

УДК 621.396.96

РАЗВИТИЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

А. В. Быстров

ОАО «НТЦ «ССГО»»

Получена 30 января 2012 г.

Аннотация. В статье предлагается подход к развитию национальных систем радиолокационного опознавания (СРЛО) объектов специального назначения в ранее нетрадиционном для данной области направлении, основанном на комплексном использовании рассредоточенных в пространстве источников информации различной физической природы и применении подходов к комплексной обработке информации, основанных на методах теорий систем распознавания образов и систем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: государственное опознавание, идентификация, информационный канал, экспертная система, искусственный интеллект, идентификация, радиотехника.

Abstract. In this paper I propose an approach to the development of national systems for radar identification (SRLO) of objects of special purpose in previously non-traditional for this field direction, which is based on the complex use of distributed in the space information sources of different physical nature and application of approaches for complex information processing, based on the methods of theories of images recognition systems and artificial intelligence systems.

Keywords: state recognition, identification, information channel, an expert system, artificial intellect, identification, radio engineering.

Проблема опознавания (определения государственной принадлежности)

объектов специального назначения является актуальной для обеспечения функционирования многих министерств и ведомств, как в Российской Федерации, так и в других государствах и коалициях государств.

В настоящее время при решении задачи идентификации (опознавания) СРЛО, основанным на применении активного запросно-ответного метода радиолокации с использованием кодированных радиосигналов. Наиболее распространенными являются СРЛО иностранного производства типа Мк-10, Мк-12 и альтернативные системы отечественного производства. Перспективными являются разрабатываемые системы типа Мк-15, создаваемые на основе тех же методов [1, 2]. Опыт применения существующих СРЛО свидетельствует о том, что надежное опознавание возможно в условиях благоприятных помеховых обстановок, при строго фиксированном количестве радиолокационных ответчиков и запросчиков, одновременно действующих в одной зоне. Имеют место ущерб и потери объектов своего государства из-за ошибочного решения задачи идентификации опознаваемых объектов применяемыми СРЛО. В этой связи вопросу совершенствования СРЛО должно уделяться особое внимание. Традиционно сложилось так, что основными направлениями развития подобных систем принято считать подходы, обеспечивающие улучшение их помехозащищенности, увеличение пропускной и разрешающей способностей. Однако в ближайшее время в виду объективно существующих технологических проблем и конструкторских трудностей добиться существенных успехов в развитии указанных направлений не представляется возможным. В перспективе же с применением новых приборостроительных технологий и конструкторских решений их развитие может оказаться весьма эффективным.

Поэтому на настоящем этапе наряду с традиционными методами, направленными на дальнейшее развитие СРЛО, следует уделять особое внимание новым нетрадиционным методик.

Весьма перспективными нетрадиционными направлениями подобного рода

следует считать разработку методов, основанных на кибернетических подходах теории распознавания локационной информации [3] и теории систем искусственного интеллекта [4]. Гибкое сочетание существующих и вновь предлагаемых методов решения проблемы опознавания объектов позволит разрешить ее более эффективно.

Одним из перспективных направлений развития систем опознавания является разработка новых методов двухальтернативной селекции и уменьшения дополнительных аппаратных затрат за счет задействования информационных ресурсов ряда систем уже интегрированных в состав аппаратуры опознающего объекта, но извлекающих и использующих информацию в интересах других задач (обнаружения и сопровождения объектов, наведения оружия, навигации и т. д.). При этом предлагаемые интегрированные системы могут быть пространственно сосредоточены на одном опознающем объекте или разнесены в пространстве. Главным моментом исследований данной предметной области является обоснование возможностей повышения достоверности опознавания объектов, основанное на более рациональном использовании всего имеющегося и вновь привлекаемого объемов информационных пространств и выявления скрытых внутренних информационных резервов радиотехнических устройств (в рассматриваемом случае из состава радиолокационной станции (РЛС)), в том числе и не входящих в состав штатной СРЛО, а так же переход к интегрированным физически распределенным конструкциям. Подход такого рода определяет комплексное использование возможных источников информации (в дальнейшем именуемых информационными каналами (ИК)) [1, 2, 5, 6] и предусматривает применение методов теории распознавания образов [3]. Так же предполагается максимально возможная адаптация всех возможных источников извлечения информации от всех потенциальных ИК, которая может оказаться полезной в интересах решения задачи опознавания.

Методология предлагаемого комплексного опознавания по своей общей сути

принципиально одинакова для всех СРЛО [2]. Главной отличительной особенностью опознавания в разных линиях являются различия в используемых признаках опознавания (ПО), способах измерения, обработки и априорного описания ПО (исходя из специфики работы задействованных ИК).

Источниками информации опознавания в РЛС могут служить как штатные, так и дополнительные ИК. Полезную информацию для СРЛО могут предоставлять: ИК радиотехнической разведки (РТР), ИК системы радиолокационного распознавания (РЛР), ИК тактического опознавания (ТО), ИК ретрансляции сигнала опознавания, ИК СРЛО и другие потенциально возможные ИК [2, 5, 6].

Основопологающим принципом применения канала РТР в качестве ИК опознавания является определение типа радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), имеющейся на борту наблюдаемого объекта, по параметрам излучаемых ею сигналов, режиму работы и возможности нахождения на борту своих и чужих объектов. Если свои (чужие) объекты не обладают или принципиально не могут обладать установленным типом РЭА, то опознаваемую цель с соответствующими параметрами активных излучений с определенной степенью вероятности считают своим (чужим) объектом.

Основопологающий принцип использования для опознавания ИК системы РЛР заключается в выработке решения, которое получено при сопоставлении информации о классе обнаруживаемой цели со сведениями о возможных классах целей, находящихся у противоборствующих сторон.

ИК тактического опознавания обеспечивает решение описываемой задачи на основе анализа поведенческих признаков, характеризующих их реальное пространственно-временное положение. При этом координаты и параметры движения ВО сравниваются с наиболее вероятными.

Первые шаги в направлении развития комплексного опознавания были осуществлены разработчиками СРЛО для ЗРС "Пэтриот" (США) путем сочетания

результатов распознавания целей штатной системой радиолокационного распознавания и результатов опознавания штатной СРЛО типа Мк-12. В радиотехнических системах отечественного производства конструкторские решения рассматриваемого рода отражения не нашли. Фундаментальные исследования в этой области в открытой литературе недостаточно известны. В то же время самостоятельно развивающемуся научному направлению - теории распознавания радиолокационной информации - посвящен целый ряд серьезных научных исследований [3,7,8].

Вариант обобщенной структурной схемы алгоритма опознавания комплексной СРЛО (КСРЛО) гипотетического многоканального построения представлен на рис. 1.

В ее состав входят: ИК опознавания, каждый из которых выделяет и оценивает M признаков опознавания соответствующей природы, обнаружители, устройство объединения информации опознавания по K -независимым ИК; устройство принятия решения о государственной принадлежности; устройство хранения и ввода априорной информации. В общем случае алгоритм опознавания для РЛС сводится к измерению соответствующего значения многомерного вектора признака $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_K\}$, где $k = \overline{1, K}$ - порядковый номер ИК опознавания, а также к вычислению апостериорной вероятности гипотезы $h_i(X)_j$ того, что в результате опознавания j -го объекта ВО по совокупности K составляющих вектора X он является своим (при $i = 1$) или чужим (при $i=2$).

Значения гипотез $h_i(X)_j$ могут вычисляться в соответствии с одной из множества возможных схем реализации байесовской процедуры вычисления апостериорной вероятности, например, схемы Эванса [9, 10].

В целях однозначного понимания приводимых ниже рассуждений введем следующие условные обозначения:

$x_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{km}, \dots, x_{kM}\}$ - M -мерный вектор признакового пространства в

рамках k -го ИК опознавания, где $m = \overline{1, M}$ - порядковый номер признака в k -м ИК; $j = \overline{1, J}$ - порядковый номер опознаваемой цели; J - количество одновременно опознаваемых целей.

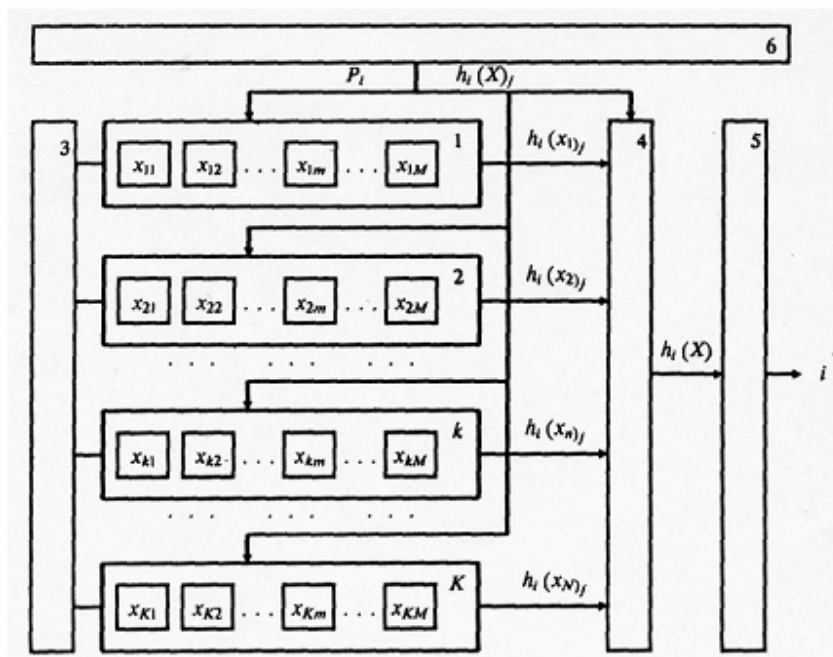


Рис. 1. Вариант обобщенной структурной схемы алгоритма комплексного опознавания гипотетической многоканальной КСРЛО: 1, 2, ..., k , ..., K - информационные каналы опознавания; 3 - обнаружители; 4 - блок объединения информации опознавания; 5 - блок принятия решения о госпринадлежности; 6 - устройство хранения и ввода априорной информации.

Приведем общее аналитическое описание алгоритмов объединения и накопления информации опознавания на основе выбранной байесовской вычислительной процедуры. При ее организации для каждого m -го из M имеющихся в k -м ИК измеряемых значений признаков $x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{km}, \dots, x_{kM}$ вычисляют значения апостериорных вероятностей гипотез:

$$h_i(x_k)_j = \{h_i(x_{k1})_j, h_i(x_{k2})_j, \dots, h_i(x_{km})_j, \dots, h_i(x_{kM})_j\}, \quad (1)$$

гласящих о том, что в результате оценки значений M признаков наблюдаемый j -й

объект принадлежит своим войскам (при $i = 1$) или войскам противника (при $i = 2$).
 Эти гипотезы определяются в соответствии с выражениями:

$$\left. \begin{aligned}
 h_i(x_{k1})_j &= \frac{P_i f_i(x_{k1})_j}{\sum_{i=1}^2 P_i f_i(x_{k1})_j}; \\
 h_i(x_{k2})_j &= \frac{h_i(x_{k1})_j f_i(x_{k2})_j}{\sum_{i=1}^2 h_i(x_{k1})_j f_i(x_{k2})_j}; \\
 \dots \dots \dots & \\
 h_i(x_{km})_j &= \frac{h_i(x_{k(m-1)})_j f_i(x_{km})_j}{\sum_{i=1}^2 h_i(x_{k(m-1)})_j f_i(x_{km})_j}; \\
 \dots \dots \dots & \\
 h_i(x_{kM})_j &= \frac{h_i(x_{k(M-1)})_j f_i(x_{kM})_j}{\sum_{i=1}^2 h_i(x_{k(M-1)})_j f_i(x_{kM})_j} = h_i(x_k)_j.
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где P_i - априорная вероятность гипотезы того, что опознаваемый ВО является объектом i -й группировки войск; $f_i(x_{km})$ - закон распределения значений вектора-признака опознавания x_{km} .

Далее значения элементов множества (1) объединяются в одно значение, характеризующее степень схожести опознаваемого объекта с объектами i -й группировки по результату наблюдения количеством K ИК опознавания. Это значение также может быть найдено с использованием одной из разновидностей байесовских процедур, вычисляющих апостериорные вероятности гипотез, например:

$$h_i(X)_j = \frac{P_i h_i(x_1)_j h_i(x_2)_j \dots h_i(x_k)_j \dots h_i(x_K)_j}{\sum_{i=1}^2 P_i h_i(x_1)_j h_i(x_2)_j \dots h_i(x_k)_j \dots h_i(x_K)_j} \quad (3)$$

Абсолютное значение величин $h_i(X)_j$ получают для каждой j -й цели и на основании выбранной решающей процедуры, например, селекционного

решающего правила [3]

$$j = \arg \max_i h_i(X)_j \quad (4)$$

из совокупности всех значений $h_i(X)_j$ для каждой из J одновременно опознаваемых целей выделяют ту, которая более всего похожа на объекты, принадлежащие к i -й группировке войск.

Вариант опознавания КСРЛО, характеризуемый последовательностью (1) - (4), относится к байесовским алгоритмам опознавания, которые не являются абсолютными и единственными в своем роде, а служат наглядной иллюстрацией принципиальной возможности организации комплексных систем опознавания. При синтезе подобных алгоритмов также могут быть применены методы принципа максимальной энтропии, интервалов в диапазоне допустимых значений (например, в теории Дампстера-Шейфера), нечеткой логики Заде [9, 10] и ряд других положений современной математики.

При комплексном опознавании возникают существенные проблемы, связанные с анализом значительных объемов информации, что затруднительно для большинства штатных вычислительных средств. Поэтому при комплексном опознавании возникает потребность в использовании методов, с одной стороны, способных уменьшить объем вычислений, а с другой - увеличить степень достоверности результата опознавания. В этой связи было бы целесообразным в качестве метода, обеспечивающего реализацию комплексного подхода, применить положения теории систем искусственного интеллекта, обеспечивающего приближение процесса поиска необходимого решения к мыслительному процессу человека и уменьшающего объем производимых ЭВМ математических вычислений. Первым шагом на пути интеллектуализации процесса опознавания является применение экспертной системы, под которой подразумевается программный продукт, обеспечивающий воспроизведение результата опознавания объекта, достигаемых реальными высококвалифицированными специалистами в

этой области [4, 11].

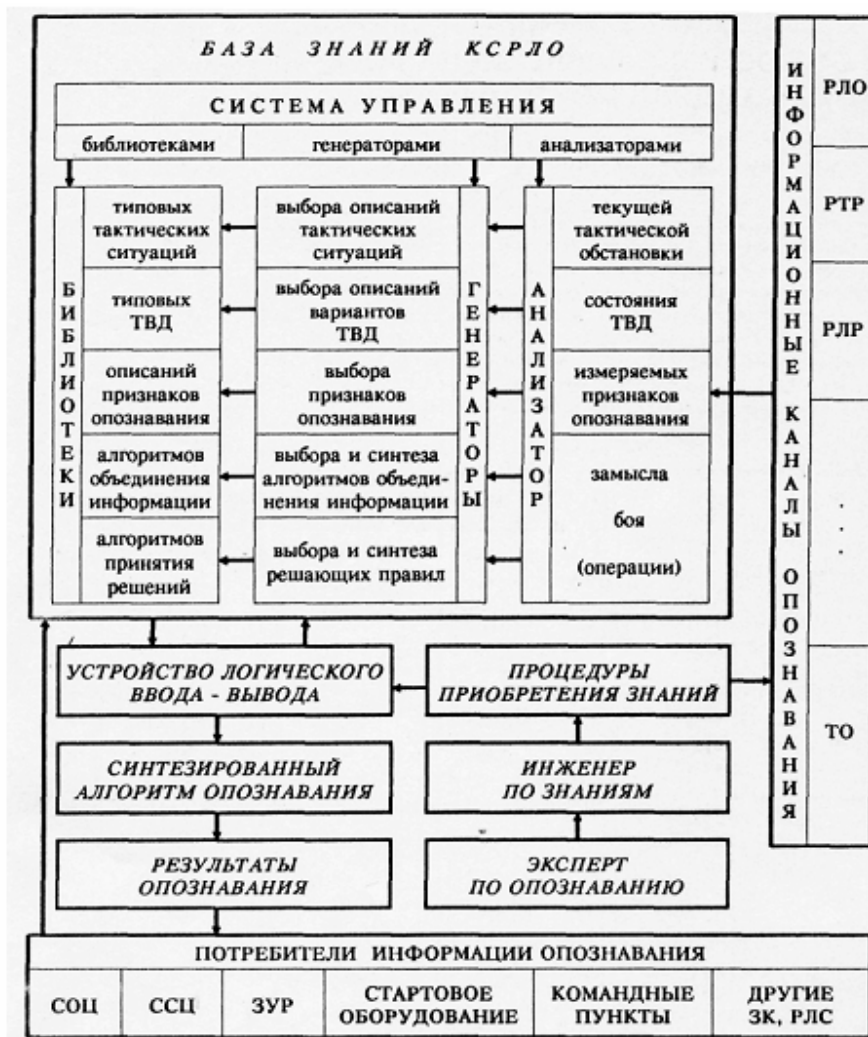


Рис. 2. Вариант структурно-логической схемы для КСРЛО гипотетической РЛС: РЛО – радиолокационное опознавание; РТР – радиотехническая разведка; РЛР – радиолокационное распознавание; ТО – тактическое опознавание; СОЦ – станция обнаружения целей; ССЦ – станция сопровождения целей; ЗУР – зенитная управляемая ракета.

Вариант обобщенной структурно-логической схемы экспертной системы опознавания (ЭСО) объектов для КСРЛО гипотетической РЛС представлен на рис. 2. В состав ЭСО входит ряд элементов: база знаний (БЗ) КСРЛО, устройство логического ввода - вывода; блок процедур приобретения знаний; блок синтеза алгоритмов опознавания; инженер по знаниям; эксперт по опознаванию; информационные каналы опознавания.

База знаний КСРЛО предназначена для хранения априорной информации о ПО, текущей тактической и помеховой обстановке, состоянии ТВД, типах и местах предполагаемой дислокации своих объектов и объектов противника, а также замысле действий. Устройство логического ввода - вывода служит для восприятия исходных данных и другой информации из БЗ и обеспечения процесса их обновления. Блок процедур приобретения знаний обеспечивает оптимальное восприятие новых знаний ЭСО об опознаваемом объекте. Инженер по знаниям является ключевым звеном всего процесса приобретения и накопления знаний в ЭСО, в его задачу входит работа с экспертом в области опознавания. Информационные каналы опознавания являются источниками извлечения информации опознавания (ИО), причем на практике возможно любое сочетание из уже имеющихся и новопредлагаемых ИК.

Потребителями ИО в первую очередь являются средства обнаружения, точного сопровождения, стартовое оборудование зенитных комплексов, бортовые вычислители зенитных управляемых ракет, командные пункты различных иерархических уровней, другие отдельные РЛС. Следует учитывать, что на современном этапе имеют место существенные трудности в практической реализации ЭСО. С одной стороны, они обусловлены экономическими проблемами, так как исследования данной предметной области требуют ощутимых капиталовложений, особенно на этапах насыщения априорной информацией БЗ КСРЛО и разработке высокочувствительных и эффективных датчиков ПО. С другой стороны, имеются проблемы инженерно-технического характера. К ним относятся проблемы, связанные с увеличением алгоритмических и вычислительных затрат, а также вычислительных средств РЛС. Однако, учитывая темпы развития информатики и вычислительной техники, подобные трудности являются относительными и временными.

Другой проблемой технического толка является отсутствие высоко результативных датчиков различной физической природы, поэтому существенную

долю усилий следует сосредоточить именно на этом направлении. Не менее важной проблемой является задача математического и алгоритмического обеспечения выбранной структуры ЭСО. Она в большей мере относится к проблемам теоретическим и решается относительно проще прочих.

Разработка и последующее внедрение ЭСО в процесс функционирования зенитных комплексов (ЗК) позволит в перспективе решать задачу опознавания более эффективно. Применение пассивных ИК обеспечит значительное повышение скрытности работы КСРЛО.

Экспертную систему опознавания относят к функциональным системам ЗК нового поколения - системам искусственного интеллекта, выводящим современные системы вооружения на совершенно новый уровень решения поставленных перед ними задач. Иными словами, ЭСО является подсистемой ЗК - интеллектуального робота, уменьшающего степень участия человека-оператора в процессе опознавания, упрощающего этот процесс, значительно уменьшающего объем дополнительных аппаратурных затрат. Возможно применение подобных ЭСО также на средствах морского, воздушного и космического базирования.

Интеллектуальный комплексный подход к совершенствованию СРЛО является современной тенденцией общего развития техники нового поколения.

Литература

1. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольника. Т. 3. - М.: Сов. радио, 1976. Т.3.
2. Быстров А. В., Митрофанов Д. Г. Перспективы развития технических средств опознавания воздушных целей. //«Зарубежная радиоэлектроника», 1996, №2.
3. Горелик А. Л., Барабаш Ю. Л., Кривошеев О. В., Эпштейн С. С. Селекция и распознавание на основе локационной информации. Под ред. А. Л. Горелика. // - М.: Радио и связь, 1990. – 214 с.

4. Франклин Д. Э. и др. Технология экспертных систем для военных применений. Избранные примеры. // - М.: ТИИЭР Т. 76, № 10, 1988.
5. Быстров А. В. Использование информации о структуре радиосигналов и режимах работы бортовых радиоэлектронных систем воздушных объектов в интересах опознавания. // -М.: НТЦ «Информтехника», «Оборонная техника», №10-11, 1998. - с.62-65.
6. Быстров А. В. Использование поведенческих признаков в радиотехнических системах специального назначения для опознавания воздушных объектов. М.: НТЦ «Информтехника», «Оборонная техника», №10-11, 1998. - с. 70-72.
7. Тактические радиолокаторы для наблюдения за полем боя. Пер. Ю.С.Лифанов. (*Military Technology*. - 2010. - 34, № 5. - P.20-26). // Иностранная печать. Об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления. ВИНТИ РАН. Серия: «Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств», № 2, 2011г. – с. 20-28.
8. Радиолокатор SeaGuard для улучшения ситуационной осведомленности. Пер. А.А. Ломако. (*Jane's International Defence Review*. - 2011. - January. - 43. - P.11). // Иностранная печать. Об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления. ВИНТИ РАН. Серия: «Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств», № 2, 2011г. - с. 48-49.
9. Быстров А. В. Байесовские процедуры при обработке информации от источников различной физической природы в задачах радиолокационного распознавания. М.: ИПРЖ «Радиотехника» №1, 1998. - с. 8-13.
10. Быстров А. В. Повышение точности радиотехнических измерений при оптимизации процесса обработки радиолокационной информации. М.: ИПК изд. стандартов, «Измерительная техника», №6, 1997. - с. 46-49.

11. Быстров А. В. Разработка интеллектуальных систем государственной идентификации объектов военного и специального назначения как альтернативное направление в развитии систем радиолокационного опознавания. М.: Воениздат, «Вестник Академии военных наук», №3(4), 2003. - с.118-121.