

Траектория фазового центра отражения от сложной радиолокационной цели при её поляризационном сканировании

А.В. Трушин

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), г. Москва, e-mail: truetrushin@yandex.ru.

Показана возможность обнаружения блестящих точек на сложной радиолокационной цели, находящейся в пределах элемента разрешения, методами радиополяриметрии.

The possibility of detecting shining points on a complex radar target within the resolution element is demonstrated using radio polarimetry methods.

Ширина ДН накладывает принципиальные ограничения на возможность различения целей или структуры сложной цели, находящихся в одном элементе разрешения. Обнаруженные таким образом цели будут трактоваться как точечная цель.

Любая сложная радиолокационная цель может быть представлена в виде набора пространственно разнесенных «блестящих» точек [1]. Блестящие точки (БТ), характерные как для природных, так и для искусственных объектов радиолокационного наблюдения, в большинстве случаев являются чувствительными к изменению вида поляризации облучающей их волны. Это говорит о том, что при смене поляризационного базиса фазовый центр принимаемой отраженной волны будет перемещаться по некоторой пространственной траектории.

Определение фазового центра требует перенастройки приемной антенны на максимум принимаемого сигнала. Точность такого процесса будет определяться уже не шириной диаграммы направленности, а крутизной ее пика в направлении главного максимума.

Математически положение фазового центра при когерентном отражении можно определить, построив нормаль к поверхности одинаковой фазы ($\Psi(x, y, z) = const$) сложной цели.

Рассмотрим случай, когда сложная цель представлена тремя блестящими точками. Фаза суммарного колебания для такой цели запишется следующим образом [1]:

$$\Psi = \arctg \left(\frac{a_1 \sin(k \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \varphi_1) + a_2 \sin(k \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} - \varphi_2) + a_3 \sin(k \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} - \varphi_3)}{a_1 \cos(k \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \varphi_1) + a_2 \cos(k \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \varphi_2) + a_3 \cos(k \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \varphi_3)} \right) \quad (1)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i -й БТ ;

φ_i – начальная фаза i -й БТ;

k – волновое число;

a_i – интенсивность отражения от i -й БТ.

На рисунке 1 проиллюстрирована эквифазная поверхность $\Psi(x, y, z) = const$ для случая, когда интенсивность отраженной волны от всех БТ одинакова (а) и для случая, когда интенсивность отраженной волны от точки №2 больше в 10 раз (б).

Точка пересечения нормали с плоскостью $Z = 0$ определит координаты фазового центра. Уравнение нормали к эквифазной поверхности запишется следующим образом:

$$\frac{X - x_0}{\Psi'_x} = \frac{Y - y_0}{\Psi'_y} = \frac{Z - z_0}{\Psi'_z}, \quad (2)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты точки наблюдения;

$\Psi'_x, \Psi'_y, \Psi'_z$ – частные производные по x, y, z выражения (1).

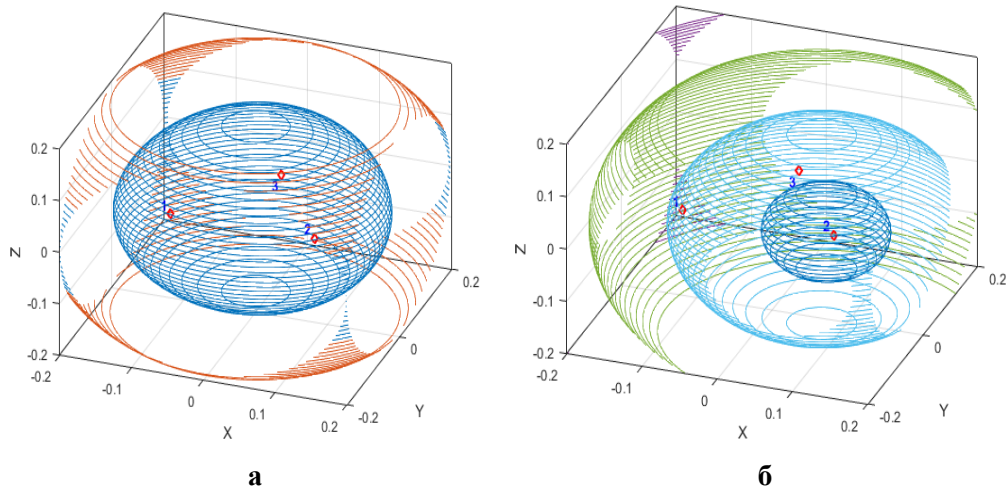


Рис. 1. Поверхности одинаковой фазы сложной радиолокационной цели, представленной тремя БТ

Сделав элементарные преобразования, получим координаты фазового центра:

$$\begin{cases} X = x_0 - z_0 \frac{\Psi'_x}{\Psi'_z} \\ Y = y_0 - z_0 \frac{\Psi'_y}{\Psi'_z} \end{cases} \quad (3)$$

На рисунке 2 проиллюстрирован процесс определения ФЦ для трех блестящих точек, матрицы рассеяния которых были выбраны случайным образом.

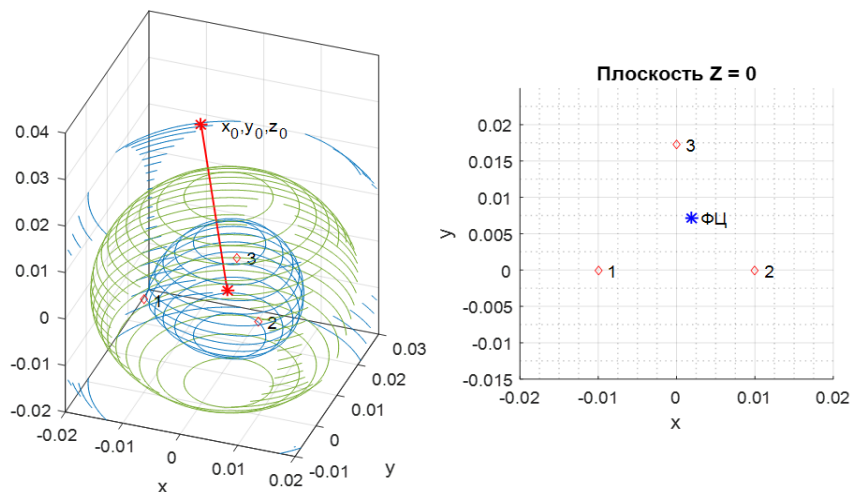


Рис. 2. Фазовый центр отражения сложной радиолокационной цели, представленной тремя БТ со случайными матрицами рассеяния в исходном поляризованном базисе

При переходе из исходного поляризационного базиса к произвольному, элементы матриц рассеяния будут подвергнуты следующему преобразованию [2]:

$$q_{11} = s_{11} e^{(-j 2 \varphi)} \cos(\gamma)^2 + s_{22} e^{(j 2 \varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{12} \sin(2 \gamma), \quad (4)$$

где s_{ij} – элементы матриц рассеяния;

γ, φ – параметры, определяющие конкретный вид поляризации.

В следствии (4), интенсивность отражения от блестящих точек будет меняться при изменении вида поляризации.

$$\begin{aligned} A_i &= \operatorname{Re}(q_{11}) = (s_{22_i} \sin(\gamma)^2 \cos(2 \varphi) + s_{11_i} \cos(2 \varphi) \cos(\gamma)^2 + s_{12_i} \sin(2 \gamma)) \\ B_i &= \operatorname{Im}(q_{11}) = s_{22_i} \sin(2 \varphi) \sin(\gamma)^2 - s_{11_i} \sin(2 \varphi) \cos(\gamma)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Используя (5), определим интенсивность и начальную фазу отраженной волны при изменении вида поляризации:

$$a_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \quad (6)$$

$$\varphi_i = \begin{cases} \operatorname{atan}\left(\frac{B_i}{A_i}\right), & \text{при } A > 0 \\ \pi + \operatorname{atan}\left(\frac{B_i}{A_i}\right), & \text{при } A < 0, B \geq 0 \\ -\pi + \operatorname{atan}\left(\frac{B_i}{A_i}\right), & \text{при } A < 0, B < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & \text{при } A = 0, B > 0 \\ -\frac{\pi}{2}, & \text{при } A = 0, B < 0 \end{cases} \quad (7)$$

С учетом выше сказанного, на рис. 3 проиллюстрированы определенные ФЦ в различных поляризационных базисах.

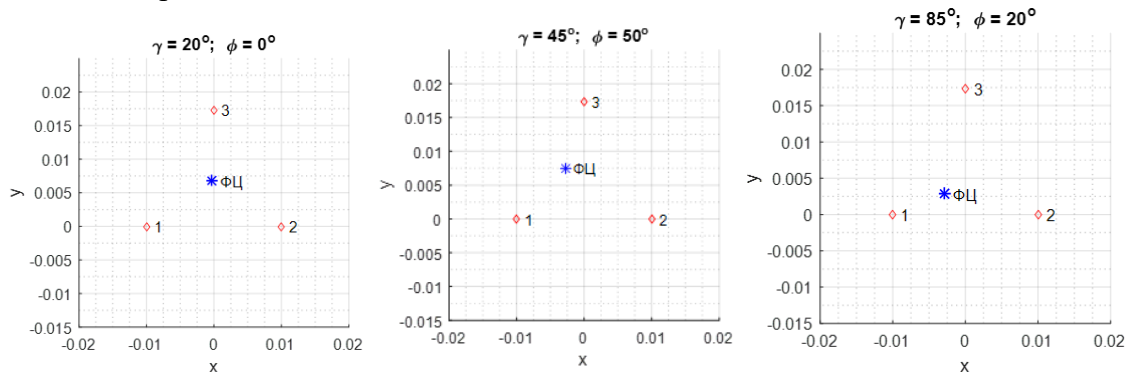


Рис. 3. Положения фазового центра при изменении вида поляризации для сложной цели, состоящей из трех БТ с матрицами рассеяния выбранными случайно

Проходя некоторое количество поляризаций и возвращаясь к исходной, можно построить замкнутую кривую, которая будет в полной мере характеризовать исследуемую цель (рис. 4, 5).

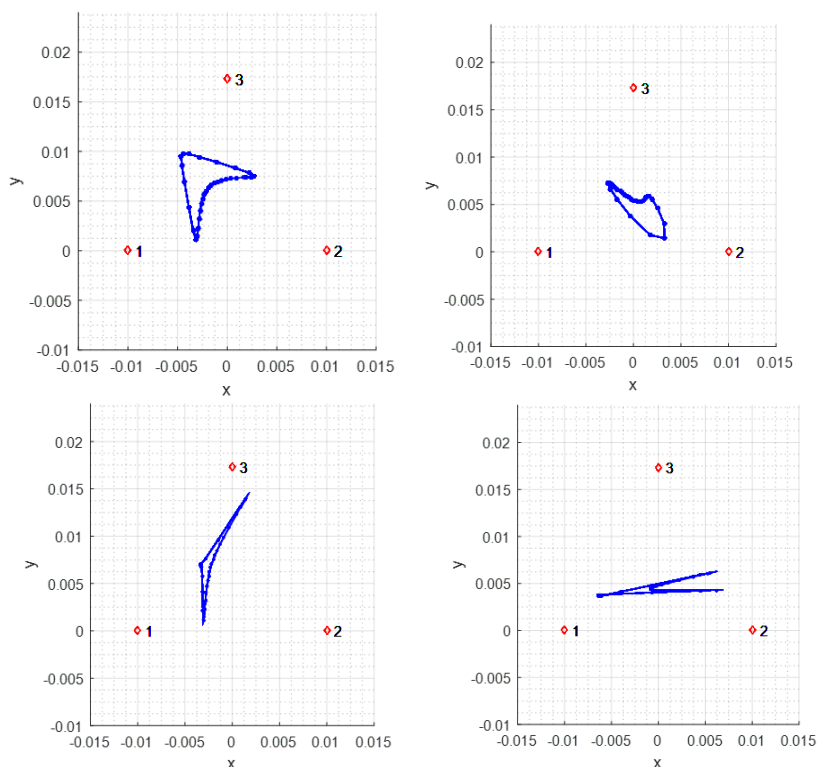


Рис. 4. Траектория фазового центра при поляризационном сканировании для БТ, характеризующихся разными матрицами рассеяния

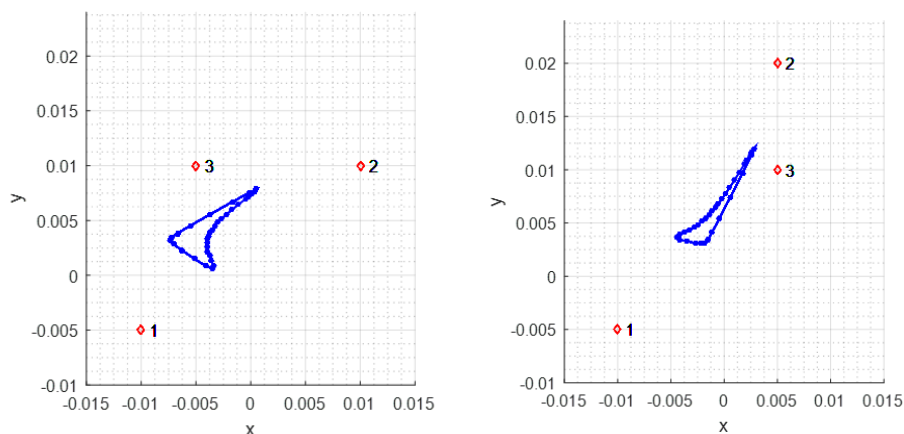


Рис. 5. Траектория фазового центра при поляризационном сканировании для разной геометрической конфигурации БТ в пространстве

Таким образом, рассмотренные теоретические положения обосновывают возможность обнаружения блестящих точек на сложной радиолокационной цели, находящейся в пределах элемента разрешения.

Литература

1. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. – М.: Радиотехника, 2008.
2. В.В. Богородский, Д.Б. Канарейкин, А.И. Козлов. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов. Ленинград “Гидрометеиздат”, 1981.
3. И.В. Автин, А.В. Трушин. Об обнаружении и разрешении слабоконтрастных малоподвижных радиолокационных целей, находящихся в пределах элемента разрешения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. №222. С. 80-85.