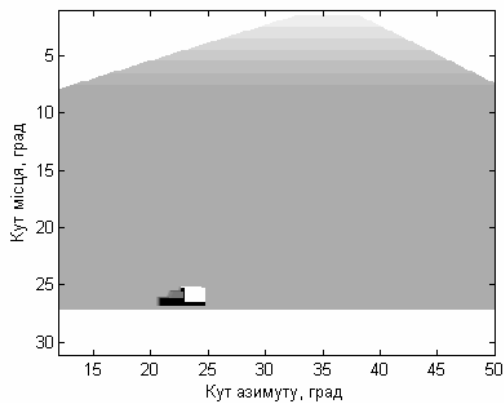


Рис. 3. Тестове зображення

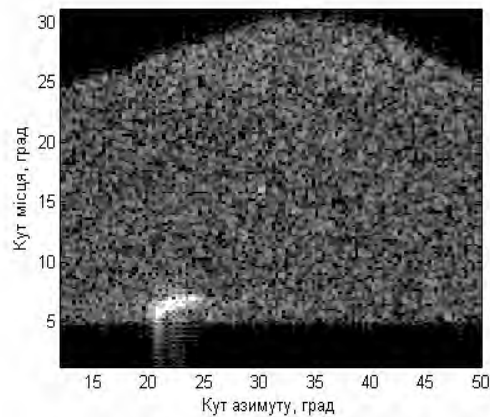


Рис. 4. Сформоване усереднене зображення

Висновки

Запропонована модель побудови радіолокаційних зображень дає можливість врахувати параметри системи, об'єктів і середовища поширення хвиль, та оцінити їхній вплив на якість сформованого зображення.

Результати моделювання процесу формування радіолокаційного зображення дадуть змогу вдосконалити методи вторинного оброблення з метою їх відновлення та підвищити ефективність системи моніторингу загалом.

1. Математические методы моделирования физических процессов в задачах дистанционного зондирования Земли / В.К. Волосюк, В.Ф. Кравченко // *Успехи современной радиоэлектроники*, № 8, 2000. – С. 3–80. 2. Метод розрахунку діаграми напрямленості дзеркальної параболоїдної антени з довільно розташованою апертурою опромінювача / І.Н. Прудіус, Й.А. Захарія, Д.О. Мимріков // *Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб.* – Вип. № 157. – Харків, 2009. – С. 80–86 3. Ширман Я.Д., Голиков В.Н., Бусыгин И.Н. и др. *Теоретические основы радиолокации: учебн. пособие для вузов* / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: изд-во “Советское радио”, 1970. – 560 с. 4. Гонсалес Р., Вудс Р., Еддине С. *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.