АНАЛІТИЧНИЙ БАГАТОЧАСТОТНИЙ ФАЗОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТЕЙ

Шинкарук О. М.[1] д.т.н., проф.; Любчик В. Р.[1], к.т.н., доц.; Лантвойт М. О.[2]

[1]Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна
[2]Київський національний торгівельно-економічний університет, м. Київ, Україна

Дослідження існуючих методів радіолокації та методів радіолокаційного вимірювання дальностей показує що найбільшу точність мають методі надширокосмугової радіолокації та фазові методи. Для отримання вимірювальної інформації використовуються складні математичні моделі та алгоритми. [1]

З іншого боку високоточними є базові методи вимірювання дальностей. Але класичні методи не мають розрізнювальної спроможності, тобто не можуть розрізняти два і більше об’єктів. [2] Відомі багаточастотні фазові методи можут розрізняти більше одного об’єкта і мають низьку похибку вимірювання. [3]

Пропнується зондувати об’єкти сіткою гармонійних частот, сигнали проходять до об’єктів, розташованих на різних відстанях від джерела сигналів, відбиваються і повертаються назад до приймача сигналів. В результаті отримуємо один гармонійний сигнал із деякім значенням амплітуди та фазового зсуву, які мають складну аналітичну залежність від дальностей кожного об’єкту та їх коефіцієнтів відбиття:

$$\left|A_{\Sigma 1}\right| e^{-j\varphi_{\Sigma 1}} = \left|A_1\right| e^{-j\varphi_1} + \left|A_2\right| e^{-j\varphi_2} + \cdots + \left|A_n\right| e^{-j\varphi_n}; \tag{1}$$

де $\left|A_{\Sigma 1}\right|$ — амплітуда сумарного сигналу на 1-й частоті; $\varphi_{\Sigma 1}$ — фазовий зсув сумарного сигналу на 1-й частоті; $\left|A_1\right|, \left|A_2\right|, \ldots, \left|A_n\right|$ — амплітуди сигналів відбитих від об’єктів на 1-й частоті; $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n$ — фазові зсуви сигналів відбитих від об’єктів на 1-й частоті.

При лінійній зміні частоти зондуючого сигналу, значення фазових зсувів сигналів відбитих від кожного об’єкту так само змінюються лінійно. Отже, сумарні сигнали в деякому діапазоні частот можна описати системою рівнянь:

$$\begin{cases} \left|A_{\Sigma 1}\right| e^{-j\varphi_{\Sigma 1}} = \left|A_1\right| e^{-j\varphi_1} + \left|A_2\right| e^{-j\varphi_2} + \cdots + \left|A_n\right| e^{-j\varphi_n}, \\ \left|A_{\Sigma 2}\right| e^{-j\varphi_{\Sigma 2}} = \left|A_1\right| e^{-j2\varphi_1} + \left|A_2\right| e^{-j2\varphi_2} + \cdots + \left|A_n\right| e^{-j2\varphi_n}, \\ \ldots \\ \left|A_{\Sigma m}\right| e^{-j\varphi_{2m}} = \left|A_1\right| e^{-jm\varphi_1} + \left|A_2\right| e^{-jm\varphi_2} + \cdots + \left|A_n\right| e^{-jm\varphi_n}, \end{cases} \tag{2}$$

де $|A_{\Sigma 1}|, |A_{\Sigma 2}|, \cdots, |A_{\Sigma m}|$ — амплітуда сумарного сигналу на 1-й частоті; $\varphi_{\Sigma 1}, \varphi_{\Sigma 2}, \cdots, \varphi_{\Sigma m}$ — фазовий зсув сумарного сигналу на 1-й частоті.

Пропонується, записати дві системи рівнянь. Одна система рівнянь (2). Другу систему рівнянь записуємо аналогічно (2) але робимо зміщення не на m частот, а на одну частоту.

В лівій частині кожного рівняння записуються значення векторів сумарного сигналу, відбитого від усіх об’єктів. В правій частині сума векторів сигналів відбитих від кожного об’єкту.

Якщо ввести позначення: $\dot{b}_1 = |A_{\Sigma 1}| e^{-j\varphi_{\Sigma 1}}$, …, $\dot{b}_m = |A_{\Sigma m}| e^{-j\varphi_{\Sigma m}}$; $a_1 = |A_1|$, …, $a_n = |A_n|$; $\dot{c}_1 = e^{-j\varphi_1}$, …, $\dot{c}_n = e^{-j\varphi_n}$. А також:

$$\dot{r}_1 = \dot{c}_1 \cdot \dot{c}_2 \cdot \dot{c}_3,\ \dot{r}_2 = \dot{c}_1 \cdot \dot{c}_2 + \dot{c}_1 \cdot \dot{c}_3 + \dot{c}_2 \cdot \dot{c}_3,\ \dot{r}_3 = \dot{c}_1 + \dot{c}_2 + \dot{c}_3, \tag{4}$$

і зробити математичні перетворення, отримуємо:

$$\begin{cases} \dot{r}_1 \cdot \dot{b}_1 - \dot{r}_2 \cdot \dot{b}_2 + \dot{r}_3 \cdot \dot{b}_3 = \dot{b}_4, \\ \dot{r}_1 \cdot \dot{b}_2 - \dot{r}_2 \cdot \dot{b}_3 + \dot{r}_3 \cdot \dot{b}_4 = \dot{b}_5, \\ \dot{r}_1 \cdot \dot{b}_3 - \dot{r}_2 \cdot \dot{b}_4 + \dot{r}_3 \cdot \dot{b}_5 = \dot{b}_6. \end{cases} \tag{5}$$

Вирази (4) є коефіцієнтами кубічного рівняння відповідно до теореми Вієта. Таким чином використавши розв’язок системи рівнянь (5) $\dot{r}_1$, $\dot{r}_2$, $\dot{r}_3$, можна записати кубічне рівняння:

$$\dot{c}^3 + \dot{r}_3 \dot{c}^2 + \dot{r}_2 \dot{c} + \dot{r}_1 = 0. \tag{6}$$

Розв’язок кубічного рівняння (6) дає значення одиничних векторів сигналів відбитих від кожного з трьох об’єктів відповідно до позначень. Тоді фази векторів можна знайти наступним чином:

$$\varphi_1 = \arg(\dot{c}_1),\ \phi_2 = \arg(\dot{c}_2),\ \varphi_3 = \arg(\dot{c}_3). \tag{7}$$

Тоді відстані до кожного об’єкта знаходимо наступним чином:

$$l_{x1} = \frac{\varphi_1 \lambda}{4\pi},\ l_{x2} = \frac{\varphi_2 \lambda}{4\pi},\ l_{x3} = \frac{\varphi_3 \lambda}{4\pi}. \tag{8}$$

Аналогічні викладки можна провести і для довільної кількості об’єктів.

Література

1. Ultra-wideband Radar Technology // Edited by James D. Taylor, P. E. CRC Press Boca Raton, London, New Work, Washington, — 2000, 27р.

2. Маевский С. М. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний / С. М. Маевский, В. Г. Баженов, Е. К. Батуревич, Ю. В. Куц — К. : Вища школа, Изд-во при Киев. ун-те, 1983. — 84с.

3. Параска Г. Б. Теоретичні основи фазових вимірювань відстаней до декількох об’єктів / Г. Б. Параска, О. М. Шинкарук, В. Р. Любчик — Електроніка і звязок, 2010 — в. 3 — С. 82 — 86.