



УДК 621.396.96+621.391.821

В. В. Яцышен, А. Ю. Гордеев

Электродинамические методы селекции целей – анализ градиентов

Предложен новый метод анализа рассеянного от объектов электромагнитного поля, основанный на расчете градиентов поля в пространстве углов падения и рассеяния в бистатической схеме радиолокации. Показана высокая чувствительность и эффективность метода при анализе различий реальной цели и искусственного помехосоздающего объекта, потому что топология двумерной картины распределения градиентов рассеяния поля существенно различается для этих двух объектов. Обнаружена существенная поляризационная зависимость градиентов рассеянного поля, что в совокупности с топологическими портретами самого рассеянного поля позволяет создать новый подход к селекции целей. Проведенный анализ позволяет разработать стратегию обнаружения цели на фоне искусственного объекта путем управляемого изменения падающих и рассеянных углов (углов наблюдения) в соответствии с полученными закономерностями в топологических портретах градиентов электромагнитных полей, рассеянных в широком угловом диапазоне от объектов. По представленным данным могут быть разработаны конкретные стратегии поляризационной бистатической радиолокации, основанной на градиентном методе анализа.

Ключевые слова: радианное сечение, бистатическая РЛС, угол рассеяния, поляризованное излучение.

В данной статье продолжено рассмотрение методик распознавания объектов по радиолокационным портретам, полученным при исследовании рассеянного зондирующего поляризованного излучения в бистатической радиолокации. В предыдущей публикации [1] были рассмотрены сечения рассеяния ракеты и уголкового отражателя, получаемые при зондировании их s - и p -поляризованными волнами. На полученных в работе [2] картинах весьма четко было видно различие между исследуемыми объектами, заключающееся в разных уровнях интенсивности рассеянного поляризованного излучения для одних и тех же углов θ и φ (напоминаем, что θ – это угол места, а φ – азимутальный угол). Иначе говоря, совокупность значений интенсивности рассеянного излучения для разных объектов при одних и тех же углах зондирования и приема дает совершенно уникальный портрет для каждого из этих объектов, позволяющий хорошо их различить.

Изменение указанных углов, причем как зондирующих, так и углов рассеяния, для исследуемых радиолокационных объектов происходит за счет их движения, причем чем быстрее движется объект, тем в большем диапазоне изменяются углы облучения и рассеяния в единицу времени и тем быстрее формируется портрет – это простейший случай неподвижных передающей (зондирующей) и принимающей радиолокационной станции

(РЛС). Каждая из этих РЛС может двигаться самостоятельно, обеспечивая дополнительно за счет своего движения изменение соответственно либо углов падения, либо углов рассеяния, либо и тех, и других одновременно. Кроме того, как отмечено в работе [1], такой способ радиолокации позволяет однозначно отличить некоторый помехосоздающий объект (не обязательно уголкового отражателя, как в работе [1], он был дан в качестве примера для демонстрации метода) от реальной цели. Правда, предложенный метод не позволяет идентифицировать такие объекты, как «ангелы», облака и другие, в силу априорной аморфности данных образований, но искусственно созданные помехосоздающие объекты, как было продемонстрировано в работах [1, 2], он позволяет идентифицировать совершенно точно. Кроме того, метод имеет преимущество: позволяет различить объекты самых разных типов, в том числе осуществить селекцию нескольких разных целей типа «стелс», имеющих близкие по значению малые поперечные сечения рассеяния при 180° -отражении (0° -рассеянии).

Однако у предложенной методики существуют и определенные недостатки. Основной недостаток заключается в том, что для точной идентификации априори неизвестного объекта следует использовать зондирование минимум двумя типами импульсов соответственно с s - и p -поляризацией, а также в достаточно широком диапазоне углов. Конечно, изменение углов зондирования и приема в наиболее



распространенном случае стационарных РЛС создается за счет движения самого идентифицируемого объекта, как было сказано выше, однако с учетом современных управляемых ракет, причем не только крылатых, но и тактических (ТР), оперативно-тактических (ОТР), а также боеголовок баллистических ракет (БР), которые могут летать по весьма сложным траекториям, в том числе и с огибанием рельефа местности, время зондирования подобного объекта существенно сокращается.

Построение портрета объекта по фактическим значениям интенсивности рассеянного сигнала помимо достаточного числа точек (в данном случае углов зондирования и рассеяния) требует обработки достаточно больших изображений, что также повышает время идентификации. Важно отметить, что в случае ограниченной выборки данных о рассеянном излучении для совершенно разных объектов могут быть примерно одинаковые значения интенсивности рассеянного излучения, причем не за счет схожей формы, а за счет, например, разных размеров и разного (причем соответствующим образом пропорционального) расстояния до РЛС, когда несколько точек могут слиться для более дальней цели в одну, разных размеров и материала, покрывающего объекты, расстояния и материала. Для идентификации целей типа «стелс», имеющих слабоотражающие покрытия и соответствующую форму, движущихся по сложным низковысотным траекториям, следует использовать методику облучения – приема, позволяющую идентифицировать объект по весьма малой выборке входных данных рассеянного сигнала, при этом не привязываясь к конкретным значениям интенсивности рассеянного сигнала. Такую возможность дает метод, подразумевающий рассмотрение градиентов, т. е. относительных изменений интенсивности рассеянного излучения, при экстремально малых изменениях угла зондирования и угла наблюдения рассеянного излучения.

Как будет показано ниже, портрет, формируемый градиентами рассеянного определенным объектом излучения, столь же уникален, как и портрет сечения рассеяния этого объекта, полученный на основе анализа интен-

сивностей рассеянного излучения при тех же углах зондирования и рассеяния.

Градиентный подход позволяет в определенной степени абстрагироваться от конкретных значений интенсивности и достаточно точно идентифицировать объект по весьма небольшому числу точек портрета сечения рассеяния, т. е. за меньшее время зондирования, чем в рассмотренном ранее случае.

Теперь перейдем непосредственно к описанию предлагаемого подхода и рассмотрению полученных результатов.

В работе [2] описана процедура получения интегрального уравнения для поверхностного тока:

$$\vec{n} \times \vec{E}_i(\vec{r})|_S = \frac{i\omega\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\exp(ikR)\vec{n} \times \vec{j}_S(\vec{r}')}{R} dS' - \\ + \frac{i}{4\pi\epsilon_0\omega} \oint_S \vec{n} \times \vec{\nabla}' \frac{\exp(ikR)\vec{\nabla}' \cdot \vec{j}_S(\vec{r}')}{R} dS'$$

Уравнение решается методом моментов. После получения его численного решения вычисляется созданный этим поверхностным током векторный потенциал:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \oint_S \vec{j}_S(\vec{r}') \frac{\exp(ikR)}{R} dS'$$

Вектора поля находят с помощью потенциалов электромагнитного поля:

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad}\varphi = i\omega\vec{A} - \text{grad}\varphi; \\ \vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot}\vec{A}.$$

С учетом лоренцевской калибровки потенциалов электромагнитного поля

$$\text{div}\vec{A} + \epsilon\mu \frac{\partial\varphi}{\partial t} = 0$$

можно выразить скалярный потенциал через векторный

$$\varphi = \frac{1}{i\omega\epsilon\mu} \text{div}\vec{A}.$$

Тогда вектор поля можно выразить только через векторный потенциал

$$\vec{E} = -i\omega\vec{A} - \text{grad}\varphi = \frac{i}{\omega\epsilon\mu} \left[k^2\vec{A} + \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{A}) \right].$$



Подставив в эту формулу выражение для векторного потенциала, получим окончательную формулу для рассеянного поля:

$$\vec{E} = \frac{i}{4\pi\omega\epsilon} \oint_S \left\{ \vec{\nabla} \left(\vec{\nabla} \vec{j}_S(\vec{r}') \frac{\exp(ikR)}{R} \right) + k^2 \vec{j}_S(\vec{r}') \frac{\exp(ikR)}{R} \right\} dS'$$

В интересующей нас дальней зоне достаточно знать только вектор \vec{E}_S , а вектор \vec{H}_S можно найти, исходя из того, что электромагнитное поле в дальней зоне является плоской волной:

$$\vec{H}_S = \frac{1}{Z} \frac{\vec{R}}{R} \times \vec{E}_S.$$

Здесь Z – импеданс среды (в данном случае – воздуха), в которой распространяется волна.

По рассчитанному полю уже вычисляют его градиенты вдоль осей координат. Расчет проведен с помощью функций MATLAB. В данном случае градиент вдоль оси x описывает быстроту изменения полей s - и p -поляризации вдоль оси угла падения. Градиент вдоль оси y – соответствующие изменения вдоль оси угла отражения. Картины градиентов, рассмотренные в настоящей работе, показывают, насколько сильно меняются сами поля при изменении углов падающего излучения и рассеяния. Для бистатической радиолокации такие картины дают достаточно полную информацию. Следует особо подчеркнуть, что картина градиентов дополняет соответствующую картину самих полей – топологических портретов и в совокупности с ними дает очень чувствительный инструмент для идентификации цели и отличия ее от ложного искусственного объекта.

Геометрия бистатической радиолокации и анализируемые объекты в настоящей работе такие же, как и в предшествующей [1].

Основное внимание уделим анализу топологического портрета градиентов рассеянного от объекта электромагнитного поля. На основании полученной зависимости радиационного сечения рассеяния (RCS) от углов φ_r (угол рассеяния), φ_j (угол падения) [1] было построено векторное поле градиентов в пло-

скости углов φ_r , φ_j . Эти градиенты характеризуют скорость и направление наибольшего изменения сечения рассеяния при соответствующих фиксированных углах φ_j и φ_r . Однако для практического анализа удобнее использовать скалярные поля, нежели векторные, поэтому вместо построенного векторного поля градиентов рассмотрим два скалярных поля, представляющих собой проекции градиентов на осях X и Y . Эти величины характеризуют скорость изменения сечения рассеяния вдоль соответственно координаты x (угол падения φ_j) и y (угол рассеяния φ_r).

Имея картину градиентов в пространстве углов падения и рассеяния, можно получить топологический портрет эффективного сечения рассеяния при движении в любом заданном направлении в этой плоскости, выбирая наиболее эффективную стратегию идентификации объекта рассеяния. Другими словами, можно классифицировать объект на основании анализа характера изменения проекций градиента его RCS в определенных областях плоскости (φ_j , φ_r) даже при в небольшом диапазоне изменений данных углов при условии существенных значений этих проекций.

На рис. 1–6 показаны зависимость эффективного сечения рассеяния углового отражателя и топологическая картина распределения градиентов в бистатическом варианте локации от углов падающего φ_j и рассеянного φ_r излучения для случаев s - и p -поляризации. Аналогично на рис. 7–12 показаны зависимость эффективного сечения рассеяния баллистической ракеты и топологическая картина распределения градиентов в бистатическом варианте локации от углов падающего излучения φ_j и рассеянного – φ_r для случаев s - и p -поляризации.

Из представленных топологических портретов градиентов радиационного сечения рассеяния ясно видна высокая чувствительность предлагаемого метода для селекции целей. Действительно, рис. 2 демонстрирует, что наиболее сильное изменение RCS при s -поляризации зондирующей волны вдоль оси X (т. е. при изменении падающего угла φ_j) наблюдается в окрестности точек плоскости (φ_j , φ_r) с координатами $(10^\circ, 40^\circ)$; $(100^\circ, 130^\circ)$; $(110^\circ, 45^\circ)$. Здесь градиент

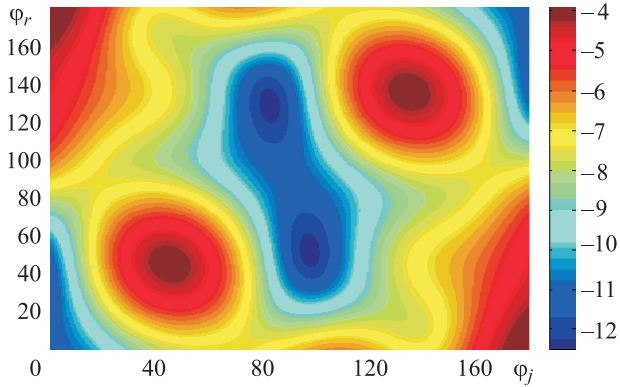


Рис. 1. Радиационное сечение рассеяния R углового отражателя. Бистатистическая геометрия, s -поляризация. Зависимость от углов ϕ_j, ϕ_r , град. Двумерная картина

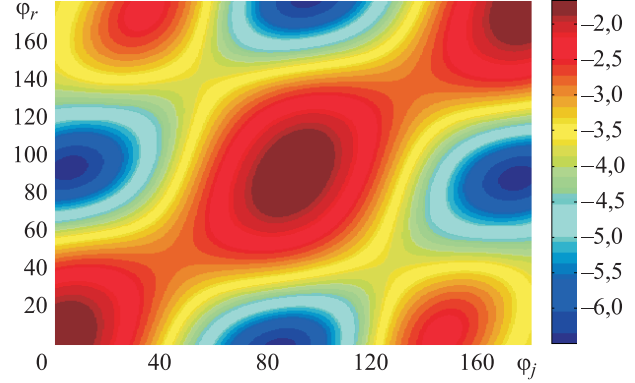


Рис. 4. Радиационное сечение рассеяния R углового отражателя. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов ϕ_j, ϕ_r , град

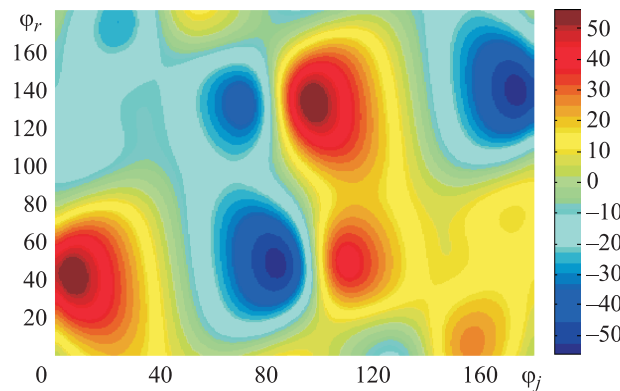


Рис. 2. Градиент по оси X радиационного сечения рассеяния $dR/d\phi_j$ углового отражателя. Бистатистическая геометрия, s -поляризация. Зависимость от углов ϕ_j, ϕ_r , град

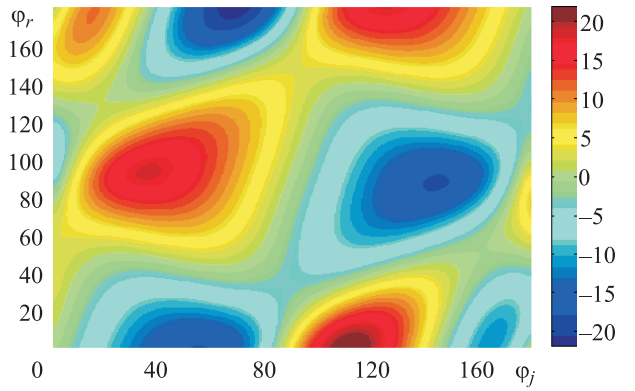


Рис. 5. Градиент по оси X радиационного сечения рассеяния $dR/d\phi_j$ углового отражателя. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов ϕ_j, ϕ_r , град

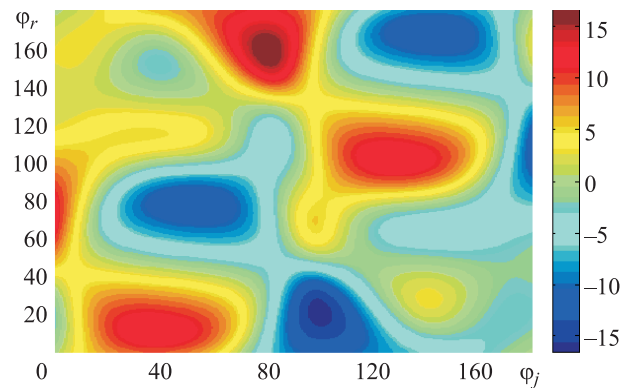


Рис. 3. Градиент по оси Y радиационного сечения рассеяния $dR/d\phi_r$ углового отражателя. Бистатистическая геометрия, s -поляризация. Зависимость от углов ϕ_j, ϕ_r , град

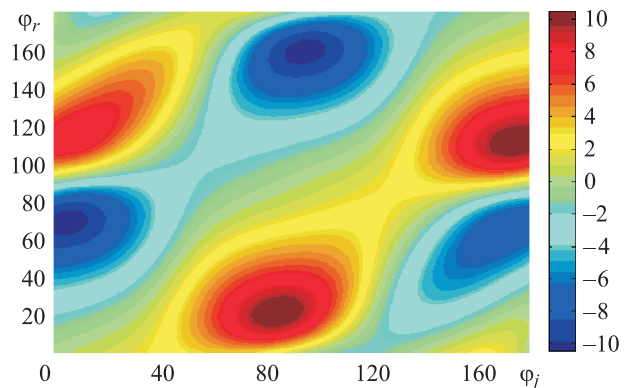


Рис. 6. Градиент по оси Y радиационного сечения рассеяния $dR/d\phi_r$ углового отражателя. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов ϕ_j, ϕ_r , град

по X положителен и имеет значение приблизительно $40 \dots 50$ дБ/град. Наибольшие отрицательные значения градиента, т. е. наибольшие изменения RCS в сторону уменьшения, наблюдаются в окрестности точек $(90^\circ, 45^\circ)$ и $(175^\circ, 145^\circ)$ и составляют -50 дБ/град. Менее сильный спад можно наблюдать в окрестности точки $(70^\circ, 130^\circ)$ – порядка -40 дБ/град.

Следует подчеркнуть, что интерес с точки зрения изменения величины RCS представляют как резкое увеличение его значения, так и резкое уменьшение. Такие области позволяют формировать стратегии анализа картины рассеяния в наиболее контрастных областях плоскости (ϕ_j, ϕ_r) . Иначе говоря, получив даже неполную картину резких изменений RCS,

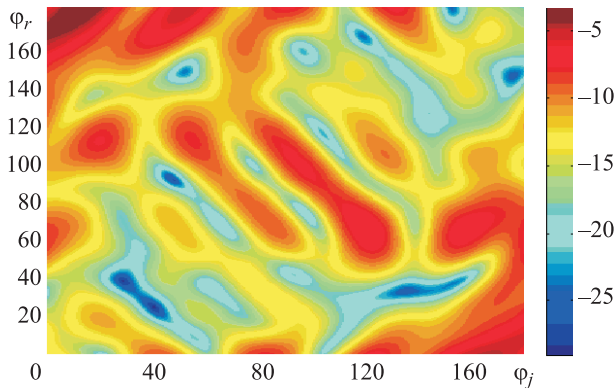


Рис. 7. Радиационное сечение рассеяния R ракеты. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов φ_j, φ_r , град

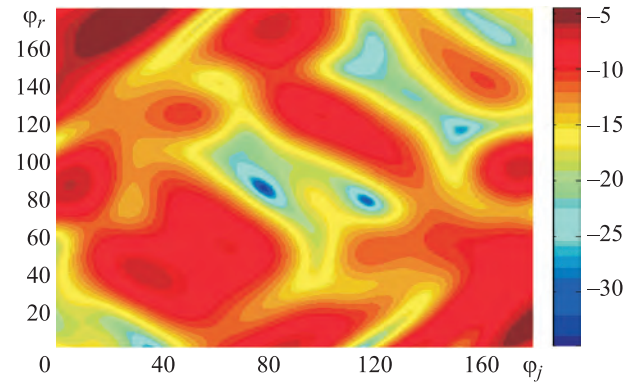


Рис. 10. Радиационное сечение рассеяния R ракеты. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов φ_j, φ_r , град

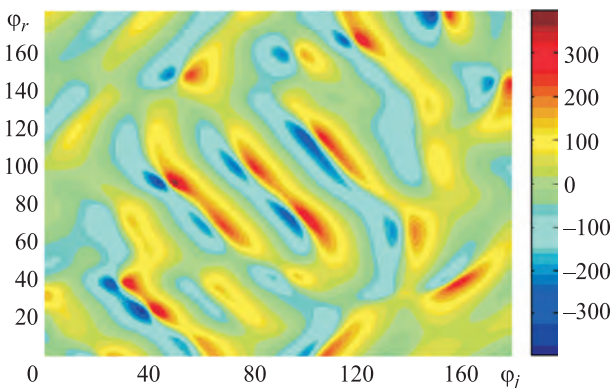


Рис. 8. Градиент по оси X радиационного сечения рассеяния $dR/d\varphi_j$ ракеты. Бистатистическая геометрия, s -поляризация. Зависимость от углов φ_j, φ_r , град

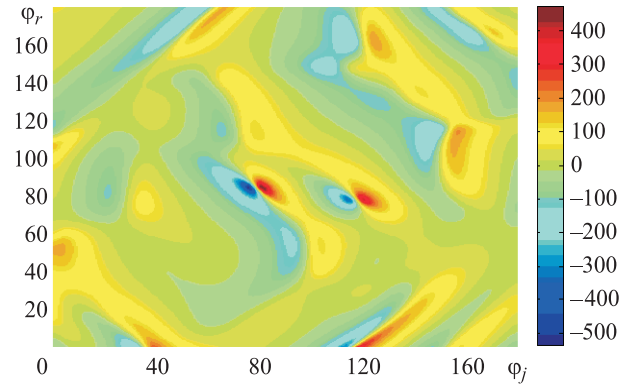


Рис. 11. Градиент по оси X радиационного сечения рассеяния $dR/d\varphi_j$ ракеты. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов φ_j, φ_r , град

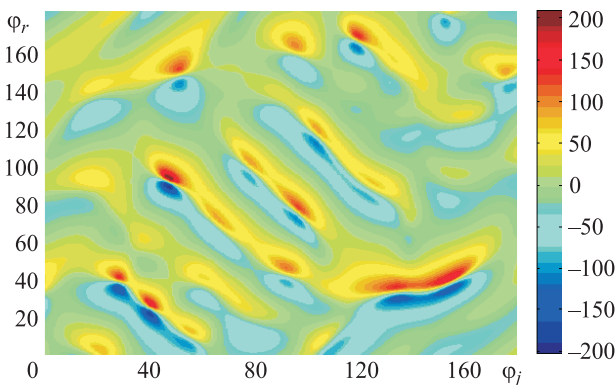


Рис. 9. Градиент по оси Y радиационного сечения рассеяния $dR/d\varphi_r$ ракеты. Бистатистическая геометрия, s -поляризация. Зависимость от углов φ_j, φ_r , град

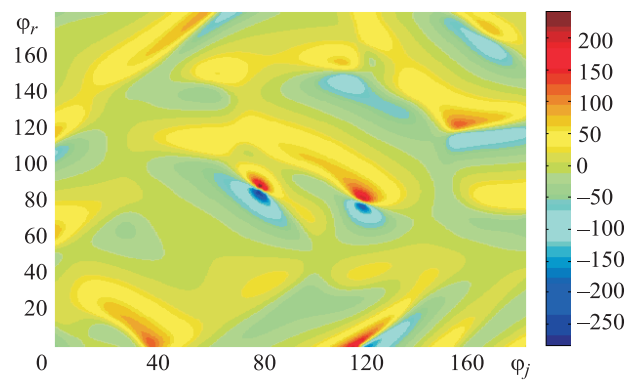


Рис. 12. Градиент по оси Y радиационного сечения рассеяния $dR/d\varphi_r$ ракеты. Бистатистическая геометрия, p -поляризация. Зависимость от углов φ_j, φ_r , град

с учетом четко определенных угловых координат цели (четко определенных значений (φ_j, φ_r)) можно произвести корреляцию с набором эталонных портретов градиентов RCS для различных объектов, тем самым довольно точно распознать обнаруженную цель.

Картина градиентов для баллистической ракеты (см. рис. 7–12) существенно отличается

по топологии от случая уголкового отражателя. Для наглядности приведены сводные таблицы, содержащие некоторые характеристики наиболее характерных областей топологических портретов градиентов радиационного сечения рассеяния для обоих объектов. Для экономии места в таблицах для каждого рисунка выделено лишь по одному максимуму и минимуму.

Таблица 1

Области максимальных по модулю градиентов радиационного сечения рассеяния для уголкового отражателя

Рисунок	Поляризация	Градиент по оси	Знак градиента	Координата φ_j , град	Координата φ_r , град	Значение градиента в экстремуме, дБ/град
2	<i>s</i>	<i>X</i>	+	10	40	+50
			-	90	45	-50
3	<i>s</i>	<i>Y</i>	+	80	160	+12
			-	100	20	-15
5	<i>p</i>	<i>X</i>	+	30	90	+14
			-	140	85	-15
6	<i>p</i>	<i>Y</i>	+	90	20	+10
			-	10	70	-10

Таблица 2

Области максимальных по модулю градиентов радиационного сечения рассеяния для ракеты

Рисунок	Поляризация	Градиент по оси	Знак градиента	Координата φ_j , град	Координата φ_r , град	Значение градиента в экстремуме, дБ/град
8	<i>s</i>	<i>X</i>	+	35	40	+300
			-	50	90	-300
9	<i>s</i> <i>s</i>	<i>Y</i>	+	50	92	+200
			-	130	160	-200
11	<i>p</i> <i>p</i>	<i>X</i>	+	130	80	+350
			-	80	81	-400
12	<i>p</i>	<i>Y</i>	+	82	82	+200
			-	120	70	-250

Для уголкового отражателя данные помещены в табл. 1, а для баллистической ракеты – в табл. 2.

Стоит сказать несколько слов о процедуре нахождения углов φ_j и φ_r . Для их нахождения необходимо найти так называемый бистатический угол β , а точнее его проекцию на земную поверхность β_{xy} (нужен плоский азимутальный угол, поскольку рассматриваемые выше углы падения и рассеяния представляют собой плоские азимутальные углы) в наиболее распространенной геометрии для случая неподвижных зондирующей и приемной РЛС (рис. 13).

На рис. 13 через L обозначается расстояние между зондирующей и приемной РЛС, через r_1 и r_2 – соответственно расстояния между зондирующей РЛС и объектом и между приемной РЛС и объектом, θ_R – угол места, под которым наблюдается цель в приемной РЛС, если точнее – угол между нормалью к поверхности раскрыва приемной антенны в ее центре и вертикальной осью Z в точке нахождения РЛС.

В работах [3–5] показано, что все необходимые величины r_1 , r_2 и β могут быть легко

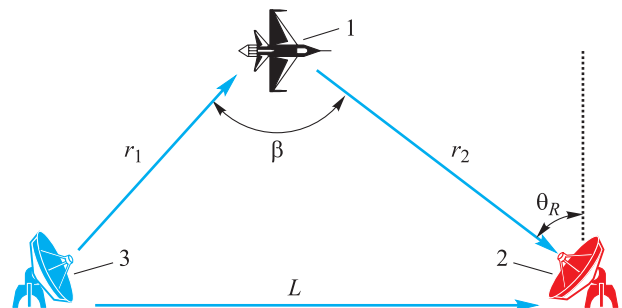


Рис. 13. Классическая геометрия бистатической радиолокационной системы:

1 – цель; 2 – приемник; 3 – передатчик

найжены, если известны θ_R (или θ_T – аналогичный угол места для зондирующей РЛС), а также время запаздывания Δt между прямым сигналом от зондирующей РЛС и эхо-сигналом от цели.

Еще один вариант нахождения углов φ_j и φ_r – это использование какой-либо из составляющих бистатическую систему РЛС в моностатическом режиме с определением угловых координат цели, либо для увеличения точности использования каждой из РЛС в моностатическом режиме, либо поочередно и т. д.



С увеличением числа РЛС (как зондирующих, так и приемных) в мультистатических радиолокационных системах повышается точность нахождения углов φ_j и φ_r в каждой бистатической паре, а также число получаемых одновременно параметров движущейся цели [6–9] и в том числе число одновременно получаемых точек RCS наблюдаемого объекта, а следовательно, и его градиентных портретов. При использовании в современных мультистатических радарных сетевых системах активных фазированных антенных решеток с очень узкими диаграммами направленности приемных и передающих антенн в задаваемых направлениях точность определения φ_j и φ_r резко увеличится, а с учетом возможности электронного безынерционного сканирования также резко возрастет скорость получения данных сечения рассеяния RCS цели.

Необходимо также сказать несколько слов о режиме работы бистатической/мультистатической РЛС в условиях применения предлагаемого метода исследования сечения рассеяния объекта при зондировании его двумя типами плоскополяризованных волн. В связи с тем, что передающая и приемная антенны существенно разнесены в пространстве, а также с тем, что основную информацию в рассматриваемом режиме несут именно физические характеристики принимаемых электромагнитных волн (ЭМВ), в частности интенсивность, зондирующая РЛС должна работать в режиме непрерывного излучения/подсвета цели, а в действительности – в режиме следящей РЛС подсвета.

Существует еще одно обстоятельство, которое необходимо учитывать при такого рода работе бистатической РЛС. Как уже было сказано в начале статьи, для сколько-нибудь приемлемой идентификации современных целей, движущихся с высокими скоростями, выполненных по «стелс»-технологии, да еще и в режиме огибания рельефа местности, когда возможности для зондирования таких объектов резко сокращаются и соответственно резко уменьшается число точек даже на портрете градиентов сечения рассеяния, необходимо иметь как можно больше изменяющихся во времени входных данных в приемной РЛС,

причем эти данные должны обладать как можно большей временной и пространственной непрерывностью поступления. При использовании импульсных излучающих РЛС такие требования невозможно удовлетворить в принципе. Что касается конкретного вида непрерывного зондирующего сигнала, то данный вопрос вплотную пока не рассматривался, однако для того, чтобы приемная РЛС могла получать информацию не только из физических параметров рассеянного излучения, но и из радиотехнических, возможно применение, например, пилообразного ЛЧМ-модулированного сигнала, шумоподобных сигналов на основе кодов Баркера или m -последовательности и др.

В схеме бистатической и мультистатической радиолокации крайне важна полная синхронизация зондирующего и опорных сигналов – только в этом случае, как будет показано в отдельной статье, можно получить чрезвычайно информативную динамическую картину рассеянного поля во многих разделенных точках приема сигнала, которая позволит идентифицировать объект рассеяния с высокой точностью. Передающая РЛС должна передавать полностью синхронизированный с зондирующим прямой опорный непрерывный сигнал такого же, как и зондирующий, вида на приемную (или приемные) РЛС, для извлечения информации о скоростных и дальностно-угловых параметрах цели из разницы прямого и рассеянного зондирующего сигналов. При этом также необходимо передавать на приемную РЛС по отдельному радиоканалу параметры ориентации излучающей антенны в пространстве или параметры диаграммы направленности в случае антенны с ФАР. Приемная антенна предполагается неподвижной.

Подводя итог, можно сделать однозначный вывод, что с учетом использования новейших технологий в бистатических или мультистатических радарных системах, а также используя зондирование с разными типами поляризации и градиентный подход к определению наиболее характерных областей радиолокационного портрета объекта, можно получить беспрецедентные возможности по идентификации этого объекта.



Список литературы

1. Яцышен В. В., Гордеев А. Ю. Электродинамические методы селекции целей // Вестник Концерта ПВО «Алмаз-Антей». 2016. № 1. С. 61–68
2. Гордеев А. Ю., Яцышен В. В. Перспективные методы повышения эффективности подавления пассивных помех системами селекции движущихся целей // Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. Т. 20. № 3. С. 40–52.
3. Willis N. J. Bistatic Radar. SciTech Publishing Inc., 2005. 337 p.
4. Griffiths H. D. From a different perspective: principles, practice and potential of bistatic radar // IEEE Proc. International Conference Radar-2003. Australia, Adelaide. Sept. 3–5, 2003. Pp. 1–7.
5. Skolnik M. I. Radar Handbook. McGraw-Hill Professional, 2008. 1351 p.
6. Griffiths H. Multistatic, MIMO and networked radar: The future of radar sensors? // European Radar Conference (EuRAD). France, Paris, 2010. Pp. 81–84.
7. Keuk G. van, Blackman S. S. On phased-array radar tracking and parameter control // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1993. V. 29. No. 1. Pp. 186–194.
8. User Evaluations of Adaptive Scanning Patterns in the CASA Spring Experiment 2007 / B. Philips et al. // IGARSS2008. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Boston, Massachusetts, USA, 2008. V. 5. Pp. 156–159.
9. Phased array radar resource management: a comparison of scheduling algorithms / S. L. C. Miranda et al. // IEEE Radar Conference. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2004. Pp. 79–84.

Поступила 09.06.16

Яцышен Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения ФГАУ ВПО «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград. Область научных интересов: исследование влияния эффектов неоднородности, нелинейности и пространственной дисперсии на электромагнитные свойства сред, исследование распространения и рассеяния электромагнитных волн в нелинейных средах, нелинейная радиолокация, математическое моделирование процессов в физике, методы квантово-механического расчета электромагнитных свойств материальных сред.

Гордеев Алексей Юрьевич – аспирант кафедры теоретической радиотехники и радиофизики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники», г. Москва. Область научных интересов: программируемые сигнальные процессоры, радиофизика, радиотехнические системы, радиолокация, цифровая электроника, параллельные вычисления, цифровая обработка сигналов, системы искусственного интеллекта, численные методы и математическое моделирование.

Electrodynamic target selection techniques – gradient analysis

We offer a new method for analyzing the electromagnetic field scattered from the objects. The method is based on calculating the field gradients in the incidence and scattering space in a bistatic radar scheme. The analysis of the differences between the real target and artificial jam-producing object showed the high sensitivity and efficiency of the method used, because the topology of the two-dimensional field scattering gradients pattern varies significantly for these two objects. We detected substantial polarization dependence of the scattered field gradients, which together with the topological portraits of the scattered field itself make it possible to find a new approach to the target discrimination. The analysis we did allows us to develop a target detection strategy for an artificial object by the controlled change of the incident and scattered angles (viewing angles) in accordance with the laws obtained in topological portraits of the gradients of electromagnetic fields scattered over a wide angular range from the objects. Findings of the research could be helpful in developing specific strategies of polarization bistatic radiolocation based on the gradient analysis method.

Keywords: radian cutset, bistatic radar station, scattering angle, polarized radiation.

Yatsyshen Valeriy Vasilevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Forensic Expertise and Physical Materials Science, Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education “Volgograd State University”, Volgograd. Science research interests: studying effects of inhomogeneity, nonlinearity and spatial dispersion phenomena on electromagnetic properties of media, electromagnetic wave propagation and dissipation in non-linear media, non-linear radiolocation, mathematical modelling of physical processes, and quantum mechanics methods of computing electromagnetic properties of physical media.

Gordeev Aleksey Yuryevich – postgraduate student of the Department of Theoretical Radio Engineering and Radiophysics, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Moscow Technological University”, Moscow. Science research interests: programmable signal processors, radiophysics, radio engineering systems, radiolocation, digital electronics, parallel computing, digital signal processing, artificial intelligence systems, numerical methods and mathematical modelling.