

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті наведено методика визначення просторових координат джерела випромінювання гіперболічними радіотехнічними системами при комплексному використанні часових та частотних параметрів прийнятих сигналів.

Вступ. Достовірна інформація про події та явища є необхідним елементом систем управління як військового, так і цивільного призначення. Потрібні дані отримуються за допомогою різноманітних засобів, широкий спектр яких зумовлений значними досягненнями науки і техніки. Зокрема, поширеним є використання радіотехнічних систем (РТС), які виконують завдання з добування, передачі або руйнування інформації.

Важливим завданням РТС є визначення координат джерел випромінювання (ДВ). Відомі методи [1 – 7] визначення місцеположення можуть бути реалізовані активними, пасивними та змішаними РТС.

У статті розглянемо позиційні методи місцевизначення, що реалізуються пасивними РТС. До таких методів належать триангуляційні (кутомірні), гіперболічні та інші.

Розгляд саме пасивних методів визначення місцеположення є актуальним у контексті використання РТС за військовим призначенням. Так, використання стелс-технологій у сучасних зразках озброєння значно знижує ефективність активних систем. У цей же час на борту кожного літака, корабля, а також у наземних системах озброєння є засоби активної радіолокації. Без РТС, що працюють на випромінювання, не можуть існувати (принаймні не здатні виконувати бойові завдання) більшість сучасних зразків озброєння. У процесі виконання завдань такі засоби обов'язково працюють і випромінюють радіосигнали, а отже, їх місцеположення може бути однозначно визначене пасивними РТС.

Інший важливий аспект застосування пасивних РТС у порівнянні з активними впливає з тактики дій сучасних військово-повітряних сил провідних країн світу. З аналізу останніх військових конфліктів видно, що успіх повітряних наступальних операцій забезпечувався не подоланням (як це було раніше), а подавленням системи протиповітряної оборони противника. Для цього спочатку проводилося виявлення радіолокаційних станцій з їх подальшим вогневим ураженням або радіоелектронним подавленням. Така тактика привела до практично стовідсоткової „живучості” засобів повітряного нападу. Тому системи протиповітряної оборони на основі активної радіолокації фактично були здатні тільки підтвердити факт початку повітряної атаки, оскільки знищувалися в перші години бойових дій.

Таким чином, тільки пасивні РТС здатні надати воюючій стороні необхідну інформаційну перевагу, особливо між засобами нападу та захисту в умовах явної переваги у повітрі. Крім того, виявлений цими системами об'єкт не знає про факт свого виявлення, а отже, не вживає ніяких заходів захисту. Відповідно, визначення місцеположення рухомих ДВ пасивними РТС є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Поставлене завдання може бути вирішене різними методами [1 – 7]. При цьому однією з головних характеристик РТС місцевизначення є точність

вимірювання координат об'єктів – джерел випромінювання. У [1] показано, що найбільш близькими до виконання вимог з точності, яка забезпечує ураження ДВ, серед позиційних пасивних РТС місцевизначення є різницево-далекомірні. Але, як видно з [2], тривимірні гіперболічні системи мають бути оснащені чотирма приймальними пунктами, сумісна узгоджена робота яких є достатньо складним завданням. Велика кількість пунктів прийому є одним із головних недоліків трикоординатних гіперболічних систем місцевизначення. Зменшення кількості позицій до трьох призводить до двовимірного оцінювання місцеположення ДВ, що унеможлиблює використання гіперболічних РТС безпосередньо в системах протиповітряної оборони та обумовлює їх застосування як систем дальньої дії, у котрих висотою, на якій перебуває ДВ, можна нехтувати.

Огляд останніх досліджень і публікацій показав, що для розширення можливостей різницево-далекомірних РТС місцевизначення проводять їх комбінування з іншими системами: кутомірними, далекомірними тощо. Так у [3] показана можливість синтезу кутомірно-різницево-далекомірної РТС. При такому підході виникає необхідність наявності в складі РТС гостроспрямованої антенної системи. У [4] зазначено, що на фоні зменшення кількості пунктів прийому до двох використання гострих діаграм спрямованості в деяких випадках може призводити до появи похибок другого роду (пропусків цілі). Цього недоліку позбавлені всеспрямовані антенні системи, що використовуються у гіперболічних РТС.

Зберегти вказані переваги дозволяє комбіноване використання часових та частотних параметрів прийнятих сигналів, зокрема, доплерівського зсуву частоти та різниці часу вступу в пунктах прийому системи визначення місцеположення ДВ.

Використання доплерівських частотних зсувів при розрахунках координат розглянуто в [5], але в розроблених при цьому методиках через частотні параметри знаходять один з геометричних параметрів, наприклад, пеленг [6], що зводить всю систему до кутомірної. З іншого боку, такі системи потребують рухомого пункту прийому або точної інформації про параметри руху ДВ.

Формулювання завдання дослідження. У [7] розроблено методику, що дозволяє визначати положення вектора швидкості ДВ. Її суть полягає у такому: кожний пункт прийому, а їх має бути принаймні три, приймає корисний сигнал; координати пунктів прийому РТС відомі: $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$, $C(x_3, y_3, z_3)$; далі вимірюються частоти прийнятого сигналу f_1, f_2, f_3 , $f_1 \neq f_2 \neq f_3$; напрямок вектора швидкості визначається за двома кутами α та β (рис. 1), які розраховуються з використанням методу найменших квадратів [7].

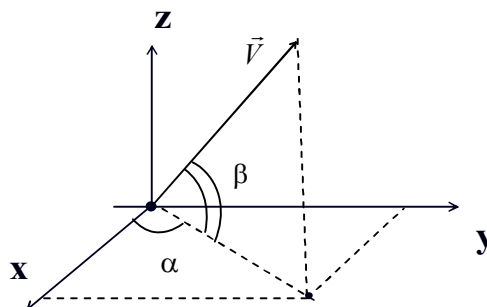


Рис. 1. До визначення напрямку вектора швидкості ДВ

За вказаною методикою можна розрахувати напрямок вектора швидкості в кожній точці просторової лінії положення. У [7] інформація про координати ДВ використовується для визначення його напрямку руху. Розв'язання оберненої задачі дозволить, використовуючи інформацію про напрямок вектора швидкості, оцінити місцеположення ДВ.

Отже, **метою статті** є розробка методики визначення місцеположення ДВ за даними про напрямок вектора його швидкості в точці просторової лінії положення, що задається часовими затримками прийнятого сигналу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Запропонована у [7] методика ґрунтується на відповідності відношення різниці частот прийнятого сигналу та відношення різниці напрямних косинусів вектора швидкості ДВ:

$$\frac{f_1 - f_2}{f_1 - f_3} = \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_3}, \quad (1)$$

де

$$\cos \alpha_k = \frac{-\cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot (x_k - x) + \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot (y_k - y) + \sin \beta \cdot (z_k - z)}{\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + (z - z_k)^2}}$$

при $k = \overline{1,3}$,

де x, y, z – координати ДВ.

Якщо напрямок руху ДВ точно відомий, тобто кути α і β визначені, то його координатами є розв'язання рівняння:

$$\frac{f_1 - f_2}{f_1 - f_3} - \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_3} = 0. \quad (2)$$

Рівняння (2), з урахуванням того, що координати кожної точки $M_i(x_i, y_i, z_i)$ просторової лінії положення l (рис. 2) можна розрахувати за виразами:

$$x_i = \frac{d_{12}^2 - 2 \cdot R_i \cdot \Delta t_{12} \cdot c - \Delta t_{12}^2 \cdot c^2}{2 \cdot d_{12}},$$

$$y_i = \frac{d_{13}^2 - 2 \cdot R_i \cdot \Delta t_{13} \cdot c - \Delta t_{13}^2 \cdot c^2 - 2 \cdot x_i \cdot d_{13} \cdot \cos \alpha_0}{2 \cdot d_{13} \cdot \cos \alpha_0}, \quad (3)$$

$$z_i = \sqrt{R_i^2 - x_i^2 - y_i^2},$$

де c – швидкість розповсюдження сигналу;

α_0 – кут бази (рис. 2);

d_{12}, d_{13} – бази РТС місцевизначення (рис. 2);

R_i – відстань між i -ю точкою лінії положення та першим пунктом прийому;

$\Delta t_{12}, \Delta t_{13}$ – часові затримки між прийнятим у пунктах РТС сигналом:

$$\Delta t_{12} = t_1 - t_2, \Delta t_{13} = t_1 - t_3,$$

де t_1, t_2, t_3 – час вступу сигналу відповідно в першому A , другому B та третьому C пунктах прийому РТС, – дозволяє записати ітераційну умову

$$(x, y, z) = \arg \min \left(\frac{f_1 - f_2}{f_1 - f_3} - \frac{\cos \alpha_{1i} - \cos \alpha_{2i}}{\cos \alpha_{1i} - \cos \alpha_{3i}} \right)^2, \quad (4)$$

де

$$\cos \alpha_{ki} = \frac{-\cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot (x_k - x_i) + \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot (y_k - y_i) + \sin \beta \cdot (z_k - z_i)}{\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2}}$$

при $k = \overline{1,3}$.

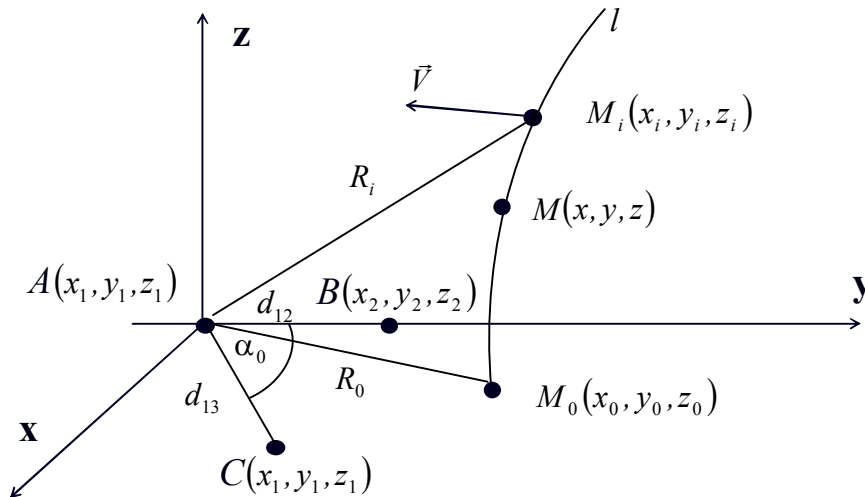


Рис. 2. До визначення координат ДВ

Послідовно змінюючи R_i в інтервалі $[R_0, R_{max}]$ та керуючись умовою (4), визначаємо координати ДВ. Межі інтервалу $[R_0, R_{max}]$ визначаються таким чином: R_0 – це розв’язок рівняння, що відповідає положенню ДВ на площині (точка M_0 на рис. 2):

$$\left| \sqrt{R_0^2 - B_1^2 - B_2^2} \right| = 0, \quad (5)$$

де

$$B_1 = \left(\frac{d_{12}^2 - 2 \cdot R_0 \cdot \Delta t_{12} \cdot c - \Delta t_{12}^2 \cdot c^2}{2 \cdot d_{12}} \right)$$

$$B_2 = \left(\frac{d_{13}^2 - 2 \cdot R_0 \cdot \Delta t_{13} \cdot c - \Delta t_{13}^2 \cdot c^2}{2 \cdot d_{13} \cdot \cos \alpha_0} - \frac{d_{12}^2 - 2 \cdot R_0 \cdot \Delta t_{12} \cdot c - \Delta t_{12}^2 \cdot c^2}{2 \cdot d_{12}} \right),$$

а R_{max} визначається дальністю дії РТС місцевизначення ДВ.

Висновки. Таким чином, у статті розроблено методику оцінювання просторових координат ДВ гіперболічною РТС з використанням даних про положення вектора швидкості ДВ.

Комплексне використання часових і частотних параметрів дозволило зменшити кількість пунктів прийому гіперболічної РТС при визначенні просторових координат ДВ. Такий недолік ітераційного підходу (4), як велика кількість даних та значний час їх обробки, за рахунок великої швидкодії сучасних обчислювальних засобів перестає бути актуальним, тому з’являється можливість реалізації запропонованої методики на базі цифрових систем обробки інформації.

Необхідно зазначити, що за час розповсюдження та обробки сигналу ДВ змістилось у просторі на певну відстань, тому визначені за запропонованою у статті методикою його координати вже будуть містити похибку відносно його дійсного положення. Отже, напрямком подальших досліджень слід вважати пошук шляхів усунення вказаного недоліку розробленої методики визначення місцеположення ДВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідник з протиповітряної оборони / А. Я. Торопчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Даник та ін. – К. : МО України, Х. : ХВУ, 2003. – 368 с.: іл.
2. Радиотехнические системы : учеб. пособие для вузов по специальности „Радиотехника” / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 496 с.: ил.
3. Караваев В. В. Статистическая теория пассивной локации / В. В. Караваев, В. В. Сазонов. – М. : Радио и связь, 1987. – 270 с.: ил.
4. Смирнов Ю. А. Радиотехническая разведка / Ю. А. Смирнов. – М. : Воениздат, 2001. – 456 с.
5. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация / В. С. Черняк. – М. : Радио и связь, 1993. – 416 с.: ил.
6. Кондратьев В. М. Многопозиционные радиотехнические системы / В. М. Кондратьев, А. Ф. Котов, Л. Н. Марков. – М. : Радио и связь, 1986. – 264 с.
7. Жовноватюк Р. М. Визначення параметрів рухомих джерел випромінювання пасивними системами радіомоніторингу / Р. М. Жовноватюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2007. – № 8. – С. 72 – 80.

Подано 09.11.09

И. Н. Сашчук, Р. М. Жовноватюк

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье представлена методика определения пространственных координат источника излучения гиперболическими радиотехническими системами при комплексном использовании временных и частотных параметров принятых сигналов.

I. N. Sashchuk, R. M. Zhovnovatyuk

METHODS OF DETERMINATION OF SPATIAL COORDINATES OF RADIANT

The methods of determination of spatial coordinates of radiant by the hyperbolical radio engineering systems at the complex use of temporal and frequency parameters of the accepted signals are examined in the article.