

ПОИСК И ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ

Брызгалов А.П., к.т.н., доцент, начальник лаборатории ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», e-mail: a_bryzgalov@gosniias.ru;

Ковальчук И.В., инженер 2-й категории ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», e-mail: ilya0406@ya.ru;

Хныкин А.В., инженер 1-й категории ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», e-mail: alexis_x@mail.ru.

SEARCH AND DETECTION OF OBJECTS ON TERRAIN RADAR IMAGES FOR THEIR FURTHER RECOGNITION

Brizgalov A.P., Kovalchuk I.V., Hnikin A.V.

An algorithm of search and detection on terrain radar image (RI) of candidate for the desired object with the purpose of its further recognition is considered. The algorithm is based on calculation and comparison with threshold of sample kurtosis and skewness coefficients of RI brightness distribution inside the detection window. The algorithm analysis and its parameter optimization are developed for Rayleigh distribution of the background. Examples of the algorithm application to RIs obtained in real flights are given.

Key words: search, detection, radar image, sample coefficients of kurtosis and skewness, algorithm parameters, optimization, real flights.

Ключевые слова: поиск, обнаружение, радиолокационное изображение, выборочные коэффициенты эксцесса и асимметрии, параметры алгоритма, оптимизация, реальные полеты.

Введение

Современные радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) формируют во время полета в реальном времени мощный поток непрерывной информации в виде радиолокационных изображений (РЛИ) лоцируемой местности. Например, при формировании в режиме бокового обзора РЛИ в виде полосы местности, лоцируемой в полете, число элементов (пикселей) РЛИ по дальности (в строке) может достигать порядка 30...60 тысяч и более. При этом темп формирования строк РЛИ может составлять несколько кГц, что определяется линейным разрешением по азимуту и скоростью полета носителя РСА. По результатам лоцирования формируется детальное РЛИ, характеризующееся максимальным (при выбранных параметрах РСА и синтезирования) разрешением с применением алгоритмов подавления помех, самофокусировки и пр. Однако анализ получаемого РЛИ осуществляется в настоящее время, как правило, операторами, что требует визуализации этого потока, а это ограничено, в том числе, возможностями дисплея (порядка 1000*1000 пикселей). Поэтому для просмотра всей области лоцирования формируют «загрубленное» (с уменьшенным разрешением) обзорное РЛИ, которое и выводится на дисплей. По этим РЛИ оператор должен провести начальный поиск и обнаружение объектов – кандидатов на интересующие его объекты, а затем по вызываемому на дисплей соответствующему фрагменту

Рассматривается алгоритм поиска и обнаружения на радиолокационном изображении (РЛИ) местности кандидата на искомый объект для его последующего распознавания. Алгоритм основан на вычислении и сравнении с порогом выборочных коэффициентов эксцесса или асимметрии распределения яркости РЛИ в окне обнаружения. Проводится анализ алгоритма и оптимизация выбора его параметров при релеевском распределении фона. Приводятся примеры применения алгоритма на РЛИ, полученных при реальных полетах.

детального РЛИ провести распознавание этих кандидатов.

Очевидно, что оператору уже на первом этапе поиска физически невозможно охватить все формируемое РЛИ (всю зону поиска), особенно детальное РЛИ, хотя оно наиболее информативное. Поэтому разрабатываются различные методы и алгоритмы автоматизации поиска, обнаружения и распознавания искомых объектов и, в частности, способы поиска кандидатов на искомый объект как первого этапа их обнаружения и распознавания.

Общая теория синтеза оптимальных алгоритмов поиска, обнаружения и распознавания протяженных объектов с использованием РЛИ не разработана. Не отработаны сами критерии оптимизации и оценки эффективности предложенных алгоритмов. При поиске кандидатов можно использовать широко применяемый при обнаружении точечных объектов критерий Неймана – Пирсона. Он сводится к получению минимума пропуска искомых объектов при заданном допустимом числе ложных обнаружений (тревог). На практике это ограничение по числу ложных тревог связано с необходимостью оперативно решать последующие задачи дообнаружения и распознавания объектов в реальном (квазиреальном) масштабе времени с учетом возможностей оператора или

вычислительной системы, осуществляющих это дообнаружение и распознавание.

В данной работе рассматривается технология, при которой на первом этапе производится разбиение всей зоны поиска на неперекрывающиеся квадраты обнаружения («замощение» зоны поиска) и поиск (обнаружение) квадратов, в которых возможно нахождение объектов-кандидатов, при допустимом уровне ложных тревог и при минимизации вероятности пропуска объектов поиска. На втором этапе в выделенных на первом этапе квадратах обнаружения осуществляется дообнаружение (подтверждение наличия в этих квадратах кандидатов, а также уточнение их расположения) и фильтрация ложных обнаружений по некоторому набору признаков. Далее проводится распознавание обнаруженных объектов, причем в некоторых ситуациях второй этап дообнаружения необязателен.

В настоящее время при обнаружении, как правило, используют способы, основанные на превышении яркости РЛИ в одном или в нескольких пикселях некоторого порога. Для протяженных объектов рассматривается превышение порога одновременно в нескольких элементах (пикселях), например по критерию « k из m » (см., например, [1], [2]).

Вместе с тем, для поиска и обнаружения объектов на фоне местности могут быть использованы статистические методы, основанные на выборочных моментах [3]. Анализ статистических характеристик распределения яркости РЛИ, таких как коэффициенты асимметрии и эксцесса, для естественного ландшафта – лесов, лугов, оврагов, лесных посадок, рек и пр. – и для РЛИ той же местности при наличии на ней объектов типа машин, самолетов, строений и т.д. показывает, что эти характеристики значительно разнятся, что может быть использовано при поиске и обнаружении этих объектов. Возможности такого подхода, основанного на оценке выборочных коэффициентов, оценка его эффективности и оптимизация параметров алгоритма могут быть рассмотрены при проведении статистического анализа результатов работы предлагаемых алгоритмов.

Исходя из литературных источников (см., например, [4]), распределение яркости РЛИ местности, в общем случае, может иметь различный вид. Однако в тех же источниках утверждается, а анализ статистических характеристик реальных РЛИ также показывает, что распределение яркости РЛИ естественных ландшафтов во многих случаях близко к распределению Релея. Это может быть использовано для начального статистического анализа и взаимного сравнения характеристик различных способов поиска и обнаружения кандидатов, в том числе, и методами математического моделирования. Получаемые при этом результаты должны быть проанализированы и скорректированы, исходя из РЛИ, полученных при реальной работе РСА.

Статистический анализ

В целях статистического анализа результатов работы алгоритмов поиска и обнаружения при оценке их эффективности и при выборе их параметров проведено

статистическое моделирование с использованием предположения о релеевском распределении яркости РЛИ фона (местности). Рассматривается алгоритм поиска и начального обнаружения объекта-кандидата на искомый объект, заключающийся в нахождении выборочных коэффициентов в каждом квадрате обнаружения. По превышению коэффициентами некоторого порога принимается решение о наличии в этом квадрате объекта [3].

Оценка выборочных коэффициентов проводится по конкретной реализации массива $N \times N$ случайных величин x , плотность вероятности которых соответствует релеевскому закону

$$P(x, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где x – некоторая константа, а N соответствует размеру стороны квадрата обнаружения. При этом выборочный коэффициент асимметрии определяется выражением (см., например, [5]):

$$k_{\text{выб}} = \frac{M_{3\text{выб}}}{\sqrt{M_{2\text{выб}}^3}}$$

а выборочный коэффициент эксцесса

$$\gamma_{\text{выб}} = \frac{M_{4\text{выб}}}{M_{2\text{выб}}^2} - 3$$

где центральные выборочные моменты $M_{2\text{выб}}$, $M_{3\text{выб}}$ и

$M_{4\text{выб}}$ определяются как:

$$M_{2\text{выб}} = m_{2\text{выб}} - m_{1\text{выб}}^2,$$

$$M_{3\text{выб}} = m_{3\text{выб}} - 3m_{1\text{выб}}m_{2\text{выб}} + 2m_{1\text{выб}}^3,$$

$$M_{4\text{выб}} = m_{4\text{выб}} - 4m_{3\text{выб}}m_{1\text{выб}} + 6m_{2\text{выб}}m_{1\text{выб}}^2 - 3m_{1\text{выб}}^4,$$

где выборочные начальные моменты

$$m_k_{\text{выб}}(\mathbf{x}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} x_i^k,$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ \mathbf{x} – вектор случайных величин x_i .

С изменением размера N стороны квадрата поиска меняется среднее и разброс оценок выборочных коэффициентов. Далее приведены результаты моделирования статистической оценки выборочных коэффициентов асимметрии и эксцесса для релеевского распределения яркости РЛИ. Достаточность числа испытаний контролировалась экспериментально.

Зависимости среднего значения оценок выборочных коэффициентов асимметрии $k_{\text{выб}_\text{ср}}$ и эксцесса $\gamma_{\text{выб}_\text{ср}}$ и их среднеквадратического отклонения (СКО) σ_k и σ_γ от размеров квадрата показаны на рис. 1 и рис. 2, соответственно. Из кривых видно, что при $N > 20$ средние значения обоих выборочных коэффициентов приближаются к своим предельным (при $N \rightarrow \infty$) значениям: $\sim 0,245$ для γ и $\sim 0,631$ для k , но если для k СКО при этом становится существенно меньше своего среднего, то для γ СКО становится меньше его среднего только при $N > 40$ (эти границы указаны на рис. 1 и рис. 2 стрелками).

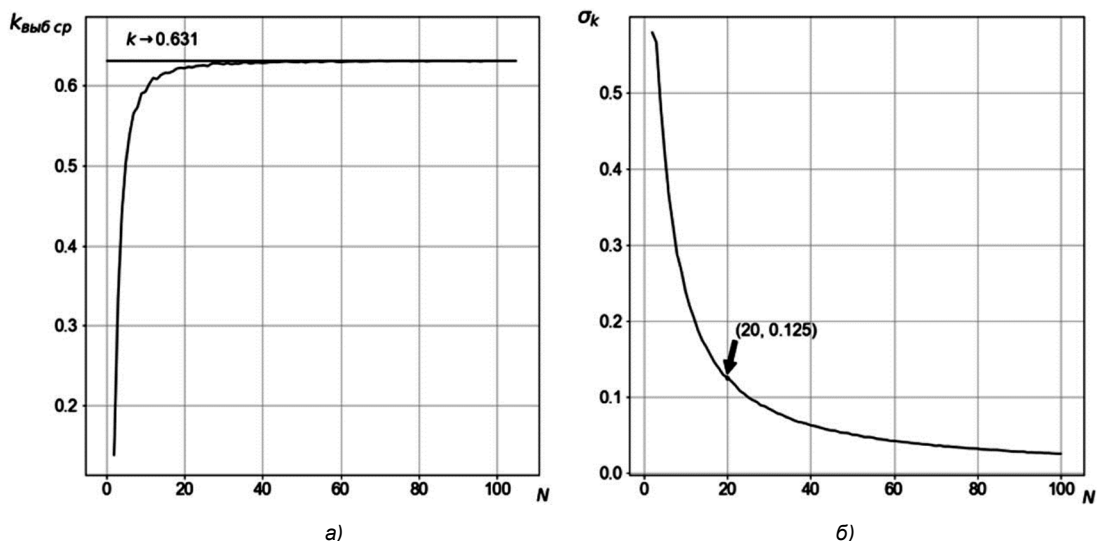


Рис. 1. Зависимости среднего значения оценок выборочного коэффициента асимметрии $k_{\text{выб_ср}}$ и его СКО σ_k от размеров квадрата обнаружения

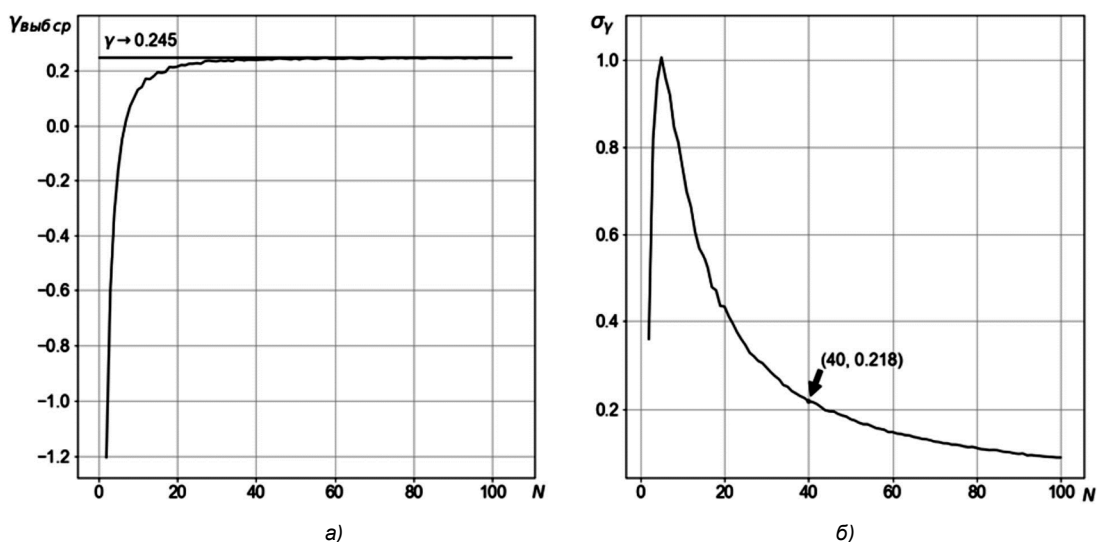


Рис. 2. Зависимости среднего значения оценок выборочного коэффициента эксцесса $\gamma_{\text{выб_ср}}$ и его СКО σ_γ от размеров квадрата обнаружения

Исходя из этого, можно считать, что число независимых выборок $N_{\text{выб}} = N^2 \geq 400$ является достаточным при оценке коэффициента асимметрии, в то время как для оценки коэффициента эксцесса РЛИ фона желательно брать квадрат со стороной $N \geq 40$.

Ввод точечного объекта

При синтезе алгоритма обнаружения с использованием выборочных коэффициентов k и γ , при оптимизации его параметров и оценке его эффективности, например вероятности пропуска при заданной вероятности ложной тревоги (при использовании критерия Неймана-Пирсона), требуется рассмотрение двух ситуаций: при наличии и в отсутствие в квадрате поиска искомого объекта. С этой целью проведено моделирование и статистический расчет выборочных средних значений k и γ , а также σ_k и σ_γ в зависимости от N при наличии на РЛИ в квадрате поиска, помимо отражений от местности с релейским распределением яркости, сигнала, отраженного от объекта.

сти, сигнала, отраженного от объекта.

Сначала рассматривается точечный объект (занимающий 1 пиксель), интенсивность отраженного сигнала которого задается и постоянна. На рис. 3 и рис. 4 приведены зависимости средних значений и СКО выборочных коэффициентов асимметрии и эксцесса в зависимости от размера квадрата поиска при заданном параметре $q = S/\sqrt{m_2}$, где S – яркость РЛИ объекта, m_2 – начальный момент второго порядка распределения яркости фона в одном пикселе (при расчетах и моделировании полагалось, что $m_2 = 1$).

Непосредственно, исходя из приведенных кривых, можно оценить требуемый размер квадрата поиска для получения достаточной статистики при оценке выборочных коэффициентов, при которой среднее значение выборочного коэффициента должно значительно превышать СКО этой оценки. Именно в этом случае возможно корректное применение алгоритма обнаружения объекта, основанного на превышении выборочного коэффи-

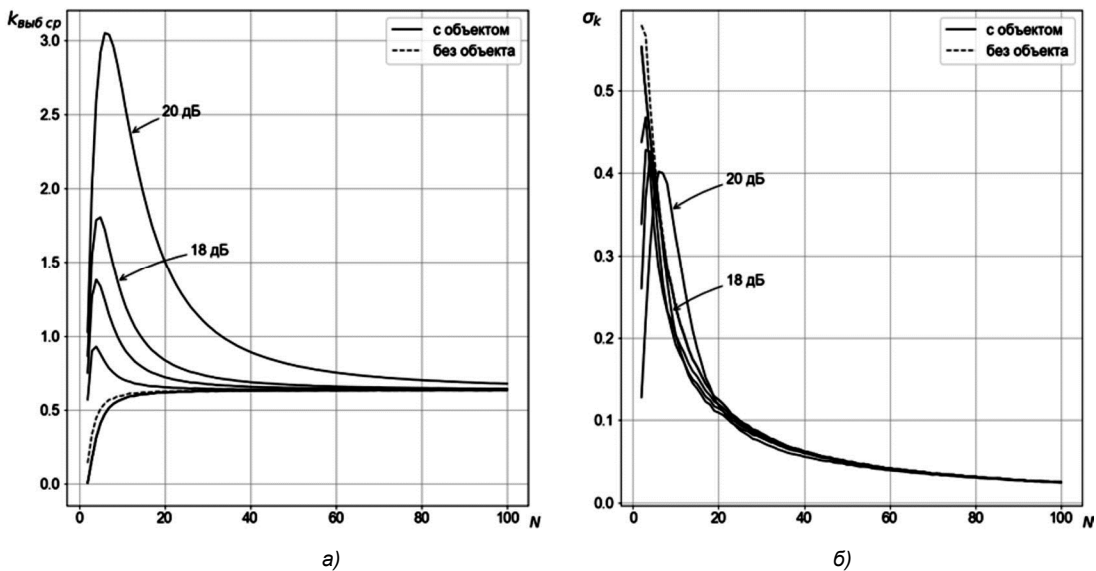


Рис. 3. Зависимости $k_{\text{выб_ср}}$ и σ_k от размеров стороны квадрата N при разных значениях параметра q – соотношения яркостей сигнала объекта и фона

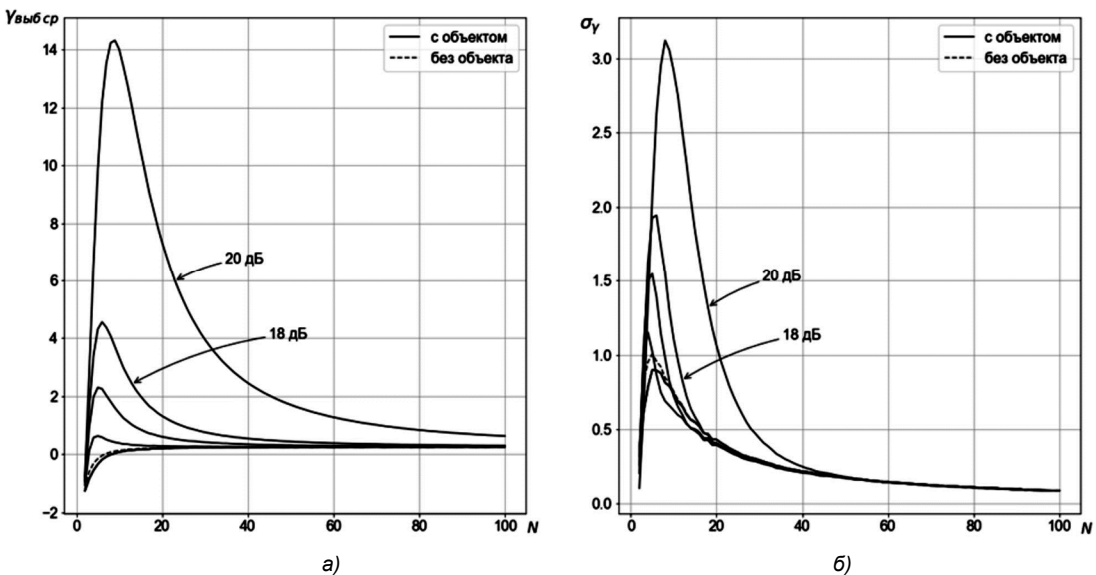


Рис. 4. Зависимости $\gamma_{\text{выб_ср}}$ и σ_γ от размеров стороны квадрата N при разных значениях параметра q – соотношения яркостей сигнала объекта и фона

циента при наличии сигнала над этим же коэффициентом в его отсутствии. В противном случае возрастают вероятности ложной тревоги и пропуска обнаруживаемого объекта за счет флуктуаций выборочного коэффициента по результатам его оценки.

Для примера можно рассмотреть зависимость отношения $g = \gamma_{\text{выб_ср}} / \sigma_\gamma$ от N . Эта зависимость представлена на рис. 5-а и 5-б, отличающихся разным масштабом по g . Очевидно, что при $g > 5$ разброс оценок $\gamma_{\text{ср_с}}$ незначителен и может не учитываться при выборе параметров алгоритма поиска и обнаружения и при расчете его эффективности. Из кривых на рис. 5 видно, что при $q > 19$ дБ это выполняется при любых N (в рабочем диапазоне $N = 20 \dots 100$). При меньших значениях q (например, при $q = 16$ дБ) даже при уменьшении требуемого минимального значения g до 3 достаточность статистических данных не реализуется ни при

каких N (в рассматриваемом диапазоне N).

Но основным фактором, влияющим на характеристики обнаружения, является значение величины $L = \gamma_{\text{выб_ср_с}} / \gamma_{\text{выб_ср_ф}}$, характеризующей соотношение выборочных коэффициентов при наличии и в отсутствии сигнала объекта в квадрате обнаружения. Чем больше L , тем достовернее можно выделить квадраты с объектом. На рис. 6 приведены зависимости L от N при разных значениях параметра q (на рис. 6-а q меняется с шагом 4 дБ). Для наглядности приведены два рисунка, которые отличаются масштабом по L . Выбор допустимого для алгоритма поиска значения N определяется областью превышения значениями L некоторого задаваемого порога, например, 10, как показано на рис. 6-б. В общем случае порог определяется требуемыми характеристиками обнаружения, например, соотношением вероятностей ложных тревог и пропуска объекта. При этом надо учитывать ограничения на значение N , свя-

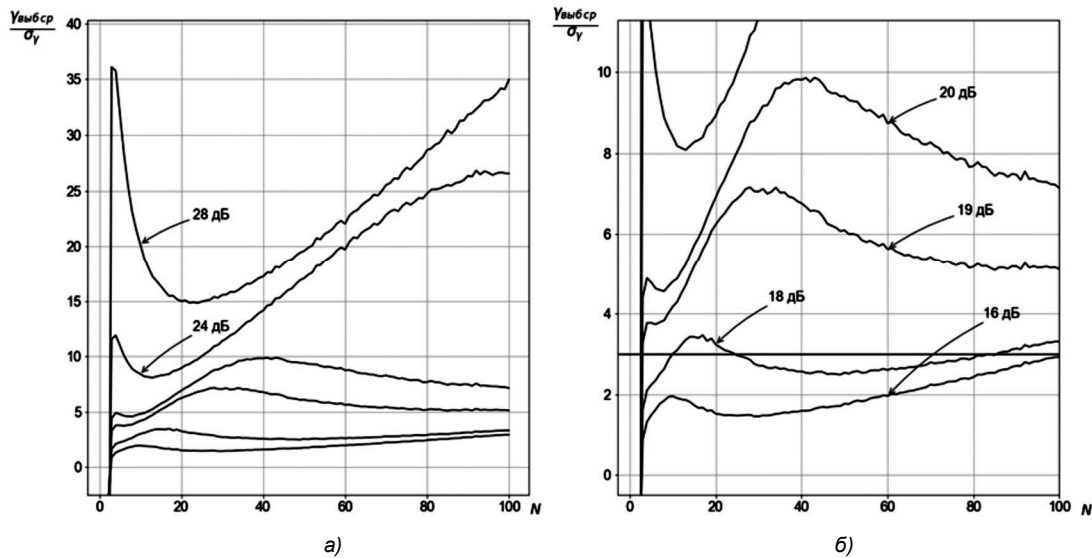


Рис. 5. Зависимости $q = \gamma_{\text{выб_ср}} / \sigma_\gamma$ от N при разных значениях параметра q и двух масштабах по g

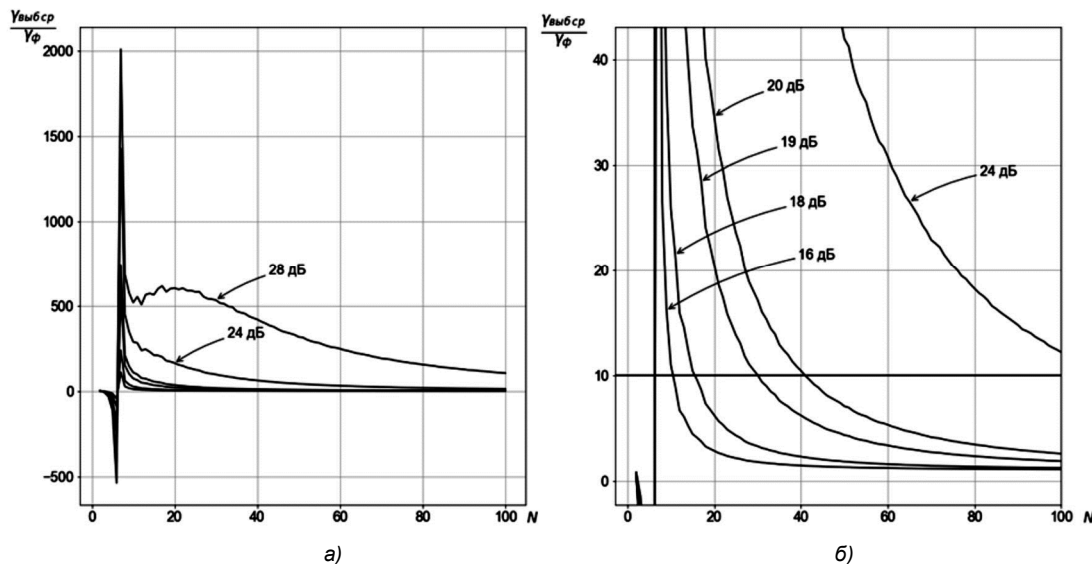


Рис. 6. Зависимости $L = \gamma_{\text{выб_ср_с}} / \gamma_{\text{выб_ср_ф}}$ от N при разных значениях параметра q и двух масштабах по L

занные с требованием достаточности величины N в соответствии с кривым рис. 5 ($g = \gamma_{\text{ср}} / \sigma_\gamma$) при нахождении $\gamma_{\text{ср_с}}$, а также при оценке $\gamma_{\text{ср_ф}}$. Таким образом, в общем случае при выборе N должны учитываться 3 зависимости: L и g в двух ситуациях (при наличии и в отсутствии в квадрате обнаружения сигнала от объекта).

Таким образом, допустимые значения N практически определяются кривыми L и зависят от априорного знания q . Например, при использовании оценки выборочного коэффициента эксцесса из рис. 5 и рис. 6 следует, что при $q = 20$ дБ диапазон возможных значений N , при которых $L > 10$, составляет от 20 до 40, а при $q = 24$ дБ – от 20 до 100 (и даже более). Следует отметить, что если исходить только из характеристик обнаружения, то предпочтительней, исходя из рис. 6, выбирать значения N , при которых значения L максимальны (в заданном диапазоне значений q).

Сложный протяженный объект

Отражения от сложного объекта можно рассматривать как отражения от нескольких разнесенных в пространстве блестящих точек [6] постоянной (за интервал синтезирования) амплитуды – случай медленного фединга эхо-сигнала. Случай быстрого фединга - независимо федингующих при каждом зондировании отражений от блестящих точек – не рассматривается, так как это противоречит условиям создания синтезированной антенной решеткой (САР). При формировании РЛИ с высоким разрешением наличие сложного сигнала означает, что отраженный от объекта сигнал занимает на РЛИ несколько пикселей (элементов разрешения), и сигналу каждого пикселя соответствует своя эффективная площадь рассеивания (ЭПР). Это существенно усложняет задачу анализа результатов работы алгоритма поиска и обнаружения такого сигнала.

Характер влияния на выборочные коэффициенты многоточечной ЭПР можно проиллюстрировать на примере. На рис. 7 приведены зависимости выбо рочных

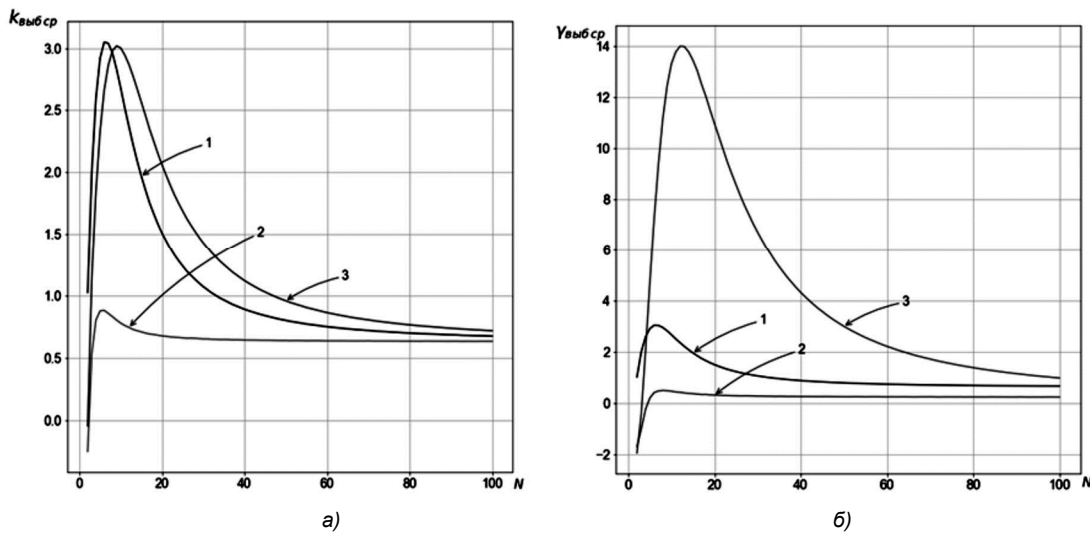


Рис. 7. Зависимости $k_{\text{выб_ср}}$ и $\gamma_{\text{выб_ср}}$ от N при разных значениях числа сигнальных пикселей и величины q

коэффициентов асимметрии и эксцесса от N . Кривая 1 построена для точечного объекта при соотношении сигнал/фон 20 дБ. Кривые 2 и 3 соответствуют объекту, занимающему два пикселя. При этом кривая 2 получена при равенстве амплитуд в каждом пикселе при соотношении сигнал/фон 14 дБ, так что суммарный сигнал в двух пикселях соответствует сигналу точечного объекта, а кривая 3 построена при соотношении 20 дБ в каждом пикселе сложного объекта. Видно, что на коэффициент асимметрии большее влияние оказывает наличие точек с большим отношением сигнал/фон, чем их количество, а на величину коэффициента эксцесса – увеличение числа пикселей, занимаемых объектом.

Можно отметить, что для протяженного объекта увеличение числа сигнальных пикселей за счет увеличения размеров квадрата обнаружения (в пределах протяженности этого объекта) может оказаться целесообразным, так как при этом падение в соответствии с рис. 6 величины $L = \gamma_{\text{ср_с}} / \gamma_{\text{ср_ф}}$ за счет увеличения N компенсируется еще большим ее ростом за счет увеличения числа сигнальных пикселей и «суммарного» q . Это, в частности, следует учитывать при многоканальном РСА, например, при переходе от работы в 3-х см. диапазоне к более длинноволновому диапазону. Но эти вопросы требуют отдельного рассмотрения.

Коэффициенты асимметрии и эксцесса при анализе реальных РЛИ

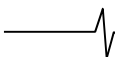
Возможности поиска и обнаружения кандидатов с использованием оценок выборочных коэффициентов асимметрии или эксцесса подтверждаются предварительным анализом их применения для реальных РЛИ.

Как уже отмечалось, во многих случаях распределение яркости РЛИ местности близко к релейскому распределению, при котором коэффициент асимметрии примерно равен 0,63, а коэффициент эксцесса 0,245. На практике эти распределения и коэффициенты в той или иной мере отличаются от релейского. Так, при лоцировании с помощью РСА 3-см диапазона одного из участков местности в виде перемежающихся лесных

участков с опушками и луга с полосами леса и кустарников (пролесок), а также летного поля при окнах обработки РЛИ в виде квадратов со сторонами различного размера (N от 20 до 60) получены оценки выборочных коэффициентов асимметрии в диапазоне 1...4 для пролеска с увеличением до 7...9 в отдельных точках при наличии кромки, разделяющей области разного типа, и в диапазоне 0,7...2 для лётного поля. Оценки выборочных коэффициентов эксцесса лежат в диапазоне 1...15 для пролеска (в отдельных редких точках при наличии кромки до 100 и более) и 0,4...4 для лётного поля.

При анализе участков с расположенными там объектами (например, самолетами) получены оценки выборочных коэффициентов асимметрии в диапазоне 2...32 и выборочных коэффициентов эксцесса в диапазоне 20...250 с выбросами до 500 и даже свыше 1000. Кроме того, следует отметить, что рост размера стороны окна N в отсутствие объекта приводит к снижению фоновых значений выборочных коэффициентов на участках однотипных (стационарных) поверхностей и к их асимптотическому стремлению к некоторым значениям, близким к теоретическим величинам для релейского распределения. Наличие же на анализируемом РЛИ неоднородностей (объектов и их теней) обуславливает резкий рост этих коэффициентов, причем тем больший, чем больше N . Например, для $N = 20$ максимумы выборочных коэффициентов эксцесса на границе «лётное поле – объекты» имеют значения 73...167, для $N = 30$ – 100...350, а для $N = 60$ – 165...1197. Такой рост выборочных коэффициентов в общем случае не соответствует характеру кривых на рис. 3 и 4, но его можно объяснить большой протяженностью лоцируемых объектов и появлением в квадрате поиска при его расширении новых ярких блестящих точек.

Различия между выборочными коэффициентами эксцесса (асимметрии) в двух рассмотренных случаях - при наличии и отсутствии в квадрате обнаружения объекта – позволяют осуществлять процедуру обнаружения с использованием этих коэффициентов. Первые результаты применения к натурным РЛИ алгоритмов поиска и дообнаружения кандидатов на искомые объекты, основанных на вычислении выборочных коэффициентов эксцесса,



подтвердили их эффективность и возможность поиска в реальном масштабе времени. Так, в приведенном в [3] примере поиска объектов на фрагменте реального РЛИ 3-см диапазона размером примерно 4 км × 5,3 км с разрешением порядка 1 м применение указанных алгоритмов позволило обнаружить в реальном времени все тестовые объекты при незначительном числе ложных тревог на местности типа луг, лес, перелески и пр. и, далее провести дообнаружение практически в реальном времени (зависит от числа ложных тревог из-за наличия построек и других мешающих объектов). При этом вычисления проводились на одном ядре ПЭВМ с двухъядерным процессором Intel с тактовой частотой 2,33 ГГц и оперативной памятью 2 ГБ. Однако приведенные результаты являются предварительными данными и требуют дополнительных исследований и на математической модели, и путем натурных испытаний при априорно известных характеристиках фона и тестовых объектов.

Заключение

При анализе РЛИ больших размеров поиск, обнаружение и распознавание объектов целесообразно выполнять последовательно: сначала осуществлять поиск и обнаружение кандидата на искомый объект, а затем проводить его распознавание.

Проведенные исследования показывают, что введение при обнаружении на РЛИ кандидатов на искомый объект этапа поиска с «замощением» всей зоны поиска квадратами обнаружения и использование в каждом квадрате алгоритма обнаружения с оценкой выборочных коэффициентов (экспонентов) распределения яркости РЛИ существенно уменьшает вычислительные затраты и время на поиск кандидатов. В этом случае обеспечивается поиск и обнаружение объектов в реальном времени при формировании РЛИ во время полета носителя РЛ БО. Введением второго этапа – этапа дообнаружения в квадратах, где произошло обнаружение на первом этапе, подтверждается наличие в этом квадрате объекта, соизмеримого по протяженности с протяженностью искомого. При этом несколько сокращается число ложных тревог и уточняется положение кандидата, но увеличиваются временные затраты, что, соответственно, требует уменьшения ложных тревог уже на этапе поис-

ка, например, за счет исключения из зоны поиска техногенных зон (строений, скопления техники и пр.).

Вместе с тем, исходя из литературных данных и из приведенных в статье оценок выборочных коэффициентов распределения яркости РЛИ реального фона (лес, луг, лесные полосы и т.д.), можно считать, что эти распределения достаточно близки к распределению Релея. Поэтому в работе, исходя из релеевского распределения РЛИ фона, проведен анализ алгоритма обнаружения, основанного на вычислении выборочных коэффициентов, и даны рекомендации по выбору его параметров. Эти рекомендации могут быть использованы на практике при условии их коррекции за счет адаптации к реальной ситуации.

Литература

1. Брызгалов А.П., Туманов К.В., Хныкин А.В. Доклад «Разработка алгоритма обнаружения «кандидатов» при поиске объектов и ориентиров на местности в радио системах локации, навигации и УВД с синтезированной апертурой». 2 Всероссийская научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем». Сборник тезисов докладов. ГНЦ РФ ФГУП «ГосНИИАС», М., 21-22 апреля 2013 г. С. 163-164.
2. Волков В.Ю., Макаренко А.А., Рогачев В.А., Турнецкий Л.С. «Обнаружение и выделение объектов на оптикоэлектронных изображениях». Сборник «55 лет на службе отечеству» ОАО НПО «Радар - ммс», Санкт-Петербург: 2005, с. 222 – 226.
3. Брызгалов А.П., Исаев О.А., Ковальчук И.В., Туманов К.В., Фальков Э.Я., Хныкин А.В., Плющев В.А., Четыркин Д.Ю. Патент «Способ поиска и обнаружения объекта» Патент №2596610. Приоритет от 16.06.2015. Заявка на патент №20115122858. Опубликовано 10.09.2016. Бюл.№ 25
4. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. – М.: Радиотехника. 2005.
5. Левин Б.Р. «Теоретические основы статистической радиотехники» книга 1-я, изд. 2-е, М., «Сов. Радио», 1974, стр. 59 – 60.
6. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я.Д. М., изд-во «Сов. радио», 1970.

Уважаемые коллеги!

Для тех, кто не успел оформить подписку на второе полугодие 2018 года через АО «Роспечать», сохраняется возможность приобретения журналов непосредственно в редакции по адресу: г. Москва, ул. Авиамоторная, дом 8, Научный Центр МТУСИ, ком. 612. Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, метро «Авиамоторная», или оформить Заказ в соответствии с требованиями, выставленными на сайте журнала: www.dsps.ru.

Справки по телефону: (+7 903)201-53-33 (Самсонов Геннадий Андреевич).

E-mail: rntores@mail.ru