

ОПТИМИЗАЦИЯ СЛОВАРЯ СИГНАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ИЗЛУЧЕНИЯ БОРТОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

К. т. н. И. М. Николаев¹, к. т. н. Н. М. Калюжный², к. т. н. А. В. Хряпкин²,
В. И. Колесник²

¹Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Украина, г. Харьков
vikolesnik@gmail.com

Представлена методика выбора информативных параметров излучения бортовых радиолокационных станций (БРЛС) для использования их в качестве рабочего словаря сигнальных признаков при распознавании радиоизлучающих летательных аппаратов (ЛА). Информативность сигнальных признаков оценивается по величине их вклада в вероятность правильного распознавания заданного алфавита классов ЛА при последовательном добавлении параметров излучения БРЛС, входящих в априорный словарь. Приводятся оптимальные составы рабочих словарей сигнальных признаков ЛА для алгоритмов распознавания статистического, эвристического и детерминированного типа, полученные в результате моделирования при высокой и низкой точности измерения параметров излучения бортовых РЛС.

Ключевые слова: радиоизлучающий летательный аппарат, бортовая радиолокационная станция, параметры излучения, рабочий словарь сигнальных признаков, информативность признаков.

Важным этапом создания системы распознавания радиоизлучающих летательных аппаратов (ЛА) военного и гражданского назначения является построение рабочего словаря сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений их бортовых радиолокационных станций (РЛС). Задача построения рабочего словаря сигнальных признаков заключается в выборе наиболее информативных параметров излучений бортовых РЛС, характерных и достаточных для определения класса (типа) наблюдаемого объекта. Формирование словаря признаков при построении систем распознавания различного целевого назначения является отдельной и нетривиальной задачей, о чем свидетельствует поток публикаций по новым методам и критериям анализа информативности разнотипных признаков [1—5]. Выбор системы информативных сигнальных признаков ЛА, позволяющей сократить временные затраты на измерение значений признаков и выполнение классификации распознаваемых объектов, имеет важное практическое значение.

В настоящем докладе представлены результаты разработки методики выбора рабочего словаря сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений бортовых РЛС, которая позволяет на этапе проектирования системы распознавания ЛА выбрать наиболее информативные параметры из набора параметров излучений бортовых РЛС, входящих в априорный словарь.

Априорный словарь сигнальных признаков ЛА должен формироваться из числа доступных измерению частотно-временных параметров излучений бортовых РЛС. Исходя из особенностей функционирования бортовых РЛС, в качестве априорного словаря сигнальных признаков ЛА целесообразно выбрать вектор параметров, включающий в свой состав частоту излучения f_0 , длительность импульса $\tau_{\text{имп}}$, ширину спектра импульса $\Delta F_{\text{имп}}$, признак вида внутриимпульсной модуляции $P_{\text{ВИМ}}$, период следования импульсов $T_{\text{имп}}$, количество частот в пачке импульсов $N_{\text{пач}}$, диапазон перестройки частоты в пачке импульсов $\Delta f_{\text{пач}}$, длительность пачки импульсов $\tau_{\text{пач}}$, период следования пачек импульсов $T_{\text{пач}}$, диапазон перестройки частоты между пачками импульсов $\Delta F_{\text{пач}}$, длительность контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом $\tau_{\text{обл}}$, период облучения $T_{\text{обл}}$. Часть этих параметров из-

меряется системой измерения и анализа сигналов, а другая вычисляется в системе первичной обработки информации на основе измеренных параметров.

При большой размерности алфавита распознаваемых классов и априорного словаря признаков для оценки информативности признаков, входящих в априорный словарь, целесообразно использовать метод статистических испытаний, позволяющий оценивать информативность признаков по результатам статистических испытаний в выбранном признаковом пространстве с использованием специально созданной имитационной модели классификатора радиоизлучающих ЛА [6]. При этом для оценки информативности сигнальных признаков целесообразно использовать метод последовательного добавления признаков [7]. В качестве первоначального признака целесообразно выбрать признак f_0 , поскольку основным видом поиска радиоизлучающих ЛА в средствах радиоэлектронного наблюдения является поиск по частоте.

Анализ существующих методов отбора признаков показывает, что наиболее эффективными на сегодняшний день являются методы, оценивающие информативность признаков на основе эвристических критериев, соответствующих особенностям исходных данных. Методика оценки информативности параметров излучения бортовых РЛС с использованием адаптированной к предметной области компьютерной модели с программным обеспечением, моделирующим функционирование системы распознавания ЛА по случайному вектору измеренных параметров излучения бортовых РЛС, приведена в [8].

Для исследования зависимости информативности сигнальных признаков от вида алгоритма распознавания в модели были реализованы: алгоритм распознавания радиоизлучающих ЛА по критерию максимума апостериорной вероятности (№ 1); эвристический алгоритм распознавания радиоизлучающих ЛА (№ 2), в основе которого лежит процедура подсчета числа попаданий параметров имитируемого входного вектора признаков в априорно заданные интервалы возможных значений $[\alpha_{\max i}, \alpha_{\min i}]$, $i = 1, \dots, n$; алгоритм распознавания ЛА по минимуму расстояния Махаланобиса (№ 3), суть которого заключается в отнесении измеренного вектора сигнальных признаков к тому классу источников (объектов), для которого расстояние между измеренным вектором признаков и векторами априорного описания является минимальным.

Оптимизация словаря сигнальных признаков осуществлялась сравнением средних значений вероятности правильного распознавания заданного алфавита классов ЛА для разных алгоритмов распознавания при разных наборах сигнальных признаков. Оценивалась величина прироста вероятности правильного распознавания при добавлении очередного признака из априорного словаря и формировался рабочий словарь сигнальных признаков, обеспечивающий принятие правильного решения о классе наблюдаемого объекта с вероятностью, не ниже заданного значения. Результаты оценки информативности сигнальных признаков ЛА для разных составов априорного словаря сигнальных признаков и разных видов решающих правил при малых (σ_i) и больших ($10\sigma_i$) значениях ошибки измерения параметров излучений БРЛС ЛА, приведены в таблице.

Прирост вероятности правильного распознавания при добавлении очередного признака из априорного словаря для разных типов алгоритмов при малых и больших значениях ошибки измерения параметров бортовых РЛС

Номер алгоритма	Прирост вероятности правильного распознавания признака при добавлении очередного признака											
	1 F_0	2 $T_{\text{имп}}$	3 $T_{\text{пач}}$	4 $\tau_{\text{имп}}$	5 $T_{\text{обл}}$	6 $\Delta F_{\text{пач}}$	7 $\Delta f_{\text{пач}}$	8 $\Pi_{\text{ВИМ}}$	9 $\tau_{\text{обл}}$	10 $N_{\text{пач}}$	11 $\tau_{\text{пач}}$	12 $\Delta F_{\text{имп}}$
при малых значениях ошибки измерения σ_i												
№ 1	0,035	0,333	0,415	0,066	0,046	0,010	0,012	0,002	0	0	0	0
№ 2	0,025	0,246	0,425	0,104	0,070	0,015	0,018	0,014	0	0	0	0
№ 3	0,033	0,308	0,353	0,091	0,063	0,016	0,015	0,001	0	0	0	0
при больших значениях ошибки измерения $10\sigma_i$												
№ 1	0,01	0,278	0,325	0,122	0,042	0,043	0,027	0,013	0,026	0,004	0,0	-0,005
№ 2	0,008	0,165	0,327	0,127	0,05	0,057	0,055	0,015	0,014	0,010	-0,002	-0,004
№ 3	0,012	0,137	0,321	0,119	0,066	0,040	0,017	0,013	0,012	0,005	0,002	-0,005

Анализ полученных результатов показал, что при номинальной точности измерения параметров бортовых РЛС в состав рабочего словаря сигнальных признаков ЛА достаточно включить от 5 до 8 признаков, в зависимости от вида решающего правила. При десятикратном увеличении ошибок измерения параметров излучения бортовых РЛС информативность сигнальных признаков падает, в связи с чем для достижения заданной эффективности распознавания заданного алфавита ЛА состав рабочего словаря должен быть расширен до 9—10 признаков. При малых ошибках измерения последовательное добавление признаков не приводит к повышению вероятности правильного распознавания заданного алфавита классов ЛА, а при больших ошибках добавление этих же признаков приводит к снижению эффективности распознавания.

Полученные оценки информативности параметров излучений бортовых РЛС ЛА показывают, что наиболее информативными сигнальными признаками являются несущая частота, длительность и период следования импульсов, длительность и период следования пачек импульсов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кутин Г. И. Методы ранжировки комплексов признаков // Зарубежная радиоэлектроника.— 1981.— № 9.— С. 54—69.
2. Родченко В. Г. Об одном подходе к решению проблемы сепарирования исходных признаков по степени их информативности на основе анализа классифицированной обучающей выборки // Веснік ГрДУ ім. Янки Купали. Сер. 2. Математика.— 2004.— № 2.— С. 86—89.
3. Колесникова С. И. Методы анализа информативности разнотипных признаков // Вестник Томского государственного университета. — 2009. — № 1 (6). — С. 69—80.
4. Маматов Е. М. Определение весомости признаков в задачах распознавания образов и классификации объектов // Научные ведомости. Белгородский государственный университет. Серия: Информатика и прикладная математика.— 2006.— № 2.— Вып. 3.— С. 107—117.
5. Бритик В. И., Егорова Е. А. Выделение информативных признаков в задачах распознавания образов // Бионика интеллекта.— 2008.— № 1 (68).— С. 94—100.
6. Калюжний М. М., Ніколаєв І. М., Хряпкин А. В., Колісник В. І. Технологія комп'ютерного моделювання процесів розпізнавання повітряних об'єктів за параметрами радіовипромінювань бортових радіоелектронних засобів // МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології».— Україна, м. Одеса.— 2017.— С. 108—111.
7. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний.— Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999.
8. Николаев И. М., Калюжний Н. М., Хряпкин А. В., Колесник В. И. Методика оценки информативности параметров излучения бортовых РЛС летательных аппаратов методом имитационного статистического моделирования // Озброєння та військова техніка.— 2019.— №1 (21).

I. M. Nikolaev, N. M. Kaliuzhnyi, A. V. Khryapkin, V. I. Kolesnik

The signals dictionary optimization using the computer model of aircraft recognition by the radiation parameters of radar stations

The authors present a technique for selecting informative radiation parameters of airborne radars used as working dictionary of signal characteristics in recognition of radio-emitting aircrafts. The informativeness of the signals is estimated by the value of contribution radiation parameters of onboard to the probability of correct recognition of a given alphabet of aircraft classes with the sequential addition of radiation parameters of the radar included in the a priori dictionary. The paper describes the optimal composition of the working dictionary of the aircraft signal characteristics for the recognition algorithms of statistical, heuristic and deterministic type, obtained as a result of modeling with high and low accuracy of measurement of radiation parameters of onboard radars.

Keywords: radio-emitting aircraft, airborne radar, radiation parameters, working signals dictionary, signal informativeness.