

О некоторых особенностях формирования межчастотного корреляционного признака

Владимир Бартенев (bartvg@rambler.ru)

Рассматривается задача классификации объектов в РЛС по их продольному размеру на основе межчастотного корреляционного признака. Оптимальный для этой задачи классификатор строится на основе оценки максимального правдоподобия модуля межчастотного коэффициента корреляции, сравниваемого с порогом. Однако есть два способа формирования этой оценки: с использованием независимых выборок наблюдений от обзора к обзору и коррелированных выборок от импульса к импульсу в одном обзоре. Об особенностях такого формирования межчастотного корреляционного признака и пойдёт речь в этой статье.

В работах [1, 2, 3] показано, что для классификации отражённых сигналов обнаруженных объектов по их продольному размеру можно использовать характер флюктуаций отражённых сигналов на разных несущих частотах. В частности, в основе этого сигнального признака классификации лежит взаимосвязь значения нормированного межчастотного коэффициента корреляции с линейными размерами объекта: чем больше размер объекта, тем меньше межчастотный коэффициент корреляции.

Для того чтобы сформировать межчастотный коэффициент корреляции, используют наиболее эффективный алгоритм в виде оценки модуля максимального правдоподобия (ОМП) меж-

частотного коэффициента корреляции, которая выполняется в соответствии с формулой (1) [2].

Где $\hat{R}$ – оценка модуля межчастотного коэффициента корреляции, т.е. число накоплений по независимым выборкам наблюдения, например обзорам РЛС. $Z1_j = x1_j + jy1_j, Z2_j = x2_j + jy2_j$ в (1) – комплексные выборки классифицируемых эхо-сигналов на входе в двух частотных каналах. Квадратурные компоненты классифицируемых флюктуирующих сигналов имеют нормальное распределение, при этом без уменьшения общности подхода, так как данный алгоритм нечувствителен к изменению мощности сигналов мешающих отражений, дисперсия их равняется единице и среднее – нулю.

$$\hat{R}(\Delta F) = \left| \sum_{j=1}^N Z1_j * Z2_j^* \right| / \left(\sum_{j=1}^N Z1_j * Z1_j^* \right)^{1/2} \left(\sum_{j=1}^N Z2_j * Z2_j^* \right)^{1/2} =$$

$$\sqrt{\frac{\left(\sum_{j=1}^N x1_j * x2_j + y1_j * y2_j \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N x2_j * y1_j - x1_j * y2_j \right)^2}{\left(\sum_{j=1}^N x1_j^2 + y1_j^2 \right) \left(\sum_{j=1}^N x2_j^2 + y2_j^2 \right)}} \quad (1)$$

$$\hat{R}(\Delta F) \leq R_{\text{пор}} \quad (2)$$

$$W(\hat{R}) = \frac{2^{N-1} (1 - \hat{R}^2)^{N-2} \hat{R}^{2k} \Gamma(N+k)}{(1 - \hat{R}^2)^{N+k} \Gamma(N-k) \Gamma(k+1)} \quad (3)$$

$$W(\hat{R}) = 2(\hat{R})(1 - \hat{R}^2)^{N-2} (N-1) \quad (4)$$

$$P(R_{\text{пор}}) = 1 - (1 - R_{\text{пор}}^2)^{N-1} \quad (5)$$

Решение о том, что классифицируемый объект протяжённый принимается, если (2).

Проиллюстрируем работу предлагаемого способа на конкретном примере, прибегнув как к аналитическому расчёту, так и к моделированию с помощью системы MATLAB [4].

Осуществим классификацию протяжённого объекта, используя две выборки наблюдений с межчастотным коэффициентом корреляции, равным 0. Корреляционный порог в расчётах будем менять от 0,1 до 0,9. Независимое число накоплений N возьмём равным 8 и 16.

Для нахождения вероятности правильной классификации протяжённого объекта по непревышению оценкой порога нужно воспользоваться распределением Уишарта. В работе [3] получено распределение (3), где $\Gamma()$ – гамма функция.

Для протяжённых объектов с $\rho = 0$ и распределение (3) можно представить в более простом виде (4).

Используя (4), можно получить формулу для вероятности правильной классификации протяжённых объектов как вероятность непревышения порога (5).

Для верификации данной формулы было проведено моделирование с помощью системы MATLAB [4] классификатора ОМП с расчётом для разных значений порога $R_{\text{пор}}$ и $N=16$ и 32 (см. рис. 1 и 2 соответственно).

Результаты моделирования хорошо совпадают с аналитическими расчётами (см. рис. 1 и 2).

Все вышеприведённые исследования выполнены для независимых выборок наблюдений и получены, например, принимая отражённые сигналы от обзора к обзору РЛС. Однако представляет интерес и другой способ формирования модуля межчастотного коэффициента корреляции, когда обрабатываются сигналы в виде коррелированной пачки импульсов на каждой частоте в одном обзоре.

К сожалению, аналитически рассчитать вероятность правильной классификации протяжённого объекта в этом

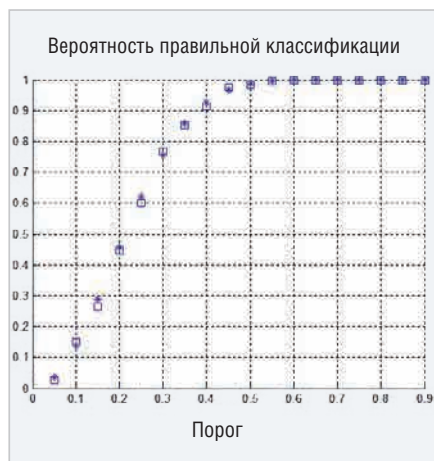


Рис. 1. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога $R_{пор}$ для $N = 16$ в классификаторе ОМП (звёздочки – аналитика, квадраты – моделирование)

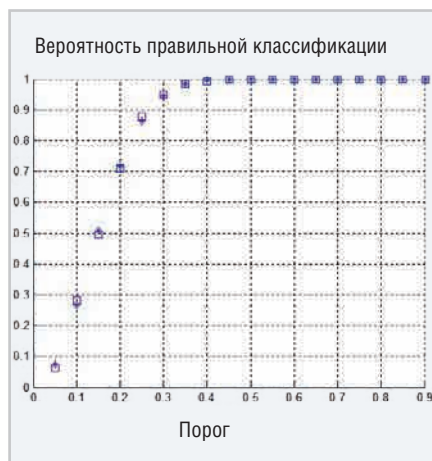


Рис. 2. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога $R_{пор}$ для $N = 32$ в классификаторе ОМП (звёздочки – аналитика, квадраты – моделирование)



Рис. 3. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога $R_{пор}$ для $N = 16$ в классификаторе ОМП для коррелированных выборок наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0 (квадраты) и 0,7 (кружки)

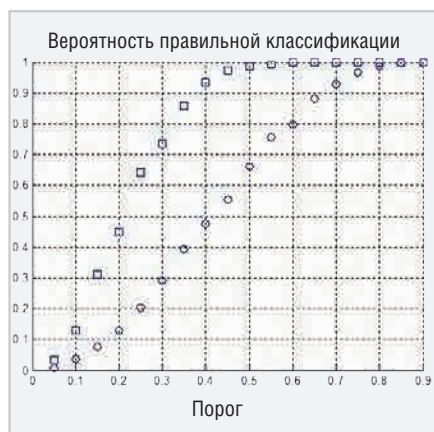


Рис. 4. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога $R_{пор}$ для $N = 16$ в классификаторе ОМП для коррелированных выборок наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0 (квадраты) и 0,9 (кружки)

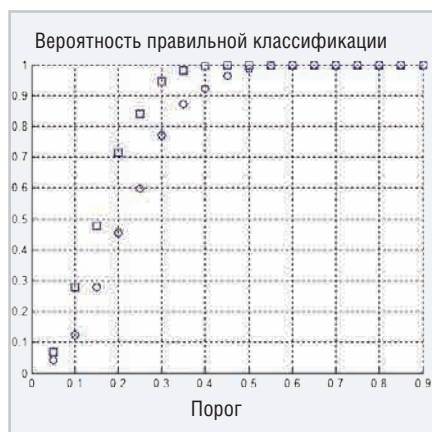


Рис. 5. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога $R_{пор}$ для $N = 32$ в классификаторе ОМП для коррелированных выборок наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0 (квадраты) и 0,7 (кружки)

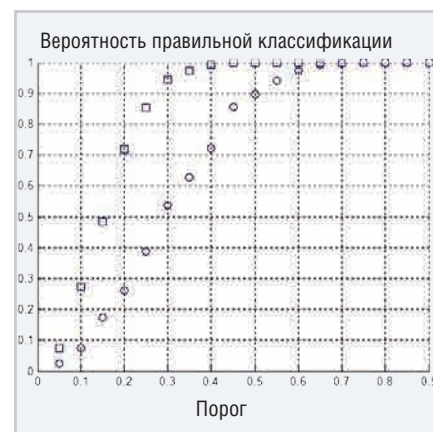


Рис. 6. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога $R_{пор}$ для $N = 32$ в классификаторе ОМП для коррелированных выборок наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0 (квадраты) и 0,9 (кружки)

случае не представляется возможным, и результаты были получены только моделированием в MATLAB. Для этого использовалась модель отражённых сигналов на каждой частоте в виде коррелированной пачки импульсов с нормально распределёнными квадратурными составляющими и имеющих корреляционную функцию гауссовой формы. Межпериодный коэффициент корреляции задавался 0,7 и 0,9, для числа импульсов в пачке – 16 и 32. Результаты моделирования представлены на рис. 3–6.

Таким образом, проведённое исследование полностью подтверждает положительный эффект от применения предложенного способа для классификации протяжённых объектов с использованием межчастот-

ного корреляционного признака. Например, для независимых выборок наблюдения при $N=16$ для порога, равного 0,5, обеспечивается вероятность правильной классификации 0,99. Коррелированность же выборок наблюдения заметно снижает эффективность классификации. Так, при тех же 16 выборках наблюдений, но коррелированных с межпериодным коэффициентом корреляции 0,7, вероятность правильной классификации для порога 0,5 равна 0,9, а для межпериодного коэффициента корреляции 0,9 – около 0,7. Повысить эффективность классификации для коррелированных выборок можно или их декорреляцией, или увеличением их числа. Так для 32 коррелированных выборок с межпериодным

коэффициентом корреляции 0,9 вероятность правильной классификации для порога 0,5 равна 0,9.

Литература

1. Bartenev V. Radar objects classification using inter frequency correlation coefficient. Report on the International conference RADAR 2016. China, Oct. 2016
2. Бартенев В.Г. Патент «Способ классификации и бланкирования дискретных помех» № 2710894, Опубликовано: 14.01.2020, Бюл. № 2.
3. Бартенев В.Г. О распределении оценки модуля коэффициента корреляции // Современная электроника, 2020. № 8,
4. Потемкин В.Г. «Справочник по MATLAB» Анализ и обработка данных. <http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/chapter8/>.

