

V.Р. ЛЮБЧИК, В.О. ТРОХИМЧУК, А.С. ПЛОЩИК, В.П. ЄВТУШОК
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ

В даній статті проводиться аналіз існуючих методів дослідження параметрів радіолокаційних цілей, зокрема звернено увагу на фазовий метод. Після проведення аналізу були визначені переваги та недоліки основних методів, за допомогою яких проводиться дослідження різних радіолокаційних параметрів, зокрема дальності, радіальної швидкості та Допплерівського зсуву. Також в даній статті наведено два приклади доцільності подальшої розробки та застосування багаточастотного фазового методу вимірювання дальності до декількох об'єктів.

Ключові слова: фазові методи, радіолокація, електромагнітна хвиля.

V.R. LIUBCHYK, V.A. TROKHUMCHUK, A.S. POLISHCHUK, V.P. YEVTUSHOK
Khmelnytsky National University

ANALYSIS OF THE METHODS OF RESEARCH OF RADAR PARAMETERS OF OBJECTS

This article analyzes the existing research methods parameters of radar targets in particular had drawn his attention to the phase method. After the analysis was determining advantages and disadvantages of the main methods by which radar is to study various options, including distance, radial velocity and the Doppler shift. Also in this article are two examples of feasibility of further development and use of Multi-phase method of measuring the distance to several objects. Further research was chosen multifrequency phase method can also be used in systems with active response, such as geodesic measurements. To improve the accuracy and resolution of the radar system should be used more than two frequencies. Another important requirement for such a system is that between frequencies should be a close relationship, they must be received by dividing or multiplying the frequency.

Keywords: phase techniques, radar, electromagnetic wave.

Вступ

Радіолокацією називається виявлення об'єктів (цілей) і визначення їх просторових координат та параметрів руху за допомогою радіотехнічних засобів та методів [2].

В наш час радіолокація широко застосовується для керування об'єктами та для навігації, тобто для орієнтування літаків, морських та космічних кораблів.

Сукупність інформації про цілі або об'єкти, яка отримана засобами та методами радіолокації, називається радіолокаційною інформацією. Відомі наступні методи отримання радіолокаційної інформації: імпульсний, частотний та фазовий метод [2, 5].

Радіолокаційні цілі або об'єкти характеризуються наступними основними параметрами: дальністю, радіальною швидкістю, азимутом та Допплерівським зсувом. І якщо вимірювання азимуту залежить від ширини діаграми спрямованості антени, то вимірювання дальності залежить від методів, які застосовуються в тій чи іншій радіолокаційній системі [1, 2].

Основна частина

Імпульсний метод дослідження радіолокаційних параметрів є найбільш простим для реалізації. Даний метод полягає у вимірюванні часу затримки зондуючого сигналу. Точність імпульсного методу залежить від співвідношення сигнал/шум. Для виконання даної вимоги потрібно збільшувати амплітуду зондуючого імпульсу, тобто застосовувати надширокопосмугові сигнали, що не завжди є можливим [4].

Частотний метод дальнометрії, який базується на використанні сигналів з частотною модуляцією, дозволяє вимірювати дальність до багатьох об'єктів. [4] Точність даного методу залежить від девіації частоти (найбільшого відхилення миттєвої частоти модульованого радіосигналу при частотній модуляції від значення його носійної частоти). Отже, частотний метод дозволяє вимірювати дальність до багатьох об'єктів, але при цьому для підвищення точності вимірювання необхідно значно розширювати частотний діапазон сигналу, тобто збільшувати девіацію частоти.

Серед усіх методів дальнометрії найбільш точним є **фазовий** метод вимірювання дальності.

1. Припустимо, що три фазових радіолокаційних системи випромінюють три синусоїдальних коливання з частотами f_1 , f_2 , f_3 . Нехай $f_1 = 1,5 \text{ кГц}$, $f_2 = 10 f_1 = 15 \text{ кГц}$, $f_3 = 100 f_1 = 150 \text{ кГц}$, ($\lambda_1 = 200 \text{ м}$, $\lambda_2 = 20 \text{ м}$, $\lambda_3 = 2 \text{ м}$). Тоді згідно з формулою:

$$R_{\max} \leq \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

отже область однозначних вимірювань для кожного з коливань буде мати наступний вигляд: $R_{1 \max} = 100 \text{ м}$, $R_{2 \max} = 10 \text{ м}$, $R_{3 \max} = 1 \text{ м}$.

Нехай потрібно діапазон однозначних вимірювань $R_{\max} = 100 \text{ м}$. Тоді перша радіолокаційна станція вимірює його однозначно, хоча і не точно. Якщо інструментальна похибка всіх трьох фазометрів складає 1° , то на першому фазометрі похибка складатиме:

$$\Delta R_1 = \frac{100}{360} \approx 0,3 \text{ км}, \quad (2)$$

тоді похибка на другому фазометрі буде ще меншою:

$$\Delta R_2 = \frac{\Delta R_1}{10} \approx 0,03 \text{ км}. \quad (3)$$

Проте другий фазометр вимірює дальність неоднозначно: повній дальності в 100 км відповідає один оберт стрілки першого фазометра і десять обертів другого. Аналогічно точність третього фазометра, повній дальності відповідає сто обертів стрілки третього фазометра.

Ми отримали трьохканальний вимірювач, інструментальна точність якого визначається найточнішою шкалою, а діапазон вимірювань – самою грубою шкалою.

Здається, що в середньому фазометрі немає необхідності, так як третій фазометр забезпечує високу точність, а перший – вирішує неоднозначності. Але на практиці це не завжди допустимо: для того, щоб неоднозначності вирішувалися надійно, необхідно, щоб похибка грубої шкали була меншою місткості точної. Важливою вимогою до всіх трьох частот є їх взаємозв'язок: всі три частоти повинні бути отримані не від незалежних джерел, а від одного – за допомогою ділення чи множення частоти.

Із вище сказаного виходить, що кожний новий канал підвищує точність системи на порядок. Метод вимірювання фази та дальності полягає у вимірюванні запізнення відбитого сигналу відносно зондуючого. Це запізнення визначається швидкістю поширення радіохвиль C . Точність, з якою ми знаємо швидкість поширення радіохвиль, обмежить методичну точність вимірювань.

Швидкість радіохвиль в повітрі відома з точністю до 5-го знаку (подальше збільшення точності потребує знання метеоумов по всьому шляху радіопромєня). Якщо трьох частотний метод в даному прикладі давав похибку 3 м на 100 км, тобто відносна похибка рівна $3 \cdot 10^{-5}$, то додання 4-го каналу (з інструментальною похибкою 0,3 м на 1° фази) має інструментальну похибку $3 \cdot 10^{-6}$, що вже менше методичної похибки.

2. Нехай зондуєчий сигнал складається з двох неперервних синусоїдальних коливань з близькими частотами f_0' та f_0'' :

$$u_0' = U_0' \cdot \cos 2\pi f_0' t; \quad (4)$$

$$u_0'' = U_0'' \cdot \cos 2\pi f_0'' t. \quad (5)$$

Після відбиття від цілі за умови лінійної зміни відстані утворюються коливання:

$$u_c' = U_c' \cos \left[2\pi (f_0' \pm F_d') t - \frac{4\pi f_0' D_0}{c} - \varphi_{\psi}' \right]; \quad (6)$$

$$u_c'' = U_c'' \cos \left[2\pi (f_0'' \pm F_d'') t - \frac{4\pi f_0'' D_0}{c} - \varphi_{\psi}'' \right]. \quad (7)$$

Так як частоти f_0' та f_0'' мають близькі значення, то можна прийняти, що $\varphi_{\psi}' \approx \varphi_{\psi}''$.

$$F_{d \max} < \frac{\Delta f_0}{2}, \quad (8)$$

Де $\Delta f_0 = f_0'' - f_0'$ – різниця частот, з яких складається зондуєчий сигнал. В результаті зміщення прямих і відбитих сигналів на виході змішувачів утворюються коливання, фази яких залишаються різницями фаз цих сигналів. [2] Відповідно:

$$\varphi' = \frac{4\pi f_0' u_p}{c} t + \frac{4\pi f_0' D_0}{c} + \varphi_{\psi}; \quad (9)$$

$$\varphi'' = \frac{4\pi f_0'' u_p}{c} t + \frac{4\pi f_0'' D_0}{c} + \varphi_{\psi}. \quad (10)$$

Колівання з фазами $\Delta \varphi'$ та $\Delta \varphi''$ подаються на фазометр, який виробляє різницю фаз:

$$\Delta \varphi = \varphi'' - \varphi' = \frac{4\pi \Delta f_0}{c} D_0 + \frac{4\pi \Delta f_0}{c} u_p t. \quad (11)$$

Так як дальність $D = D_0 + u_p t$, то:

$$\Delta \varphi = \frac{4\pi \Delta f_0}{c} D. \quad (12)$$

Якщо $F_{d \max} > \Delta F$, де ΔF – ширина спектральної лінії, то для забезпечення оптимального прийому та селекції за швидкістю в приймачі вводяться гребінчасті фільтри доплерівських частот. Для селекції за швидкістю сигнали кожних двох відповідних гребінчастих фільтрів порівнюються за фазою, наприклад, за

допомогою фазових детекторів. [2]

Формула (2.9) співпадає з формулою для одночастотного фазового методу при заміні f_0 на Δf_0 . Максимально однозначно змінювана дальність може бути знайдена при $\Delta\varphi = \pi$ і буде мати наступний вигляд:

$$D_{\text{одн}} = \frac{c}{2\Delta f_0}, \quad (13)$$

а похибка вимірювання дальності:

$$\Delta D = \frac{c}{2\pi\Delta f_0} \Delta\varphi_{\text{вим.}} \quad (14)$$

Таким чином, має місце протиріччя: зі збільшенням різниці Δf_0 зменшується похибка вимірювання, але звужується діапазон однозначності. Щоб подолати це протиріччя, потрібно збільшити кількість частот в зондуєму сигналі [2, 3].

Істотним недоліком даної двочастотної системи являється те, що вона не володіє розрізнявальною здатністю за дальністю. Для забезпечення розрізнення за дальністю необхідно збільшити кількість частот в спектрі зондуємого сигналу, тобто наблизитись до широкосмугових сигналів, наприклад імпульсних, які мають здатність вимірювати дальність до багатьох об'єктів.

Для виявлення та розділення декількох об'єктів потрібно застосовувати багаточастотний фазовий метод [3], тому дане дослідження слід продовжити в напрямку розробки багаточастотного фазового методу.

Висновок

Для подальшого дослідження було обрано багаточастотний фазовий метод, який може також використовуватися в системах з активною відповіддю, наприклад, під час геодезичних вимірювань. Для підвищення точності та роздільної здатності даної радіолокаційної системи доцільно використовувати більше двох частот. Також важливою вимогою до такої системи є те, що між частотами повинен бути тісний зв'язок, вони повинні бути отримані шляхом ділення або множення частоти.

Література

1. Радиолокационные и радионавигационные системы : [учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов] / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. – М. : Радио и связь, 1994. – 296 с.
2. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации : учебник для вузов / Финкельштейн М.И. – [2-е изд., доп. и перераб.]. – М. : Радио и связь, 1983. – 536 с.
3. Любчик В.Р. Розробка імітаційної математичної моделі багаточастотного фазового методу радіолокаційної дальнометрії та вимірювання радіальної швидкості / В.Р. Любчик, М.О. Лантвойт // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 6. – С. 157–160.
4. Теоретические основы радиолокации : учебн. пособие для вузов / [А.А. Коростылев, Н.Ф. Клюев, Ю.А. Мельник и др.] ; под ред. В.Е. Дулевича. – М. : Сов. радио, 1978. – 608 с.
5. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства / Белоцерковский Г.Б. – М. : Сов. радио, 1975.

Рецензія/Peer review : 8.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.10.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Троцишин І.В.