

Д. О. Мартынов¹, А. В. Калинин¹

¹ Новосибирский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ И МЕТОДА ПРОСТОГО ГОЛОСОВАНИЯ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ КЛАССОВ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАР АМПЛИТУД ЭХОСИГНАЛОВ

С развитием оборонной промышленности и авиации появляется все большее количество различных воздушных объектов. В связи с этим обнаружение и идентификация типа цели в настоящее время является весьма актуальной задачей. Из недавно написанных работ известен алгоритм распознавания классов объектов на основе двумерной плотности распределения вероятностей коррелирующих амплитуд. В данной работе рассмотрены методы повышения вероятности правильного распознавания классов радиолокационных целей применительно к алгоритму распознавания, выносящему решения по совокупности двух признаков – эффективной поверхности рассеяния цели и коэффициенту корреляции принятых отсчетов амплитуд эхосигнала. В качестве методов повышения достоверности распознавания использовались усреднение и метод простого голосования. В работе проводится количественная оценка качества повышения вероятности правильного распознавания предлагаемых методов. Результаты численного моделирования показали, что оба метода позволяют добиться существенного выигрыша.

Ключевые слова: распознавание классов, радиолокационный объект, корреляционная функция, моделирование эхосигнала, метод простого голосования.

Ранее в работе [1] был рассмотрен алгоритм распознавания классов радиолокационных целей по совокупности двух признаков – средней ЭПР цели и коэффициенту корреляции между принятыми отсчетами амплитуд эхосигнала. Алгоритм показал уровни вероятностей правильного распознавания – порядка 0,7 и 0,9 для распознавания из трех и двух классов радиолокационных целей соответственно.

Цель данной работы – рассмотреть возможности повышения достоверности распознавания с помощью предложенного алгоритма за счет применения накопления и метода простого голосования.

Решение задачи

Алгоритм распознавания [1] основывается на двумерной ПРВ (плотность распределения вероятности) Райса, включающей два признака распознавания – среднюю ЭПР цели и коэффициент корреляции между отсчетами амплитуд [2]:

$$W(A_1, A_2) = \frac{A_1 A_2}{\sigma^4(1-R^2)} \exp\left(-\frac{A_1^2 + A_2^2}{2\sigma^2(1-R^2)}\right) I_0\left(\frac{RA_1 A_2}{\sigma^2(1-R^2)}\right), \quad (1)$$

где A_1 и A_2 – амплитуды эхосигнала в моменты времени, разнесенные на период повторения зондирующих импульсов; σ – среднеквадратическое отклонение амплитуд, определяемое величиной средней ЭПР и уровнем тепловых шумов приемника; R – коэффициент корреляции амплитуд (A_1 и A_2); $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Применение отношения правдоподобия и критерия максимального правдоподобия к ПРВ (1) дает следующее решающее правило при распознавании двух классов:

$$\begin{cases} \text{если } A_1^2 + A_2^2 + K(\ln(I_0(x_2)) - \ln(I_0(x_1))) < P - \\ \text{объект относится к классу I;} \\ \text{если } A_1^2 + A_2^2 + K(\ln(I_0(x_2)) - \ln(I_0(x_1))) \geq P - \\ \text{объект относится к классу II,} \end{cases} \quad (2)$$

где

$$P = K \left(\ln\left(\frac{K_1}{\sigma_1^2}\right) - \ln\left(\frac{K_2}{\sigma_2^2}\right) \right); K = \frac{2}{K_1 - K_2}; K_1 = \frac{1}{\sigma_1^2(1-R_1^2)};$$

$$K_2 = \frac{1}{\sigma_2^2(1-R_2^2)}; x_1 = R_1 A_1 A_2 K_1; x_2 = R_2 A_1 A_2 K_2;$$

R_1, R_2 – коэффициенты корреляции амплитуд для I и II классов целей; σ_1, σ_2 – среднеквадратическое отклонение амплитуд сигналов для I и II классов.

При усложнении задачи до распознавания трех классов решающее правило изменится [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } A_1^2 + A_2^2 + G_1(\ln(I_0(x_2)) - \ln(I_0(x_1))) > P_1 - \\ \text{объект относится к классу I;} \\ P_2 \leq A_1^2 + A_2^2 + G_{1,2}(\ln(I_0(x_{2,3})) - \ln(I_0(x_{1,2}))) \leq P_1 - \\ \text{объект относится к классу II;} \\ \text{если } A_1^2 + A_2^2 + G_2(\ln(I_0(x_3)) - \ln(I_0(x_2))) < P_2 - \\ \text{объект относится к классу III.} \end{array} \right. \quad (3)$$

Для упрощения записи в (3) введены следующие обозначения:

$$P_1 = G_1 \left(\ln \left(\frac{K_1}{\sigma_1^2} \right) - \ln \left(\frac{K_2}{\sigma_2^2} \right) \right); P_2 = G_2 \left(\ln \left(\frac{K_2}{\sigma_2^2} \right) - \ln \left(\frac{K_3}{\sigma_3^2} \right) \right);$$

$$G_1 = \frac{2}{K_1 - K_2}; G_2 = \frac{2}{K_2 - K_3}; G_{1,2} = \frac{2}{K_1 - K_3};$$

$$K_1 = \frac{1}{\sigma_1^2(1-R_1^2)}; K_2 = \frac{1}{\sigma_2^2(1-R_2^2)}; K_3 = \frac{1}{\sigma_3^2(1-R_3^2)};$$

$$x_1 = R_1 A_1 A_2 K_1; x_2 = R_2 A_1 A_2 K_2; x_3 = R_3 A_1 A_2 K_3.$$

В обоих алгоритмах отсчеты амплитуды эхосигнала рассматривались попарно (для использования корреляционного признака требуется два отсчета амплитуд). Решение о принадлежности цели тому или иному классу выносилось для каждой пары отсчетов независимо друг от друга.

Для повышения достоверности распознавания предлагается рассмотреть возможность использования двух методов:

1. Использование накопления принимаемой информации, а именно левых частей неравенств (2) и (3).
2. Использование метода простого голосования [3]. При этом обработка принимаемой информации происходит в два этапа. Сначала выносятся независимые решения в пользу того или иного класса для каждой пары отсчетов. Затем подсчитываются «голоса», отданные в пользу каждого из классов. Итоговое решение о принадлежности объекта тому или иному классу выносится в пользу класса, набравшего большинство голосов.

Моделирование работы алгоритма

Для оценки качества предлагаемых решений было проведено моделирование работы алгоритмов (2) и (3). Для этого были сгенерированы случайные последовательности чисел, подчиняющиеся распределению Рэлея и имеющие заданные корреляционные свойства. Эти последовательности использовались в качестве модели эхосигналов [4]. Параметры радиолокационных объектов, эхосигналы которых моделировались, сведены в табл. 1 и 2 (L_{\max} – максимальный размер объекта (длина или размах крыльев для самолетов), v – путевая скорость движения объекта, $F_{\text{рыск}}$ – частота рыскания по курсу).

Случайные числа с заданными корреляционными свойствами генерировались известным методом линейной фильтрации [5]. Корреляционные свойства задавались функцией

$$R(t) = \exp(-\pi t^2 F_{\text{фл}}^2), \quad (4)$$

которая была получена с помощью обратного преобразования Фурье от функции, описывающей спектр доплеровских флуктуаций амплитуд [5, 6]:

$$S(f) = \left(\frac{1}{F_{\text{фл}}} \right) \exp \left(-\frac{\pi f^2}{F_{\text{фл}}^2} \right), \quad (5)$$

Таблица 1. Параметры объектов (два класса)

Объект	L_{\max} , м	v , м/с	$F_{\text{рыск}}$, град/с
Малоразмерный	4,41	820	2
Крупноразмерный	56,39	227	1

Таблица 2. Параметры объектов (три класса)

Объект	L_{\max} , м	v , м/с	$F_{\text{рыск}}$, град/с
Малоразмерный	4,41	820	2
Среднеразмерный	16,6	580	1,5
Крупноразмерный	56,39	227	1

Таблица 3. Результаты моделирования

Случай	Класс объекта	Оценка вероятности правильного распознавания
Без дополнительной обработки. Три класса	Малоразмерный	0,76
	Среднеразмерный	0,76
	Крупноразмерный	0,74
Без дополнительной обработки. Два класса	Малоразмерный	0,92
	Крупноразмерный	0,94
Усреднение амплитуд. Три класса	Малоразмерный	0,90
	Среднеразмерный	0,81
	Крупноразмерный	0,80
Усреднение амплитуд. Два класса	Малоразмерный	0,97
	Крупноразмерный	0,96
Простое голосование. Три класса	Малоразмерный	0,83
	Среднеразмерный	0,90
	Крупноразмерный	0,93
Простое голосование. Два класса	Малоразмерный	0,97
	Крупноразмерный	0,99

где $F_{\phi l}$ – ширина спектра флуктуаций, определяемая параметрами объекта;

$$F_{\phi l} = \frac{2 L_{\max}}{\lambda} \left(\frac{v}{D} \sin(\theta) + F_{\text{рыск}} \right), \quad (6)$$

где λ – длина волны зондирующего сигнала; D – расстояние до объекта; θ – угол между направлением вектора скорости движения объекта и РЛС.

Отсчеты амплитуд получались как

$$A = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}, \quad (7)$$

где $\xi_1, \xi_2(t)$ – нормально распределенные случайные величины с заданными корреляционными свойствами.

Моделирование работы алгоритмов проводилось для $\lambda = 10$ см, значений дальностей до цели 10–250 км (с шагом 10 км). Для каждого класса целей в каждом элементе дальности генерировалось сто последовательностей (7), состоящих из ста отсчетов каждая. В качестве оцениваемой величины использовалась средняя вероятность правильного распознавания.

Результаты моделирования

Результаты моделирования для усреднения и простого голосования по 10 выборкам сведены

в табл. 3. Приведенные в ней результаты показывают, что даже при небольшом числе усреднений имеет место существенное увеличение достоверности распознавания для случая дополнительной обработки – усреднения амплитуд, как для двух, так и для трех классов объектов. Также из табл. 3 следует, что применение дополнительной обработки в виде простого голосования значительно увеличивает значение оценки вероятности правильного распознавания для случая составления алфавита из двух и трех классов объектов.

Выводы

1. Применение усреднения и метода простого голосования позволяет значительно повысить средние вероятности распознавания как для двух, так и для трех классов объектов.
2. Метод простого голосования позволяет добиться более высоких вероятностей правильного распознавания, чем усреднение.
3. Оценочные значения вероятностей правильного распознавания позволяют говорить о практической пригодности распознавания на основе совместного использования и корреляции амплитуд эхосигналов для решения задач распознавания радиолокационных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынов Д. О., Прудников С. Я., Киселев А. В. Распознавание классов радиолокационных целей по их ЭПР и коэффициенту корреляции отсчетов амплитуд эхосигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 4. С. 3–35.

2. Пупко А. М., Каныгина Е. А. Декорреляция отраженных сигналов и точность углометрии // Вопросы радиоэлектроники. 1984. Вып. 11. С. 3–8.
3. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А. Л. Горелик, Ю. Л. Барабаш, О. В. Кривошеев, С. С. Эпштейн; под ред. А. Л. Горелика. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
4. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Советское радио, 1971. 328 с.
5. Фельдман Ю. И., Мандуровский И. А. Теория флуктуаций локационных сигналов, отраженных распределенными целями / под ред. Ю. И. Фельдмана. М.: Радио и связь, 1988. 272 с.
6. Skolnik M. I. Radar Handbook. 3rd ed. New York, McGraw Hill, 2008, 1352 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мартынов Дмитрий Олегович, аспирант, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр-т Карла Маркса, д. 20, тел.: 8 (913) 385-40-81, e-mail: makak2009@mail.ru.

Калин Артем Валерьевич, аспирант, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр-т Карла Маркса, д. 20, тел.: 8 (951) 379-85-51, e-mail: temon93@mail.ru.

For citation: Martynov D. O., Kalin A. V. Using accumulation and simple voting method for recognizing classes of targets based on joint distribution of pairs of echo signals amplitudes. Voprosy radioelektroniki, 2018, no. 4, pp. 6–9. DOI 10.21778/2218-5453-2018-4-6-9

D. O. Martynov, A. V. Kalin

USING ACCUMULATION AND SIMPLE VOTING METHOD FOR RECOGNIZING CLASSES OF TARGETS BASED ON JOINT DISTRIBUTION OF PAIRS OF ECHO SIGNALS AMPLITUDES

With the development of the defense industry and aviation, there is an increasing number of different air targets. In this regard, the detection and identification of the type of target is currently a actual problem. The algorithm for recognizing object classes based on a two-dimensional probability distribution density of the correlating amplitudes is known from the recently written works. In this paper the methods of increasing the probability of correct radar target classes recognition are considered. The methods are applied with regard to recognition algorithm, which makes a decision based on two attributes (effective radar cross-section and correlation coefficient of the received echo amplitudes samples). The averaging and the simple voting methods were used for increasing the recognition reliability. In this paper is considered evaluation of efficiency of proposed methods. The results of numerical simulation showed that both methods provide the significant gain.

Keywords: recognition of classes, radiolocation object, correlation function, echo signal modeling, simple voting method.

REFERENCES

1. Martynov D. O., Prudnikov S. Y., Kiselev A. V. Recognition of radar target classes, using radar cross section and the correlation coefficient of echo signal amplitude adjacent samples. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 4, pp. 33–35 (In Russian).
2. Pupko A. M., Kanygina E. A. Decorrelation of reflected signals and accuracy of angle measurement. *Voprosy radioelektroniki*, 1984, iss. 11, pp. 3–8 (In Russian).
3. Gorelik A. L., Barabash U. L., Krivosheev O. V., Epshteyn S. S. *Selekciya i raspoznavanie na osnove lokatsionnoy informacii* [Selection and determination based on location information]. In: A. L. Gorelik, ed. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1990, 240 p. (In Russia).
4. Bykov V. V. *Cifrovoe modelirovanie v statisticheskoj radiotekhnike* [Digital modeling in statistical radio engineering]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1970, 327 p. (In Russian).
5. Feldman Yu. I., Mandurovskiy I. A. *Teoriya fluktuacii locacionnyh signalov otragennih raspredelennimi celyami* [The theory of fluctuation radiolocation signals, reflected from distributed targets]. In: Yu. I. Feldman, ed. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1988, 272 p. (In Russia).
6. Skolnik M. I. Radar Handbook. 3rd ed. New York, McGraw Hill, 2008, 1352 p.

AUTHORS

Martynov Dmitriy, postgraduate student, Novosibirsk State Technical University, 20, prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel.: +7 (913) 385-40-81, e-mail: makak2009@mail.ru.

Kalin Artem, postgraduate student, Novosibirsk State Technical University, 20, prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel.: +7 (951) 379-85-51, e-mail: temon93@mail.ru.