

К построению поляризационного образа радиолокационной цели

И.В. Автин, А.В. Трушин

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

Предлагается рассмотреть возможность классификации радиолокационных целей при помощи их поляризационных образов.

It is proposed to consider the possibility of classifying radar targets using their polarization images.

Как известно [1-3], радиолокационная цель описывается совокупностью трёх комплексных чисел, сгруппированных в матрицу рассеяния S :

$$S = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

элементы которой s_{ij} ($i, j = 1, 2$) зависят от выбранного поляризационного базиса (ПБ) в котором производятся измерения (рассмотрение).

Для дальнейшего анализа, в качестве исходного выберем такой ПБ, в котором матрица рассеяния S имеет диагональный вид, диагональные элементы которой (собственные значения матрицы) являются действительными положительными числами λ_1, λ_2 , что, как известно, возможно для любой радиолокационной цели [1-3].

При таком подходе матрицы рассеяния S в ПБ, характеристики которого определяются значениями параметров $(\varphi, \eta, \varphi_{xy}, \gamma)$ по отношению к исходному ПБ находятся при помощи унитарной матрицы Q преобразованием [4]

$$S = Q \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} \tilde{Q}, \quad (2)$$

при этом сама унитарная матрица Q имеет вид [4]

$$Q = e^{i\varphi} \begin{pmatrix} \cos \gamma \cdot e^{i\eta} & \sin \gamma \cdot e^{i\eta} e^{i\varphi_{xy}} \\ -\sin \gamma \cdot e^{-i\eta} e^{-i\varphi_{xy}} & \cos \gamma \cdot e^{-i\eta} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Воспользовавшись формулами (2) и (3), запишем явное выражение для элементов матрицы рассеяния в ПБ, определяемом параметрами $(\varphi, \eta, \varphi_{xy}, \gamma)$:

$$\begin{aligned} s_{11} e^{-2i\varphi} &= e^{2i\eta} e^{2i\varphi_{xy}} (\lambda_{1i} e^{-2i\varphi_{xy}} \cos^2 \gamma + \lambda_{2i} e^{2i\varphi_{xy}} \sin^2 \gamma); \\ s_{12} e^{-2i\varphi} &= (-\lambda_{1i} e^{-2i\varphi_{xy}} + \lambda_{2i} e^{2i\varphi_{xy}}) \sin \gamma \cos \gamma; \\ s_{21} e^{-2i\varphi} &= e^{-2i\eta} e^{-2i\varphi_{xy}} (\lambda_{1i} e^{-2i\varphi_{xy}} \sin^2 \gamma + \lambda_{2i} e^{2i\varphi_{xy}} \cos^2 \gamma), \end{aligned} \quad (4)$$

где параметры φ_{xy} и γ , рассматриваемые как сферические координаты, определяют положение точки на сфере Пуанкаре, соответствующей виду поляризации волны (рис.1).

Изменение вида поляризации облучающей цель волны влечет за собой изменение мощности отраженного сигнала, приходящейся на каждую из ортогональных составляющих отраженной волны.

Для наглядной иллюстрации этой зависимости построим трехмерную фигуру, отображающую изменение мощности в зависимости от вида поляризации облучающей волны, характеризующейся параметрами φ_{xy} и γ . Эту фигуру назовем поляризационным образом цели. Ясно, что различные радиолокационные цели будут иметь различные поляризационные образы, что дает возможность их достаточно наглядного различения.

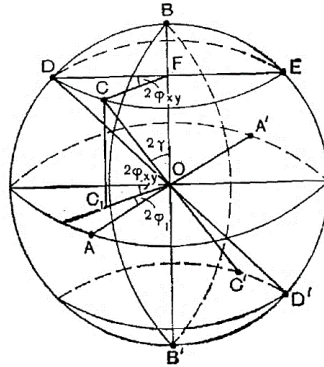


Рис.1. Сфера Пуанкаре

На рисунках 2 – 4 показаны поляризационные образы целей трех типов.

Рисунок 2 демонстрирует вид поляризационного образа (изометрическую проекцию, а также виды спереди, сбоку и слева) для поляризационно вырожденных объектов, к которым относятся объекты, у которых одно из собственных значений их матриц рассеяния равно нулю ($\lambda_1 = 0$). Как видно для таких объектов характерно монотонное возрастание и монотонное уменьшение отраженной мощности вплоть до нулевого значения. Ясно, что близкие к вырожденным целям будут иметь, образно говоря, тонкую «талию».

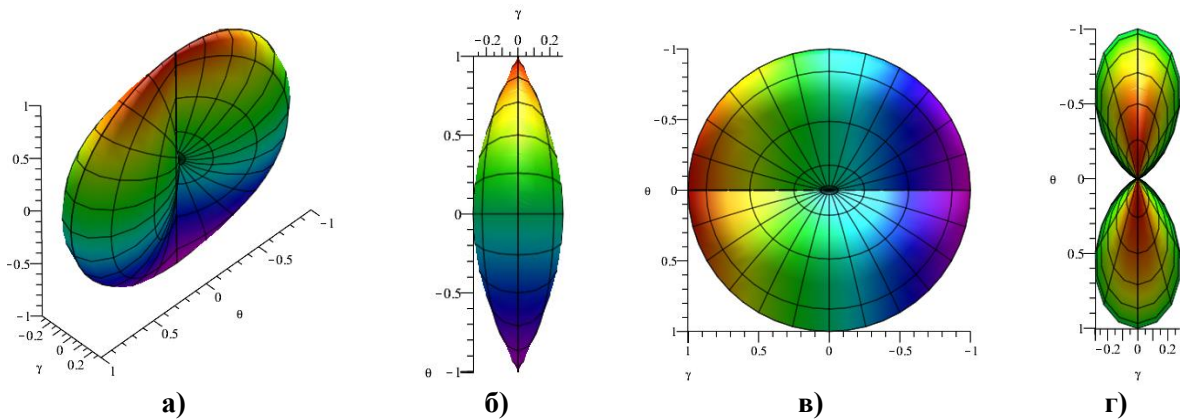
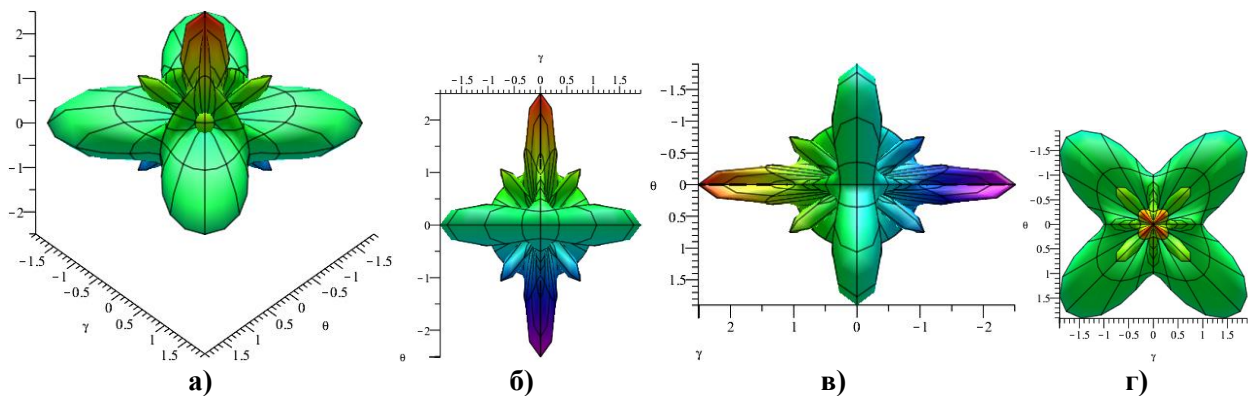


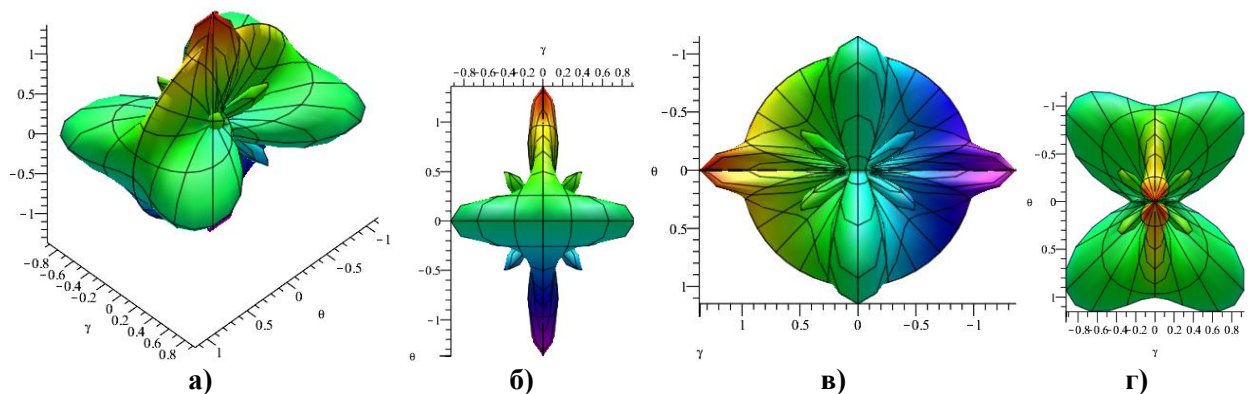
Рис. 2. Поляризационный образ цели при $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 1$:
а) изометрическая проекция, б) вид спереди,
в) вид сбоку, г) вид сверху

Рисунок 3 иллюстрирует такие же проекции поляризационного образа (изометрическую проекцию, виды спереди, сбоку и слева) для другого предельного случая поляризационно изотропного объекта, у которого имеет место равенство собственных значений его матриц рассеяния ($\lambda_1 = \lambda_2$). Поляризационные образы таких целей представляют собой идеально симметричные фигуры. Естественно предположить, что для радиолокационных объектов, близких по своим свойствам к поляризационно изотропным подобная симметрия также будет иметь место.



**Рис. 3. Поляризационный образ цели при $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 1$:
а) изометрическая проекция, б) вид спереди,
в) вид сбоку, г) вид сверху**

Рисунок 4 дает представление о видах поляризационного образа целей общего типа у которых соотношение между собственными значениями матриц рассеяния произвольны. Иллюстрация проводится на примере целей, «максимально далеких» как от поляризационно вырожденных, так и от поляризационно однородных целей ($\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 0.5$). Как видно цели такого типа содержат в себе признаки обеих предельных целей, представленных на рисунках 2 и 3. Здесь есть и достаточно узкая «талиа» и заметная симметрия.



**Рис. 4. Поляризационный образ цели при $\lambda_1 = 0.5, \lambda_2 = 1$:
а) изометрическая проекция, б) вид спереди,
в) вид сбоку, г) вид сверху**

Рассмотрим, какой будет иметь вид поляризационный образ в декартовых координатах, где по ортогональным осям отложены уже ранее упоминавшиеся углы γ и θ , определяющие эллипс поляризации, а по оси Z – квадраты модулей элементов матрицы рассеяния s_{11}, s_{12}, s_{22} , характеризующие соответствующие мощности принимаемых сигналов.

Для получения искомых соотношений представим выражения для элементов матрицы рассеяния в произвольном ПБ через их значения в некотором произвольном ПБ. В этом случае вместо формул (3) будем иметь [4]:

$$\begin{aligned}
 p_{11} &= s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} \cos(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{12} \exp(\Psi_{12}) \sin(2\gamma) \\
 p_{12} &= \left(-s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)}\right) \frac{\sin(2\gamma)}{2} + s_{12} \exp(\Psi_{12}) \cos(2\gamma) \\
 p_{22} &= s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)} \cos(\gamma)^2 - s_{12} \exp(\Psi_{12}) \sin(2\gamma)
 \end{aligned} \quad (5)$$

Результаты расчетов, аналогично проведенным ранее, дают возможность построить искомые поляризационные образы. На рис.5 представлен поляризационный образ поляризационно изотропной цели, у которой ($s_{11}=s_{12}$, а $s_{12} = 0$), ранее показанной на рис. 3.

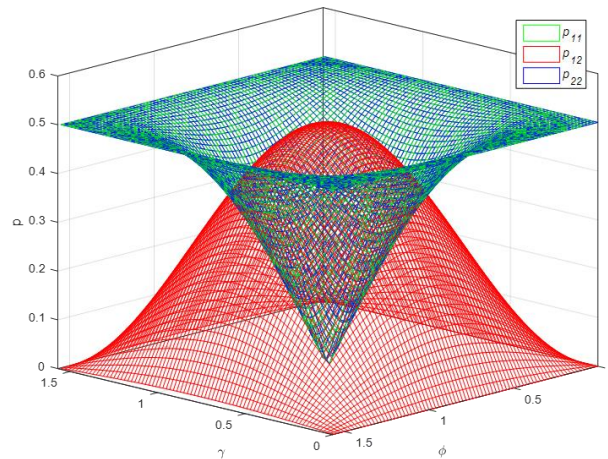


Рис. 5. Поляризационный образ цели в декартовых координатах ($s_{11}=s_{12}$, $s_{12} = 0$)

На рисунке 6 представлен поляризационный образ поляризационной вырожденной цели [зеленая], у которой $s_{11}=s_{12}=s_{22}$.

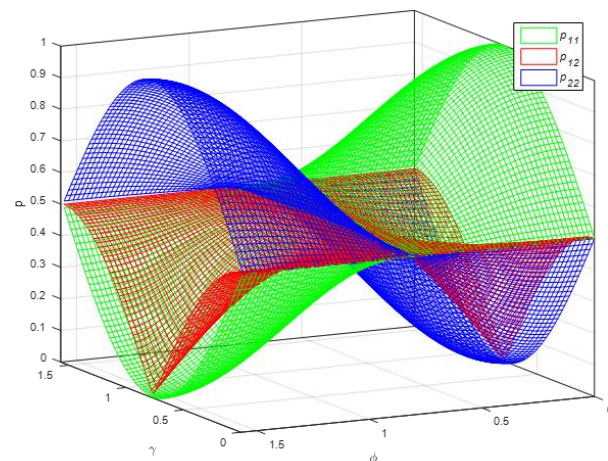
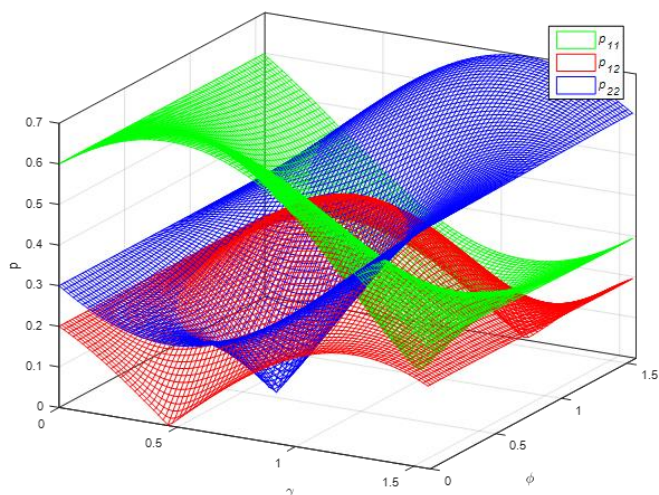


Рис. 6. Поляризационный образ цели в декартовых координатах ($s_{11}=s_{12}=s_{22}$)

Здесь также хорошо видно наличие «тали» у искомого объекта.

Рисунок 7 относится к произвольной цели, матрицы рассеяния которой не имеет особенностей ($s_{11} = 0.6$, $s_{12}=0.2$, $s_{22}=0.3$).



**Рис. 7. Поляризационный образ цели в декартовых координатах
($s_{11}=0.6$, $s_{12}=0.2$, $s_{22}=0.3$)**

Здесь также просматривается, как наличие «талии», так и неярко выраженная симметрия.

Таким образом, предлагаемое представление целей в виде их поляризационных образов дает дополнительные возможности к решению «вечных» задач радиолокации – классификации радиолокационных целей.

Литература

1. Козлов А.И., Логвин А.И, Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. – М.: Радиотехника, 2008.
2. Козлов А.И., Логвин А.И, Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника, 2005.
3. Козлов А.И., Логвин А.И, Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиолокационная поляриметрия. – М.: Радиотехника, 2007.
4. В.В. Богородский, Д.Б. Канарейкин, А.И. Козлов. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов. Ленинград “Гидрометеиздат”, 1981.
5. 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.