

Выделение границ объектов на радиолокационных изображениях методом комплексирования энергетических и фрактальных алгоритмов

А.Ю. Паршин, Ю.Н. Паршин

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет»,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1
alex90fox@gmail.com*

Обработка радиолокационных изображений, полученных РЛС с синтезированной апертурой, включает в себя выделение каждого объекта на фоне постилающей поверхности, а также отделение различных объектов друг от друга. Малый уровень принимаемого сигнала, многообразие естественных и искусственных помех и несовершенство устройств машинного зрения затрудняют получение качества изображения, достаточного для решения задачи обнаружения объектов. Применение статистических методов обработки радиолокационных сигналов [1] позволяет получить потенциальные характеристики помехоустойчивости. Если конечной целью обработки изображения является выделение границы объекта, используются специальные методы, основанные на использовании радиоярких характеристик изображения. Наиболее распространены методы выделения границ на основе радиояркого контраста, полученные на основе методов Лапласа, Уоллеса и Кирша, а так же алгоритм Canny [2,3]. Однако в случае наблюдения малококонтрастных объектов на фоне подстилающей поверхности или другого объекта использование ярких свойств затруднительно.

Целью работы является повышение качества выделения границ на радиолокационных изображениях на основе фрактальных свойств отраженных сигналов. Синтез оптимальных алгоритмов выделения границ проводится на основе теории статистических решений методом максимального правдоподобия. Для работы в условиях статистической априорной неопределенности относительно фрактальных свойств сигналов, отраженных от выделяемых объектов, синтезирован адаптивный алгоритм.

Использование фрактальных свойств объектов дает выигрыш при обнаружении объектов [4-7], а также позволяет повысить качество выделения границ малококонтрастных объектов. Мерой фрактальных свойств в алгоритмах обнаружения является корреляционная размерность. Математическое определение понятия корреляционной размерности приведено в работе [8] и базируется на корреляционном интеграле [9], который определяется как вероятность того, что два независимых наблюдаемых вектора в псевдофазовом пространстве находятся на расстоянии меньше заданного значения r . В

этом случае корреляционная размерность равна: $d = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r}$, $0 < d < T$, где $C(r)$ -

корреляционный интеграл, r - эталонное расстояние, T - топологическая размерность физического объекта. Вероятностный подход к трактовке корреляционного интеграла позволил авторам работы [9] предложить статистическое описание сигнала фрактального объекта в виде независимых расстояний между векторами с плотностью распределения вероятностей, заданной степенной функцией. Для оценивания размерности сигнала, заданного последовательностью значений одной фазовой координаты, требуется восстановить значения остальных координат, задающих состояние системы на основе теоремы Такенса [8].

Объект представлен областью на изображении, значения радиояркости которого образуют совокупность N векторов с корреляционной размерностью d_1 , а фон представлен совокупностью векторов со значением размерности d_2 . Для выделения грани-

цы формируется область изображения – квадратный кадр, сформированный на основе некоторых примитивов, задающих форму границы. Решение о наличии границы и ее форме принимается по результатам анализа данных, содержащихся в кадре, при его перемещении по горизонтали и вертикали с заданным шагом в пределах изображения.

Рассмотрены два способа выделения границы: оптимальный и адаптивный. Оптимальный способ обнаружения границы производится методом максимального правдоподобия на основе покadroвого анализа всего изображения. Размерности объекта и фона в этом случае являются априорно известными. Решение о наличии или отсутствии границы принимается по результату сравнения отношения правдоподобия с порогом.

Адаптивный алгоритм выделения границы предназначен для устранения неопределенности относительно фрактальной размерности объекта и фона путем оценивания размерности по данным одного кадра, в котором измеряется M независимых расстояний между векторами, методом максимального правдоподобия [7] $\hat{d} = -M / \sum_{i=1}^M \ln r_i$.

При моделировании и исследовании эффективности работы оптимального и адаптивного алгоритмов были рассмотрены два типа кадров, в которых производится обработка. Для кадра первого типа анализируемый квадратный кадр разбивается на два поля 2×1 . Сканирование производится с шагом, равным половине размера кадра и выполняется сначала в горизонтальном, а затем в вертикальном направлении. Результаты анализа объединяются путем логического сложения. Для кадра второго типа используется разбиение анализируемого кадра на 9 полей, расположенных в виде квадрата 3×3 [10,11]. На кадр последовательно накладываются маски, которые формируются в соответствии с выбранным примитивом: средние поля, располагающиеся по вертикали, горизонтали, а затем по двум диагоналям равны нулю.

Определение наличия границы производится путем вычисления отношения правдоподобия для проверяемой гипотезы: для первого случая предполагается наличие объектов с различными значениями размерности в соседних полукадрах, а для второго – в полях с противоположных сторон от нулевых областей. При условии равновероятных расположений объекта и фона относительно границы отношение правдоподобия принимает вид для первого типа кадра

$$\Lambda = \frac{\prod_{i=1}^{M/2} d_1 r_i^{d_1-1} \times \prod_{j=1}^{M/2} d_2 r_j^{d_2-1} + \prod_{i=1}^{M/2} d_2 r_i^{d_2-1} \times \prod_{j=1}^{M/2} d_1 r_j^{d_1-1}}{\prod_{i=1}^M d_1 r_i^{d_1-1} + \prod_{i=1}^M d_2 r_i^{d_2-1}}, \quad (1)$$

а для второго типа кадра

$$\Lambda_k = \frac{\prod_{i=1}^{M/3} d_1 r_i^{d_1-1} \times \prod_{j=1}^{M/3} d_2 r_j^{d_2-1} + \prod_{i=1}^{M/3} d_2 r_i^{d_2-1} \times \prod_{j=1}^{M/3} d_1 r_j^{d_1-1}}{\prod_{i=1}^{2M/3} d_1 r_i^{d_1-1} + \prod_{i=1}^{2M/3} d_2 r_i^{d_2-1}}, \quad (2)$$

где M - число расстояний между векторами, формируемых во всем кадре, $k = 1, \dots, 4$ - номер примитива, определяющего форму границы. Если отношения правдоподобия превышает пороговый уровень, то принимается решение о наличии границы в предполагаемой области кадра, в зависимости от выбранного примитива. Из всех результатов расчетов, превысивших порог, выбирается максимальное значение, а граница устанавливается в соответствии с примитивом, соответствующим этому значению. В оптимальном алгоритмах (1), (2) используются точные значения размерностей d_1, d_2 , которые полагаются априорно известными. При наличии априорной неопределенности точные значения размерностей в (1), (2) заменяются их максимально правдоподобными оценками \hat{d}_1, \hat{d}_2 .

Анализ эффективности предложенных алгоритмов выделения границ изображения проведен на примере объекта с границей в виде окружности, что позволяет более полно отразить влияние криволинейности границы объекта. Анализ эффективности выделения границы проводился методом статистического моделирования алгоритмов (1), (2). На рис. 1-4 приведены результаты выделения границы объектов оптимальным и адаптивным алгоритмами вида (1), (2) при различных значениях размерностей объекта и фона, $M = 600$. Из результатов анализа следует, что применение адаптивного алгоритма позволяет частично устранить априорную неопределенность ценой повышения вероятности появления ложных границ. При увеличении различия размерностей объекта и фона вероятность появления ложных границ уменьшается как для оптимального, так и для адаптивного алгоритмов.

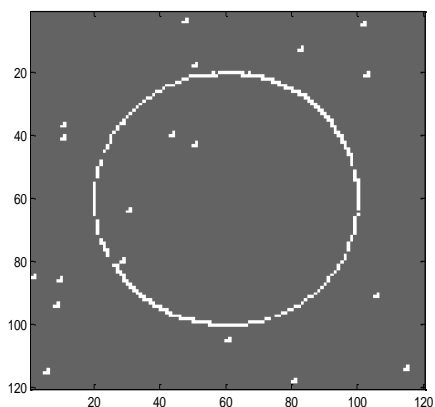


Рис.1. Результат обработки оптимальным алгоритмом, область 2x1 полей, $d_1 = 1,3, d_2 = 1,7$

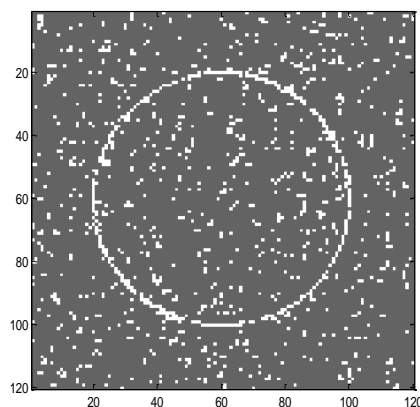


Рис.2. Результат обработки адаптивным алгоритмом, область 2x1 полей, $d_1 = 1,3, d_2 = 1,7$

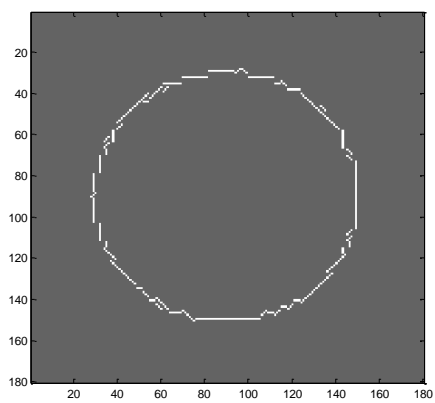


Рис.3. Результат обработки оптимальным алгоритмом, область 3x3 полей, $d_1 = 1,3, d_2 = 1,7$

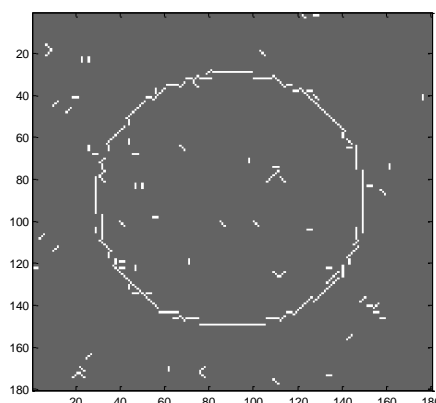


Рис.4. Результат обработки адаптивным алгоритмом, область 3x3 полей, $d_1 = 1,3, d_2 = 1,7$

При различном расположении границ объекта появляются определенные трудности в выделении границы алгоритмом (1), так как при равных размерах кадра, количество данных в двух полукадрах может сильно отличаться при попадании кадра на границу объекта. В этих случаях алгоритм (2) обеспечивает лучшее выделение границы на границе объекта и фона.

В настоящее время при обработке радиолокационных изображений широко применяется комплексирование алгоритмов обработки с использованием различных видов

данных, что позволяет повысить качество изображения при недостаточной информативности данных. Например, энергетические алгоритмы выделения объектов на изображении неэффективны, если радиояркость объекта и фона отличается незначительно. Фрактальные алгоритмы также не позволяют решать задачу при отсутствии различий в размерности объекта и фона. Для повышения качества выделения малококонтрастных объектов предлагается комплексировать энергетический и фрактальный алгоритмы обнаружения и выделения границ объектов, используя для этого принципы оптимального комплексирования [1] на уровне решений каждого из обнаружителя границы. Такой алгоритм имеет вид $z = \sum_{i=1}^2 \delta_i a_i = \delta_1 a_1 + \delta_2 a_2$, где параметры a_1, a_2 принимают значения

$$a_i = \ln \frac{D_i(1-D_i)}{F_i(1-F_i)}, \quad i = 1; 2, \quad \text{а } \delta_i = [0,1] - \text{ решения энергетического и фрактального}$$

алгоритмов о наличии или отсутствии границы в пределах анализируемого кадра. Вероятности ложного обнаружения границ F_i и их правильного определения D_i для каждого из алгоритмов зависят от выбранного значения порога и рассчитываются заранее. Аналогичный алгоритм предложен ранее для обнаружения объекта [7].

Статистика z может принимать только 4 значения: $z = 0$ при $\delta_1 = 0$ и $\delta_2 = 0$, $z = a_1 + a_2$ при $\delta_1 = 1$ и $\delta_2 = 1$ или, если одна из величин δ_i равна 1, а вторая 0, то сумма равна a_1 или a_2 . В работе [7] установлено, что наилучшие результаты получаются при комплексировании результатов работы алгоритмов по правилу $\delta_1 \delta_2 = (01) \vee (10) \vee (11)$. Тогда вероятность превышения порога статистикой z имеет вид:

$$P_{CD} = P(\delta_1 = 1)P(\delta_2 = 0) + P(\delta_1 = 0)P(\delta_2 = 1) + P(\delta_1 = 1)P(\delta_2 = 1) = \\ = \begin{cases} P_1(1-P_2) + P_2(1-P_1) + P_1P_2, & \theta = 1 \\ F_1(1-F_2) + F_2(1-F_1) + F_1F_2, & \theta = 0 \end{cases}$$

Визуальные методы оценки качества обработки изображения не позволяют объективно произвести сравнение анализируемых алгоритмов и определить их количественные показатели. Предлагается оценивать эффективность алгоритмов выделения границ по вероятностным характеристикам, аналогичным вероятности ложной тревоги и вероятности правильного обнаружения обнаружителей.

Для каждого из способов считывания задается эталонная граница, получаемая в идеальных условиях измерения. Критерием качества работы алгоритма являются вероятность появления ложных отметок на изображении $F = \frac{N_{\text{ЛГ}}}{N_{\text{НГР}}}$ и вероятность правильно-

го выделения границы изображения $P = \frac{N_{\text{ПГ}}}{N_{\text{ГР}}}$, где $N_{\text{ЛГ}}$ - число ложных отметок на

изображении, $N_{\text{НГР}}$ - число пикселей выходного изображения, не относящихся к эталонной границе, $N_{\text{ПГ}}$ - число правильно обнаруженных пикселей на эталонной границе, $N_{\text{ГР}}$ - общее число пикселей границы на эталонной границе. Выбирая априорную величину вероятности появления ложных отметок, можно устанавливать величину порога, с которым производится сравнение статистик (1), (2). Проведены расчеты зависимостей вероятности правильного выделения границы P от размера кадра для различных видов кадров.

Устранение априорной неопределенности относительно значений фрактальных размерностей позволяют повысить качество выделения границы объекта за счет применения максимально правдоподобных оценок, обладающих наименьшей погрешностью

оценивания. Дальнейшее повышение качества оценивания размерности и, следовательно, качества выделения границы возможно путем увеличения объема данных M . Для этого предлагается проводить предварительное обнаружение объекта и на основе этого формировать данные обучающей выборки.

Установлено, что структура и размер анализируемого кадра влияет на результирующую толщину границы объекта, а также на качество выделения границы при различном расположении границ относительно направления считывания данных изображения. При использовании кадра 3×3 граница формируется более тонкая, однако, в некоторых случаях наблюдается дублирование границы. Введение гипотез о нескольких вариантах расположения границы объекта в кадре позволяет более точно определить ее действительное положение на изображении. Выделение границ криволинейных объектов затруднено, по сравнению с объектом прямоугольной формы, что делает актуальной разработку оптимальных алгоритмов на основе рационального выбора примитивов.

Литература

1. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов – М.: Радио и связь, 1992.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. . – 781 с.
4. Потапов А.А., Герман В.А. Фрактальный непараметрический обнаружитель радиосигналов // Радиотехника. 2006. № 5. С. 30-36.
5. Сосулин Ю.Г., Рускин А.Б. Фрактальное обнаружение протяженных малоконтрастных объектов на изображениях // Радиотехника. 2009. № 12. С. 48-57.
6. Паршин А.Ю., Ю.Н. Паршин. Синтез и анализ алгоритма максимально правдоподобного оценивания корреляционной размерности // Методы и устройства обработки сигналов в радиотехнических системах. Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 6. – Рязань: РГРТУ, 2012. – С. 74-81.
7. Паршин А.Ю., Паршин Ю.Н. Синтез фрактального обнаружителя объекта на фоне подстилающей поверхности // II Всероссийские Армандовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред / Материалы V Всероссийской научной конференции (Муром, 26-28 июня 2012 г.) , Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2012. – с. 289-293.
8. Паркер Т.С., Чжуа Л. О. Введение в теорию хаотических систем для инженеров // ТИИЭР, 1987, Т. 75, № 8. С. 6-40.
9. Luciana De Luca, Dario Luzio, Massimo Vitale. A ML Estimator of the Correlation Dimension for Left-Hand Truncated Data Samples // Pure and applied geophysics, V.159, № 11-12, 2002. P. 2789-2803.
10. Буй Т.Т.Ч., Спицын В.Г. Анализ выделения краев на цифровых изображениях // Вестник Томского вычислительного университета. Управление вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, №2 (22), часть 2, 2010. С. 221-223.
11. Хлопов Д.В., Карбань О.В., Телегина М.В., Немцова О.М., Журбин И.В., Смурьгин А.В. Метод выделения границ объектов на изображениях сканирующей зондовой микроскопии // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, № 2, с. 71–77.