

УДК 621.396.96

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).56-63](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).56-63)**И. М. НИКОЛАЕВ,**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник (Научный центр Воздушных Сил Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина)
orcid.org/0000-0002-1250-9918

Н. М. КАЛЮЖНЫЙ, технический директор НТЦ АН ПРЭ, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, академик АН ПРЭ, Украина

А. В. ХРЯПКИН, кандидат технических наук, доцент

В. И. КОЛЕСНИК, старший научный сотрудник (Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков)

Методика оценки информативности параметров излучения бортовых РЛС летательных аппаратов методом имитационного статистического моделирования

У статті наведена методика оцінки інформативності параметрів випромінювання бортових радіолокаційних станцій (БРЛС) при використанні їх у якості сигнальних ознак для розпізнавання літальних апаратів (ЛА) засобами радіоелектронного спостереження. Методика заснована на методі імітаційного статистичного моделювання і оцінити інформативність параметрів випромінювання БРЛС за величиною простоту ймовірності правильного розпізнавання ЛА при послідовному додаванні ознак, що входять в апріорний словник. Наведений апріорний словник сигнальних ознак ЛА, до складу якого входять 12 частотно-часових параметрів, що обумовлені режимами роботи передавальних пристроїв і способами огляду простору антенними системами БРЛС. Наведені результати оцінки інформативності сигнальних ознак, що входять до складу апріорного словника, залежно від помилок їх виміру і виду використовуваного алгоритму розпізнавання.

Ключові слова: радіовипромінюючий літальний апарат, бортова радіолокаційна станція, параметри випромінювання, імітаційна статистична модель, апріорний словник сигнальних ознак, інформативність ознак, алгоритм розпізнавання, алфавіт класів

Постановка проблемы. Обязательной составной частью обеспечения полетов летательных аппаратов (ЛА) гражданского и военного назначения является использование бортовых радиолокационных станций (БРЛС) различного назначения, входящих в состав их навигационно-пилотажных или прицельно-навигационных систем. В связи с этим излучения БРЛС могут быть использованы для контроля воздушного пространства пассивными средствами радиоэлектронного наблюдения (РЭН), которые для решения этой задачи должны обеспечивать [1, 2]:

– энергетическое обнаружение излучений РЛС ЛА в частотно-временном признаковом пространстве;

– измерение параметров сигналов для формирования описания обнаруженного объекта (источника излучения);

– сравнение измеренного вектора сигнальных признаков (образа) обнаруженного объекта с эталонными описаниями классов и принятие решения о его принадлежности к тому или иному классу (типу) радиоизлучающих источников или объектов.

Практика применения средств РЭН для контроля воздушного пространства показала, что для распознавания радиоизлучающих ЛА приходится решать сложную и дорогостоящую задачу разработки и использования специальных измерительных средств, необходимых для получения рабочего словаря сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений БРЛС. В состав этого словаря должны входить признаки, которые, с одной стороны, удовлетворяют используемому критерию эффективности, а, с другой стороны, могут быть получены (измерены) в реальной обстановке с минимальными временными, вычислительными и другими затратами [3].

Универсальным критерием оценки информативности признаков и оптимизации признаковых пространств является величина потерь [3, 4], однако для ее оценки требуется спроектировать систему обработки сигналов и/или систему распознавания, а это связано со значительными затратами, которых, по возможности, следует избегать, пока отсутствуют оценки информативности выбранных признаков. В связи с этим задача оценки информативности параметров излучения БРЛС и формирования на этой основе рабочего словаря сигнальных признаков до начала разработки системы распознавания радиоизлучающих ЛА имеет важное практическое значение.

Целью работы является разработка методики оценки информативности признаков, обусловленных излучениями БРЛС ЛА, которая позволяет на этапе проектирования системы распознавания выбрать наиболее информативные сигнальные признаки из набора параметров излучений БРЛС, входящих в априорный словарь.

Анализ последних исследований и публикаций. Формирование априорного словаря признаков (АСП) при построении систем распознавания различного целевого назначения является отдельной и нетривиальной задачей, о чем свидетельствует поток публикаций по новым методам и критериям анализа информативности

разнотипних признаков [5-13]. В [5] приводится обзор и обобщение методов ранжирования комплексов признаков на основе теории распознавания и теории математической статистики. Анализ работ [6-13] показал, что в них с различной степенью глубины и обобщенности рассматриваются отдельные методы или группы методов выбора и предварительной обработки признаков применительно к определенному классу задач распознавания. В [1, 14, 15] рассмотрены вопросы распознавания радиоизлучающих объектов, а также особенности построения средств воздушного, наземного, морского и космического радиоэлектронного наблюдения. В частности, в [1] рассмотрены принципы построения и характеристики существующих и перспективных средств РЭН. В [14] дана сравнительная оценка информативности сигнальных признаков и приведены результаты оценки эффективности распознавания радиоизлучающих объектов по различным наборам параметров излучений применительно к задаче распознавания наземных РЛС аппаратурой радиотехнической разведки, устанавливаемой на борту ЛА. В [15] показано, что задача распознавания радиоизлучений заключается в оптимизации признакового пространства при наилучшем решающем правиле в условиях ограничений на построение системы измерения признаков распознавания.

Однако, как показал анализ последних исследований, в известной научно-технической литературе отсутствуют публикации, направленные на решение задачи оценки информативности параметров излучений БРЛС как признаков распознавания ЛА, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в данном направлении.

Основная часть. При проектировании систем распознавания радиоизлучающих ЛА исходными данными являются: 1) алфавит классов; 2) априорный словарь сигнальных признаков; 3) классифицированная обучающая выборка.

Алфавит классов (типов) радиоизлучающих ЛА задается, исходя из задач, решаемых потребителем информации о воздушной радиоэлектронной обстановке, в интересах которого функционирует средство РЭН.

Априорный словарь сигнальных признаков радиоизлучающих ЛА должен формироваться из числа доступных измерению параметров сигналов, излучаемых БРЛС ЛА. Структуризация этого словаря должна осуществляться на основе принципов формирования излучений БРЛС ЛА и принципов обнаружения, измерения и анализа принимаемых сигналов в средствах РЭН. При этом должны учитываться общие закономерности в структурах сигналов БРЛС, для которых характерно наличие периодических изменений параметров излучения во времени.

На выбор априорного словаря сигнальных признаков ЛА существенное влияние оказывает время контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом, которое определяется временем нахождения объекта в луче диаграммы направленности антенны средства РЭН при вращении ее в круговую или в заданном секторе. Таким образом, в состав априорного словаря сигнальных

признаков ЛА должны входить частотно-временные параметры, обусловленные режимами работы передающих устройств и способами обзора пространства антенными устройствами БРЛС.

Исходя из этого, в данной работе в качестве априорного словаря сигнальных признаков радиоизлучающих ЛА был выбран вектор параметров излучений БРЛС следующего вида:

$$A_{\text{апр}}(\alpha_v) = (f_o, \tau_u, \Delta F_u, P_{\text{ВИМ}}, T_u, N_f, \Delta f_n, \tau_n, T_n, \Delta F_n, \tau_{\text{обл}}, T_{\text{обл}}), \quad (1)$$

где $\alpha_1 = f_i$ – несущая частота, $\alpha_2 = \tau_\delta$ – длительность импульса, $\alpha_3 = \Delta F_\delta$ – ширина спектра импульса, $\alpha_4 = P_{\text{ВИМ}}$ – признак вида внутриимпульсной модуляции, $\alpha_5 = T_u$ – период следования импульсов, $\alpha_6 = N_f$ – количество несущих частот в пачке импульсов, $\alpha_7 = \Delta f_n$ – диапазон перестройки рабочей частоты в пачке импульсов, $\alpha_8 = \tau_n$ – длительность пачки импульсов; $\alpha_9 = T_n$ – период следования пачек импульсов, $\alpha_{10} = \Delta F_n$ – диапазон перестройки частоты между пачками импульсов, $\alpha_{11} = \tau_{\text{обл}}$ – время контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом (длительность облучения), $\alpha_{12} = T_{\text{обл}}$ – период облучения.

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

Распознавание ЛА заключается в принятии решения о принадлежности наблюдаемого объекта к одному из классов заданного алфавита на основе сравнения измеренных сигнальных признаков наблюдаемого радиоизлучающего объекта с априорными эталонными описаниями распознаваемых классов ЛА. В связи с этим эффективность распознавания радиоизлучающих ЛА зависит от полноты и достоверности описания распознаваемого алфавита ЛА на выбранном языке сигнальных признаков, или, другими словами, от полноты и достоверности классифицированной обучающей выборки. С учетом возможных разбросов параметров сигналов, обусловленных нестабильностями работы передающих устройств, неточностями настройки блоков и трактов формирования, параметры сигналов БРЛС ЛА могут быть представлены некоторыми интервалами их возможных значений. При этом классифицированная обучающая выборка, содержащая априорные эталонные описания классов (типов) ЛА, может быть представлена набором векторов, элементы которых представлены диапазонами возможных значений параметров, входящих в априорный словарь признаков:

$$A_3(\alpha_v^{\min}, \alpha_v^{\max}) = ([f_o^{\min}, f_o^{\max}], [\tau_u^{\min}, \tau_u^{\max}], [\Delta F_u^{\min}, \Delta F_u^{\max}], \dots, [T_{\text{обл}}^{\min}, T_{\text{обл}}^{\max}]), \quad (2)$$

Для автоматизации процесса распознавания ЛА их эталонные описания должны быть представлены в виде специализированной базы данных с соответствующей системой доступа и управления.

Ввиду того, что диапазоны возможных значений одноименных параметров излучения БРЛС могут перекрываться, для повышения достоверности распознавания ЛА необходимо комплексное использование

максимального количества информативных параметров, характеризующих текущее состояние источника радиоизлучения в условиях ограниченного времени распознавания обнаруженного объекта.

С теоретической точки зрения наилучшим показателем информативности признака (параметра) является вероятность правильного распознавания, по величине которой можно определить наиболее информативные параметры излучений бортовых РЛС ЛА, найти наилучшую комбинацию параметров, которые следует измерять, а также предъявить требования к точности измерения параметров сигналов.

При большой размерности алфавита распознаваемых классов и априорного словаря признаков теоретически оценить вероятность распознавания объекта при использовании той или иной комбинации признаков не представляется возможным. Поэтому для оценки информативности признаков, входящих в АСП, использовался метод статистических испытаний, позволяющий оценивать информативность признаков по результатам статистических испытаний в выбранном признаковом пространстве с использованием специально созданной имитационной модели классификатора радиоизлучающих ЛА.

Для оценки информативности сигнальных признаков, входящих в априорный словарь, в данной работе использовался метод последовательного добавления признаков [4]. Вначале все признаки проверяются на информативность. Для этого делается распознавание заданного алфавита классов (типов) ЛА по каждому из N признаков в отдельности и в информативную подсистему включается признак, давший наименьшее число ошибок. Затем к нему по очереди добавляются все $(N-1)$ признаков по одному. Получающиеся двумерные подпространства оцениваются по величине прироста вероятности правильного распознавания и выбирается самая информативная пара признаков. К ней таким же путем подбирается наилучший третий признак из оставшихся $(N-2)$ признаков. Процедура продолжается до тех пор, пока добавление очередного признака обеспечивает прирост суммарной вероятности правильного распознавания ЛА заданного алфавита. Полученная таким образом система наиболее информативных параметров излучений БРЛС и будет представлять собой рабочий словарь сигнальных признаков ЛА.

В качестве первоначального признака в данной работе был выбран признак $\alpha_1 = f_o$, поскольку основным видом поиска радиоизлучающих ЛА в средствах РЭН является поиск по частоте.

Методика оценки информативности параметров излучения БРЛС как признаков для распознавания ЛА методом статистических испытаний предусматривает выполнение следующих операций:

1) на основе анализа информации о функциональном назначении радиоизлучающих ЛА и входящих в их состав типах РЛС, режимах работы и параметрах излучаемых сигналов проводят первоначальную классификацию и составляют априорные алфавиты распознаваемых

классов (типов) ЛА $\Lambda_{об} = \{\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L\}$ и классов (типов) РЛС $R_{РЛС} = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$;

2) составляют описание классов радиоизлучающих ЛА на априорном языке сигнальных признаков, для чего каждому классу (типу) ЛА ставят в соответствие вектор сигнальных признаков

$$\Lambda_l = \{A_{li}(\alpha_{liv}^{min}, \alpha_{liv}^{max}), \}, l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}, v = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где $\alpha_{liv}^{min}, \alpha_{liv}^{max}$ – минимальное и максимальное значения v -го параметра РЛС, L – количество классов ЛА, n – количество классов (типов) РЛС;

3) разрабатывают алгоритмы принятия решений, обеспечивающие отнесение наблюдаемого источника радиоизлучения (радиоизлучающего объекта) по измеренному вектору сигнальных признаков к одному из классов априорного алфавита;

4) создают адаптированную к предметной области компьютерную модель с программным обеспечением, моделирующим функционирование системы распознавания радиоизлучающих объектов по случайному вектору измеренных параметров излучения БРЛС имитируемого ЛА;

5) задают исходные данные для моделирования, к которым относятся:

– состав вектора сигнальных признаков БРЛС и значения среднеквадратических ошибок (СКО) их измерения;

– вид алгоритма из числа алгоритмов, реализованных в модели;

– номер класса ЛА, эффективность распознавания которого оценивается в данном испытании;

– количество статистических испытаний (прогонов модели);

6) формируют случайные реализации входного вектора измеренных значений сигнальных признаков объекта i -го класса, которые при каждом прогоне модели генерируются в пределах заданных границ их изменения как реализации случайной величины с нормальным законом распределения и заданными значениями среднеквадратических ошибок (СКО) их измерения в соответствии с правилом [16]:

$$\alpha_{liv}^{um}[k] = \alpha_{liv}^{min}[k] + (\alpha_{liv}^{max}[k] - \alpha_{liv}^{min}[k])\delta[k], v = 1, 2, \dots, N; \quad (4)$$

$$\hat{\alpha}_{liv}[k] = \alpha_{liv}^{um}[k] + \sigma_v \xi[k], v = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где δ – случайное число, сформированное по равномерному закону в диапазоне (0-1), ξ – случайное число, распределенное по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, σ_v – СКО измерения v -го параметра. При этом объект i -го класса имитируется как случайная реализация вектора сигнальных признаков $A_l^{um}(\hat{\alpha}_{liv}^{um}[k])$, которая подается на вход выбранного алгоритмов распознавания;

7) сравнивают при каждом прогоне модели случайную реализацию входного вектора сигнальных признаков объекта i -го класса с эталонными описаниями распознаваемых классов (типов) источников и/или объектов и относят его по результатам этого сравнения в

соответствии с выбранным алгоритмом к одному из классов априорного алфавита;

8) регистрируют решения, формируемые при каждом прогоне модели выбранным алгоритмом, о принадлежности входного вектора признаков к тому или иному классу заданного алфавита;

9) осуществляют подсчет числа исходов проводимых экспериментов и рассчитывают оценки вероятности правильного распознавания классов ЛА заданного алфавита, которые вычисляется как отношение количества правильных решений N_i к общему числу испытаний N_i над объектами i -го класса (типа) $\hat{P}_i = N_{ii}/N_i$;

10) на основании полученных оценок вычисляют среднюю вероятность правильного распознавания классов ЛА заданного алфавита:

$$W = \sum_{i=1}^L \hat{P}_i P(A_i), \quad (6)$$

где $P(A_i)$ априорные вероятности появления ЛА из разных классов;

11) повторяют процесс моделирования для нового набора сигнальных признаков;

12) сравнивают средние вероятности правильного распознавания классов ЛА заданного алфавита при разных наборах сигнальных признаков, оценивают величины прироста вероятности правильного распознавания при добавлении очередного признака из априорного словаря $\Delta W_{(v+1)} = \max_{v=1, N} [W_{(v+1)} - W_{(v)}]$ и формируют рабочий словарь сигнальных признаков, обеспечивающий принятие правильного решения о классе наблюдаемого объекта с вероятностью, не ниже заданного значения.

Структурная схема модели, с помощью которой оценивалась информативность сигнальных признаков ЛА из состава априорного словаря, приведена на рис. 1.

Для распознавания ЛА по параметрам излучения бортовых РЛС в данной модели могут использоваться методы функций близости, методы дискриминантных функций, статистические методы распознавания, лингвистические и эвристические методы. При этом сигнальные признаки ЛА, выраженные через структуру и параметры излучений БРЛС, в зависимости от метода распознавания, могут рассматриваться как статистические, детерминированные или логические.

Для исследования информативности сигнальных признаков в зависимости от вида алгоритма распознавания в модели были реализованы [16]:

– алгоритм распознавания радиоизлучающих ЛА по критерию максимума апостериорной вероятности (алгоритм № 1);

– эвристический алгоритм распознавания радиоизлучающих ЛА (алгоритм № 2), в основе которого лежит процедура подсчета числа попаданий параметров $\hat{\alpha}_{iv}$ имитируемого входного вектора признаков в соответствующие интервалы $[\alpha_{iv}^{min}, \alpha_{iv}^{max}]$, границы которых устанавливаются в соответствии с правилами:

$$\alpha_{iv}^{min} = \alpha_{iv}^{min \vartheta} - \varepsilon \sigma_v; \quad (7)$$

$$\alpha_{iv}^{max} = \alpha_{iv}^{max \vartheta} + \varepsilon \sigma_v, \quad (8)$$

где $[\alpha_{iv}^{min \vartheta}, \alpha_{iv}^{max \vartheta}]$ – эталонные границы v -го признака (параметра), ε – коэффициент расширения стробов распознавания $[\alpha_{iv}^{min}, \alpha_{iv}^{max}]$;

– алгоритм распознавания радиоизлучающих ЛА по минимуму расстояния Махаланобиса (алгоритм № 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.

Результаты оценки информативности сигнальных признаков ЛА из состава априорного словаря (1), полученные в соответствии с изложенной методикой для разных видов решающих правил при малых ($\sigma_v = \sigma_{v0}$) и больших ($\sigma_v = 10\sigma_{v0}$) значениях ошибок измерения параметров излучений БРЛС ЛА, приведены в таблицах 1, 2 и на рис. 2, рис. 3 соответственно.

Из приведенных результатов следует, что при номинальной точности измерения параметров БРЛС в состав рабочего словаря сигнальных признаков ЛА в зависимости от вида решающего правила достаточно включить от 5 до 8 признаков. К ним относятся признаки $f_o, T_u, T_n, \tau_u, T_{obl}$ для алгоритма №1, признаки $f_o, T_u, T_n, \tau_u, T_{obl}, \Delta f_n, \Delta F_n, P_{ВИМ}$ для алгоритма №2 и признаки $f_o, T_u, T_n, \tau_u, T_{obl}, \Delta f_n, \Delta F_n$ для алгоритма №3.

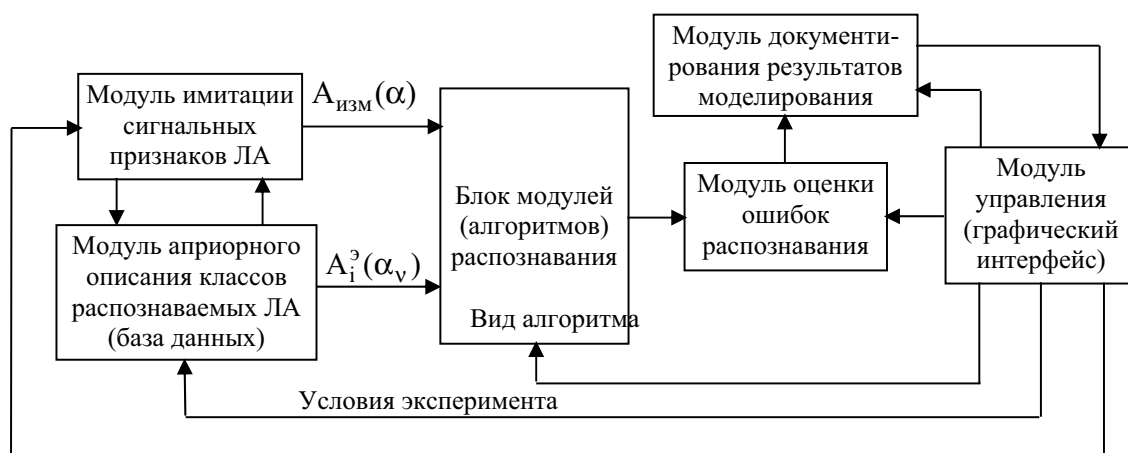


Рис. 1.

Таблица 1. Величины прироста вероятности правильного распознавания при добавлении очередного признака из априорного словаря для разных типов алгоритмов при малых значениях ошибок измерения параметров БРЛС

Номер признака	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обозначение признака	$\Delta f_{рч}$	$T_{имп}$	$T_{пач}$	$\tau_{имп}$	$T_{обл}$	$\Delta F_{пач}$	$\Delta f_{пач}$	ПВИМ	$\tau_{обл}$	$N_{пач}$	$\tau_{пач}$	ΔF_C
Алгоритм № 1	0,035	0,333	0,415	0,066	0,046	0,010	0,012	0,002	0	0	0	0
Алгоритм № 2	0,025	0,246	0,425	0,104	0,070	0,015	0,018	0,014	0	0	0	0
Алгоритм № 3	0,033	0,308	0,353	0,091	0,063	0,016	0,015	0,001	0	0	0	0

Таблица 2. Величины прироста вероятности правильного распознавания при добавлении очередного признака из априорного словаря для разных типов алгоритмов при больших значениях ошибок измерения параметров БРЛС

Номер признака	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обозначение признака	$\Delta f_{рч}$	$T_{имп}$	$T_{пач}$	$\tau_{имп}$	$T_{обл}$	$\Delta F_{пач}$	$\Delta f_{пач}$	ПВИМ	$\tau_{обл}$	$N_{пач}$	$\tau_{пач}$	ΔF_C
Алгоритм № 1	0,010	0,278	0,325	0,122	0,042	0,043	0,027	0,013	0,026	0,004	0,0	-0,005
Алгоритм № 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
Алгоритм № 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

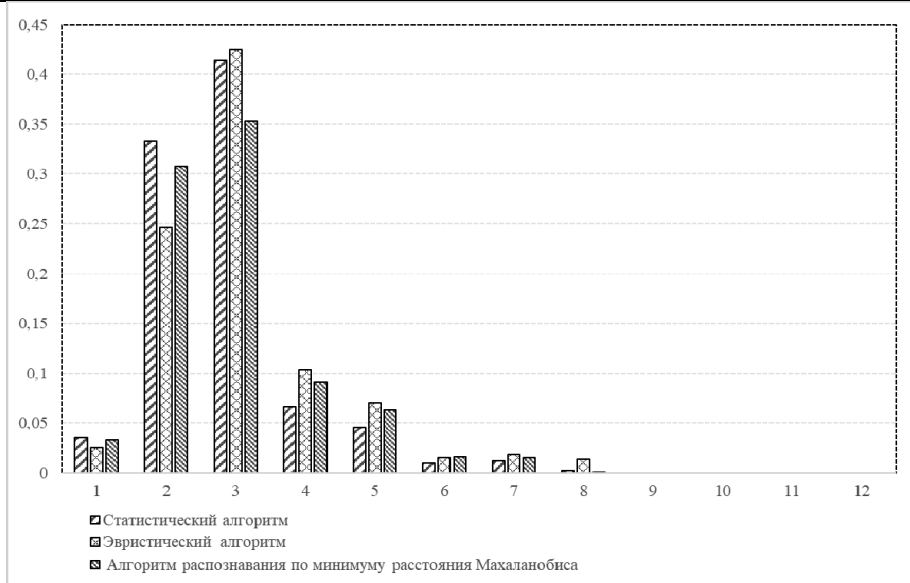


Рис. 2. Оценки информативности сигнальных признаков ЛА при малых значениях ошибок измерения параметров БРЛС.

При десятикратном увеличении ошибок измерения параметров излучения БРЛС 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 $N_n, \tau_n, \Delta F_C$ не приводит к повышению вероятности правильного распознавания заданного алфавита классов ЛА, а при больших ошибках добавление этих же признаков приводит к снижению эффективности распознавания, что, как показано в [15],

обусловлено эффектом переобучения алгоритмов распознавания.

Приведенные результаты получены при использовании классифицированной обучающей выборки, содержащей более 100 векторов априорного описания 26-и типов БРЛС и 26-и типов ЛА на выбранном языке сигнальных признаков.

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

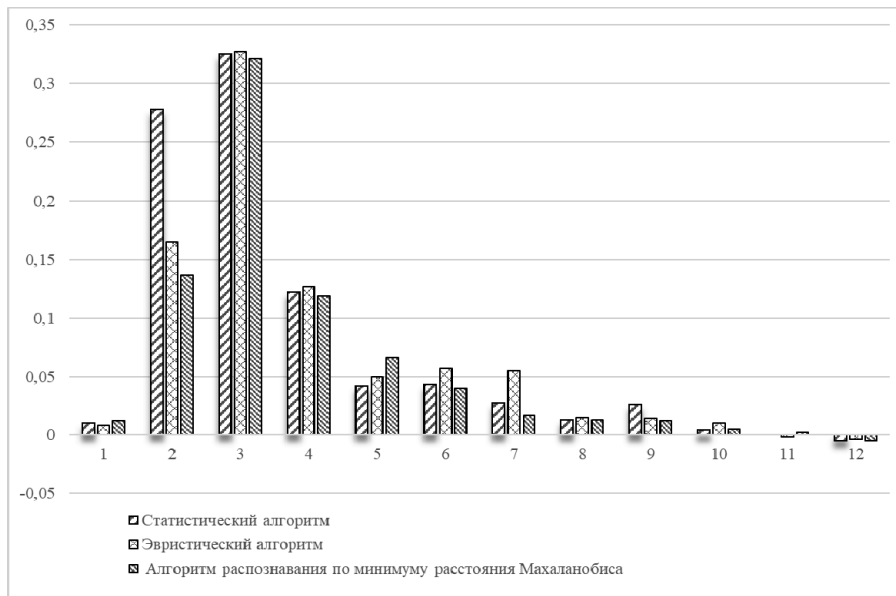


Рис. 3. Оценки информативности сигнальных признаков ЛА при больших значениях ошибок измерения параметров БРЛС

импульсов. Полученные результаты подтверждают выводы, сделанные в [14, 16].

Выводы. Предложенная методика позволяет определить наиболее информативное признаковое пространство, а также оценить информативность каждого признака из набора признаков, обусловленных излучениями бортовых РЛС ЛА, определить рабочий словарь информативных признаков для алгоритмов вероятностного, эвристического и детерминированного типа, выявить причины неинформативности признаков и обосновать требования к точности их измерения.

Методика может быть использована для предварительной оптимизации словаря сигнальных признаков и обоснования требуемой точности их измерения на этапе проектирования системы распознавания радиоизлучающих ЛА в соответствии с условиями и требованиями, предъявляемыми к эффективности функционирования распознающей системы в средстве радиоэлектронного наблюдения.

Результаты моделирования показали, что наиболее информативными сигнальными признаками ЛА, обусловленными излучениями БРЛС, являются длительность и период следования импульсов, длительность и период следования пачек импульсов. При увеличении ошибок измерения информативность этих признаков снижается, что обуславливает необходимость расширения рабочего словаря за счет включения в его состав дополнительных признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гряник В. Н. Средства радиоэлектронного наблюдения / В. Н. Гряник, С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин. – Владивосток: ВГУЭС. – 2006. – 200 с.
2. Рябов Б. Новый облик радиолокации ПВО // Б. Рябов // Воздушно-космическая оборона. – 2001. – № 1. –

- С. 30-32. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://militaryarticle.ru/voenno-kosmicheskaya-oborona/2001/12127-novuj-oblik-s>
3. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. М.: Высшая школа. – 1989. – 232 с.
4. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н. Г. Загоруйко. – Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
5. Кутин Г. И. Методы ранжировки комплексов признаков / Г. И. Кутин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1981. – № 9. – с. 54-69.
6. Жукевич А. И. Использование онтологии при построении систем распознавания образов / А. И. Жукевич, Е. В. Олизарович, В. Г. Родченко // . 2011. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://elib.grsu.by/katalog/161721-346625.pdf>
7. Родченко В. Г. Метод построения словаря информативных признаков при проектировании систем распознавания / Родченко В. Г. – 2006. [Электрон. ресурс] Режим доступа: http://iai.kpi.ua/_archive/2006/Rodchenko.pdf
8. Родченко В. Г. Об одном подходе к решению проблемы сепарирования исходных признаков по степени их информативности на основе анализа классифицированной обучающей выборки / В. Г. Родченко // Веснік ГрДУ ім. Янкі Купалы. Сер 2. Матэматыка. – 2004. – № 2. – С.86-89. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://elib.grsu.by/doc/8886>
9. Колесникова С. И. Методы анализа информативности разнотипных признаков / С. И. Колесникова // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 1 (6). – С. 69-80. [Электрон. ресурс] Режим доступа: http://journals.tsu.ru/informatics/&journal_page=archive&id=490&article_id=16563

10. Маматов Е. М. Определение весомости признаков в задачах распознавания образов и классификации объектов / Е. М. Маматов // Научные ведомости. Белгородский государственный университет. Серия: Информатика и прикладная математика. – 2006. – № 2.– Вып. 3.– С. 107 – 117.– Белгород: Изд-во БелГУ [Электрон. ресурс] Режим доступа:// <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/4120>
11. Монид С. Е. Сравнительный анализ методов выбора информативных признаков / С. Е. Монид // Труды Всероссийской Конференции «Знания-Онтологий-Теории» (ЗОНТ-09). – 2009. – Том. 1 – Новосибирск: Изд. ИМ СО РАН. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://istina.msu.ru/collections/4950196/>
12. Волченко Е. В. Метод совместного построения решающих правил и выбора словаря признаков по взвешенным обучающим выборкам / Е. В. Волченко // Искусственный интеллект.– 2012. – № 4.– С. 316-323. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://dspace.nbu.gov.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/57731/32-Volchenko.pdf?s>
13. Бритик В. И., Егорова Е. А. Выделение информативных признаков в задачах распознавания образов / БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА. 2008. № 1 (68). С. 94-100. // [Электрон. ресурс] Режим доступа: http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/592/1/Bionica_intellekta-Kh-HNУRE-Vip1%2868%29-2008-rus-094-100.pdf
14. Мельников Ю. П. Воздушная радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности. – М: Радиотехника, 2005. – 304 с.
15. Алексеев А. А., Кириллов А. Б. Технический анализ сигналов и распознавание радиоизлучений. Изд. ВАС им. С. М. Буденного. – СПб. – 1998. – 368 с. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1581717>
16. Калужный Н. М., Николаев И. М., Попов А. М., Колесник В. И. Исследование влияния информативности и точности измерения параметров сигналов на эффективность распознавания типов и режимов работы радиоизлучающих источников // Научные труды 4-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективных развития».– 2011.– Т. 1, ч. 2.– С. 162–165.
4. Zahoruyko N. H. Prykladnye metody analiza dannykh y znanyu / N. H. Zahoruyko. – Novosybyrsk: YM SO RAN, 1999.– 270 s.
5. Kutyn H. Y. Metody ranzhyrovky kompleksov pryznakov / H. Y. Kutyn // Zarubezhnaya radyoэlektronyka. – 1981.– № 9.– s. 54-69.
6. Zhukevych A. Y. Yspol'zovanye ontolohyy pry postroyeny system raspoznavanyya obrazov / A. Y. Zhukevych, E. V. Olyzarovych, V. H. Rodchenko // –. 2011. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: <https://elib.grsu.by/katalog/161721-346625.pdf>
7. Rodchenko V. H. Metod postroyenyya slovarya ynformatyvnykh pryznakov pry proektyrovanny system raspoznavanyya / Rodchenko V. H.– 2006. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: / http://iai.kpi.ua/_archive/2006/Rodchenko.pdf
8. Rodchenko V. H. Ob odnom podkhode k reshenyyu problemy separyrovannyu yskhodnykh pryznakov po stepeny ykh ynformatyvnyosti na osnove analiza klasyfytsyrovannoy obuchayushchey vyborky / V. H. Rodchenko // Vesnik HrDU im. Yanki Kupaly. Ser 2. Matэматыka.– 2004.–№ 2.– S.86-89. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: <https://elib.grsu.by/doc/8886>
9. Kolesnykova S. Y. Metody analiza ynformatyvnyosti raznotypnykh pryznakov / S. Y. Kolesnykova // Vestnyk Tomskoho hosudarstvennoho unyversyteta. – 2009. – № 1 (6).– S. 69-80. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: // <http://journals.tsu.ru/informatics/>
10. Mamatov E. M. Opredelenye vesomosti pryznakov v zadachakh raspoznavanyya obrazov y klasyfykatsyy obьektov / E. M. Mamatov // Nauchnye vedomosti. Belhorodskyy hosudarstvennyy unyversytet. Seryya: Ynformatyka y prykladnaya matematyka. – 2006. – № 2.– Вып. 3.– S. 107 – 117.– Belhorod: Yzd-vo Bel-HU [Электрон. resurs] Rezhym dostupa:// <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/4120>
11. Monyd S. E. Sravnytel'nyy analiz metodov vybora ynformatyvnykh pryznakov / S. E. Monyd // Tруды Vserossyyskoy Konferentsyy «Znanyya-Ontolohyy-Teoryy» (ZONT-09). – 2009. – Том. 1 – Novosybyrsk: Yzd. YM SO RAN. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: <https://istina.msu.ru/collections/4950196/>
12. Volchenko E. V. Metod sovmestnoho postroyenyya reshayushchykh pravyl y vybora slovarya pryznakov po vzveshennym obuchayushchym vyborkam / E. V. Volchenko // Yskusstvennyy yntellekt.– 2012. – № 4.– S. 316-323. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: <http://dspace.nbu.gov.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/57731/32-Volchenko.pdf?s>
13. Brytyk V. Y., Ehorova E. A. Выделение ynformatyvnykh pryznakov v zadachakh raspoznavanyya obrazov / BYONYKA YNTELLEKТА. 2008. № 1 (68). S. 94-100. // [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: [http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/592/1/Bionica_intellekta-Kh-HNУRE-Vip1\(68\)-2008-rus-094-100.pdf](http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/592/1/Bionica_intellekta-Kh-HNУRE-Vip1(68)-2008-rus-094-100.pdf)
14. Mel'nykov Yu. P. Vozdushnaya radyotekhnycheskaya razvedka. Metody otsenky эффеktyvnosti. – М: Radyotekhnyka, 2005. – 304 s.

REFERENCES

1. Hryanyk V. N. Sredstva radyoэlektronnoho nablyudenyua / V. N. Hryanyk, S. N. Pavlykov, E. Y. Ubankyn. – Vladyvostok: VHUЭS. – 2006. – 200 s.
2. Ryabov B. Novyy oblyk radyolokatsyy PVO // B. Ryabov // Vozdushno-kosmycheskaya oborona. – 2001.– № 1. – S. 30-32. [Электрон. resurs] Rezhym dostupa: <http://militaryarticle.ru/voenno-kosmycheskaya-oborona/2001/12127-novyj-oblik-s>
3. Horelyk A. L., Skrypky V. A. Metody raspoznavanyua. М.: Vysshaya shkola.– 1989.– 232 s.

15. Alekseev A. A., Kyryllov A. B. Tekhnicheskyy analiz syhnalov y raspoznavanye radyoyzluchenyy. Yzd. VAS ym. S. M. Budennoho. – SPb. – 1998. – 368 s. [Электрон. ресурс] Rezhym dostupa: <https://www.twirpx.com/file/1581717>
16. Kalyuzhnyy N. M., Nykolaev Y. M., Popov A. M., Kolesnyk V. Y. Yssledovanye vlyuyaniya ynformatyvnyy y tochnosty yzmerenyua parametrov syhnalov na effektivnost' raspoznavaniya tyrov y rezhymov raboty radyoyzluchayushchykh ystochnykov // Nauchnye trudy 4-ho Mezhdunarodnoho radyoelektronnoho foruma «Prykladnaya radyoelektronnyka. Sostoyaniye y perspektivnykh razvityuua».– 2011.– T. 1, ch. 2.– S. 162–165.

Стаття надійшла до редколегії 17.01.2019 р.

Рецензент Г.С. Залевський, д-р техн. наук, с.н.с.
(Харківський національний університет Повітряних
Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)
<https://orcid.org/0000-0002-6173-0571>