

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.822

МЕТОДИКА ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЙ РАДИОИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

*ПРОХОРОВ А. В., ПРОХОРОВ В. П.,
КАЛЮЖНЫЙ Н. М., НИКОЛАЕВ И. М.,
ШАТАЛОВ А. В.*

Рассматривается проблема формализации расчетно-логической задачи распознавания состояний радиоизлучающих объектов на основе формально-логического подхода. В качестве формальной системы используется исчисление предикатов первого порядка. Разработана новая методика формализации задачи, которая обеспечила создание интеллектуальной экспертной системы распознавания состояний радиоизлучающих объектов. Описываются экспериментальные исследования, которые подтвердили ее эффективность и высокую достоверность полученных результатов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, исчисление предикатов, база знаний, экспертная система, распознавание состояний, радиомониторинг.

Keywords: artificial intelligence, predicate calculus, knowledge base, expert system, state recognition, radio monitoring.

1. Введение

Необходимость в совершенствовании и развитии технологий принятия решений в информационно-аналитических системах, в процессе моделирования и анализа результатов в системе комплексного распознавания состояний (СКРС) радиоизлучающих объектов (РИО) обуславливается непрерывным возрастанием сложности объектов и процессов распознавания с одновременным сокращением времени на анализ проблемной ситуации, прогнозирование ситуаций, оценку последствий принимаемых решений. Этот процесс требует много времени и высокой квалификации для того, чтобы точно и объективно оценить обстановку. Анализ мирового опыта показывает, что при автоматизации процесса принятия решений наиболее перспективным является использование информационных систем, основанных на знаниях, формализуемых в рамках технологий искусственного интеллекта, и опыте высококвалифицированных специалистов, накапливаемом в базах знаний экспертных систем.

Процесс распознавания радиоизлучающих объ-

ектов и их состояний по многим параметрам, имеющим некоторую степень неопределенности, относится к информационным логико-аналитическим и расчетно-логическим задачам. Существуют различные методики формализации таких задач, анализ которых показывает, что наиболее перспективными являются методики, использующие формально-логический или когнитивный подход, основанный на знаниях. Данный подход к формализации реализуется на основе интеллектуальных информационных технологий (ИИТ) [1]. Имеются многочисленные работы, связанные со стандартными классическими логиками или их разрешимыми фрагментами. В то же время предлагаемые формализации зачастую специфичны, не обладают универсальностью и не предлагают обобщений для классов различных теорий представления и обработки знаний. В большинстве случаев используется формализованный язык понятий и отношений, основанный на исчислении предикатов первого порядка, на котором формулируется описание предметной области, рекомендации и правила вывода следствий, которые представляются в виде аксиом формализованной теории.

В исследовании рассматривается новая методика формализации задачи в системе комплексного распознавания состояний радиоизлучающих объектов по их распознанным радиоэлектронным средствам и результатам обработки данных существующими статистическими методами, которая обеспечит повышение эффективности и достоверности принимаемых решений.

2. Анализ последних исследований и публикаций

Структура, задачи и принципы функционирования СКРС мониторинга и организации распознавания состояний РИО изложены в ряде работ [2,3]. При этом вопросы формализации и методы автоматизации задач, решаемых в СКРС на основе интеллектуальной экспертной системы распознавания состояний (ЭСРС) РИО, освещены недостаточно. Кроме того, отсутствуют методы представления, накопления и обработки знаний, необходимых для решения задач в ЭСРС. Построение подобных систем рассматривается традиционным путем, где автоматизации подлежат процессы сбора, хранения и обработки данных, необходимых для функционирования СКРС.

Однако в настоящее время интеллектуальные системы (ИС) достаточно широко применяются для

решения различных задач [4,5,6]. Интеллектуальность таких систем рассматривается в возможности получения оперативных решений за короткие сроки, в течение которых человек не в состоянии выработать решение, в возможности получения новых решений и накопления опыта с занесением его в некоторые, так называемые «базы знаний», а также в возможности решения комплексных задач, уровень сложности которых исключает возможность их решения человеком [5]. Подобные ИС рассматриваются и как класс прикладных технических систем, обеспечивающих устойчивое, эффективное, экономичное и безопасное функционирование, например, транспорта за счет придания активным элементам транспортной системы свойств адаптивного (интеллектуального) поведения.

Наибольший интерес с точки зрения ИИТ представляет определение таких систем, как комплексная система оптимизации управления средствами в масштабе реального времени, обладающая свойствами адаптивности, ситуационного анализа и планирования (предсказания) [4]. Однако следует отметить, что зачастую не учитывается, что ИИТ [7,8] – это, прежде всего, формальный логико-математический инструмент на основе знаний, который может быть использован для решения логико-расчетных задач с позиций общесистемного комплексного подхода к анализу, распознаванию и управлению всеми объектами и системами с возможностью адаптации к условиям применения и эксплуатации. И, несмотря на значительные достижения в области ИИТ, о широком использовании реальных интеллектуальных систем в настоящее время говорить преждевременно. В [9,10] изложены принципы формализации процесса распознавания состояний радиоизлучающих объектов на основе ИИТ, но не раскрыты методы создания формализованных аксиоматических теорий (ФАТ) для ЭСРС. Данное исследование базируется на применении ИИТ в виде созданной и действующей облачной платформы разработки интеллектуальных ЭСРС [7,8].

3. Постановка задачи исследования

Целью исследования является разработка методики формализации процесса распознавания состояний РИО и построения ФАТ на основе исчисления предикатов первого порядка, реализуемой в интеллектуальной ЭСРС радиоизлучающих объектов, созданной на основе программной

среды разработки интеллектуальных систем [7]. Научная новизна заключается в разработке ФАТ решения задач распознавания состояний РИО для ЭСРС, которая обеспечит: повышение степени интеллектуализации существующих информационных систем распознавания состояний РИО по их распознанным радиоэлектронным средствам и результатам обработки данных существующими статистическими методами; адаптацию к изменению задач и целей функционирования; накопление и повторное использование знаний при выполнении заданий в процессе моделирования в СКРС РИО.

При этом основное внимание уделяется необходимости обеспечения лицу, принимающему решения (ЛПР), не только информационной, но и интеллектуальной поддержки процессов принятия решений, обеспечения взаимодействия с системой на естественном языке и реализации необходимых режимов функционирования и комфортных сервисов. Интеллектуальные ЭСРС предназначены обеспечить: анализ возможных состояний и ситуаций; выбор необходимых задач; решение трудно формализуемых логико-расчетных задач на основе знаний, предоставленных экспертами в данной предметной области; взаимодействие ЛПР с компьютером на естественном языке в привычных понятиях, терминах, образах и др.

Описания возможных состояний РИО в ЭСРС представляются в виде правил (аксиом) на этапе создания баз знаний (БЗ) системы. Решение задачи формируется на основе логического вывода в ЭСРС. Эффективность распознавания состояний РИО в ЭСРС зависит от адекватного описания задачи в виде логических моделей знаний. При этом основной проблемой создания корректных и эффективных БЗ системы является разработка методики формализации процесса распознавания состояний РИО, обеспечивающей адекватное соответствие разработанных моделей знаний реальным РИО.

4. Методика формализации задачи распознавания состояний РИО

Методика формализации логико-аналитических задач распознавания состояний различных РИО в исчислении предикатов первого порядка включает следующие этапы: определение исходных данных, необходимых для распознавания состояний различных классов; разработка информационной модели возможных состояний РИО; раз-

работка сетевой модели распознавания состояний РИО; структуризация исходных данных и определение первичных предикатов; формирование правил (аксиом) вывода решений по каждому возможному состоянию РИО; составление перечня вопросов по каждой задаче, интересующих лиц, принимающих решения по результатам анализа полученной в процессе логического вывода информации.

Для каждого класса РИО всегда можно создать свою методику, учитывающую особенности режимов функционирования, параметров и классов средств излучения. Выделим три класса РИО: воздушные, наземные и надводные. Данные классы РИО могут существенно отличаться составом по типам и особенно их количеством. Кроме того, есть ограничения формально-логического языка представления знаний в ЭСРС. Это приводит к необходимости структуризации исходных данных для формализации задачи распознавания состояний РИО с учетом класса РИО и требований ЭСРС. Однако также могут возникнуть проблемы формализации типов РИО и в самих классах из-за большого разнообразия типов РИО каждого класса.

Следовательно, говорить об универсальной методике формализации данной задачи преждевременно, пока не будут рассмотрены РИО всех классов. После этого можно будет рассмотреть возможность унификации предлагаемых методик для задачи распознавания состояний различных классов. Для распознавания заданных типов воздушных РИО одного класса целесообразно рассмотреть универсальную методику формализации общей логико-аналитической задачи распо-

знавания состояний РИО для данного класса.

Для каждой задачи необходимо составить список возможных вопросов со стороны системы моделирования для автоматического режима и пользователей системы для диалогового режима. Список вопросов определяет минимально необходимое число правил в базе правил БЗ для получения (логического вывода) ответа (следствия). Однако каждое такое результирующее правило (аксиома теории) в ФАТ может состоять из нескольких частных правил, определяющих промежуточные предикаты. Количество таких правил зависит от принятой схемы сетевой модели задачи.

В качестве исходной информации выступают конкретные данные из базы данных системы комплексного распознавания состояний, которые конвертируются универсальным программным модулем ЭСРС в базу фактов предметной области в виде первичных предикатов базы знаний. На основе первичных предикатов создаются модели знаний в виде формализованных аксиоматических теорий (правил) на языке исчисления предикатов первого порядка.

Связь между параметрами РИО и его состоянием задается моделью РИО в виде таблицы. Целесообразно все радиоизлучающие средства (РЭС) разделить на группы: РЛС и средства радиосвязи (СС). Основным отличием бортовых РЛС будет их изменяемый режим работы или постоянный, а для распознавания СС будет рассматриваться их класс излучения. Пример информационной модели возможных состояний РИО некоторого типа приведен в таблице.

№ п/п	Тип, режим работы бортовой РЭС	Номер состояния РИО								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	РЭС 1				10			10		10
2	РЭС 2, режим 1	1								
3	РЭС 2, режим 2		2							
4	РЭС 2, режим 3			3						
5	РЭС 2, режим 4				4					
6	РЭС 2, режим 5					5				
7	РЭС 2, режим 6						6			
8	РЭС 2, режим 7							7		
9	РЭС 2, режим 8								8	
10	РЭС 2, режим 9									9
11	РЭС 3						11	11		
12	РЭС 4, класс излучения 4					12		12	12	12
13	РЭС 5, класс излучения 5		13	13	13					
14	РЭС 6, класс излучения 6							14	14	14

В основу формализации задач предметной области системы положено логическое исчисление предикатов первого порядка. Для разработки адекватных моделей знаний целесообразно задачу распознавания состояний представлять графически в виде сетевой модели (СМ) (рис.1). На СМ рис.1 и в таблице показано, что состояние РИО однозначно определяется режимом работы его бортовой РЛС с некоторой вероятностью распознавания данного режима. Другие РЛС, работающие в одном режиме и СС, только повышают достоверность и вероятность распознавания состояния РИО и самостоятельно не дают однозначного ответа о состоянии РИО. Так, из рис.1 видно, что средства связи СС1 и ССК характеризуют несколько состояний РИО, а СС2 определяет только состояние СР2. По совместной работе СС и их классам излучения можно распознать комбинированные состояния работы СС, которые только характеризуют и повышают достоверность распознавания возможных состояний РИО с некоторой общей вероятностью. По данной СМ разрабатываются модели знаний БЗ в виде ФАТ, отражающих дерево поиска доказательств, корнем (вершиной) которого будет последний выведенный по правилам предикат, дугами - связи, определенные формулой, с вер-

шинами (предикатами) посылки. Нижние вершины дерева будут соответствовать первичным предикатам. В процессе логического вывода осуществляется синтез программы решения задачи по правилам (аксиомам) БЗ ЭСРС. В статье приводится пример определения первичных предикатов и формирования правил для распознавания конкретных состояний РИО.

Для описания задач логико-расчетного характера предусмотрена возможность выполнения расчетов или процедур в процессе логического вывода решения. Это обеспечивается путем введения в предикат наряду с переменными и константами так называемых встроенных функций. Для примера распознавания состояния РИО №8 согласно таблице необходимо 5 правил, связанных между собой в едином дереве вывода; два правила для распознавания классов излучения СС №12 и №14, по одному правилу для распознавания режима работы РЛС №8, распознавания совместной работы СС №12 и №14 и собственно распознавания состояния РИО №8. В ЭСРС используется специальный механизм логического вывода, представляющий собой модифицированный метод резолюций для исчисления предикатов первого порядка [7].

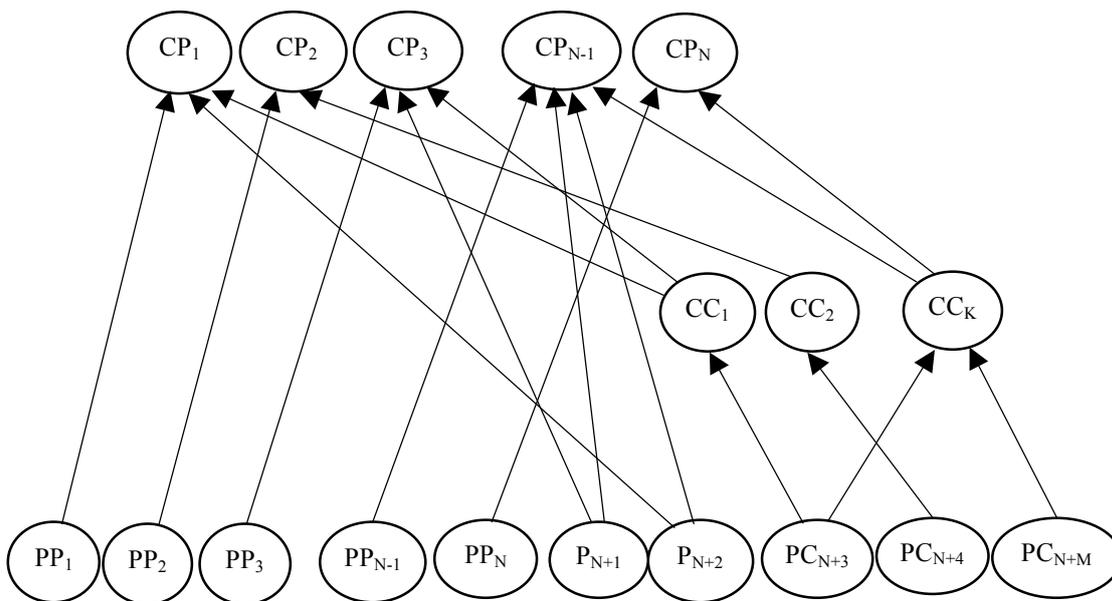


Рис. 1. Сетевая модель распознавания состояний РИО.

Обозначения: PP_i – i -й режим работы РЭС (РЛС); P_j – j -й РЭС, работающий в одном режиме; PC_m – m -й класс излучения СС; CC_k – k -е состояние работы СС; CP_n – n -е состояние РИО

5. Создание формализованных аксиоматических теорий для ЭСРС

Формальные системы создаются для описания в форме символьных выражений рассуждений об элементах некоторой предметной области, осуществляемых в соответствии со строго определенными правилами. Такая система содержит алфавит символов, правила образования допустимых выражений языка – последовательностей символов, логические аксиомы и правила вывода новых выражений из имеющихся. Логические аксиомы описывают правила эквивалентных преобразований выражений, а в совокупности с правилами вывода определяют операцию присоединения следствий данной формальной системы.

Если к логическим аксиомам присоединить нелогические аксиомы, выражающие свойства объектов некоторой предметной области, то получим формализованную аксиоматическую теорию, в которой операция присоединения следствий составляет логику теории. Логика позволяет, отправляясь от аксиом, содержащих некоторые знания о предметной области, получать новые формальные выражения, называемые теоремами теории и описывающие выводимые знания. Таким образом, формальная система определяет язык и логику рассуждений формализованных аксиоматических теорий, которые на ней основаны. Классическими формальными системами являются исчисление высказываний и исчисление предикатов. Свойства объектов, в том числе их состояний, в исчислении предикатов первого порядка выражаются n – местными отношениями.

Рассмотрим пример формирования правил (аксиом) ФАТ для базы знаний ЭСРС на основе используемого формализованного языка в инструментальной среде создания интеллектуальных систем [7,8], в которой используются следующие предикаты.

Предикат – “ИМЯ ПРЕДИКАТА(V_1, V_2, \dots, V_n)” есть n -местное (зависимое от n переменных) отношение между объектами рассматриваемой предметной области, выделенными экспертом для описания задачи и обозначенными именами – переменными: V_1, V_2, \dots, V_n . Первичный предикат определяется на основании данных, которые поступают из базы данных с помощью программы означивания, определенной заранее для данного предиката.

Вторичные предикаты определяются на основании формул (правил) вида:

$ПРЕД1(V_1, \dots, V_n) \& ПРЕД2(V_1, \dots, V_k) \& \dots \& \& ПРЕДm(V_1, \dots, V_m) \rightarrow ПРЕДr(V_1, V_2, \dots, V_p)$.

Здесь выражение до знака “ \rightarrow ” есть посылка (условная часть), после знака “ \rightarrow ” – вторичный предикат – вывод (следствие).

Кроме указанных есть еще один тип предикатов – предикаты порядка, истинность которых вычисляется внутренним программным модулем алгоритма логического вывода после подстановки вместо аргументов предикатов определенных значений.

Предикаты порядка состоят из имени и двух аргументов:

“БОЛЬШЕ(V_1, V_2)”; “МЕНЬШЕ(V_1, V_2)”;
“НЕ БОЛЬШЕ(V_1, V_2)”; “НЕ МЕНЬШЕ(V_1, V_2)”;
“РАВНО(V_1, V_2)”; “НЕ РАВНО(V_1, V_2)”;
“ТОЖДЕСТВО(V_1, V_2)” – присвоение переменной V_1 имени V_2 .

Для описания задач логико-расчетного характера предусмотрена возможность выполнения расчетов или процедур в процессе логического вывода решения. Это обеспечивается путем введения в предикат наряду с переменными и константами так называемых встроенных функций. Функции записываются в следующем виде:

$F1.1(V_1, \dots, V_N)$, где $F1.1$ – имя функции всегда начинается с буквы F , после нее указывается номер функции, первая цифра которого отделяется точкой; V_1, \dots, V_N – переменные (аргументы) функции, которые характеризуют входные параметры, $N \leq 10$.

Так, для данной задачи была введена новая функция $FN.8(V_1, V_2, \dots, V_N)$, где $N \leq 6$, которая реализует формулу полной вероятности. Данную функцию $F2.8(V_1, V_2)$ можно увидеть ниже в правилах $PP3$ и $PP5$.

Встроенные функции или процедуры образуют библиотеку встроенных функций, включенную в процедуру логического вывода.

Исходя из представленных данных в таблице для решения задачи распознавания состояний РИО можно задать следующие первичные предикаты:

$P1$. Предикат, описывающий характеристики распознанного РИО и его РЭС.

$TIP_REC_RIO(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9, V_{10})$ / РИО номер V_1 , тип V_2 время (модельное) распознавания V_3 , бортовая РЛС, V_4 в режиме номер V_5 , класс излучения средств связи V_6 , координаты V_7, V_8 , высота V_9 , скорость V_{10} .

P2. Предикат, описывающий тип и режим работы распознанной бортовой РЛС РИО.

TIP_RLC_RIO(V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7)/ РИО номер V1 тип V2 время распознавания, V3 бортовая РЛС, V4 распознана с вероятностью V5, в режиме V6 с вероятностью V7.

P3. Предикат, описывающий тип и класс излучения распознанных средств связи (СС) РИО.

TIP_CC_RIO(V1,V2,V3,V4,V5,V6)/ РИО номер V1, тип V2 время распознавания V3, номер класса излучения СС, V4 класс излучения V5 с вероятностью V6.

P4. Предикат, описывающий возможные состояния средств связи РИО.

COCT_CC_RIO(V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8,V9,V10)/ РИО тип V1, СС могут находиться в состоянии номер V2, класс излучения СС номер: V3,V4,V5,V6,V7,V8,V9,V10.

P5. Предикат, описывающий возможные состояния РИО, связывая режимы работы РЛС и СС.

COCT_REC_RIO(V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8,V9,V10)/ РИО тип V1 может находиться в состоянии номер (PP БРЛС), V2 номер класса излучения СС: V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10.

P6. Предикат, описывающий характеристики СС разных типов РИО.

HAR_IZL_CC(V1,V2,V3,V4) / Радиоизлучающий объект тип V1, имеет тип средств связи V2, класс излучения V3 номер V4.

P7. Предикат, описывающий характеристики бортовой РЛС разных типов РИО.

HAR_REGRLC_RIO(V1,V2,V3,V4)/Радиоизлучающий объект тип V1 тип бортовой РЛС V2 имеет режим работы V3, номер V4 и другие.

Согласно СМ рис.1 и табл.1 запишем следующие правила, необходимые для распознавания состояния №8 РИО: распознавания классов излучения СС №12 (правило PP1) и №14 (PP2); распознавания состояния №15 совместной работы СС (PP3); распознавания РЛС (PP4); распознавания состояния №8 РИО (PP5).

PP1. Правило распознавания класса излучения СС №12:

TIP_CC_RIO(VN,VT,VMB,VNK,VK1,VPKL)&
&HAR_IZL_CC(VT,VTC,VK1,VNK)&
&PABHO(VNK,12)->

->RACP_KLIZL_CC12(VN,VT,VMB,VNK12,VPK12).

PP2. Правило распознавания класса излучения СС №14:

TIP_CC_RIO(VN,VT,VMB,VNK,VK1,VPKL)&
&HAR_IZL_CC(VT,VTC,VK1,VNK)&
&PABHO(VNK,14)->

->RACP_KLIZL_CC14(VN,VT,VMB,VNK14,VPK14).

PP3. Правило распознавания состояния СС №15, определяемого двумя классами излучения СС №12 и №14:

COCT_CC_RIO(VT,VNC,V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8)
&RACP_KLIZL_CC12(VN,VT,VMB,VNK12,VPK12)&
&RACP_KLIZL_CC14(VN,VT,VMB,VNK14,VPK14)&
&PABHO(VNC,15)&

&ТОЖДЕСТВО(VPS,F2.8(VPK12,VPK14))->

->RACP_COCT_CC15(VN,VT,VMB,VNC,VPS).

PP4. Правило распознавания типа бортовой РЛС и режима ее работы.

TIP_RLC_RIO(VN,VT,VMB,VTRL,VPRL,VRR,VPR)&
&HAR_REGRLC_RIO(VT,VTRL,VRR,VNRR)->

->RACP_REGRLC(VN,VT,VMB,VNRR,VPR).

PP5. Правило распознавания состояния РИО №8:

COCT_REC_RIO
(VT,VN8,VNK12,VNK14,V5,V6,V7,V8,V9,V10)&
&RACP_REGRLC(VN,VT,VMB,VNRR,VPR)&
&RACP_COCT_CC15(VN,VT,VMB,VNC,VPS)&
&PABHO(VNR,8)&PABHO(VNC,15)&
&ТОЖДЕСТВО(VPG,F2.8(VPR,VPS))->

->RACP_COCT_RIO8(VN,VT,VMB,VN8,VPG).

Аналогичным образом создаются ФАТ для распознавания других состояний РИО в соответствии СМ (см. рис.1) задачи распознавания.

Таким образом, для примера распознавания состояния РИО №8 необходимо 5 правил (аксиом) ФАТ, связанных между собой в едином дереве вывода. В ЭСПС используется специальный механизм логического вывода, представляющий собой модифицированный метод резолюций для исчисления предикатов первого порядка [7]. Основная идея принципа резолюции заключается в проверке, содержит ли множество дизъюнктов S пустой дизъюнкт. Когда дизъюнкт не содержит никаких литер, то он называется пустым. Так как пустой дизъюнкт не содержит литер, которые могли бы быть истинными при любых интерпретациях, то он всегда ложен. Если S содержит пустой дизъюнкт, то S противоречиво (невыполнимо). Если S его не содержит, то следующие шаги заключаются в выводе новых дизъюнктов до тех пор, пока не будет получен пустой дизъюнкт (что всегда будет иметь место для невыполнимого S). Таким образом, принцип резолюций рассматривается как механизм (правило) вывода, с помощью которого порождаются новые дизъюнкты (резольвенты) из S.

Если в любых двух дизъюнктах C1 и C2 имеется контрарная пара литер, то при вычеркивании ее формируется новый дизъюнкт из оставшихся ча-

стей дизъюнктов. Этот вновь сформированный дизъюнкт называется резольвентой дизъюнктов C1 и C2. Обоснованность получения таким образом резольвент вытекает из теоремы о том, что резольвента C, полученная из двух дизъюнктов C1 и C2, есть логическое следствие этих дизъюнктов. Образование резольвент продолжается до тех пор, пока не будет получено пустое предложение – доказательство неудовлетворимости множества предложений. Данная методика формализации задачи распознавания состояний РИО реализована в ЭСРС с использованием инструментальной среды создания интеллектуальных систем [7], которая обеспечивает наполнение, корректировку и пополнение базы знаний интеллектуальной системы в процессе ее эволюционного развития. ЭСРС обеспечивает режимы: диалоговый вопросно-ответный (на естественном языке); автоматический для формирования решений по распознаванию состояний РИО и рекомендаций в процессе моделирования; объяснения получаемых результатов и другие. На рис. 2 показано окно редактирования правил БЗ ЭСРС.

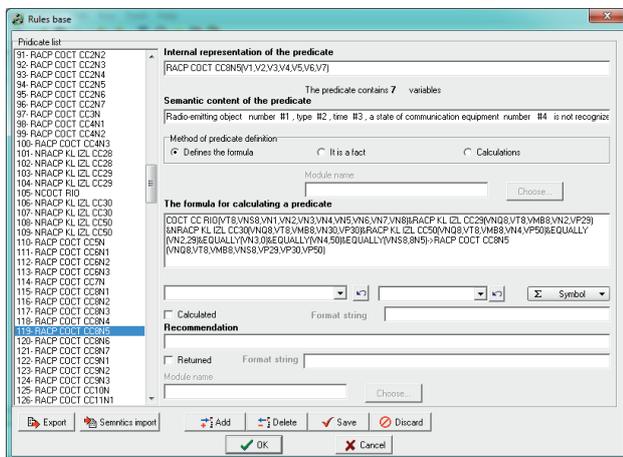


Рис. 2. Окно редактирования базы правил

В процессе моделирования в СКРС РИО применяется автоматический режим ЭСРС. При анализе результатов моделирования используется вопросно-ответный режим ЭСРС совместно с режимом объяснения результатов, как наиболее эффективный с минимальными временными затратами. На рис.3 показано окно с результатами вывода и их объяснением.

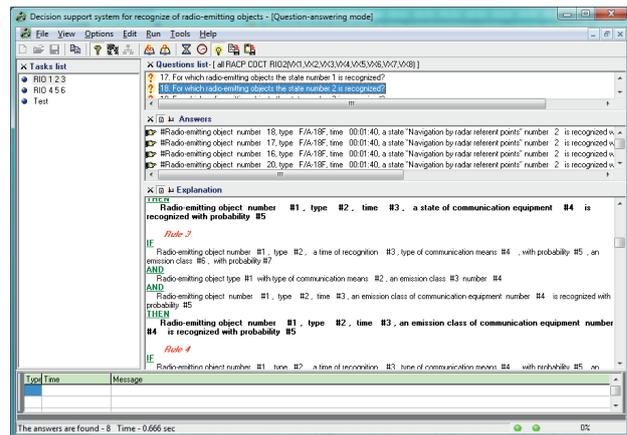


Рис.3. Результаты вывода и объяснение решения

В диалоговом (вопросно-ответном) режиме пользователь самостоятельно осуществляет выбор вопроса, на который система выдает ответ. Запуск логического вывода для получения ответа на избранный вопрос осуществляется через меню Run. По окончании работы механизма логического вывода в части “Answers” появится найденное решение. В зависимости от категории вопроса название части “Answers” меняется на: “Diagnosis”, “Recommendations”. Если вопрос относится к категории экстренных сообщений, то ответ, полученный в результате логического вывода, будет помещен в окно “Messages”, расположенное внизу экрана. Если включен режим объяснения, то в части “Explanation” будет дана исчерпывающая информация о причинах получения данного ответа (см. рис. 3): фактов и правил, которые были задействованы в логическом выводе решения.

6. Выводы

1. Применение для формализации логических и расчетно-логических задач распознавания состояний радиоизлучающих объектов формально-логического подхода на основе классической логики предикатов обусловлено тем, что формализованные аксиоматические теории обеспечивают наибольшую достоверность выводимых решений при достаточно адекватном описании данной предметной области.
2. Разработанная новая методика формализации определяет процесс создания ФАТ решения задач распознавания состояний РИО для интеллектуальной ЭСРС. С использованием данной методики разработано ряд реальных ФАТ для распознавания состояний воздушных РИО в экспертной системе, которая интегрирована в систему комплексного моделирования распознавания состояний. Экспериментальные исследования по-

казали их высокую эффективность и достоверность результатов распознавания состояний в процессе моделирования.

3. Методика формализации и ЭСРС обеспечивает: повышение степени интеллектуализации существующих информационных систем распознавания состояний РИО по их распознанным радиоэлектронным средствам и результатам обработки данных существующими статистическими методами; адаптацию к изменению задач и целей функционирования; накопление и повторное использование знаний при выполнении заданий в процессе моделирования в СКРС РИО; объяснение полученных результатов вывода.

4. Преимуществом данного подхода и методики по сравнению с расчетными моделями является то, что при создании логических моделей базы знаний не требуются программисты, а достаточно использовать алгоритмистов или когнитологов совместно с экспертами в этой предметной области. Данный аспект повышает надежность программного обеспечения системы в целом и снижает финансовые затраты на ее разработку. Кроме того, базу знаний можно достаточно просто корректировать и пополнять новыми правилами в процессе возможных изменений технических характеристик РИО при их модернизации, не затрагивая программное обеспечение системы.

5. Следует отметить еще одно преимущество данной методики. В интеллектуальной ЭСРС в процессе логического вывода используется одна унифицированная процедура логического вывода, не зависящая от созданных формализованных теорий для различных объектов и предметных областей и семантики аксиом. Процедура (алгоритм) логического вывода используется многократно при поступлении новых фактов (данных об объектах), осуществляя интерпретацию данных и синтез программ на основе правил базы знаний для вывода решения задачи.

6. Данная методика формализации позволяет расширить возможности разработки и применения интеллектуальных систем, основанных на классической логике предикатов, что обеспечит повышение качества, достоверности и сокращение времени на принятие решений в различных ситуациях и предметных областях.

Сказанное выше и определяет *научную новизну и практическую значимость* полученных результатов.

Литература: 1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення [Текст]. Введ. 01-01-1995. К.: УкрНДІССІ, 1994. 2. *Калюжний Н. М.* Моделирование распознавания летательных аппаратов по излучениям бортовых радиоэлектронных средств коллективом решающих правил [Текст] / Н. М. Калюжний, В.И. Колесник, А. В. Хряпкин, И. М. Николаев // Системи обробки інформації. 2016. Вип. 9. С. 18-22. 3. *Калюжний М.М.* Технологія комп'ютерного моделювання процесів розпізнавання повітряних об'єктів по параметрам радіовипромінювань бортових радіоелектронних засобів [Текст] / М. М. Калюжний, І.М. Ніколаєв, О.В. Хряпкін, В.І. Колісник // Труды XVI МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології», Одеса, 22-26 травня 2017, СІЕТ 2017, С. 108-111. 4. *Дохов О.І.* Ситуаційний центр оцінки радіоелектронної обстановки [Текст] / О.І. Дохов, В.П. Прохоров, М.М. Калюжний // Матеріали VI науково-технічної конференції «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки». Київ, 15-18 грудня 2015 р. К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2015. С. 340-341. 5. *Прохоров В.П.* Принятие решений в системе контроля и анализа параметров движения автотранспорта [Текст] / В.П. Прохоров, А.В. Прохоров // Радиоэлектроника и информатика. Х.: ХНУРЭ. №1 (72). 2016. С.32-38. 6. *Прохоров А.В.* REGIONAL RESOURCES MANAGEMENT BY AGENT-BASED SIMULATION [Текст] / А.В. Прохоров, В.П. Прохоров, А.О. Матюшко, Ю.А. Кузнецова //Науковий вісник НГУ. Дніпропетровськ. 2016. №4. С.107-114. 7. *Прохоров А. В.* Облачная платформа разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений [Текст] / А.В. Прохоров, В.П. Прохоров, А.О. Матюшко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2015. Х.: НТУ «ХПІ», №58 (1167). С. 72-76. 8. *Прохоров В.П.* Інструментальне середовище створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для ситуаційних центрів і автоматизованих систем управління [Текст] / В.П. Прохоров // Матеріали VI науково-технічної конференції «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки». Київ, 15-18 грудня 2015. Тези доповідей. К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2015. С.372-373. 9. *Прохоров В.П.* Методика формализации процесса распознавания состояний радиоизлучающих объектов на основе исчисления предикатов [Текст] / В.П. Прохоров, Н.М. Калюжний, В.И. Колесник, И.М. Николаев // Сборник трудов VI-го междунар. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2017). Междунар. научная конф. «Радиолокация. Спутниковая навигация. Радиомониторинг», Харьков, 24-26 окт. 2017. Х.: Точка, 2017. С.308-311. 10. *Гуо Чан (Guo Giang).* Экспертная система распознавания состояний радиоизлучающих объектов по результатам распознавания

типов и режимов радиоэлектронных средств [Текст] / Гуо Чан (Guo Giang), А.В. Прохоров, В.П. Прохоров, А.В. Хряпкин // Сборник трудов VI-го междунар. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2017). Междунар. научная конф. «Радиолокация. Спутниковая навигация. Радиомониторинг», Харьков, 24-26 окт. 2017. Х.: Точка, 2017. С.312-316.

Transliterated bibliography:

1. DSTU 2481-94. Systemy obroblennya informaciyi. In-telektual'ni informacijni tehnologiyi. Terminy ta vyznachennya [Tekst]. Vved. 01-01-1995. K.: UkrN-DISSI, 1994.

2. *Kalyuzhnyj N. M.* Modelirovanie raspoznavaniya letatel'nyh apparatov po izlucheniyam bortovyh radioelektronnyh sredstv kollektivom reshayushchih pravil [Tekst] / N. M. Kalyuzhnyj, V. I. Kolesnik, A. V. Hryapkin, I. M. Nikolaev // *Sistemi obrobki informacii*. 2016. Vip. 9. S. 18-22.

3. *Kalyuzhnyj M.M.* Tehnologiya komp'yuternogo modelyuvannya procesiv rozpiznavannya povitryanykh ob'yektiv po parametram radiovyprominyuvan` bortovykh radioelektronnykh zasobiv [Tekst] / M. M. Kalyuzhnyj, I.M. Nikolayev, O.V. Hryapkin, V.I. Kolisnyk // *Trudy XVI MNPК «Suchasni informacijni ta elektronni tehnologiyi»*, Odesa, 22-26 travnya 2017, SIET 2017, S. 108-111.

4. *Doxov O.I.* Sytuacijnyj centr ocinky radioelektronnoyi obstavyny [Tekst] / O.I. Doxov, V.P. Proxorov, M.M. Kalyuzhnyj // *Materialy VI naukovo-texnichnoi konferenciyi «Problemni py`tannya rozvy`tku ozbrojeniya ta vijs'kovoyi tekhniki»*. Kyiv, 15-18 grudnya 2015. K.: CzNDI OVT ZSU, 2015. S.340-341.

5. *Prohorov V.P.* Prinyatie reshenij v sisteme kontrolya i analiza parametrov dvizheniya avtotransporta [Tekst] / V.P. Prohorov, A.V. Prohorov // *Radioelektronika i informatika*. №1 (72). 2016. С.32-38.

6. *Proxorov A.V.* Regional Resources Management By Agent-Based Simulation [Tekst] / A.V. Proxorov, V.P. Proxorov, A.O. Ma-tjuško, Ju.A. Kuznecova // *Naukovyj visnyk NHU. Dnipropetrovs'k*. 2016. #4. S.107-114.

7. *Proxorov A. V.* Oblachnaya platforma razrabotki intelektual'nyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij [Tekst] / A.V. Proxorov, V.P. Proxorov, A.O. Matjuško // *Visnyk Nacional'noho texnichnoho universytetu «XPI»*. Serija: Systemnyj analiz, upravlinnja ta informacijni tehnolohiji. 2015. X.: NTU «XPI», #58 (1167). S. 72-76.

8. *Proxorov V.P.* Instrumental'ne seredovyšče stvorennja intelektual'nyx system pidtrymky pryjnjattja rišen' dlja situacijnyx centriv i avtomatyzovanyx system upravlinnja [Tekst] / V.P. Proxorov // *Materialy VI naukovo-texnichnoi konferenciji «Problemni pytanja rozvytku ozbrojenja ta vijs'kovoyi tekhniki»*. Kyiv, 15-18 hrudnja 2015. Tezy dopovidej. K.: CNDI OVT ZSU, 2015. S.372-373.

9. *Prohorov V.P.* Metodika formalizacii processa raspoznavaniya sostoyanij radioizluchayushchih ob"ektov na osnove ischisleniya predikatov [Tekst] / V.P. Prohorov, N.M. Kalyuzhnyj, V.I. Kolesnik, I.M. Nikolaev // *Sbornik trudov VI mezhdunar. radioelektronnoho foruma «Prikladnaya radioelektronika. Sostoyanie i perspektivy razvitiya» (MRF-2017)*. Mezhdunar. nauchnaya konf. «Radiolokaciya. Sputnikovaya navigaciya. Radiomonitoring», Har'kov, 24-26 okt. 2017. H.: Tochka, 2017. S.308-311.

10. *Guo Chan (Guo Giang)*. Ekspertnaya sistema raspoznavaniya sostoyanij radioizluchayushchih ob"ektov po rezul'tatam raspoznavaniya tipov i rezhimov radioelektronnyh sredstv [Tekst] / Guo Chan (Guo Giang), A.V. Prohorov, V.P. Prohorov, A.V. Hryapkin // *Sbornik trudov VI mezhdunar. radioelektronnoho foruma «Prikladnaya radioelektronika. Sostoyanie i perspektivy razvitiya» (MRF-2017)*. Mezhdunar. nauchnaya konf. «Radiolokaciya. Sputnikovaya navigaciya. Radiomonitoring», Har'kov, 24-26 okt. 2017. H.: Tochka, 2017. S.312-316.

Поступила в редколлегию 11.03.2019

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Филатов В.О.

Прохоров Александр Валерьевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры компьютерных наук и информационных технологий Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Научные интересы: распределенные интеллектуальные системы, мультиагентные технологии, онтологии, Semantic Web, grid и cloud компьютинг, промышленная автоматизация, моделирование систем. Адрес: Украина, 61070, Харьков, ул. Чкалова, 17, e-mail: o.prokhorov@khai.edu.

Прохоров Валерий Павлович, канд. техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник НИЧ, директор научного парка «СИНЕРГИЯ», Харьковского национального университета радиоэлектроники, академик АН прикладной радиоэлектроники. Научные интересы: интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений, механизмы логического вывода, формализованные теории, многозначные логики, категории и морфизмы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, e-mail: valery.prokhorov@nure.ua.

Калюжный Николай Михайлович, канд. техн. наук, с.н.с., заведующий ПНИЛ НИЧ Харьковского национального университета радиоэлектроники, академик АН прикладной радиоэлектроники, приглашенный профессор Харбинского инженерного университета. Научные интересы: системы и средства радиомониторинга и радиопротиводействия, обработка сигнальной информации об радиоэлектронно-объектовой обстановке, использование радиочастотного ресурса и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств, оценка эффективности систем и средств радиомониторинга. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, e-mail: mykola.kaliuzhnyi@nure.ua

Николаев Иван Михайлович, канд. техн. наук, с.н.с., старший научный сотрудник научного центра Воздушных Сил Харьковского национального университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: теория распознавания радиоизлучающих объектов и источников по параметрам излучений, теория развития вооружения и военной техники на основе современных информационных технологий проектирования. Адрес: Украина, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79, e-mail: info@hups.mil.gov.ua.

Шаталов Алексей Викторович, студент Харьковского национального университета радиоэлектроники, факультет компьютерных наук, кафедра Искусственного интеллекта, группы ИТТИ-17-1, участник программы «Эрасмус+» для обучения на 2 курсе в Хаэнском университете, Испания.

Научные интересы: системы искусственного интеллекта, системы поддержки принятия решений, теория предикатов и высказываний, теория графов, теория алгоритмов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, e-mail: oleksii.shatalov@nure.ua

Prokhorov Alexander, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Computer Science and Information Technologies Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”. Research interests: distributed intelligent systems, multi-agent technology, ontology, Semantic Web, grid and cloud computing, industrial automation, systems modeling. Address: Ukraine, 61070, Kharkiv, Str. Chkalov, 17, e-mail: o.prokhorov@khai.edu.

Prokhorov Valery, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Leading Researcher Scientific research part, director of the Science Park «SYNERGY» Kharkiv National University of Radio Electronics, Academic AS of Applied Radio Electronics. Research interests: intelligent systems, decision support systems, automated reasoning, nonclassical logics, category theory. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Avenue, 14, e-mail: valery.prokhorov@nure.ua.

Kaliuzhnyi Mykola, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Head of Problem Research Laboratory Scientific research part Kharkiv National University of Radio Electronics, Academic AS of Applied Radio Electronics, Guest Professor of Harbin Engineering University. Research interests: systems and means of radio monitoring and radio countermeasures, processing signal information about the radio-electronic object environment, the use of radio frequency resource and electromagnetic compatibility of radio-electronic means, evaluation of the effectiveness of systems and means of radio monitoring. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Avenue, 14, e-mail: mykola.kaliuzhnyi@nure.ua

Nikolaev Ivan, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Senior Researcher, Air Force Scientific Center, Kharkiv National University of the Air Force Ivan Kozhedub. Research interests: Research interests: the theory of recognition of radio-emitting objects and sources by radiation parameters, the theory of the development of weapons and military equipment based on modern information technology design. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, st. Sumy 77/79, e-mail: info@hups.mil.gov.ua.

Shatalov Oleksii, a student of the Kharkiv National University of Radio Electronics, Computer Science Faculty, Artificial Intelligence Department, group ITAI-17-1, participant of «Erasmus+» program for studying on the 2nd course at the University of Jaen, Spain. Research interests: artificial intelligence systems, decision support systems, the theory of predicates and statements, graph theory, the theory of algorithms. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Avenue, 14, e-mail: oleksii.shatalov@nure.ua