

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ БОКОВОГО ОГЛЯДУ

У статті розглядаються можливі методи усунення спільної неоднозначності визначення кутових координат і координат з дальності супутниковою радіолокаційною станцією бокового огляду.

Постановка проблеми. На сьогодні інтерес викликають принципово нові радіолокаційні станції (РЛС) бокового огляду (БО), що розташовуються на аеродинамічних та космічних літальних об'єктах [4, 8]. Особливості РЛС БО дають можливість їм вирішувати низку важливих завдань як у військовій, так і цивільній сферах. Для виконання заданих функцій до них ставляться високі вимоги за кутовою та просторовою роздільними здатностями. Відповідно, існують методи для забезпечення вказаних вимог. Найбільш доцільним є застосування методу синтезування апертури антени [7].

Проте при використанні методу синтезування апертури антени РЛС БО, яка розташована на штучному супутнику Землі (ШСЗ), виникають певні ускладнення [1]. За відсутності методів їх усунення з'являються негативні фактори. Зокрема, до них належить неоднозначність у визначенні кутових координат цілей, а також дальності до цілі (коли апріорно не відома висота польоту ШСЗ). Основними причинами цих неоднозначностей є [7, 3]: велика швидкість польоту ШСЗ; відносно велика дальність виявлення цілей радіолокації.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У літературі [6] запропоновано для розв'язання цієї проблеми використання спрямованих властивостей бортової антени РЛС БО (реальної антени РЛС БО) або застосування ширококутових зондувальних сигналів. Можна ще додати і метод нееквідистантної решітки. Але всі вони або не достатньо ефективні (застосування нееквідистантних решіток), або викликають великі труднощі.

Можна запропонувати ще один метод усунення неоднозначності визначення РЛС БО кутових координат, який застосовується на практиці [2].

Як відомо, умова єдиності головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС) антени РЛС БО із синтезованою апертурою визначається такою нерівністю [5]:

$$d \leq \frac{\lambda}{2(1 + |\sin \theta_c|)}, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі РЛС;

θ_c – напрямок головної пелюстки;

d – відстань між приймальними елементами синтезованої антенної решітки.

Виконання умови (1) гарантує однозначність визначення РЛС БО кутових координат радіолокаційної цілі.

При синтезуванні апертури відстань між приймальними елементами d , очевидно, становить

$$d = v \cdot T_n, \quad (2)$$

де v – швидкість носія РЛС БО;

T_n – період повторення зондувальних сигналів РЛС БО.

Якщо РЛС БО розташована на ШСЗ, то можна прийняти, що $v = 7,5 \cdot 10^3$ м/с.

Щодо періоду повторення зондувальних сигналів T_n , то він знаходиться зі співвідношення [5]

$$T_n = \frac{2 \cdot R_{max}}{c}, \quad (3)$$

де R_{max} – максимальна дальність до радіолокаційної цілі;

c – швидкість світла ($c = 3 \cdot 10^8$) м/с.

Припустимо, що дальність до цілі дорівнює висоті ШСЗ ($R \approx H = 600 \cdot 10^3$ м).

Тоді згідно з (3) та (2) маємо

$$T_n = \frac{2 \cdot 600 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$d = 7,5 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ м}.$$

Права частина виразу (1) при $\lambda = 0,03$ м і $\theta_z = 0^\circ$ (ДС РЛС БО спрямована перпендикулярно до синтезованого розкриву антени) буде становити

$$\frac{\lambda}{2(1 + |\sin \theta_z|)} = 0,015 \text{ м}.$$

Таким чином, умова єдиності головної пелюстки синтезованої антени РЛС БО не виконується ($30 \gg 0,015$), а тому виникає проблема усунення неоднозначності визначення кутових координат.

Метою статті є розробка доцільного методу усунення спільної неоднозначності визначення кутових координат і координат з дальності супутниковою РЛС БО.

Виклад основного матеріалу

1. Усунення неоднозначності визначення супутниковою РЛС БО кутових координат цілі

За базовий виберемо метод усунення неоднозначності визначення РЛС БО кутових координат, який застосовується на практиці [2].

Мається на увазі збільшення частоти повторення зондувальних сигналів до величини, при якій невизначеність зникає.

Але тоді може з'явитися невизначеність з дальності.

Не заглиблюючись у цю проблему (її розглянемо пізніше), визначимо, яка величина частоти повторення зондувальних сигналів F_n дозволить усунути неоднозначність визначення кутових координат при врахуванні спрямованих властивостей реальної антени РЛС БО (рис. 1).

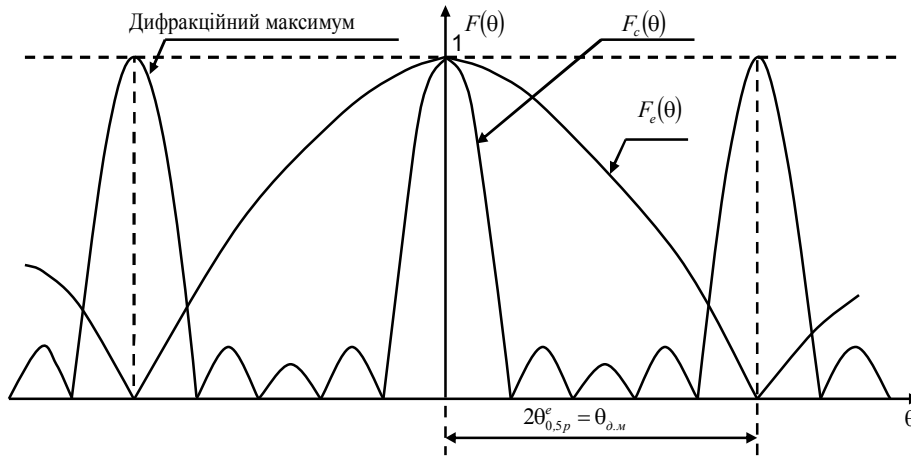


Рис. 1:

$F_e(\theta)$ – нормована ДС реальної антени;

$F_c(\theta)$ – множник системи;

$2\theta_{0,5p}^e$ – ширина ДС реальної антени в площині переміщення ШСЗ;

$\theta_{d.m}$ – кутова координата дифракційного максимуму.

Для усунення неоднозначності визначення кутових координат необхідно виконати

$$2\theta_{0,5p}^e \leq \theta_{d.m}. \quad (4)$$

Відомо, що [6]

$$2\theta_{0,5p}^e = \frac{\lambda}{L_e}; \theta_{d.m} = \frac{\lambda}{2d}, \quad (5)$$

де L_e – розмір реальної антени в горизонтальній площині.

Тоді згідно з (4) $\frac{\lambda}{L_e} \leq \frac{\lambda}{2d}$, тобто $2d \leq L_e$.

При врахуванні (2) та виразу $T_n = \frac{1}{F_n}$ можна отримати

$$F_n \geq \frac{2v}{L_e}. \quad (6)$$

Нерівність (6) і є умовою однозначності визначення кутових координат, її фізичний зміст можна визначити за допомогою рис. 2.

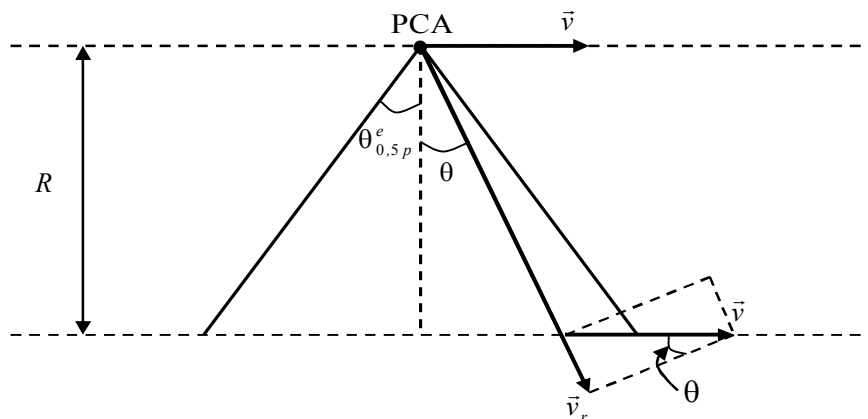


Рис. 2. Геометричні співвідношення для визначення змісту правої частини нерівності (6)

Відомо, що доплерівська частота

$$F_{\delta} = \frac{2v_r}{\lambda}, \quad (7)$$

де v_r – радіальна складова доплерівської швидкості.

Радіальна складова згідно з рис. 2 дорівнює $v_r = v \cdot \sin \theta$.

При малих кутах θ , що на практиці виконується, вираз (7) можна записати у вигляді

$$F_{\delta} = \frac{2 \cdot v \cdot \sin \theta}{\lambda} \approx \frac{2 \cdot v \cdot \theta}{\lambda}.$$

Максимальна F_{δ} становить

$$F_{\delta, \max} = \frac{2v_{r, \max}}{\lambda} = \frac{2v \cdot \theta_{0,5p}}{\lambda} = \frac{v \cdot 2\theta_{0,5}}{\lambda}.$$

Тоді, враховуючи (5), отримуємо

$$F_{\delta, \max} = \frac{v \cdot \lambda}{L_e \cdot \lambda} = \frac{v}{L_e}. \quad (8)$$

А спектр доплерівських частот буде визначатись так:

$$\Delta F_{\delta} = 2F_{\delta, \max} = \frac{2v}{L_e}. \quad (9)$$

При порівнянні (6) з (9) можна зробити висновок.

Для однозначного визначення супутниковою РЛС БО кутових координат цілі частота повторення зондувальних сигналів повинна бути не менше ширини спектра доплерівських частот:

$$F_n \geq \Delta F_{\delta} = \frac{2v}{L_e}. \quad (10)$$

Але при виконанні умови (10) виникає проблема неоднозначності визначення координат цілі з дальності (не виконується умова (3)).

2. Усунення неоднозначності визначення супутниковою РЛС БО координат цілі з дальності

Протиріччя (3) та (10) можна розв'язати, якщо апіорно відома дальність до цілі (наприклад, при зондуванні Землі).

Тоді, згідно з рис. 3, умову однозначності визначення координат цілі з дальності (3) можна замінити:

$$T_n \geq \frac{2CB}{c}. \quad (11)$$

Відповідно

$$CB = PB - PC = PB - PA = \frac{H}{\cos(\alpha + \beta)} - \frac{H}{\cos \alpha}.$$

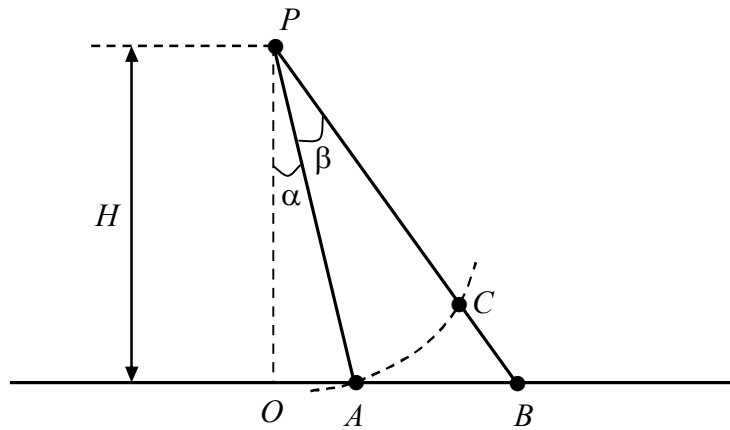


Рис. 3. Геометричні співвідношення для визначення максимальної частоти повторення зондувальних сигналів:

- β – ширина ДС реальної антени у вертикальній площині (площині "Е");
- α – величина, що характеризує нахил антени РЛС БО відносно надиру;
- P – положення ШСЗ з РЛС БО;
- AB – смуга огляду земної поверхні;
- CB – смуга огляду похилої дальності, що рівна смузі огляду земної поверхні.

І умову (11) можна записати у вигляді

$$T_n \geq \frac{2H \left[\frac{1}{\cos(\alpha + \beta)} - \frac{1}{\cos \alpha} \right]}{c} \quad (12)$$

Таким чином, умовою однозначності визначення супутниковою РЛС БО координат цілі з дальності є

$$F_n \leq \frac{c}{2H \left[\frac{1}{\cos(\alpha + \beta)} - \frac{1}{\cos \alpha} \right]} \quad (13)$$

Спільна умова однозначності визначення кутових координат та координат цілі з дальності згідно з (13) та (10) становить

$$\frac{2v}{L_e} \leq F_n \leq \frac{c}{2H \left[\frac{1}{\cos(\alpha + \beta)} - \frac{1}{\cos \alpha} \right]} \quad (14)$$

Як висновок можна запропонувати (при виникненні протиріччя в (14)) знайти компроміс шляхом зміни параметрів α або β .

Висновки

1. При розташуванні РЛС БО із синтезованою апертурою антени на ШСЗ виникає неоднозначність у визначенні кутових координат цілей та дальності до цілі.

2. Запропоновано більш ефективний метод усунення спільних неоднозначностей визначення кутових координат цілей та дальності до цілі – збільшення частоти повторення зондувальних сигналів до величини, при якій невизначеність зникає.

3. Величина частоти повторення зондувальних сигналів для усунення спільних неоднозначностей вибирається з умови (14). У випадку виникнення протиріч можна знайти компроміс шляхом зміни ширини ДС у вертикальній площині та величини, яка характеризує нахил антени РЛС БО відносно надиру.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богачев А. С. Цифровое синтезирование искусственной апертуры при маневре / А. С. Богачев, Е. Ф. Толстов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1975, № 6. – С. 64–79.
2. Богомолов А. Ф. “Венера-15”, “Венера-16” – РСА на орбите искусственного спутника / А. Ф. Богомолов // Известия вузов : Радиофизика. – 1985. – Т. 28, № 3. – С. 259–274.
3. Гаврилов Н. П. Оборудование американских космических аппаратов видовой разведки / Н. П. Гаврилов // Зарубежное военное обозрение. – 2003, № 11. – С. 45.
4. Клочко А. Ю. Радиолокационные станции бокового обзора и возможности их применения / А. Ю. Клочко // Зарубежное военное обозрение. – 1987, № 12. – С. 62–69.
5. Кондратенков Г. С. Радиолокационные станции воздушной разведки / Г. С. Кондратенков. – М. : Воениздат, 1983. – 152 с.
6. Манойлов В. П. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації : монографія / В. П. Манойлов, В. В. Омельчук, В. В. Опанюк. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – 384 с.
7. Реутов А. П. Радиолокационные станции бокового обзора / А. П. Реутов; под ред. Г. С. Кондратенкова. – М. : Воениздат, 1983. – 360 с.
8. Состояние, перспективы и проблемы рынка услуг дистанционного зондирования Земли из космоса [Электронный ресурс] // Аэрокосмический портал Украины. – Режим доступа : <http://www.radiotec.ru>.

Подано 27.06.08

Е. П. Найденко, Н. Н. Карашук
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ
СТАНЦИИ БОКОВОГО ОБЗОРА

В статье рассматриваются возможные методы устранения общей неоднозначности определения угловых координат и координат по дальности спутниковой радиолокационной станцией бокового обзора.

Е. P. Najdenko, N. M. Karashchuk
FEATURES OF USE OF THE SATELLITE RADAR STATION OF THE LATERAL
REVIEW

In the given work possible methods of elimination of the general ambiguity of definition of angular co-ordinates and co-ordinates on range are considered by a satellite radar station of the lateral review.