

УДК 621.396.96

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ И РАЗРЕШЕНИИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ МАЛОПОДВИЖНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПРЕДЕЛАХ ЭЛЕМЕНТА РАЗРЕШЕНИЯ

И.В. АВТИН, А.В. ТРУШИН

Статья представлена доктором физико-математических наук, профессором Козловым А.И.

Предлагается использование режима полного поляризационного сканирования для обнаружения слабоконтрастных целей на фоне подстилающих покровов, а также построение пространственно-поляризационного контура для случая некогерентного отражения. Определяется возможность распознавания нескольких близко расположенных радиолокационных целей по их пространственно-поляризационному контуру.

Ключевые слова: диаграмма направленности, блестящие точки, элемент разрешения, пространственно-поляризационный контур, некогерентное отражение поляризации, радиополяриметрия, матрица рассеяния, слабоконтрастная малоподвижная цель.

Проблема идентификации слабоконтрастных целей на фоне земли одна из серьезнейших задач радиолокации. Основным фактором, мешающим обнаружению слабоконтрастных малоподвижных целей на фоне земной поверхности, являются отражения от этой поверхности (фон).

Для решения задачи выделения сигналов, отраженных непосредственно от обнаруживаемой цели, можно опираться на различия в матрицах рассеяния цели и фона, существенно зависящих от вида поляризации используемых радиоволн.

Пусть матрицы рассеяния в исходном поляризационном базисе имеют вид $S = s_{ij}$, $i, j = 1, 2$.

В этом случае в произвольном поляризационном базисе, характеризующимся параметрами φ_{xy} и γ имеют вид [1-2]:

$$\begin{aligned} s_{11i}e^{-2i\varphi} &= e^{2i\eta}e^{2i\varphi_{xy}}(\lambda_{1i}e^{-2i\varphi_{xy}}\cos^2\gamma + \lambda_{2i}e^{2i\varphi_{xy}}\sin^2\gamma); \\ s_{12i}e^{-2i\varphi} &= (-\lambda_{1i}e^{-2i\varphi_{xy}} + \lambda_{2i}e^{2i\varphi_{xy}})\sin\gamma\cos\gamma; \\ s_{22i}e^{-2i\varphi} &= e^{-2i\eta}e^{-2i\varphi_{xy}}(\lambda_{1i}e^{-2i\varphi_{xy}}\sin^2\gamma + \lambda_{2i}e^{2i\varphi_{xy}}\cos^2\gamma). \end{aligned} \quad (1)$$

где λ_1, λ_2 - собственные значения матрицы рассеяния.

Как видно, каждый элемент матрицы рассеяния существенно зависит от вида поляризации.

При работе на излучение и приём на одной и той же поляризации, мощность отраженного сигнала пропорциональна $|s_{11i}|^2$, что дает возможность получить в явном виде мощность. Что касается отражений от земной поверхности, то её элементы матрицы рассеяния будем считать случайной величиной с нулевым средним значением и одинаковой дисперсией, это позволяет утверждать, что отражения от земной поверхности слабо зависят от вида поляризации, следовательно, контраст цели на фоне земной поверхности будет изменяться (увеличиваться).

С этой целью была написана программа в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2015 на языке C#.

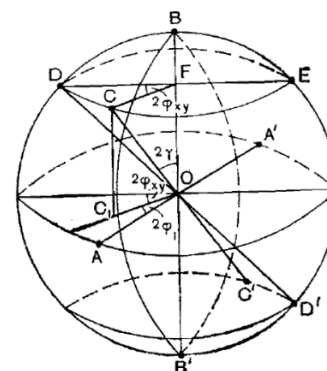


Рис.1 Сфера Пуанкаре

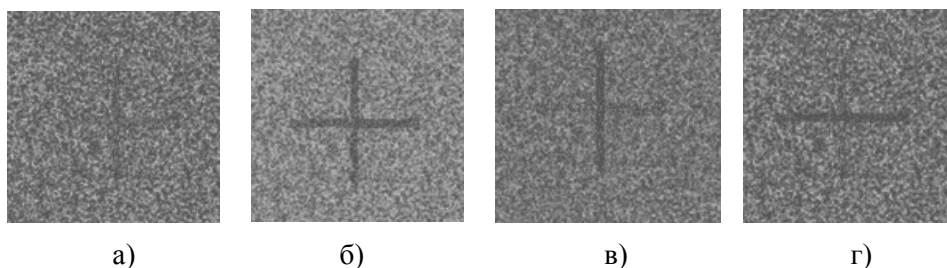


Рис.2 а) Наблюдение за целью при $\varphi_{xy} = 0,65\pi$ и $\gamma = 0,05\pi$; б) Наблюдение за целью при $\varphi_{xy} = 0,65\pi$ и $\gamma = 0,15\pi$; в) Наблюдение за целью при $\varphi_{xy} = 0,5\pi$ и $\gamma = 0,75\pi$; г) Наблюдение за целью при $\varphi_{xy} = 0,55\pi$ и $\gamma = \pi$

Как видно на рис.2 (а) цель абсолютно неразличима и сливается с сигналами, отраженными от земных покровов.

При дальнейшем изменении поляризации мы наблюдаем за тем как образ цели становится различим (рис.2 б) - контраст вырос.

На рис.2 (б) видно как горизонтальная составляющая цели пропала, в то время как на рис.2 (г) уже пропадает вертикальная составляющая.

Данная модель наглядно демонстрирует возможность обнаружения слабоконтрастных малоподвижных целей на фоне подстилающих покровов методами радиополяриметрии.

Как известно, пространственное разрешение радиолокационных целей, в первую очередь, определяется шириной диаграммы направленности (ДН) антенны, выступающей критерием разрешения двух целей. Поэтому группа целей, находящаяся в пределах элемента разрешения, определится как точечная цель, наблюдаемая под углом Θ_0 .

Отражение радиоволн от цели в основном формируется “блестящими точками”, матрицы рассеяния которых в сильной степени зависят от вида поляризации облучающей волны, изменение которой приводит к зависимости интенсивности отраженной волны от вида поляризации [1,2].

Пусть в исходном поляризационном базисе положение фазового центра отраженной волны наблюдается под углом Θ_0 . Меняя виды поляризации, положение этого центра будет непрерывно изменяться, описывая некоторую траекторию. При полном поляризационном сканировании эта траектория будет представлять собой некоторую замкнутую кривую, называемую пространственно-поляризационным контуром (ППК) [1].

Рассмотрим случай, когда цель представляет собой некоторую структуру, содержащую набор из N блестящих точек с координатами (x_i, y_i) . Пусть i -ой БТ соответствует матрица рассеяния:

$$S_i = \begin{pmatrix} s_{11i} & s_{12i} \\ s_{12i} & s_{22i} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При облучении цели на некоторой поляризации и приеме отраженной волны на той же поляризации, мощность принятой радиоволны на выходе приемной антенны будет пропорциональна $|s_{11i}|^2$ [2]. Суммарная мощность при некогерентном отражении определится как сумма мощностей сигналов P_i , соответствующих каждой из БТ:

$$P_\Sigma = \sum_{i=1}^N P_i = a \sum_{i=1}^N |s_{11i}|^2, \quad (3)$$

где a – не играющий существенной роли коэффициент пропорциональности.

С учетом изменения поляризации зондирующего сигнала пространственные координаты фазового центра определяются следующими соотношениями:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N x_i |s_{11i} \cos^2(\gamma) + s_{12i} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22i} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2}{\sum_{i=1}^N |s_{11i} \cos^2(\gamma) + s_{12i} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22i} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2}, \quad (4)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i |s_{11i} \cos^2(\gamma) + s_{12i} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22i} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2}{\sum_{i=1}^N |s_{11i} \cos^2(\gamma) + s_{12i} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22i} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2}, \quad (5)$$

где $0 \leq \gamma \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq \pi$ – параметры, определяющие вид поляризации, на которой производится наблюдение.

Для построения ППК при помощи системы *Matlab R2015* было проведено моделирование ситуации, когда цель состоит из трех БТ ($N=3$), а. Общий вид интерфейса написанной программы и полученный ППК для блестящих точек, матрицы рассеяния которых выбраны случайным образом, показан на рис. 3. Трехмерный ППК цели, отражающий влияние параметра поляризации φ , показан на рисунке 4. На рисунке 5 представлен ППК цели, учитывающий интенсивность принимаемой радиоволны по оси P .

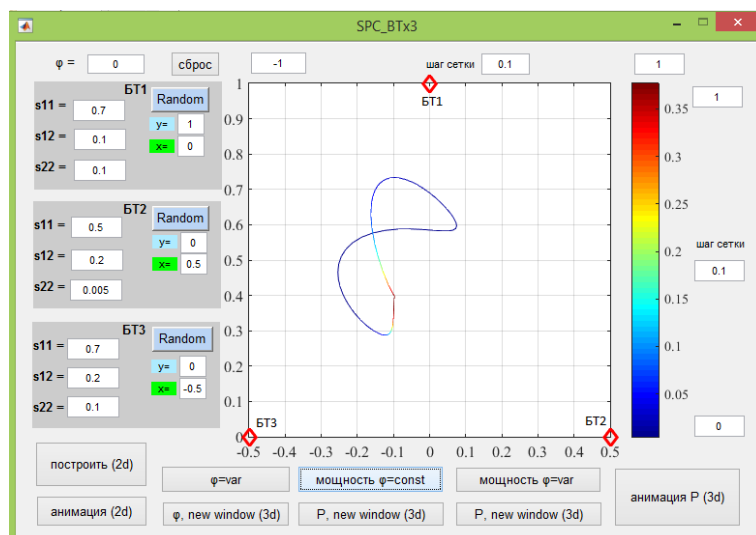


Рис. 3. ППК для цели, имеющей три блестящие точки; S_{11} , S_{12} , S_{22} – элементы матрицы рассеяния соответствующей БТ; x , y – координаты БТ

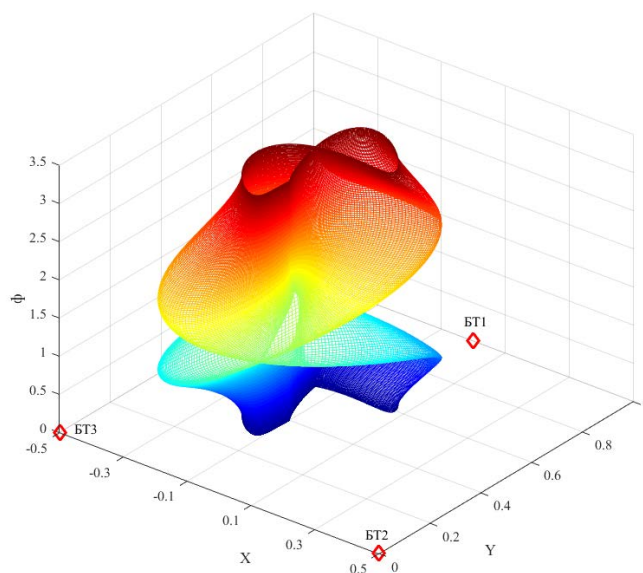


Рис. 4. Трехмерный ППК цели, имеющей три блестящие точки

Перемещение фазового центра требует перенастройки приемной антенны на максимум принимаемого сигнала, а точность такой операции зависит не от ширины диаграммы направленности антенны ($\Delta\theta$), а от остроты её пика. Таким образом, связав размеры ППК с реальными размерами наблюдаемых одиночных целей, можно сопоставить их размеры.

Представленные соотношения и иллюстрации свидетельствуют о наличии принципиальной возможности при некогерентном отражении оценивать геометрические параметры некоторого класса радиолокационных целей, и, соответственно, демонстрируют определенную возможность различать несколько целей даже внутри элемента разрешения.

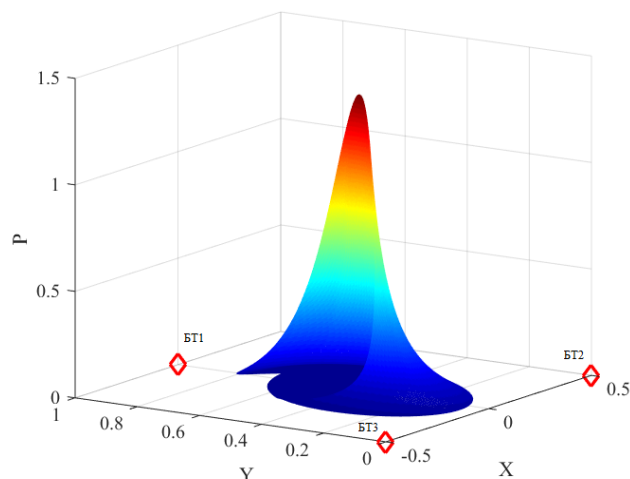


Рис. 5. ППК для цели, имеющей три блестящие точки. P – интенсивность принимаемой радиоволны

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Книга 3. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. “Радиотехника”, 2008. 688 с.
2. В.В. Богородский, Д.Б. Канарейкин, А.И. Козлов. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов. Ленинград “Гидрометеиздат”, 1981. 279 с.
3. А.И. Козлов, А.И. Логвин, Д.В. Колядов, М.В. Качалкин. Оконтуривание радиолокационных целей и возможность оценки их геометрических размеров путем управления поляризационными характеристиками излучаемых электромагнитных волн (случай некогерентного рассеяния) // *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2005. №93. С. 7-12.

ABOUT DETECTION AND RESOLUTION OF LOW-CONTRAST SEDENTARY RADAR TARGETS THAT ARE WITHIN A RESOLUTION ELEMENT

Trushin A.V., Avtin I.V.

It is proposed to use the full polarization mode scanning for the detection of weak-contrast targets against the background of the underlying sheets, as well as the construction of space-loop polarization targets for the case of incoherent reflections. It determines the possibility of recognition to several near-located radar targets on their spatial polarization circuit.

Keywords: radiation pattern, shining points, element of supervision, spatial - polarization contour, noncoherence reflection.

REFERENCES

1. Kozlov A.I., Logvin A.I., Sarychev V.A. *Polyarizaciya radiovoln. Kniga 3. Radiopolyarimetriya slozhnyh po strukture signalov*. “Radiotekhnika”, 2008. 688 s.
2. V.V. Bogorodskij, D.B. Kanarejkin, A.I. Kozlov. *Polyarizaciya rasseyannogo i sobstvennogo radioizlucheniya zemnyh pokrovov*. Leningrad “Gidrometeoizdat”, 1981. 279 s.
3. A.I. Kozlov, A.I. Logvin, D.V. Kolyadov, M.V. Kachalkin. *Construction of a radar targets spatial contour and opportunity of an estimation of their geometrical sizes by management of the polarization characteristics of radiated electromagnetic waves (noncoherence scattering case)* // *Nauchnyj Vestnik MGTU GA*. 2005. №93. С. 7-12.

Сведения об авторах

Автин Игорь Викторович, 1992 г.р., студент шестого курса МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – радиотехника.

Трушин Алексей Владиславович, 1990 г.р., студент шестого курса МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – радиотехника.