

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРИЗНАКОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ И ИХ
СОСТОЯНИЙ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ ОЦЕНКИ
РАДИОЭЛЕКТРОННО-ОБЪЕКТОВОЙ ОБСТАНОВКИ**

Рось А.А.¹, Калюжный Н.М.², Смилык В.И.², Су Джихуй³

¹Национальная академия обороны Украины, г. Киев, пр. Воздухофлотский, 28,
т. (+38) 044-575-46-61, E-mail: zaros@ukrnet.ua

²Национальный технический университет радиозлектроники, г. Харьков,
пр. Ленина, 14, т. (+38) 057-702-11-38, E-mail: monitoring@kture.kharkov.ua

³Юго-Западный научно-исследовательский институт электронных технологий,
Китай, г.Ченду, 610036, E-mail:su-zhihui@163.com

Possibility is considered of the use of formal-logical methods for recognition of objects in the consulting models of estimation of radio electronic situation. It is shown, that on comparison with by the traditional methods of recognition on the basis of neural networks formal-logical methods allow to work with the sign spaces of large dimensions and by the presence of methods of treatment of a priori and a posteriori vagueness in the process of functioning of the system of recognition.

Введение. Одной из важных задач, возлагаемых на современные системы оценки радиоэлектронно-объектовой обстановки, является распознавание источников радиоизлучений и объектов в интересах принятия решений о состоянии объектов. Использование для решения этой задачи четких моделей объектов наблюдения затруднено или невозможно по следующим причинам [1]:

– недостаточность или неопределенность знаний о распознаваемых объектах, в связи с чем значимая часть информации об объектах наблюдения доступна либо экспертных данных либо в виде эвристических описаний процессов их функционирования;

– необходимость адекватной обработки неопределенной информации, несмотря на то, что параметры объектов наблюдения и входные данные не являются точными и корректно представленными;

– необходимость идентификации реальных систем, являющихся нелинейными в своей основе, в связи с чем эти системы не могут быть представлены моделями, использующими существующие методы идентификации.

Основными причинами, затрудняющими использование нечетких моделей, являются сложность априорного определения компонентов этих моделей (нечетких высказываний, структуры базы нечетких правил и др.), сложность организации логического вывода с использованием этих моделей и другие.

В связи с этим наиболее перспективным подходом к решению задачи источников радиоизлучений и объектов в экспертной системе оценки радиоэлектронно-объектовой обстановки является использование формально-логического подхода, позволяющего преодолеть перечисленные проблемы.

Задачей исследования является разработка метода описания объектов наблюдения на основе формально-логического подхода для решения задачи их распознавания в экспертной системе оценки радиоэлектронно-объектовой обстановки.

Основная часть. Под объектом наблюдения в системах оценки радиоэлектронной обстановки будем понимать совокупность источников излучений и режимов их работы, находящихся в отношениях и взаимосвязях между собой, образующих единое целое и характеризующихся интеграционным, или системным, свойством, отличающим данную совокупность от среды и приобщающим к этому свойству каждый из ее компонентов. Таким образом, наблюдения в системах оценки радиоэлектронно-объектовой обстановки рассматриваются как элементы сложной структурно-динамической системы (ССДС). Под ССДС понимают многоуровневые динамические системы с большим разнообразием связей по "вертикали" и по "горизонтали", имеющие многоцелевой характер функциониро-

вания. Поведение таких систем слабо формализуемо, что затрудняет их моделирование с помощью классических методов, основанных на количественном описании объектов, и требует поиска новых нетрадиционных подходов к формализации знаний специалистов об объектах наблюдения.

Априорные признаковые структуры объектов и источников наблюдения, а также элементов их деятельности (состояний) могут создаваться для типовых элементов, на основе которых затем порождаются (конструируются) необходимые варианты конкретных структур. Данный подход позволяет строить модель, отображающую состав и структуру предметной области с требуемым уровнем ее детализации, на основе ограниченного числа типовых структур. Важным достоинством модульного принципа построения модели является также возможность оперативной корректировки ее состава и структуры при изменении обстановки.

В качестве языка описания предметной области выбран язык семантических сетей специального вида. Под семантической сетью будем понимать ориентированный граф с помеченными дугами, вершины которого представляют собой объекты, а дуги - семантические отношения. Будем рассматривать сеть специального вида (рис. 1), характеризующуюся следующими особенностями.

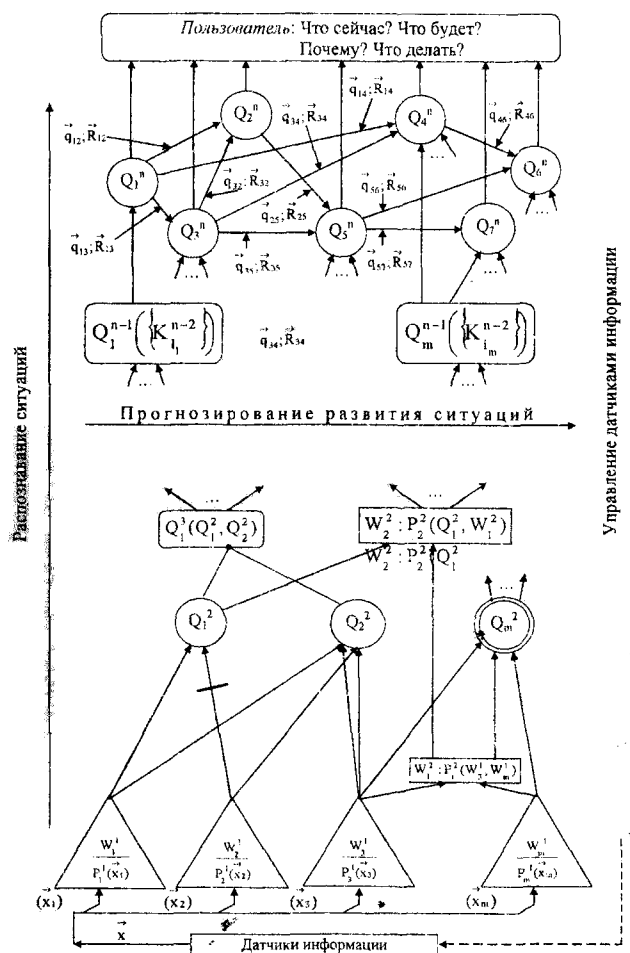


Рис. 1.

Вершинами графа со 2-го по $(n-1)$ -й уровни являются либо промежуточные ситуации Q_j^i , либо вторичные (производные) признаки w_j^2 .

Различие между ситуациями и вторичными признаками заключается в том, что последние отражают нелогические (функциональные) зависимости между составляющими

В сети используются объекты одного типа - ситуации. Все дуги сети отражают одно семантическое отношение - а именно, отношение следования. Дуги могут быть помечены количественными характеристиками, отражающими ресурсные затраты на переход системы из одной ситуации в другую. Рассматриваемая сеть относится к классу семантически однородных сетей, основным полезным свойством которых является свойство транзитивности.

Каждую ситуацию пользовательского уровня представим ациклическим графом, отображающим ее иерархическую структуру. Ситуации пользовательского уровня представлены n -м уровнем Q_j^n (номер уровня во всех обозначениях ситуаций отображается верхним индексом). Нижний (первый) уровень этой структуры образуют терминальные (первичные) признаки w_j^1 .

ми компонентами. Компонентами вторичных признаков k_i^i могут быть промежуточные ситуации Q_i^i , ($i < (n-1)$), вторичные признаки w_i^2 , первичные признаки w_i^1 и их сочетания, находящиеся на нижестоящих уровнях графа и соединенные дугами, направленными от составляющих компонент к вторичному признаку. Составляющие компоненты вторичного признака будем называть ближайшими потомками, а сам вторичный признак - ближайшим предком для его составляющих. Так, для признака w_2^2 ближайшими потомками являются ситуация Q_1^2 и вторичный признак w_1^2 . Потомками же для признака w_2^2 являются первичные признаки w_1^1, w_2^1, w_3^1 и w_m^1 . В свою очередь признак w_2^2 для этих первичных признаков является предком, так как w_2^2 является для них достижимым.

На семантической сети ситуацию будем отражать окружностью, разделенной на две половины - верхнюю и нижнюю. Внутри окружности выделим ядро, в котором будем записывать имя ситуации. На верхней и нижней половине окружности разместим, соответственно, входные и выходные вершины, называемые синапсами, которые будем обозначать Z_i^{np} , где верхним индексом отражается тип синапса. Выделим два вида синапсов: синапсы связи $Z_i^{ex,c}$, $Z_i^{вых,c}$ и синапсы признаков Z_i^n .

Признаковые синапсы могут быть только входными. Синапс, в который входят несколько дуг является графическим отображением логической связки И. Объединение однотипных входных синапсов соответствующим участком окружности является отображением логической связки ИЛИ. Из выходных синапсов может выходить только одна дуга (переход из одной ситуации сразу в несколько невозможен).

Ситуации отражают логические зависимости между составляющими компонентами k_i^i . В качестве этих компонент также могут выступать промежуточные ситуации, вторичные и первичные признаки, которые по отношению к этой ситуации являются ближайшими потомками. При графическом отображении простых ситуаций дуги от потомков, образующих конъюнкцию, входят в одну точку. Множество входных точек отображает дизъюнкцию соответствующих конъюнкций. Например, ситуация Q_2^2 описывается утверждением: $w_1^1 \wedge w_3^1 \vee w_2^1 \wedge w_3^1$. Обязательное отсутствие признака при графическом отображении простой ситуации отмечается линией, перечеркивающей соответствующую дугу у входной стрелки. Например, ситуация Q_1^2 описывается утверждением: $w_1^1 \wedge \overline{w_2^1}$. Оно отражает обязательное наличие признака w_1^1 и отсутствие признака w_2^1 .

Обобщенные ситуации Q_i^i могут быть описаны дизъюнктивной нормальной формой (ДНФ), отражающей логические зависимости между составляющими компонентами (простые ситуации). Для обобщенных ситуаций при графическом их отображении существенно, входят ли дуги от потомков в одну или в разные точки. Иерархическая структура обобщенной ситуации может иметь различную глубину построения в виде дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ) ситуаций более низкого уровня.

Для выявления терминальных признаков исходной является апостериорная информация, полученная в результате первичной обработки информации, представленная

→

вектором значений x , поступающих от датчиков информации. Под датчиками информации понимаются станции и комплексы системы наблюдения; соответственно, под результатами первичной обработки могут пониматься значения измеренных параметров сигналов (например $(f, \Delta f, \tau_u, \dots)$), результаты сигнального распознавания и распознавания источников, результаты координатной обработки и др.

Каждому терминальному признаку w_i^1 соответствует отношение $P_j^1(\vec{x}_j)$, описываемое одноименным первичным предикатом $P_j^1(\vec{x}_j)$, отражающим исходные условия. Наличие признака w_i^1 определяется проверкой выполнимости соответствующего отношения $P_j^1(\vec{x}_j)$ на множестве текущих значений, отображаемых вектором \vec{x}_j . Каждому вторичному признаку w_i^2 соответствует отношение P_j^2 , описываемое первичным предикатом, отражающим промежуточные условия. Наличие признака w_i^2 устанавливается проверкой выполнимости соответствующего отношения между составляющими компонентами $P_j^2(k_i)$.

Развитие ситуаций пользовательского уровня также будем представлять ациклическим графом, вершинами которого являются ситуации Q_j^n , а дуги l_{ij} отражают возможности объектов по переходу из ситуации Q_i^n в ситуации Q_j^n .

Для удобства все множество ситуаций пользовательского уровня разделим на три подмножества: исходные ситуации $\{Q_i^n\}$, целевые ситуации $\{Q_i^u\}$ и промежуточные ситуации $\{Q_i^n\}$. С точки зрения отображения динамических процессов ситуации пользовательского уровня являются простыми. Логика развития ситуаций описывается дизъюнктивной нормальной формой, графическое отображение которой аналогично отображению ДНФ при описании структуры ситуаций.

Последовательность проявления ситуаций во времени назовем вариантом деятельности S_j . Множество возможных вариантов деятельности $S = \{S_j\}, j = \overline{1, p}$, где S_j - конкретный вариант, p - количество вариантов, направленных на решение одной задачи, представляет собой сценарий деятельности объектов.

Таким образом, рассматриваемая семантическая сеть задается ациклическим ориентированным графом $G = \langle Q, R, V, L \rangle$, где $Q = \{Q_i\}$ - вершины-ситуации, $R = \{Q_j\}$ - дуги-отношения, связывающие ситуации Q_i и Q_j , $V = \{V_i\}$ - количественные характеристики ситуаций, $L = \{L_{ij}\}$ - расходуемые ресурсы на перевод системы из ситуации Q_i в ситуацию Q_j .

При формализации задач на языке семантических сетей основное внимание уделяется описанию ситуаций. Описание каждой ситуации задается набором компонент: $Q_i = \langle SEM_i, ТИП_i, C_i, П_i \rangle$. Компонента SEM_i описывает семантику ситуации (семантическая компонента), например, текущую задачу, решаемую системой. Компонентой $ТИП_i$ указывается, к какому из подмножеств $\{Q^u\}$, $\{Q^n\}$ или $\{Q^n\}$ относится ситуация Q_i . Компонента C_i описывает предшествующие и последующие ситуации относительно ситуации Q_i (связная компонента) и задается следующим образом:

$$Q_i = \langle \{Z_{ji}^{вх,с} : \{Q_k, L_k, i\}\}; \{Z_{ji}^{вых,с} : \{Q_k, P_{ji}\}\} \rangle,$$

где $Z_{ji}^{вх,с}, Z_{ji}^{вых,с}$ - j -й входной (выходной) синапс связанный с ситуацией Q_i отношением следования, P_{ji} - вероятность перехода из ситуации Q_i через синапс $Z_{ji}^{вых,с}$ в ситуацию

Q_k в случае отсутствия управляющих воздействий $\sum_{j_i}^{J_i} Q_{j_i} = 1$, J_i - количество выходных синапсов.

Компонента Π_i описывает признаки, характеризующие ситуацию (признаковая компонента), и задается следующим образом:

$$\Pi_i = \langle \{Z_{j_i}^n : \{P_k\}, \{P_l(\Pi_l)\}; \varphi_{j_i} \rangle,$$

где $\{P_k\}$ - множество элементарных (первичных) признаков, $\{P_l(\Pi_l)\}$ - множество предикатов, описывающих сложные (вторичные) признаки, φ_{j_i} - функция принадлежности текущей ситуации, определяемой множеством признаков, объединенных синапсом $Z_{j_i}^n$, классу ситуаций Q_i .

Топологическое решение представления рассматриваемых семантических сетей может быть реализовано многоуровневыми списковыми структурами, элементами которых являются записи вариантного типа, или средствами нечетких нейронных сетей [2,3].

Для использования данного класса семантических сетей при распознавании излучающих объектов и их состояний в экспертных системах оценки радиоэлектронной обстановки необходима разработка алгоритмов обратного и прямого логического вывода [4].

Выводы. Предложенный подход позволяет создавать информационные модели простых и сложных объектов и источников излучений с учетом большой размерности векторов распознаваемых параметров и наличия различных функций распределения для каждого из наблюдаемых и измеряемых параметров. Реализация изложенного подхода в экспертной системе оценки радиоэлектронно-объектовой обстановки подтвердила его высокую эффективность при распознавании объектов и источников радиоизлучений.

Литература:

1. Хачатуров В.Р., Калюжный Н.М., Николаев И.М., Смилык В.И., Колесник В.И. Экспертная система распознавания источников радиоизлучений, объектов и их состояний. // Доклад на научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии», г. Одесса, 22-26 мая 2006 г.

2. Материалы конференции "Fusion 2001. 4th International Conference on information Fusion", Montrael, QC, Canada, 7-10 August, 2001, [Http://www.fusion_2001/index.html](http://www.fusion_2001/index.html).

3. Материалы конференции "Passive & LPI (Low Probability of Intercept) Radio Frequency Sensors", Warsaw, Poland 23 - 25 April, 2001, [Http://www.rta.nato.int](http://www.rta.nato.int).

4. Рось А.А. Логическое программирование и его применение для синтеза программ. Новосибирск: ИМ АН СССР. – Вычислительные системы – 1987, - №120, - с. 82-96.