

О декорреляции принимаемых сигналов при классификации объектов по межчастотному корреляционному признаку

Владимир Бартнев (bartvg@rambler.ru)

В статье рассмотрена проблема классификации радиолокационных целей по их продольному размеру с использованием межчастотного корреляционного признака. Для повышения быстродействия классификации за один обзор РЛС предлагается предварительно производить декорреляцию принимаемых сигналов на каждой из несущих частот.

Предлагаемый способ повышения быстродействия классификации относится к цифровой обработке радиолокационных сигналов. Задача классификации коррелированных сигналов по дискретным выборкам конечного объёма возникает во многих технических приложениях. Весьма актуальна, например, задача распознавания типов целей [1] или защита РЛС от дискретных коррелированных мешающих отражений [2]. В работе [2] показано, что для классификации отражённых сигналов обнаруженных объектов по их продольному размеру можно использовать характер флуктуаций 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. Также известен способ классификации объектов по их продольному размеру, при котором выборки значений отражённых от объекта сигналов, полученные при двух разнесённых несущих частотах РЛС, перемножаются, их произведение накапливается от обзора к обзору для каж-

дого элемента дальности, и нормированный модуль накопленного произведения сравнивается с порогом. Полученная таким образом оценка максимального правдоподобия модуля межчастотного коэффициента корреляции сравнивается с порогом в каждом элементе дальности, на основании чего принимается решение о наличии объекта с большим продольным размером (порог не превышен) или с малым продольным размером (порог превышен).

Данный способ позволяет осуществлять эффективную классификацию объектов по межчастотному корреляционному признаку, однако требует использования независимых выборок наблюдения, что приводит к использованию выборки принимаемых сигналов от обзора к обзору, приводя к большому временным затратам. Если же использовать выборки наблюдений в одном обзоре, производя формирование оценки модуля межчастотного коэффициента по коррелированным выборкам пачки отражённых сигналов, то, как показано в [3], это приведёт к существенному снижению вероятности правильной классификации объектов.

С целью преодолеть данный недостаток и повысить быстродействие без снижения эффективности классификации объектов по их продольному размеру предлагается способ классификации за один обзор, в котором предварительно до формирования оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции производят на каждой несущей частоте декорреляцию выборок наблюдения для уменьшения их межпериодной корреляции. Декорреляцию выборок наблюдения можно выполнить с помощью обеляющего фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр), использующего в качестве весовых коэффициентов оценки коэффициентов авторегрессии (АР). Известно несколько методов оценки коэффициентов АР. Далее для этого будет использован метод Берга [4].

Рассмотрим известный и предлагаемый способы более подробно.

Для того чтобы сформировать межчастотный коэффициент корреляции, используют наиболее эффективный алгоритм в виде оценки максимального правдоподобия (ОМП) модуля межчастотного коэффициента корреляции, которая выполняется в соответствии с формулой (1) [2], где \hat{R} – оценка модуля межчастотного коэффициента корреляции, N – число накоплений по независимым выборкам (обзорам РЛС).

$Z1_j = x1_j + iy1_j, Z2_j = x2_j + iy2_j$ – комплексные выборки классифицируемых эхосигналов на входе в двух частотных каналах. Квадратурные компоненты классифицируемых флуктуирующих сигналов имеют нормальное распределение, при этом без уменьшения общности подхода, так как данный алгоритм не чувствителен к изменению мощности сигналов мешающих отражений, дисперсия их равнялась 1, и среднее – 0.

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

Проиллюстрируем работу известного способа на конкретном примере, прибегнув как к аналитическому расчету, так и к моделированию с помощью системы MATLAB [5].

$$\hat{R}(\Delta F) = \left| \frac{\sum_{j=1}^N Z1_j \times Z2_j^*}{\left(\sum_{j=1}^N Z1_j \times Z1_j^* \right) \times \left(\sum_{j=1}^N Z2_j \times Z2_j^* \right)} \right| = \sqrt{\frac{\left(\sum_{j=1}^N x1_j \times x2_j + y1_j \times y2_j \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N x2_j \times y1_j - x1_j \times y2_j \right)^2}{\left(\sum_{j=1}^N x1_j \times x1_j + y1_j \times y1_j \right) \times \left(\sum_{j=1}^N x2_j \times x2_j + y2_j \times y2_j \right)}} \quad (1)$$

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

$$W(\hat{R}) = 2(N-1)(1-\hat{R}^2)^{N-2} \hat{R}(1-\hat{R}^2)^N \sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\hat{R}R)^{2k} \Gamma(N+k)}{(1-\hat{R}^2 R^2)^{N+k} \Gamma(N-k) \Gamma^2(k+1)} \quad (3)$$

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

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

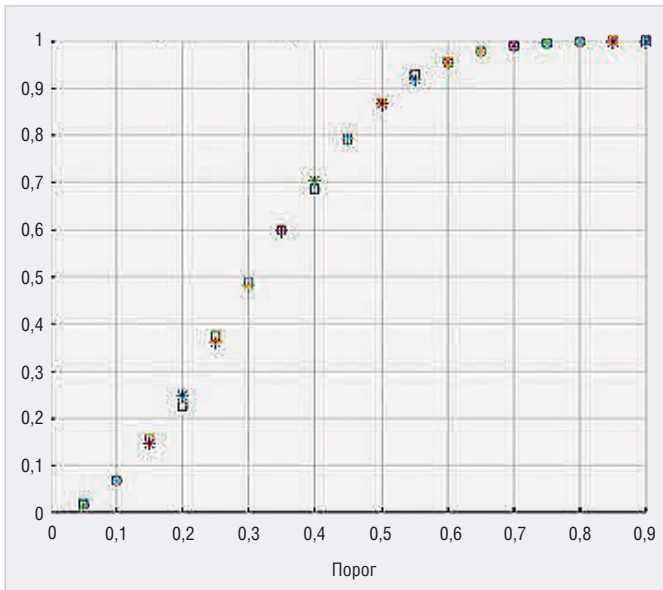


Рис. 1. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для $N = 8$ в классификаторе с независимыми выборками наблюдений (звёздочки – аналитика, квадраты – моделирование)

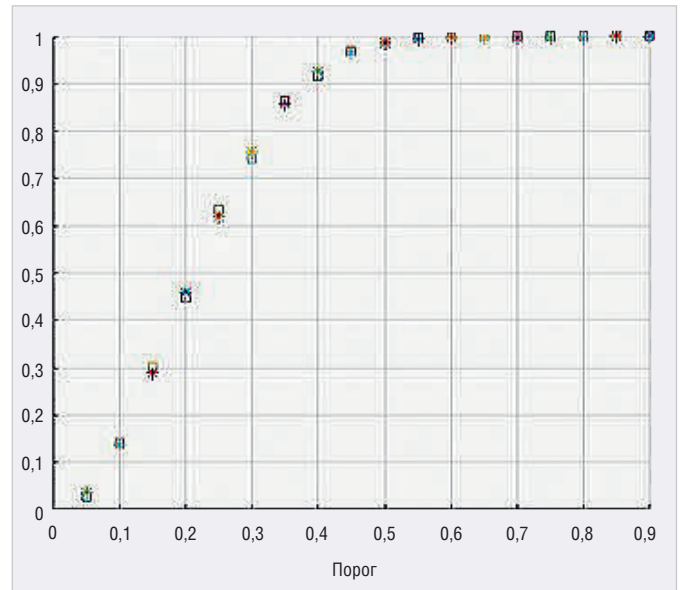


Рис. 2. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для $N = 16$ в классификаторе с независимыми выборками наблюдений (звёздочки – аналитика, квадраты – моделирование)

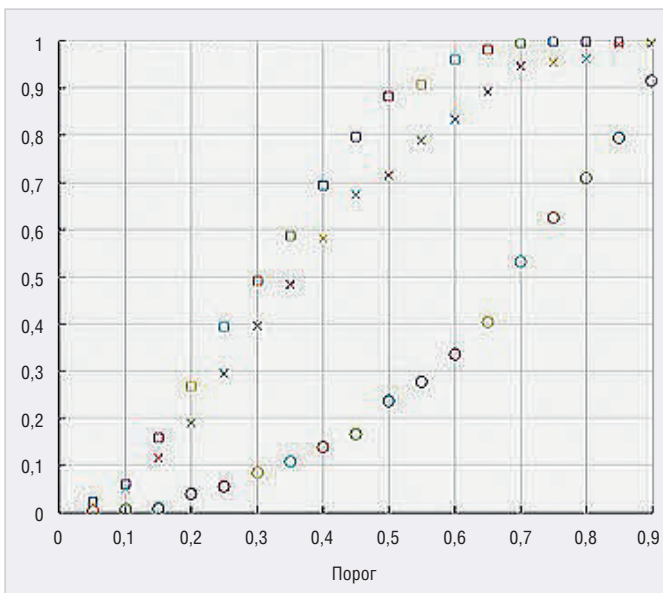


Рис. 3. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для $N = 8$ в классификаторе для некоррелированных выборок наблюдений (квадратики), для коррелированных выборок наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0,9 (кружки) и с использованием декорреляции (крестики)

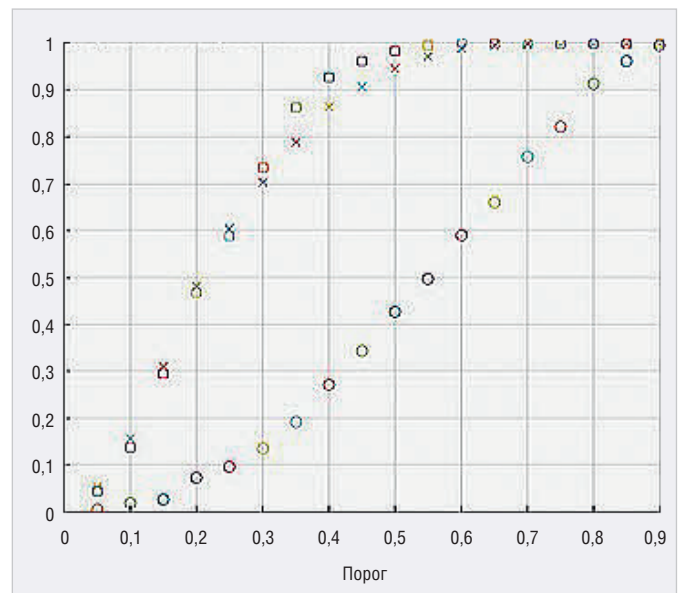


Рис. 4. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для $N = 16$ в классификаторе для некоррелированных выборок наблюдений (квадратики), для коррелированных выборок наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0,9 (кружки) и с использованием декорреляции (крестики)

Осуществим классификацию протяжённого объекта, используя две выборки наблюдений с межчастотным коэффициентом корреляции равным $R = 0$. Корреляционный порог в расчётах будем менять от 0,1 до 0,9. Число независимых накоплений (обзоров) возьмём $N = 8$ и 16.

Для нахождения вероятности правильной классификации протяжённого объекта по неперевышению оценкой порога $R_{пор}$ нужно воспользоваться

распределением Уишарта. В работе [5] получено распределение оценки максимального правдоподобия (ОМП) для модуля межчастотного коэффициента корреляции из распределения Уишарта, где $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция (3).

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

Используя (4), можно получить формулу для вероятности правильной классификации протяжённых объектов,

как вероятность неперевышения порога (см. (5)).

Для верификации данной формулы было проведено моделирование с помощью системы MATLAB [6] классификатора ОМП с расчётом для разных значений порога $R_{пор}$ и $N = 8$ и 16 (см. рис. 1 и 2, соответственно).

Результаты моделирования хорошо совпадают с аналитическими расчётами, что позволяет и для дальнейших исследований использовать моделирование.

Графики на рис. 1 и рис. 2 соответствуют независимым выборкам наблюдения, т.е. приёму отражённых сигналов за несколько обзоров РЛС. Однако для повышения скорости принятия решения рассмотрим другой случай, когда для формирования модуля межчастотного коэффициента корреляции обрабатываются сигналы в виде коррелированной пачки импульсов на каждой частоте в одном обзоре.

К сожалению, аналитически рассчитать вероятность правильной классификации протяжённого объекта в этом 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. Межпериодный коэффициент корреляции задавался 0,9 для числа импульсов в пачке 8 и 16. Результаты моделирования представлены на рис. 3, 4.

Результаты исследования полностью подтверждают, что коррели-

рованность выборок наблюдения заметно снижает эффективность классификации. Так, при 16 коррелированных выборках наблюдений с межпериодным коэффициентом корреляции 0,9 вероятность правильной классификации для порога 0,4 падает с 0,9 до 0,3. Повысить эффективность классификации при работе за один обзор можно в соответствии с предлагаемым способом с помощью декорреляции выборок наблюдения на каждой несущей частоте. Такая декорреляция была выполнена с помощью авторегрессионной КИХ-фильтрации по алгоритму Берга.

Результаты моделирования с декорреляцией для авторегрессии третьего порядка представлены на рис. 3, 4.

Результаты исследования полностью подтверждают, что применение декорреляции выборок наблюдения при работе в одном обзоре заметно повышает эффективность классификации при существенном повышении быстродействия этой операции. Так, уже при 16 коррелированных выборках наблюдения с межпериодным коэффициентом корреляции 0,9 в одном обзо-

ре декорреляция позволяет получить вероятность правильной классификации практически такую же, как при использовании независимых выборок за 16 обзоров.

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 некоторых особенностях формирования межчастотного корреляционного признака // Современная электроника. 2021. № 3.
4. *Бартенев В.Г.* Квазиоптимальные адаптивные алгоритмы обнаружения сигналов // Современная электроника. 2011. № 2.
5. *Бартенев В.Г.* О распределении оценки модуля коэффициента корреляции // Современная электроника. 2020. № 8.
6. *Потемкин В.Г.* Справочник по MATLAB. Анализ и обработка данных // URL: <http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/chapter8/>. ©

ВАКУУМНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИСПЛЕИ ДЛЯ ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Яркость 600 кд/м²
Угол обзора 150°
 (конусный)
Встроенные контроллеры управления
Символы высотой 5 и 9 мм
Вибрации от 10 до 500 Гц
Удары до 20g
 (по каждой оси)
Ресурс от 40 000 до 100 000 часов
Диапазон рабочих температур -40...+85°C

IEE INDUSTRIAL ELECTRONIC ENGINEERS

ВЛД с точечной матрицей серии Century — по-прежнему в строю!

05464-35074-01x5

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIPRU ▪ WWW.PROCHIPRU

