

Костров В.В., Ракитин А.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: vvk@mit.ru

Корреляционно-экстремальный алгоритм поиска объектов со стабилизацией вероятности ложной тревоги

При решении задач автоматического поиска объектов на изображениях, получаемых от радиолокаторов с синтезированием апертуры антенны, часто используются корреляционно-экстремальные алгоритмы [1, 2]. Вместе с тем прямая реализация анализа критериальной функции объекта при обработке радиолокационного изображения (РЛИ) порождает ряд проблем. Одной из таких проблем являются сложные условия наблюдения объекта, которые в большинстве случаев относятся к нестационарным [3]. Это приводит к необходимости применения специальных схем для стабилизации процедуры обнаружения, в частности, обеспечения постоянства уровня вероятности ложных тревог.

Цель доклада – рассмотреть принципы стабилизации вероятности ложных тревог при поиске объектов на радиолокационных изображениях в нестационарных условиях.

Качество поиска объектов будем характеризовать вероятностью правильного обнаружения объекта и вероятностью аномального обнаружения объекта, когда шум (фон) принимается за искомым объект. Для определения статистических характеристик шума используется выборочный метод на основе данных ограниченного объема, полученных из РЛИ. Есть различные методы организации определения статистических характеристик распределения в области шума [4]. Размер этой области зависит от размеров обнаруживаемых объектов и необходимого объема выборки.

В данном докладе предлагается использовать для определения статистических свойств шума внешней границы с пикселей, окружающих квадратную область в которой центр есть проверяемый пиксель. Размер области анализируемого участка фона превышать размер обнаруживаемого объекта таким образом, чтобы пиксели объекта не влияли на статистику, сформированную на внешней границе фона. Система обработки изображения работает в условиях нестационарного фона, поэтому пороги обнаружения формируются адаптивно в зависимости от мощности фона (помехи), окружающей рассматриваемый отсчет. Это позволяет получить стабилизацию вероятности ложной тревоги и уменьшить ее изменение из-за медленных флуктуаций уровней фонового шума или помех от местных предметов.

В предположении, что шум на выходе линейной части РСА имеет гауссовскую плотность распределения. Тогда после вычисления огибающей входных сигналов для получения амплитудного РЛИ шум будет иметь плотность распределения Рэлея $f(x) = x\sigma^{-2} \exp\{-0,5\sigma^{-2}x^2\}$, $x \geq 0$, где σ^2 – дисперсия шума в квадратурных каналах. Полная дисперсия шума на входе квадратурного детектора равна $\sigma_u^2 = 2\sigma^2$. Полной достаточной статистикой данного распределения является величина при использовании n выборочных значений процесса ξ_i : $T_R = \sum_{i=1}^n \xi_i^2$. Несмещенная оценка ν -ой степени дисперсии имеет вид

$(\sigma^2)^\nu = \frac{\Gamma(n)T_R^\nu}{2^\nu \Gamma(n+\nu)}$, где $\Gamma(n)$ – гамма-функция. Для $\nu=1$ имеем $\Gamma(n+1) = n\Gamma(n)$, поэтому

оценки дисперсий σ^2 и σ_u^2 соответственно равны $\hat{\sigma}^2 = T_R/2n$, $\hat{\sigma}_u^2 = T_R/n$. Статистика $T_R = \sum_{i=1}^n \xi_i^2$ трудоемка для вычисления. Воспользуемся тем фактом, что распределение Рэлея является однопараметрическим и введем статистику $T_s = \sum_{i=1}^n \xi_i$. Тогда по оценке

математического ожидания $\hat{m} = N^{-1} \sum_{i=1}^n \xi_i$ можно вычислить оценки среднеквадратического отклонения σ и σ_{uu} соответственно $\hat{\sigma} = 0,8n^{-1}T_s$, $\hat{\sigma}_{uu} = 1,128n^{-1}T_s$.

Рассмотрим вопрос точности измерений на примере распределения Рэлея. При минимальной ширине окна анализа в 1 пиксель и размере 10×10 пикселей получаем объем выборки $n = 38$. Тогда точность оценивания параметра σ_{uu}^2 составит порядка 23%. Чтобы повысить точность оценивания параметра распределения и соответственно повысить стабильность вероятности ложной тревоги окно анализа необходимо расширять. Если сделать ширину окна 2-х пикселя, то объем выборки составит $n = 80$. Точность оценки увеличится, среднеквадратическая ошибка (СКО) оценивания составит 16%. В режиме стабилизации ложных тревог потенциальная точность оценивания мощности шума должна составлять не более (4...6)%, что требует объема анализируемой выборки не менее 500...1000 пикселей. Этот вывод справедлив при рэлеевской плотности распределения шума (фона) на РЛИ. Если плотность распределения будет отлична от рэлеевской, то появятся дополнительные погрешности в оценке параметров распределения.

Что касается решения целевой задачи, то однозначного математического или технологического подхода к ее решению все еще нет [5]. В данной работе для поиска объекта на изображении использован корреляционно-экстремальный алгоритм, в котором реализуются две последовательные операции: двумерная корреляция с опорным образом сигнала и поиск экстремуму в окне анализа. В некоторых ситуациях, например при сильном разбросе параметров объекта или в случае пространственной неоднородности, более качественные результаты могут дать пофрагментные фильтры или фильтры усредненного объекта. Однако и в этих случаях необходимо автоматически контролировать уровень вероятности ложных тревог.

Для проверки работы алгоритма проводилось математическое моделирование, основные результаты которого приведены на рис. 1. Модель объекта выбрана в виде одиночно стоящего на аэродроме летательного аппарата (рис. 1 а), яркость блестящих точек которого изменялись случайным образом. В качестве модели нестационарности фона использовано изменение яркости по изображению в соответствии с гауссовским законом, причем максимальная дисперсия приходится примерно на центр кадра. Дисперсия шумового сигнала в точке максимума яркости в четыре раза превышает дисперсию фонового сигнала на краю кадра. Аддитивная смесь сигналов объекта и фона с отношением сигнал-фон, равным 3, представлена на рис. 1 б. Автоматическая обработка такого изображения с постоянным порогом обнаружения не позволила выделить объект, поскольку вся центральная зона была усеяна потоком аномальных признаков обнаружения. На рис. 1 в приведен результат пороговой обработки в виде бинарного поля с использованием адаптивного устройства установки порога при вероятности ложной тревоги 10^{-4} . Полученные результаты показывают, что такой подход позволяет успешно локализовать область интересующего объекта. Как и следовало ожидать, корреляционная обработка приводит к искажению формы объекта. Это существенно усложняет задачу формирования признаков для описания объекта, поскольку они требуются для последующего распознавания образов, контурного анализа и определения геометрических характеристик объекта [5, 6].

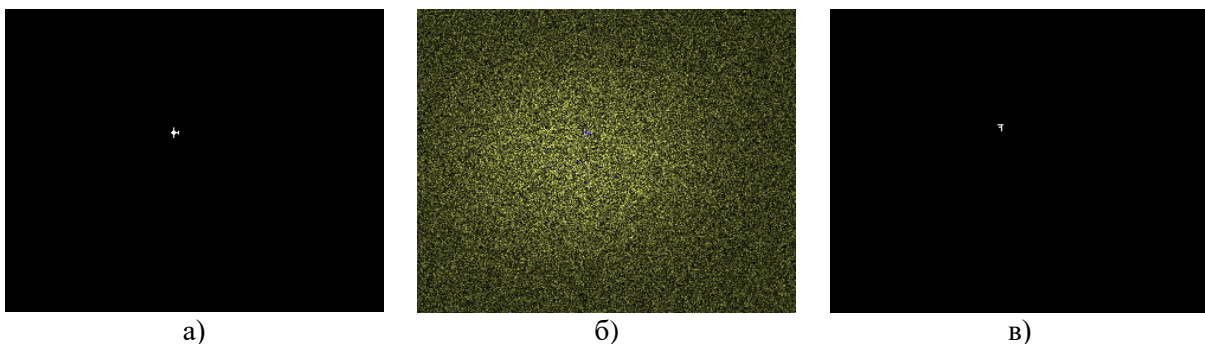


Рис. 1. Результаты моделирования

Следует отметить и дальнейшее развитие рассмотренного подхода к обнаружению объектов. Очевидно, что для повышения качества обработки необходимо учитывать масштаб объекта на изображении, его ориентацию, а также геометрические параметры съемки (ракурс, угол визирования, разрешающую способность и т.п.) [5]. Эта стадия нормализации изображений также потребует дополнительных вычислительных затрат, причем результаты оптимизации времени вычислений [7] будут зависеть от применяемого алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения.

Литература

1. Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах / Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. – М.: Радиотехника, 2015.
2. Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008.
3. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. – М.: Радиотехника. 2010.
4. Rakitin A.V., Zhiganov S.N. The comparative analysis of false alarms stabilization algorithms while processing images // Proc. of 8-th Int. conf. "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" (PRIA-8-2007). Vol. 1. – Yoshkar-Ola: MSTU, 2007.
5. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
6. Точечные поля и групповые объекты / Под общ. ред. проф. Я.А. Фурмана. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014.
7. Mueller S.M., Paul W.J. **Computer Architecture** Complexity and Correctness. – Springer-Verlag, 2000.