

Proc. of XIth Intern. Conf. "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science" TCSET'2012. – February 21-24, 2012. – Lviv–Slavske, Ukraine. – P. 179. 7. Xi Wang, Wen-Yan Yin, Ke-Li Wu. A dual-band coupled-line coupler with an arbitrary coupling coefficient // IEEE Trans. Microwave Theory Techn. – Vol. 60. – № 4. – 2012. – P. 945–951. 8. Прудюс І.Н., Оборжицький В.І. Новый подход к аналитическому расчету полосковых направленных ответвителей с полной симметрией структуры // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2011. – Т. 54. – № 9. – С. 12–23. 9. Прудюс І.Н., Оборжицький В.І., Самсонюк О.В. Проектування смужкових спрямованих відгалужувачів на зв'язаних лініях передачі з підвищенням спрямованості без використання дискретних елементів // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Радиоелектроніка та телекомунікації". – 2011. – №705. – С.46–51.

УДК: 621.396.1

С.В. Толюпа, В.А. Дружинін, В.Г. Сайко

Державний університет інформаційно-телекомунікаційних технологій

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ РАДІОБАЧЕННЯ З БАГАТОПОЗИЦІЙНОЮ ЛОКАЦІЄЮ ОБ'ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ

Ї Толюпа С.В., Дружинін В.А., Сайко В.Г., 2012

Розглянуті особливості функціонування, переваги та недоліки застосування систем радіобачення з багатопозиційною локацією об'єктів моніторингу.

Ключові слова: радіолокаційна система із синтезованою апертурою антени, роздільна здатність, функція невизначеності

In this work the peculiarities of operation, advantages and disadvantages of the use of systems with multi-location radiobachennya facilities monitoring.

Key words: radar systems synthetic aperture antenna, resolution, function uncertainty.

Високе кутове розділення може бути реалізоване шляхом синтезування апертури антени під час руху передавальної й (або) приймальної позиції, а також при переміщенні й (або) обертанні об'єкта моніторингу [1]. При цьому число радіолокаційних позицій та їх взаємне переміщення щодо об'єкта вибирається за необхідності розв'язання визначеної задачі. У сучасних радіолокаційних системах із синтезуванням апертури антени (РСА) використовується однопозиційна система (сполучена приймально-передавальна антена) за прямолінійної траєкторії носія РСА під час передньобокового або телескопічного огляду. Це забезпечує необхідну (високу) роздільну здатність за азимутом у всій зоні огляду, крім переднього сектора.

Передній сектор огляду ($\pm 10^\circ$ щодо вектора шляхової швидкості) має важливе значення для розв'язання багатьох завдань: розвідки, десантування, посадки тощо. За прямолінійної траєкторії носія РСА зі сполученою антеною розділення за кутовою координатою dl визначається кутовим розміром апертури при бічному огляді $b_0 = X_C / R_H$ й кутом спостереження q_H (рис. 1):

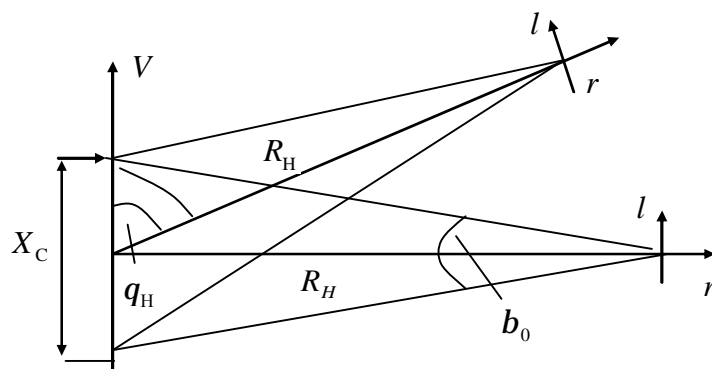


Рис. 1 Система координат при сполученій приймально-передавальній антені

$$dl = \frac{1 R_H}{2 X_C \sin q_H} \quad (1)$$

Однак, під час огляду в передньому секторі ($q_H \rightarrow 0$) розділення за кутовою координатою різко падає. Так, при куті $q_H = 6^\circ$ розділення за синтезованою апертурою (СА) у 10 разів гірше, ніж при бічному огляді. Тому в передньому секторі огляду розділення СА зазвичай того самого порядку, що й розділення реальної антени. Наприклад, при $q_H = 0^\circ$ розділення за кутом дорівнює:

$$dq_C = 1,3 \sqrt{\frac{1}{X_C}} = 1,3 \sqrt{2q_{CO}} = 1,8 \sqrt{\frac{q_0}{K_{3T}}}, \quad (2)$$

де $q_{CO} = 1/2X_C$ – ширина синтезованої діаграми спрямованості (ДС) при бічному огляді; $K_{3T} = q_0/q_{CO}$ – коефіцієнт стиску ДС у результаті синтезування при бічному огляді.

Як впливає з цієї залежності, розділення за кутом в передньому секторі огляду dq_C дорівнює ширині реальної ДС q_0 при $K_{3T} = 3,4/q_0$. Так, при $q_0 = 3,4 \cdot 10^{-2}$ рад (2°) синтезування апертури в передньому секторі огляду не дає вигоди в розділенні порівняно з реальною антеною при $K_{3T} \approx 100$.

Для отримання високого розділення в передньому секторі огляду доцільно використовувати багатопозиційні РСА.

Процес отримання та обробки інформації у цих системах можна подати структурною схемою, що наведена на рис. 2 [1–10].

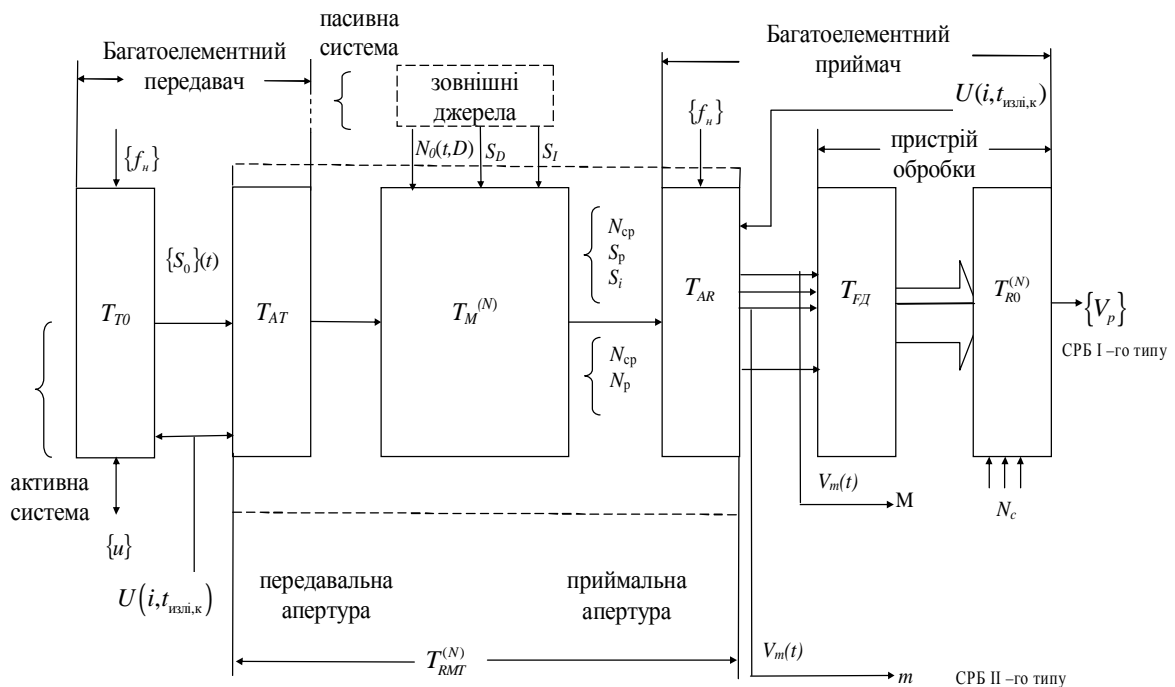


Рис. 2. Структурна схема моделі обробки сигналів у системі радіобачення з багатопозиційною локацією об'єктів моніторингу

У схемі під багатоелементним передавачем і приймачем розуміється сукупність всіх передавальних і приймальних пристроїв системи радіобачення (СРБ). Управління вибором передавальної РЛС і тривалістю її роботи на випромінювання здійснюється з пункту збирання та обробки радіолокаційної інформації (ПЗОРЛІ) радіокомандами управління $U(i, t_{\text{налі,к}})$.

На схемі позначено: $N_0(t, D)$ – локальне джерело шуму (завад), що розташоване в точці D ; SD – корисний сигнал, що несе інформацію про об'єкт моніторингу; SI – сигнали і шуми (завади), що заважають; N_{cp} – шум середовища (шумове поле навколо передавача і приймачів, яке безперервне в часі і у просторі); N_p – завади, породжувані сигналом; N_c – власні шуми системи; $\{u\}$ – множина типів сигналів РТС ДЗЗ БПП РЛІ; $\{f_n\}$ – множина несучих частот (літерів); $S^0(t)$ – зондувальний сигнал; $V_m(t) = S_m(t) + N(t)$ – сигнал, прийнятий m -ю приймальною РЛС; $S_m(t)(N(t))$ – корисний сигнал (завади) на вході каналу обробки m -ї РЛС; n – множина прийнятих рішень.

Керування позиціями (траєкторіями руху передавальних і (або) приймальних пунктів) оптимізується, враховуючи одержання певної роздільної здатності у заданому секторі огляду.

При багатопозиційному режимі РСА можливе використання одночасно багатьох систем, що працюють тільки в режимі приймання, при одній передавальній позиції, яка опромінює задану зону моніторингу (рис. 3). Відсутність випромінювання в таких приймальних позиціях РСА підвищує таємність їх роботи. При цьому значно знижуються маса й енергоспоживання приймальних позицій. Однак одночасно підвищуються вимоги до потужності випромінювання передавальної позиції, тому що вона перебуває на значній відстані. Більша висота польоту передавальної позиції забезпечує зменшення радіолокаційних тіней.

Як носії передавальної позиції можуть використовуватися як авіаційні, так і космічні апарати, а приймальні позиції можуть бути навіть нерухомими (наземні й морські станції, аеростати тощо). Основною проблемою у цьому випадку є забезпечення синхронізації приймальних позицій з передавальною за несучою частотою, частотою повторення імпульсів і положенню зони моніторингу.

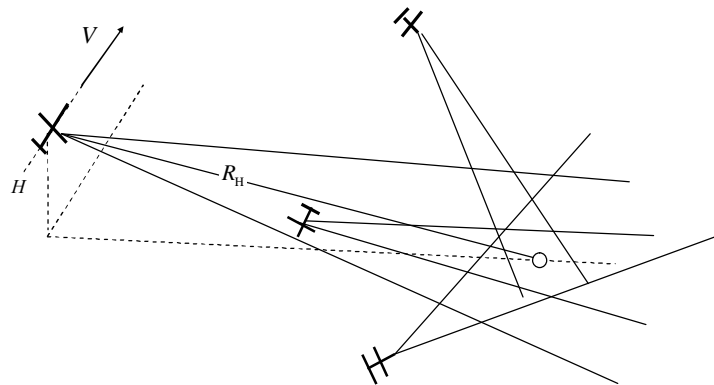


Рис. 3. Режим багатопозиційного функціонування системи радіобачення

Як відомо [1,2], найпростішим варіантом багатопозиційної РСА, що забезпечує високе кутове розділення у передній зоні огляду, є напівактивна РСА, у якій передавальна й приймальна позиції рознесені й рухаються за різними траєкторіями.

Приймальна позиція перебуває в промені передавальної антени, а синхронізація сигналів забезпечується за рахунок приймання випромінювання передавача спеціальним приймачем. Якщо передавальна позиція ПРД рухається за прямолінійною траєкторією зі швидкістю V (рис. 3), забезпечуючи опромінення зони огляду в бічному напрямку в межах ширини ДС антени q_0 , то кожний i -й елемент зони огляду за кутом опромінюється електромагнітною хвилею зі своєї доплерівською частотою

$$f_{дл} = \frac{V}{l} q_i, \quad (3)$$

тобто у межах ширини ДС передавальної антени здійснюється частотне “підфарбовування” кожного напрямку q_i у межах зони огляду. Тому навіть за нерухомої приймальної позиції ПРМ ($V_{п} = 0$) досягається кутове розділення

$$dl = \frac{l}{b_0}, \quad (4)$$

де $b_0 = VT_C / R_H$ – кутовий розмір синтезованої апертури.

При цьому розділення у передній зоні огляду зменшується удвічі порівняно з розділенням при бічному огляді в однопозиційній РСА зі сполученою приймально-передавальною апертурою.

За аналогією з відомими системами напівактивного наведення, метод синтезування апертури за рахунок руху передавальної позиції при русі приймальної позиції на об'єкт спостереження також може бути названий напівактивним синтезуванням апертури. У загальнішому випадку траєкторії переміщення ПРД і ПРМ щодо зони огляду можуть бути найрізноманітнішими й визначаються розв'язуванням завданням.

Отже, за напівактивного синтезування апертури використовуються рознесені позиції, що й рухаються за N -різними траєкторіями: передавальна та N -приймальних. Структурну схему напівактивної РСА подано на рис. 4.

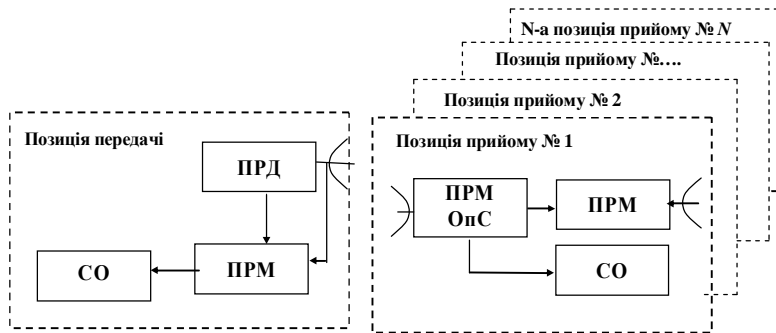


Рис. 4. Структурна схема напівактивної РСА з N -ю кількістю приймальних позицій радіолокаційної інформації

об'єктів й формує сигнали цілевказання для ПРМ позиції. Пасивна приймальна позиція за сигналами цілевказання переміщується в район розташування об'єктів й, приймаючи від об'єктів зондувальні сигнали передавальної позиції, формує зображення об'єктів.

Кожна приймальна позиція має два канали. Основний канал забезпечує приймання відбитих від об'єктів сигналів. Додатковий канал (канал синхронізації) приймає зондувальні сигнали передавальної позиції для формування опорного сигналу приймача основного каналу. Система обробки забезпечує одержання зображення об'єктів з високою роздільною здатністю в зоні огляду приймальної позиції.

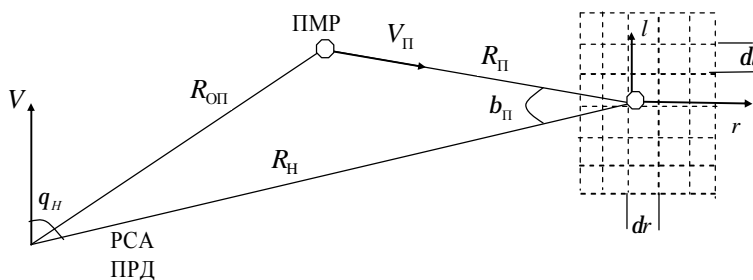


Рис. 5. Формування радіолокаційних зображень за напівактивної РСА

селекція сигналів; при цьому лінії постійної доплерівської частоти (ізодопи) перпендикулярні дотичним до еліпсів ізодалей.

Розглянемо функцію невизначеності за азимуту напівактивної РСА під час роботи за нерухомими об'єктами ФН за кутвою координатою l має вигляд

$$J(l) = \int_{-T_c/2}^{T_c/2} W(t) \exp\{j j_{\text{н}}(t, l)\} \exp\{-j j_{\text{н}}(t, 0)\} dt, \quad (5)$$

де $W(t)$ – вагова функція обробки; $j_{\text{н}}(t, l)$ – фазова функція траєкторного сигналу приймальної позиції залежно від азимутального положення об'єкта l .

Передавальна позиція зазвичай містить свою приймальну частину й систему обробки (СО) і є активної однопозиційної РСА цілевказання й підсвітлювання для приймальної позиції. За допомогою ДС передавальної антени РСА підсвітлює заданий район розташування об'єктів (зону моніторингу). Одночасно передавальна позиція, приймаючи відбиті сигнали, одержує за допомогою своєї системи обробки зображення

Для розділення за дальністю використовується розділення відбитих сигналів за їхньою затримкою на трасі $R_{\text{н}} + R_{\text{п}}$ (рис. 5), де $R_{\text{п}}$ – відстань від об'єкта моніторингу до ПРМ.

Лінії постійної затримки (ізодали) $R_{\text{н}} + R_{\text{п}}$ являють собою еліпси. Для розділення за азимуту використовується доплерівська

Для спрощення запису ФН без обмеження спільності висновків розглянемо випадок, коли в момент $t = 0$ кут $b_{\Pi} \approx 0$, тобто ПРД, ПРМ і об'єкт спостереження перебувають приблизно на одній прямій лінії. Вважаємо також, що підсвітлювання здійснюється з дальності R_{H} **ff** $R_{\text{П}}$. Тоді поточні дальності можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} r_{\text{H}} &= R_{\text{H}} - Vt \cos q_{\text{H}} + \frac{V^2 t^2}{2R_{\text{H}}} \sin^2 q_{\text{H}}, \\ r_{\text{П}} &= R_{\text{П}} - Vt, \\ r_{0\text{П}} &= R_{0\text{П}} + V_{\text{П}}t - Vt \cos q_{\text{H}} + \frac{V^2 t^2}{2R_{0\text{П}}} \sin^2 q_{\text{H}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Фаза траекторного сигналу мети визначається: відстанню r_{H} , яку проходить зондувальний сигнал від ПРД до об'єкта; відстанню $r_{\text{П}}$, яку проходить відбитий від об'єкта сигнал до ПРМ; відстанню $r_{0\text{П}}$ між ПРМ і ПРД позиціями (опорний сигнал).

Отже, фаза траекторного сигналу являє собою різницю між сумою фаз зондувального й відбитого сигналів і фазою опорного сигналу (тут не враховано випадкової початкової фази)

$$\begin{aligned} j_{\text{ц}}(t, 0) &= j_{\text{H}} + j_{\text{П}} - j_{0\text{П}} = \kappa(r_{\text{H}} + r_{\text{П}} - r_{0\text{П}}) = \\ &= \kappa \left[R_{\text{H}} + R_{\text{П}} - R_{\text{H}} + R_{\text{П}} - 2V_{\text{П}}t - \frac{V^2 t^2 R_{\text{П}}}{2R_{\text{H}}(R_{\text{H}} - R_{\text{П}})} \sin^2 q_{\text{H}} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

За умови R_{H} **ff** $R_{\text{П}}$ й $VT_{\text{с}}$ **pp** R_{H} останнім членом можна знехтувати. Фаза сигналу від об'єкта в цьому випадку змінюється за лінійним законом:

$$j_{\text{ц}}(t, 0) = \frac{4p}{l} V_{\text{П}}t,$$

сигнал має постійну доплерівську частоту.

Оскільки на приймальній позиції швидкість V_n відома й відома геометрія взаємного розташування ПРД, ПРМ і об'єкта (у розглянутому випадку – на одній прямій лінії), траекторний сигнал об'єкта являє собою гармонійний сигнал з відомою доплерівською частотою $f_{\text{дц}} = \frac{2V_{\text{П}}}{l}$.

Фаза сигналу від об'єкта для елемента, зміщеного на кутову координату l , визначається відповідними відстанями:

$$j_{\text{ц}}(t, l) = k(r_{\text{Hl}} + r_{\text{Пl}} - r_{0\text{Пl}}), \quad (8)$$

де $r_{\text{Hl}} = R_{\text{H}} - Vt \cos q_{\text{H}} + \frac{Vt l}{R_{\text{H}}} \sin^2 q_{\text{H}}$; $r_{\text{Пl}} = R_{\text{П}} - Vt + \left(\frac{l}{R_{\text{П}}}\right)^2 \frac{V_{\text{П}}t}{2}$; $r_{0\text{Пl}} = R_{0\text{П}} + V_{\text{П}}t - Vt \cos q_{\text{H}} + \frac{V^2 t^2}{2R_{0\text{П}}} \sin^2 q_{\text{H}}$.

Для випадку R_{H} **ff** $R_{\text{П}}$ без обліку початкової фази

$$j_{\text{ц}}(t, l) = \frac{2p}{l} \left[2V_{\text{П}}t + Vt \left(\frac{l}{R_{\text{H}}}\right) \sin q_{\text{H}} + \frac{V_{\text{П}}t}{2} \left(\frac{l}{R_{\text{П}}}\right)^2 \right].$$

Відповідно доплерівська частота траекторного сигналу об'єкта спостереження з координатою l

$$f_{\text{д}}(t, l) = \frac{2V_{\text{П}}}{l} + \frac{V}{l} \left(\frac{l}{R_{\text{H}}}\right) \sin q_{\text{H}} + \frac{2V_{\text{П}}}{l} \left(\frac{l}{R_{\text{П}}}\right)^2. \quad (9)$$

Отже, доплерівська частота траекторного сигналу визначається кутовою координатою об'єкта (l/R_{H}) . Лінійна залежність частоти від координати формується рухом передавальної позиції зі швидкістю V , а квадратична залежність – рухом приймальної позиції зі швидкістю $V_{\text{П}}$.

Функція невизначеності траекторного сигналу при $W(t) = 1$ має вигляд:

$$J(l) = \frac{1}{T_C} \int_{-T_C/2}^{T_C/2} \exp \left\{ j[j(t, l) - j(t, 0)] \right\} dt = \frac{1}{T_C} \int_{-T_C/2}^{T_C/2} \left\{ jk \left[Vt \frac{l}{R_H} \sin q_H + \frac{V_{\Pi} t}{2} \left(\frac{l}{R_H} \right)^2 \right] \right\} dt =$$

$$= \frac{\sin \left[\frac{pT_C}{l} \left(\frac{l}{R_H} \right) V \sin q_H + \left(\frac{l}{R_H} \right)^2 \frac{V_{\Pi}}{2} \right]}{\frac{pT_C}{l} \left(\frac{l}{R_H} \right) V \sin q_H + \left(\frac{l}{R_H} \right)^2 \frac{V_{\Pi}}{2}}. \quad (10)$$

Розглянемо основні властивості ФН за напівактивного синтезування й спостереження нерухомого об'єкта спостереження. Помітимо, що при $\dot{V}_{\Pi} = \dot{V}$ й $R_H = R_{\Pi}$ система відповідає звичайній однодіапазонній РСА.

$\dot{V}_{\Pi} = 0$ відповідає нерухомій (малошвидкісній \dot{V}_{Π} **pp** \dot{V}) приймальній позиції. Квадратичний член ФН у цьому випадку відсутній, і розділення у передньому секторі огляду приймальної позиції

$$dl_1 = \frac{l R_H}{V T_C \sin q_H},$$

забезпечується рухом тільки передавача й відповідно менше удвічі порівняно з однопозиційною РСА. Важливо зазначити, що розділення не залежить від швидкості руху V_{Π} й дальності R_{Π} приймальної позиції до об'єкта спостереження.

$V = 0$ відповідає переміщенню тільки приймальної позиції на об'єкт (передній огляд) зі швидкістю V_{Π} . Оскільки рухається тільки приймач, розділення удвічі гірше, ніж для однопозиційної РСА:

$$dl_2 = 2,6 R_{\Pi} \sqrt{\frac{l}{V_{\Pi} T_C}}.$$

Із наближенням приймальної позиції до об'єкта ($R_{\Pi} \rightarrow 0$) настає момент, коли розділення $dl_2 = dl_1$, тобто починає впливати розділення за рахунок руху ПРМ. Граничне значення R_{Π} , коли $dl_2 = dl_1$, при $V = V_{\Pi}$ дорівнює:

$$R_{\Pi \text{ гр}} = \frac{R_H}{2,6} \sqrt{\frac{l}{V_{\Pi} T_C}},$$

ФН траекторного сигналу має два максимуми: при $l_1 = 0$ й $l_2 = \frac{-2R_{\Pi}^2 V}{R_H V_{\Pi}} \sin q_H$. Перший і другий максимуми рознесені за кутом на величину:

$$\frac{l_2}{R_{\Pi}} = -\frac{2R_{\Pi} V}{R_H V_{\Pi}} \sin q_H \cong -\frac{2R_{\Pi}}{R_H},$$

яка переважно більша за ширину ДС реальної антени, тобто перебуває поза зоною огляду. При R_{Π} **p** $R_{\Pi \text{ гр}}$ другий максимум збігається з основним.

При $R_{\text{оп}} \approx R_H$ (R_{Π} **pp** R_H) відбувається повна компенсація фазових нестабільностей траекторного сигналу, обумовлених траекторними нестабільностями й нестабільностями середовища поширення. Це пояснюється тим, що й зондувальний сигнал (опорний), і сигнал підсвітлювання проходять той самий шлях.

Отже, за напівактивного синтезування розділення у передній зоні огляду нерухливих об'єктів не залежить від дальності й становить половину розділення РСА цілевказання й підсвітлювання при бічному огляді (рис. 6).

Траекторний сигнал приймальної позиції має доплерівську частоту, обумовлену відповідною частотою відбитого сигналу в основному каналі

$$f_{\text{до}} = \frac{1}{l} (V \cos q_{\text{н}} + V_{\text{ц}} \cos g + V_{\text{ц}} \cos a + V_{\text{п}} \cos q_{\text{ц}})$$

і частотою опорного сигналу в каналі синхронізації $f_{\text{оп}} = \frac{1}{l} (V \cos q_{\text{п}} - V_{\text{п}} \cos q_{\text{оп}})$

Частота траекторного сигналу дорівнює різниці цих частот: $f_{\text{ц}} = f_{\text{до}} - f_{\text{оп}}$.

Оскільки частота опорного сигналу $f_{\text{оп}}$ не залежить від параметрів об'єкта, то опорний сигнал визначає тільки зміна несучої частоти сигналу від об'єктів моніторингу.

Зсув об'єкта на відстань l за кутовою координатою приводить до зсуву кута спостереження на величину q_1 відносно ПРД і q_2 відносно ПРМ. Тоді доплерівська частота сигналу основного каналу ПРМ дорівнюватиме:

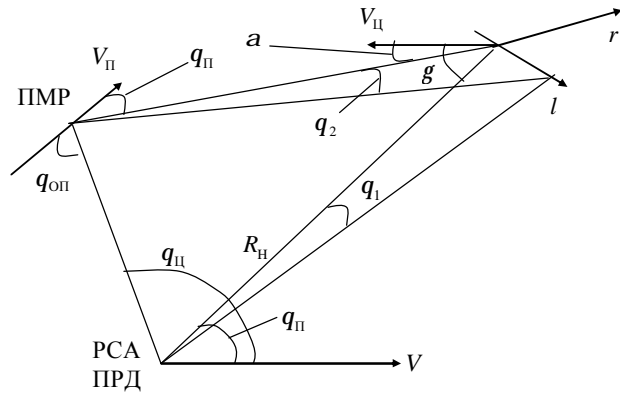


Рис. 6. Формування радіолокаційного зображення в напівактивній РСА за довільного руху приймальної та передавальної позицій

$$f_{\text{до}}(l) = \frac{1}{l} [V \cos(q_{\text{н}} - q_1) + V_{\text{ц}} \cos(g - q_1) + V_{\text{ц}} \cos(a + q_2) + V_{\text{п}} \cos(q_{\text{ц}} + q_2)]. \quad (11)$$

Частота опорного сигналу при цьому не змінюється. Функція невизначеності траекторного сигналу

$$J(l) = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \exp\{j2p [f_{\text{ц}}(0) - f_{\text{ц}}(l)]\} dt = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \exp\{j2p [f_{\text{до}}(0) - f_{\text{до}}(l)]t\} dt. \quad (12)$$

Різниця доплерівських частот при q_1 pp 1 й q_2 pp 1

$$f_{\text{до}}(0) - f_{\text{до}}(l) = \frac{1}{l} [V q_1 \sin q_{\text{н}} + V_{\text{ц}} q_1 \sin g + V_{\text{ц}} q_2 \sin a + V_{\text{п}} q_2 \sin q_{\text{ц}}]. \quad (13)$$

У випадку, коли $q_{\text{н}} \approx q_{\text{п}}$, можна вважати, що $q_1 = l / R_{\text{н}}$ й $q_2 = l / R_{\text{п}}$.

При цьому різниця доплерівських частот

$$f_{\text{до}}(0) - f_{\text{до}}(l) = \frac{l}{l} [(V \sin q_{\text{н}} + V_{\text{ц}} \sin g) / R_{\text{н}} + (V_{\text{ц}} \sin a - V_{\text{п}} \sin q_{\text{ц}}) / R_{\text{п}}] = \frac{l}{l} (\Omega_{\text{н}} - \Omega_{\text{п}}), \quad (14)$$

де $\Omega_{\text{н}} = (V \sin q_{\text{н}} + V_{\text{ц}} \sin g) / R_{\text{н}}$ – кутова швидкість лінії візування об'єкта щодо передавальної позиції; $\Omega_{\text{п}} = (V_{\text{ц}} \sin a - V_{\text{п}} \sin q_{\text{ц}}) / R_{\text{п}}$ – кутова швидкість лінії візування об'єкта відносно приймальної позиції.

Роздільна здатність за кутовою координатою l (ширина ФН на рівні -3 дБ) визначається, як і в інших випадках, кутовим розміром синтезування апертури:

$$dl = \frac{l}{b_0} = \frac{l}{(\Omega_{\text{н}} - \Omega_{\text{п}}) T_c}. \quad (15)$$

Кутовий розмір апертури визначається зміною кута спостереження об'єкта щодо передавальної й приймальної позицій:

$$b_0 = (\Omega_H - \Omega_P) T_c. \quad (16)$$

При цьому важливо враховувати також напрямок переміщень, оскільки вони можуть компенсувати один одного.

Якщо ПРМ і ПРД позиції розташовані так, що кути q_H й q_P близькі один до одного, то забезпечується мінімальний роздільний майданчик. Розмір його за дальністю визначається шириною спектра зондувального сигналу, а за азимутом – кутовим розміром синтезованої апертури.

У багатопозиційних РСА використовується одна передавальна позиція, що рухається за обраною траєкторією, що забезпечує підсвітлювання заданої зони огляду. Взаємно незалежні приймальні позиції, використовуючи відбиті сигнали, формують РЛЗ об'єктів, розташованих у зоні огляду. Число приймальних позицій і траєкторії їх руху визначаються розв'язуваними завданнями.

За багатопозиційного режиму забезпечуються: висока роздільна здатність у всій зоні огляду приймальної позиції, зокрема в передній зоні; скритність роботи приймальних позицій; малі маса, енергоспоживання й вартість апаратури приймальної позиції.

Високе розділення за азимутом забезпечується навіть за нерухомої (наземної, аеростатної) приймальної позиції незалежно від дальності за рахунок руху підсвітлювача й зменшується порівняно з однопозиційною РСА всього удвічі.

Найскладнішим завданням при реалізації багатопозиційної РСА є забезпечення синхронізації приймальних позицій з передавальною за несучою частотою, частотою повторення й напрямком ДС антен.

1. Кондратенков Г.С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: учеб. пособ. для вузов / под ред. Г.С. Кондратенкова, А.Ю. Фролова. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
2. Радиолокационные станции бокового обзора / А.П. Реутов, Б.А. Михайлов, Г.С. Кондратенков, Б.В. Бойко. – М.: Сов. радио, 1970. – С. 289.
3. Harger R.O. Synthetic aperture radar system. - New-York, London, Academic Press, 1970.
4. Кондратенков Г.С. Обработка информации когерентными оптическими системами / Г.С. Кондратенков. – М.: Сов. радио, 1972.
5. Кондратенков Г.С. Ультразвуковой спектроанализатор радиолокационных сигналов с использованием явления дифракции света на ультразвуковых волнах в прозрачной среде, возбуждаемых радиолокационными сигналами. Авторское свидетельство № 21080; заявл. 08.09.59 г.
6. Кондратенков Г.С. Некоторые вопросы теории оптической обработки радиолокационных сигналов / Г.С. Кондратенков // Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1962. – № 944.
7. Радиолокационные станции обзора Земли / Г.С. Кондратенков, В.А. Потехин, А.П. Реутов, Ю.А. Феоктистов; под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 322.
8. Саблин В.Н. Разведывательно-ударные комплексы и радиолокационные системы наблюдения земной поверхности / В.Н. Саблин. – М.: Радиотехника, 2002. – С. 295.
9. Неронский Л.Б. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны / Л.Б. Неронский, В.Ф. Михайлов, К.В. Брагин. – СПб.: ГУАП, 1999. – С. 243.
10. Вакин С.А. Основы радиоэлектронной борьбы / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1998. – С. 456.