

Способ распознавания типа объекта в воздушно-космическом пространстве на основе анализа радиотехнических характеристик с учетом информативности признаков

Алдохина В.Н.¹, Демьянов А.В.¹, Гудаев Р.А.^{1*}, Бык В.С.¹, Викулова Ю.М.^{2}**

¹*Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,
ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198, Россия*

²*Группа компаний «РТИ»,
ул. 8-го Марта, 10, стр. 1, Москва, 127083, Россия*

**e-mail: mrgudaev@mail.ru*

***e-mail: yvikulova@oaorti.ru*

Аннотация

Рассмотрен способ распознавания излучающих объектов на основе обработки информации, получаемой с помощью комплексов радиотехнических измерений. Предполагается, что предлагаемый способ позволит расширить признаковое пространство и повысит вероятность правильного распознавания.

Ключевые слова: распознавание, признаки распознавания, энтропия.

Введение

На современном этапе развития человечества темпы заселения околоземного космического пространства неуклонно растут. Именно поэтому вопросы мониторинга космического пространства стоят наиболее остро. В мире существует множество систем мониторинга космического пространства. Одной из задач, которую они обязаны решать, исходя из своего функционального предназначения,

является задача распознавания типа объектов. На данный момент эта задача решается за счет информации, получаемой от различных средств. Однако, основным показателем данных систем – вероятность правильного распознавания, не всегда достигает требуемого значения. Это связано с тем, что дальность действия радиолокационных станций ограничена «ближним космосом», а оптико-электронные комплексы проводят измерения только при выполнении условий видимости и наблюдаемости. С недавнего времени для решения данной задачи стали активно привлекаться комплексы радиотехнических измерений [2, 4, 5], которые обладают следующими преимуществами:

- высокой точностью измерения и направления линии визирования;
- возможностью осуществления надежного контроля характеристик принимаемых сигналов произвольной формы;
- широким частотным диапазоном;
- высокой чувствительностью пеленгатора.

Анализ существующего научно-методического аппарата показал, что на данный момент отсутствуют методики и способы, позволяющие обрабатывать радиотехнические сигнатуры в интересах решения задачи распознавания типа объекта. Таким образом, целью данной статьи является разработка способа распознавания на основе анализа радиотехнической информации, полученной от излучающих объектов (ИО).

Разработка любой системы распознавания, равно как и способа, начинается с определения признакового пространства и на его основании описания классов распознаваемых объектов. Анализ возможностей современных комплексов

радиотехнического контроля показал, что с их помощью возможно получение широкого спектра признаков. В работе [1, 3], говорится о том, что распознаваемые объекты целесообразно описывать с помощью признаков обладающих хорошими разделяющими качествами. Невыполнение этого требования приводит к увеличению ошибки распознавания. Исходя из этого требования, наиболее интересными признаками распознавания излучающих объектов являются: спектральные портреты и диаграммы направленности. Дальнейший анализ показал, что данные признаки обладают свойствами устойчивости, повторяемости и доступности. Информативность указанных признаков предлагается оценивать на основании энтропийного подхода, рассмотренного в работе [3].

Исходя из всего вышесказанного, предлагаемый способ будет состоять из трех этапов. На первом этапе производится предварительная обработка измеренных данных и проведение распознавания ИО на основании каждого признака в отдельности. На втором этапе производится расчет информативности признаков и присвоение весовых коэффициентов. Третий этап заключается в проведении распознавания на основании совокупности признаков.

Рассмотрим каждый этап более подробно. Целью предварительной обработки, является приведение измерений к виду, отвечающему требованиям, предъявляемым к данным, хранимым в каталоге.

Частное распознавание производится на основании применения специализированных алгоритмов, адаптированных под конкретный признак.

Анализ спектральных портретов различных ИО показал, что для данного признака характерна тесная группировка возле определенных значений, являющимися своего рода эталонными. Определение девиации данных значений относительно «эталона» позволит задать пороговые значения и в дальнейшем производить определение типа распознаваемого ИО по факту попадания в заданный интервал.

Что касается диаграмм направленности, то решение данной задачи является достаточно сложной. Предлагается для построения сечения диаграммы направленности использовать «метод облета». Ввиду того что диаграммы направленности имеют сложную объемную лепестковую структуру, то задача их каталогизации является практически невыполнимой. Решением данной проблемы является применение имитационной модели «наблюдаемый объект – средство измерений». Она должна позволять строить «ожидаемую диаграмму направленности» для текущих условий проведения измерений, на основании априорных данных о распознаваемом ИО. Дальнейшее распознавание проводится за счет проверки гипотезы о тождественности построенной и измеренной диаграмм направленности для определенного типа ИО.

Мероприятия второго этапа направлены на расчет информативности признаков и назначения весовых коэффициентов.

Первоначальные значения весовых коэффициентов возможно определить тремя способами:

- назначить идентичными для всех классов;
- воспользоваться имитационной моделью;

– использовать метод экспертных оценок.

Исходными данными для определения информативности являются значения вероятности правильного принятия решения о распознавании ИО с помощью соответствующих алгоритмов. Они могут быть получены в режиме «обучения», при работе по априорно известному ИО или в результате имитационного моделирования. Они принимают следующий вид:

$$I_{\text{ex}} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & \dots & D_{1N} \\ D_{21} & D_{22} & \dots & D_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{W1} & D_{W2} & \dots & D_{WN} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N, w = 1, 2, \dots, W.$$

где D_{iw} – значение статистической вероятности правильного принятия решения о распознавании i -го класса ИО по w -му признаку;

W – количество признаков распознавания;

N – количество классов.

Для определения информативности признаков воспользуемся понятием *энтропии* $H_{\text{энтр}}$, которая представляет собой статистическую меру неопределенности (строк матрицы I_{ex}).

В работе [3, 6, 7, 8, 9] под информативными понимаются признаки, которые уменьшают неопределенность заданной ситуации распознавания. Исходя из этого, разумным правилом является выбор признаков, обеспечивающих минимизацию энтропии распознаваемых классов.

$$H_{\text{энтр}}(D_{iw}) \rightarrow \min_i. \quad (2)$$

В указанной работе энтропию предлагается рассчитывать следующим образом:

$$H_{iw} = -\sum_{i=1}^N D_{iw} \log D_{iw} . \quad (3)$$

Результатом проведенных по формуле (3) расчетов будут W значений энтропии. В соответствии с идеей, рассмотренной в работе [1, 3, 6-9] будем полагать более информативным признак, если соответствующее значение энтропии H_{iw} , принимает минимальное значение по w , $w = 1, 2, \dots, W$ среди признаков данного вида.

Весовые коэффициенты предлагается назначить относительно минимального значения энтропии $c_w = \frac{\min H_w}{H_w}$ с последующим нормированием. Таким образом, нормированные весовые коэффициенты будут рассчитываться по следующей формуле:

$$c_w^{норм} = \frac{c_w}{\sum_{w=1}^W c_w} . \quad (4)$$

Вектор нормированных коэффициентов примет следующий вид:

$$C = \begin{pmatrix} c_1^{норм} \\ c_2^{норм} \\ \dots \\ c_W^{норм} \end{pmatrix} . \quad (5)$$

Результаты работы специализированных алгоритмов распознавания могут быть представлены следующей последовательностью гипотез:

$$S_1, S_2, \dots, S_W, S_w = \begin{cases} 1 & \text{если } H_0 \\ 0 & \text{иначе } H_1 \end{cases} .$$

Таким образом, под S_w будем понимать решение о распознавании ИО по w признаку распознавания, который удалось получить в ходе сеанса измерений.

После определения весовых коэффициентов, указанная последовательность примет следующий вид:

$$S_1 c_1^{норм}, S_2 c_2^{норм}, \dots, S_w c_w^{норм}.$$

Далее производится распознавание ИО по совокупности признаков следующим образом

$$S_1 c_1^{норм} + S_2 c_2^{норм} + \dots + S_w c_w^{норм} = T_{расч}. \quad (6)$$

Правило принятия решения относительно истинности той или иной гипотезы распознавания ИО по совокупности признаков формулируется следующим образом:

- если значение $T_{расч}$ удовлетворяет условию $T_{расч} \geq T_{нор}$, то справедлива гипотеза H_0 ;
- если значение $T_{расч}$ удовлетворяет условию $T_{расч} < T_{нор}$, то справедлива гипотеза H_1 .

В таблице 1 приведены результаты расчетов энтропии и весовых коэффициентов, найденных для соответствующих статистических вероятностей правильного распознавания типа ИО (Общее количество экспериментов составило 500).

Таблица 1

Сводная таблица результатов расчета энтропии и весовых коэффициентов в зависимости от вероятности правильного распознавания

Название	Значение									
D_{iw}	0,913	0,8	0,75	0,7	0,6	0,65	0,62	0,4	0,5	0,45
H_{iw}	0,083	0,178	0,215	0,249	0,306	0,280	0,296	0,366	0,346	0,359
c_w	1	0,465	0,385	0,332	0,271	0,296	0,28	0,226	0,239	0,231

$c_w^{норм}$	0,268	0,124	0,103	0,089	0,072	0,079	0,075	0,06	0,064	0,062
Количество правильных распознаваний без учета информативности (c_0)									222 (44,4%)	
Количество правильных распознаваний с учетом информативности ($c_w^{норм}$)									290 (58%)	

Анализ результатов показал, что применение весовых коэффициентов, рассчитанных на основании энтропийного подхода, позволило увеличить вероятность правильного распознавания (в данной ситуации) на 14%.

Для минимизации времени, необходимого для решения задачи распознавания ИО, может быть применена предварительная обработка. Она позволит распределить классы распознавания в порядке приоритета, а признаки, основываясь на их разделяющих качествах, в порядке информативности. Таким образом, распознавание будет начинаться с класса, к которому наиболее вероятно принадлежит ИО, с признака, который обладает наилучшими разделяющими качествами в рамках данного класса до момента превышения порогового значения $T_{пор}$.

Выводы

Результатом реализации данного способа будет решение о распознавании ИО на основании радиотехнической информации. Рассмотренный способ позволяет:

- производить распознавание ИО на основании радиотехнической информации;
- расширить признаковое пространство используемое для описания классов;
- определять информативность признаков распознавания;
- минимизировать ошибку распознавания;
- уменьшить вычислительные затраты на проведение распознавания.

Библиографический список

1. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1984. – 208 с.
2. Чеботарев А.С., Жуков А.О., Махненко Ю.Ю., Турлов З.Н. Мониторинг космических аппаратов на основе применения корреляционно-фазовых пеленгаторов. - М.: Физматлит, 2011. - 120 с.
3. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 414 с.
4. Майоров Д.А., Перехожев В.А., Шемяков А.О. Разработка алгоритма получения и обработки спектральных признаков воздушного объекта в интересах идентификации и селекции движущихся целей // Труды МАИ. 2013. №71. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=47077>
5. Куликов С.В., Гудаев Р.А., Балдычев М.Т., Гайчук Ю.Н. Решение задачи распознавания излучающих объектов на основе подхода к отождествлению их диаграмм направленности // Научные технологии. 2015. №12. С. 26-30.
6. Чернавский Д.С., Карп В.П., Родштат И.В., Никитин А.П., Чернавская Н.М. Распознавание. Аутодиагностика. Мышление. Синергетика и наука о человеке. – М.: Радиотехника, 2004. – 272 с.

7. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. – М.: Физматлит, 2010. – 304 с.

8. Рогов Д.А., Катюха Р.В., Гудаев Р.А., Логунов С.В., Гудаев Р.А. Применение информации, получаемой от средств радиотехнического контроля, для решения задач распознавания космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2015. № 647. С. 137-142.

9. Гудаев Р.А. Методика распознавания типа наблюдаемого объекта с использованием информации, полученной с помощью комплексов радиотехнических измерений // Юбилейная 70-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященной Дню радио: Сборник тезисов. – Спб.:, Изд-во СПбНТОРЭС, 2015. С. 74-75.