

УДК 621.396.96

И.А. Евсеев¹, Р.П. Волощук²

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В БИСТАТИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ АНТЕНН

На основе анализа линий равных дальностей и равного доплеровского смещения показано изменение вида функции неопределенности системы в зависимости от взаимного пространственного положения и векторов скорости элементов бистатической радиолокационной системы с синтезированием апертуры антенн (РСА).

бистатические РСА, функция неопределенности

Введение

Многопозиционные радиолокационные системы, включающие несколько передающих позиций, являются фактически, сочетанием нескольких двухпозиционных (бистатических) систем. Такие системы могут существенно повысить информативность, помехозащищенность и ряд других важных характеристик [1].

Практически все задачи радиолокационного наблюдения, как в однопозиционных так и многопозиционных системах можно решать и анализировать, исследуя функции неопределенности (ФН) сигналов с учетом особенностей структуры многопозиционной системы [2]. Видом ФН определяются основные ка-

чественные показатели системы оценки параметров, такие как разрешающая способность и однозначность оценки. В однопозиционных РЛС ФН находятся как функции двух переменных: временной задержки и доплеровского сдвига частоты отраженных сигналов. В многопозиционной системе и, в частности, в двухпозиционной системе в общем случае нет линейной связи между временем задержки сигнала, отраженного от цели, по отношению к моменту излучения, и расстоянием до цели. Доплеровская частота принимаемого сигнала не связана линейной зависимостью с относительным движением цели и приемной позиции и существенно зависит от конфигурации системы и скорости передающей позиции.

При решении задач картографирования целесообразно формировать ФН как зависимости от расстояния до цели относительно приемной позиции и от скорости движения цели. Такое представление ФН позволяет объективно оценить разрешающую способность системы по дальности и скорости целей, определить возможность обнаружения целей на фоне мешающих отражений от земли.

Другое возможное представление ФН в двухпозиционной системе – это определение линии постоянной скорости движения целей и линии постоянной дальности на плоскости «продольная и поперечная дальность» относительно приемной позиции.

Целью работы является исследование поведения функции неопределенности бистатической радиолокационной системы с синтезированием апертуры антенны (РСА) в зависимости от пространственного положения и направления движения приемных и передающих элементов системы на основе анализа линий равной дальности и равного доплеровского смещения.

Основная часть

Для исследования функций неопределенности РСА при согласованной фильтрации принимаемого сигнала будем использовать полученные ранее геометрические соотношения в бистатических РСА (рис. 1) и понятия линий равных запаздываний и линий равного доплеровского сдвига. Результаты моделирования, показывающие пространственную ориентацию линий равных дальностей и градиента к ним для некоторых наиболее важных случаев зондирования поверхности, показаны в [3].

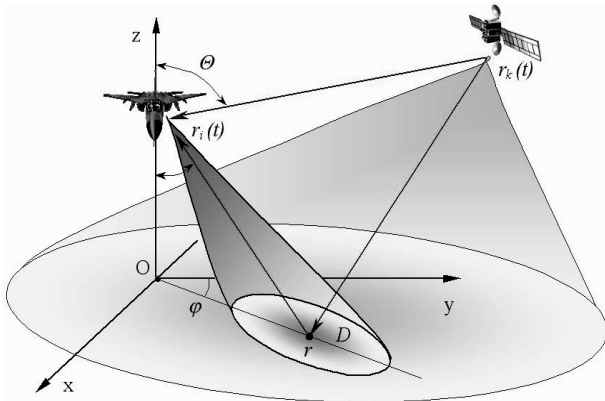


Рис. 1. Бистатическая РСА

При движении прямо-передающих позиций общее время запаздывания сигнала $\tau_{ik}(t, \vec{r})$, связанное с распространением сигнала от момента передачи до момента приема, можно представить в виде суммы постоянной и переменной (во временной области) компонент:

$$\tau_{ik}(t, \vec{r}) = \tau_{0ik}(\vec{r}) + \tau_{\Delta ik}(t, \vec{r}); \quad (1)$$

$$\tau_{0ik}(\vec{r}) = \frac{1}{c} [R_{i0}(\vec{r}) + R_{k0}(\vec{r})]; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \tau_{\Delta ik}(t, \vec{r}) &= \frac{1}{c} \left[\frac{\Delta R_i^2(t, \vec{r})}{2R_{i0}(\vec{r})} + \frac{\Delta R_k^2(t, \vec{r})}{2R_{k0}(\vec{r})} \right] = \\ &= \frac{1}{c} [\tau_{\Delta i}(t, \vec{r}) + \tau_{\Delta k}(t, \vec{r})]. \end{aligned} \quad (3)$$

Постоянная составляющая времени задержки $\tau_{0ik}(\vec{r})$ определяется средним расстоянием по трассе передатчик r_k – точка поверхности r – приемник r_i и позволяет определить связь между сечениями функций неопределенности вдоль линий $\tau_{0ik}(\vec{r}) = \text{const}$ (линий равного запаздывания) и функцией неопределенности по времени для излучаемого радиолокационного сигнала. Скорость приращения постоянной составляющей времени задержки в направлении произвольного вектора определяется проекцией градиента на этот вектор.

Составляющая $\tau_{\Delta ik}(t, \vec{r})$ определяет изменение фазы сигнала, и, соответственно, поведение доплеровской частоты как пространственно-временной функции: $F_{Dik}(t, \vec{r}) = \frac{d}{dt} j\omega_0 \tau_{\Delta ik}(t, \vec{r})$.

ФН сигналов пропорциональна выходному сигналу оптимальной системы обработки и в общем случае ее можно записать в виде [4]:

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}(\vec{r}, \vec{r}_1) &= \int_{-\infty}^{\infty} \dot{G}(t, \vec{r}) \dot{S}_0[t - t_3(t, \vec{r})] \exp\{j\omega_0[t - t_3(t, \vec{r})]\} \times \\ &\times \dot{G}^*(t, \vec{r}_1) \dot{S}_0^*[t - t_3(t, \vec{r}_1)] \exp\{-j\omega_0[t - t_3(t, \vec{r}_1)]\} dt, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\dot{G}(t, \vec{r})$ – функция, учитывающая влияние диаграммы направленности антенны; $\dot{S}_0(t)$ – комплексная огибающая сигнала; $\omega_{0k} = 2\pi f_k$ – несущая частота излучаемого сигнала; $t_3(t, \vec{r})$ – полное время запаздывания. В данном выражении пределы интегрирования могут быть расширены до бесконечности, так как ограничение по времени осуществляется функцией $S_0(t)$.

Сечения функций неопределенности $\dot{\Psi}(\vec{r}, \vec{r}_1)$ вдоль линий равного запаздывания δy и линий равного доплеровского смещения δx определяются выражениями:

$$\dot{\Psi}(\delta y) \cong C \exp\left\{j \frac{2\omega_0 \Delta(\delta y)}{R_0 c}\right\} \times \quad (5)$$

$$\times \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}_0[t_1] \dot{S}_0^*[t_1 - \Delta t_3(t, \delta y)] dt_1$$

$$\dot{\Psi}(\delta x) \cong C \int_{-\infty}^{\infty} \dot{L}(t, \vec{r}, \vec{r}_1) \exp\{-j(\omega_0 - F_D\{t, \delta x\})t\} dt, \quad (6)$$

где C – константа, выбираемая из условия нормировки $\dot{\Psi}(0) = 1$.

Из выражений (5), (6) несложно заметить, что поведение функции неопределенности в пространственной области обусловлено, с точностью до геометрических преобразований, поведением функции неоп-

ределенности излучаемого радиолокационного сигнала в области время запаздывания – частота Доплера.

В однопозиционной РСА, в случае бокового обзора, данный факт является хорошо известным: пространственное разрешение в дальномерной плоскости соответствует разрешающей способности одиночного импульса по времени запаздывания, а в азимутальной – разрешающей способности огибающей по частотному сдвигу [5].

Для бистатических систем поведение пространственных функций неопределенности более сложное, так как оно определяется не только видом обзора, но и взаимным положением приемника и передатчика, а также характером их взаимного движения. Так, например, если пространственная конфигурация бистатической РСА близка к однопозиционной, функции неопределенности будут практически совпадать.

Если пространственная конфигурация такова, что смещаются только линии равного запаздывания,

наибольшее изменение ФН происходит вдоль градиента к ним. Результаты моделирования, показывающие пространственную ориентацию линий равных дальностей и градиента к ним, для некоторых наиболее важных случаев дистанционного зондирования приведены в работе [6]. Если же происходит смещение линий равного доплеровского сдвига, то основные искажения по отношению к моностатической системе будут наблюдаться вдоль

$$\text{grad}\{F_D(\bar{r}/t, \bar{r}_k, \bar{r}_i)\} = \text{const}.$$

Для решения многих практических задач необходимо чтобы пространственные функции $F_D(\bar{r}/t, \bar{r}_k, \bar{r}_i) = \text{const}$ и $\tau_{0ik}(\bar{r}) = \text{const}$ были перпендикулярны, так как в противном случае происходит нежелательное искажение ФН.

Результаты исследования поведения функции неопределенности от пространственного положения и от направления движения элементов бистатической РСА представлены на рис. 2, 3.

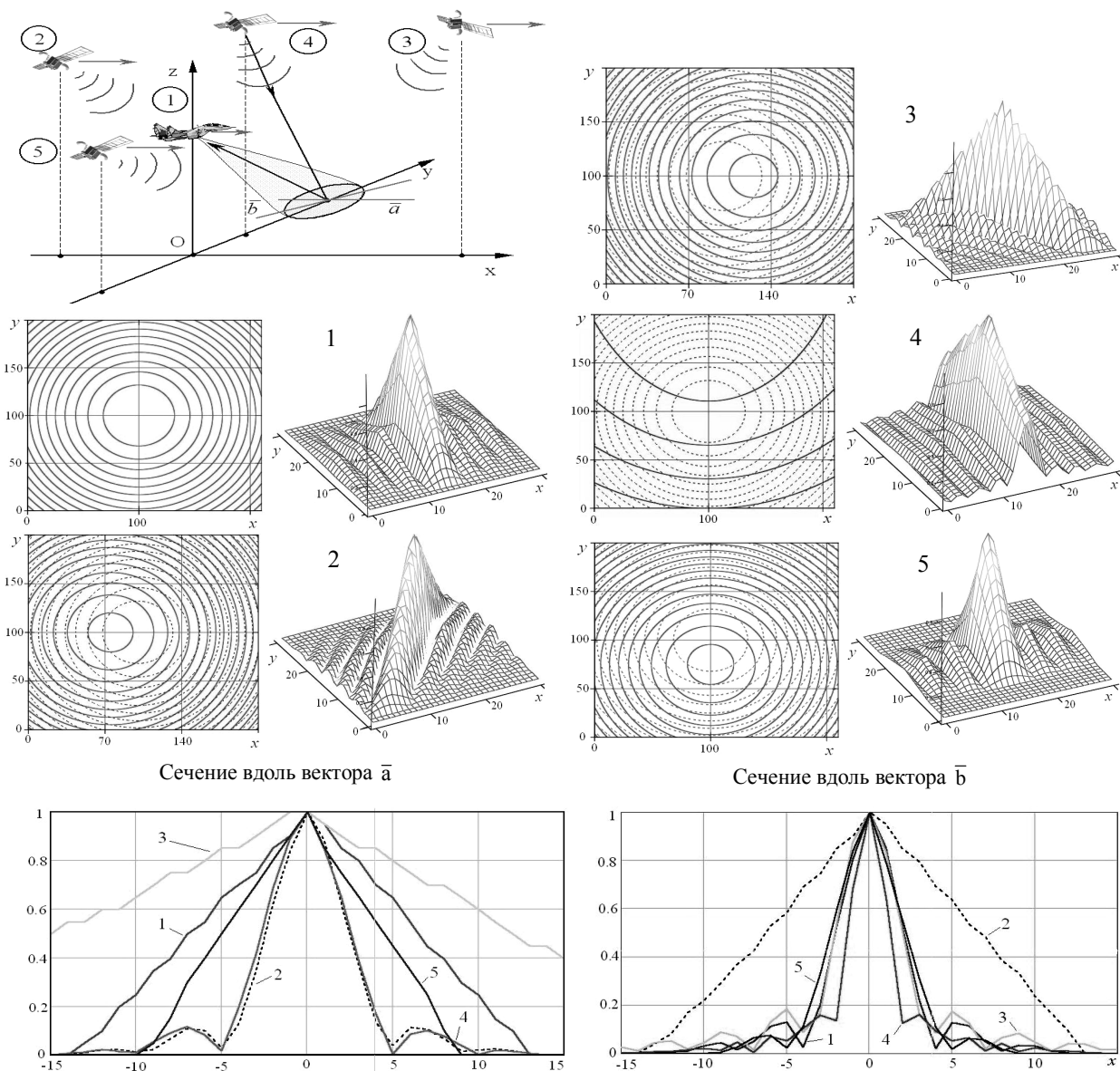


Рис. 2. Зависимость вида ПФН и линий равного запаздывания/линий равного доплеровского сдвига от пространственного положения элементов бистатической РСА

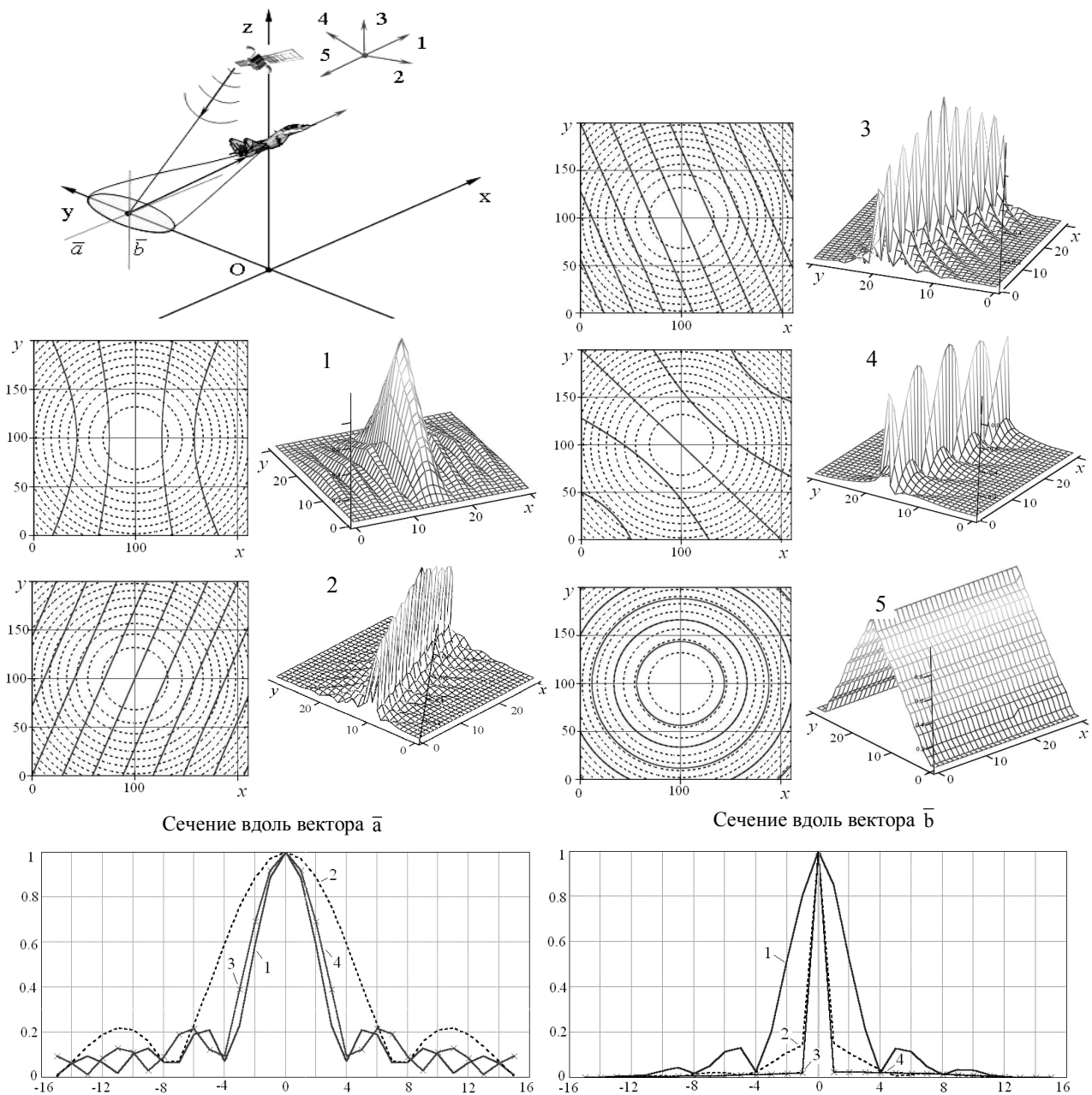


Рис. 3. Зависимость вида ПФН и линий равного запаздывания/линий равного доплеровского сдвига от направления движения элементов бистатической РСА

Выводы

Из результатов моделирования видно, что основные закономерности в поведении пространственных ФН можно установить путем анализа линий равного доплеровского сдвига и линий равного запаздывания.

С помощью ФН возможно оценить разрешающую способность по дальности и скорости целей. Функция неопределенности позволяет определить и особенности системы обработки сигналов, которые появляются в результате изменений геометрических параметров двухпозиционной системы в зависимости от положения цели по дальности, угловых координат и двухпозиционного угла.

Результаты данного исследования могут быть использованы для решения задач обеспечения однозначности измерений и оптимизации МПРСА по виду обзора.

Список литературы

1. Волосяк В.К., Ксендзук А.В., Евсеев И.А. Анализ возможностей многопозиционных РСА и комплексирование измерений // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – 2004. – Вип. 2, № 646. – С. 124-131.
2. Varshney P.K. Ambiguity Function for a Bistatic Radar. – IEEE Trans., 1997, vol.AEA-33, No 7, December.
3. Евсеев И.А. Основные геометрические соотношения в многопозиционных радиолокационных системах с синтезированием апертуры антенны // Авиационно-

космическая техника и технология. – Х.: ХАИ. – 2005. – № 1. – С. 60-66.

4. Волосяк В.К. Физические основы дистанционного зондирования природных сред радиотехническими средствами аэрокосмического базирования: Учеб. пособие. – Х.: ХАИ, 1997. – 97 с.

5. Ксендзук А.В. Исследование функций неопределенности в радиосистемах с синтезированием апертуры // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: ХАИ. – 2000. – Вып. 21. – С. 148-152.

6. Ксендзук А.В., Евсеев И.А., Шаповалов А.А. Обеспечение однозначности измерений в многопозиционных системах дистанционного зондирования // *Радиотехника*. – Х.: ХНУРЭ. – 2006. – Вып. 45. – С. 89-95.

Поступила в редколлегию 1.10.2007

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Ксендзук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.