

С.В. СОЛОНСКАЯ, канд. техн. наук, В.В. ЖИРНОВ, канд. техн. наук

ПРЕДИКАТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССНЫХ ЗНАНИЙ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ И РАСПОЗНАВАНИИ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ТИПА ОБЛАКА, ТУЧИ, «АНГЕЛ-ЭХО» В ОБЗОРНЫХ РЛС

Введение

В статье рассмотрены актуальные вопросы разработки предикатной модели процессных знаний при обнаружении и распознавании радиолокационных сигналов протяженных объектов и метод принятия решений, основанный на прецедентах. Предложен метод обработки процессных знаний как инструмент для создания универсальных алгоритмов межпериодной обработки сигнальной информации для обеспечения эффективного обнаружения и распознавания сигналов от разных протяженных объектов, в том числе слабых сигналов от атмосферных неоднородностей типа «ангел-эхо». На основе анализа возможных сетей связей в предикатной модели выбраны классифицирующие и функциональные сети, где используются элементы логических и сетевых моделей. Из логических моделей заимствована идея правил вывода или решающего правила, а из сетевых моделей – описание знаний в виде семантической нейронной сети. В этой комбинированной модели явно выделена процедурная информация. Вместо логического вывода появляется вывод или решающее правило на знаниях.

В известных информационных системах контроля воздушного пространства [1] анализируется динамика межпериодных изменений первичных картин сигнальной обстановки. При этом, если воздушный объект протяженный, то из принятых сигналов формируется картина этого объекта, например, облака, стай птиц, локальных атмосферных неоднородностей типа «ангел-эхо». Из анализа публикаций следует [2 – 4], что интеллектуальными считают системы, которые могут решать задачи, выполняемые человеком-оператором. Эффективным математическим средством описания деятельности человека-оператора является алгебра предикатов и предикатных операций.

В информационных системах контроля подвижных объектов на воздушном и наземном транспорте используют методы обнаружения и распознавания сигналов [5 – 7]. При обнаружении радиолокационных целей задать вероятность прихода полезного сигнала или сигнала помехи очень сложно. При распознавании можно использовать не только энергетические признаки объектов.

Цель и задачи исследования

Цель: разработка предикатной модели процессных знаний при обнаружении и распознавании символьной модели радиолокационных сигналов протяженных воздушных объектов и метода принятия решений, основанного на прецедентах.

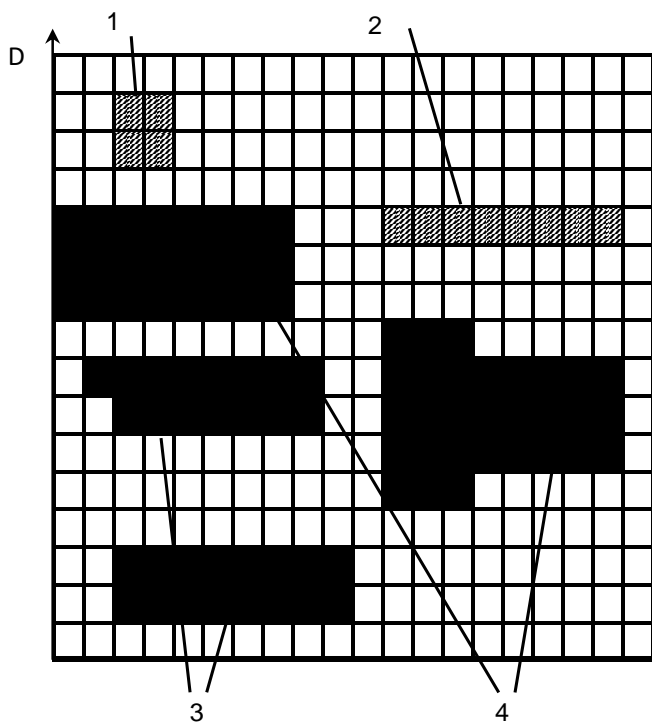
Задачи исследований: исходя из анализа возможных сетей связей в предикатной модели, выбрать классифицирующие и функциональные сети, где используются элементы логических и сетевых моделей. Из логических моделей взять правила вывода или решающего правила, а из сетевых моделей – описание знаний в виде семантической нейронной сети. Показать, как этот подход может использоваться для автоматизации процесса обнаружения и распознавания неподвижных и малоподвижных протяженных объектов типа облака, тучи, атмосферных неоднородностей типа «ангел-эхо».

Предикатные модели процессных знаний при обнаружении и распознавании протяженных объектов типа облака, тучи и «ангел-эхо»

В разработанную технологию входят процедуры формализации и анализа символьной модели наблюдаемых объектов на основе алгебры предикатов [8 – 13] и операций, предна-

значенных для создания предикатной модели процессных знаний получения решений о наблюдаемых объектах или обнаружении и распознавании протяженных объектов.

Символьная модель наблюдаемых протяженных объектов формируется из набора радиолокационных сигналов N информационных ячеек от каждого элемента зоны обзора. Обычно из полученных сигналов формируется карта или матрица данных. В нашем случае формируется символьная модель сигнальных отметок протяженных объектов типа облака, тучи и «ангел-эхо» (рис.1). Таким образом, обычная база данных превращается в базу знаний, в результате анализа которой можно и нужно получить требуемое решение.



1 – импульсная помеха; 2 – точечный объект;
3 – «ангел-эхо»; 4 – протяженные объекты.

Рис. 1 Символьные модели сигнальных отметок протяженных объектов

Массив данных представляет собой матрицу амплитуд $\|A\|$ размером $M \times N$. Каждый элемент матрицы i, j связан с соответствующим элементом зоны обзора РЛС соответственно. При этом формирование символьного массива амплитуд $\|A\|$ осуществляется запоминанием величины амплитуды сигнала q_{ij} на длительность T обзора РЛС. Пусть $M = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn}\}$ множество, представляющее собой матрицу $\|A\|$ размерностью $M \times N$, состоящее из элементов $k = m \times n$ – значений амплитуд сигналов в элементах обработки зоны обзора РЛС, а B – некоторое из его подмножеств $B \subseteq M$, амплитуды сигналов которого q_{ij} превышают пороговые значения V_{ij} .

Составляем набор логических элементов t_{ij} по следующему принципу: если $q_{ij} \in B$, то $t_{ij} = 1$; если $q_{ij} \notin B$, то $t_{ij} = 0$, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$.

Предикат $A(x)$ на множестве M , соответствующий множеству B элементов обработки, превысивших порог, с характеристикой $(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{ij}, \dots, t_{mn})$, запишется формулой

$$A(x) = t_{11}x^{q_{11}} \vee \dots \vee t_{mn}x^{q_{mn}} = \bigvee_{i=1, j=1}^{mn} t_{ij}x^{q_{ij}}. \quad (1)$$

Здесь выражение $x^{q_{ij}}$ – форма узнавания события. Когда $x = q_{ij}$, то $x^{q_{ij}} = 1$.

Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых воздушных или наземных объектов в общем виде – это система n унарных и бинарных предикатов Z_j :

$$M = \{Z_j, j = 1..n\}. \quad (2)$$

Такая система предикатов позволяет описать ситуацию вокруг анализируемой в данный момент информационной ячейки и позволяет формализовать процесс формирования символьного изображения отметки из $A(x)$ в течение ряда циклов зондирования РЛС. Их еще называют атрибутами или предикатными признаками процесса. Например, для радиолокационных систем обзора пространства это могут быть:

- унарный предикат $Z_{p_{ij}}$ присутствия или наличия сигнала в a_{ij} информационной ячейке; i, j – номера элементов зоны обзора РЛС;
- бинарный предикат $Z_{d_{ij}}$ ухода сигнала a_{ij} в соседнюю по дальности информационную ячейку;
- бинарный предикат $Z_{a_{ij}}$ перехода сигнала в смежную по азимуту или соседнюю информационную ячейку, прилегающую к рассматриваемой ячейке.

При таких исходных условиях эти предикатные признаки формируются по следующим правилам:

$$Z_{p_{ij}} = 1, \text{ при } A_{ij} > 0 \quad (3)$$

$$Z_{d_{ij}} = 1, \text{ при } A_{i-1j} > 0 \wedge Z_{p_{ij}} = 1 \quad (4)$$

$$Z_{a_{ij}} = 1, \text{ при } Z_{p_{ij}} = 1 \wedge A_{ij-1} > 0, \quad (5)$$

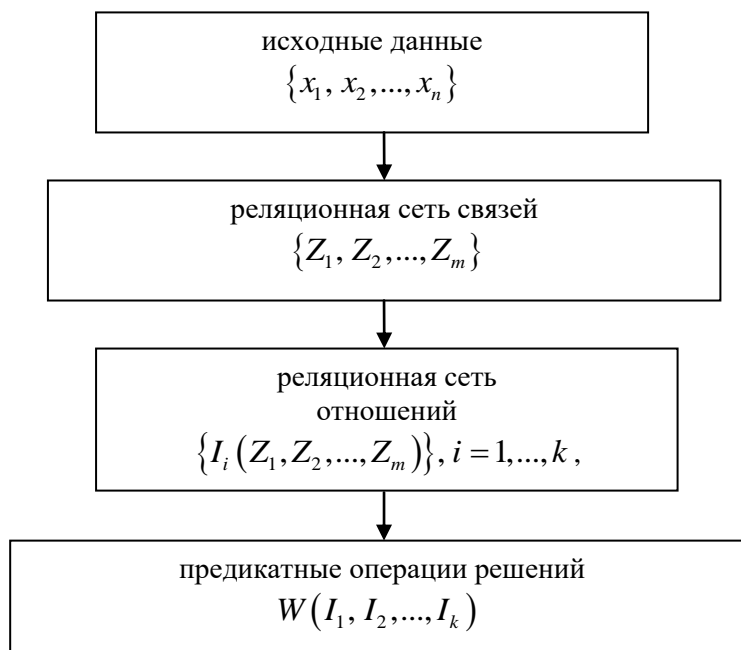
где A_{ij} – предикат события наличия-отсутствия сигнала в соответствующем элементе анализа.

Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых объектах локации, адаптированная на обнаружение разных протяженных объектов, имеет следующий вид:

$$M^o = \{Z_j \mid \forall Z_j \in M \exists O_k \in O, k, j = 1..n\}, \quad (6)$$

где O – предметная область, O_k – объекты предметной области.

Разработана в общем виде иерархичная предикатная модель процессных знаний межпериодной обработки обзорной радиолокационной системы (рис. 3.), что позволяет представить "горизонтальный" процесс в виде "вертикальной" структуры в аналитической предикатной форме.



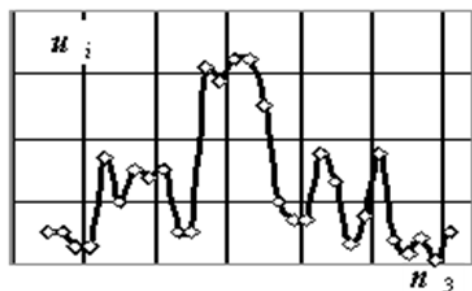
Первый уровень модели – это полученные в результате наблюдений данные $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, которые не всегда имеют удобный для использования формат. На втором уровне реляционная сеть $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$ задает связи между данными, которые определяют структуру информации.

На третьем уровне накопление знаний на основе данных и информации представляется как добавление новых реляционных сетей (отношений) $\{I_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)\}, i = 1, \dots, k$, заданных на множестве начальных данных $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Рис. 2. Предикатная модель обработки процессных знаний

Четвертый уровень метазнаний объединяет все предыдущие уровни, позволяя находить новое понимание существующего знания. Формально уровень метазнаний имеет вид предикатных операций решений $W(I_1, I_2, \dots, I_k)$.

катной операции $W(I_1, I_2, \dots, I_k)$, который задан на множестве $\{I_1, I_2, \dots, I_k\}$, связывает всю полученную информацию и в процессе ее обработки получает новую информацию.



Пачка импульсов,
отраженных от ангел-эхо

Рис. 3. Пачка сигналов от «ангел-эхо»

На рис. 3 приведена реальная, экспериментально полученная пачка импульсов, отраженных от «ангел-эхо». Здесь между информационными единицами предусмотрена возможность построения связей различного типа. Прежде всего, эти связи характеризуют отношения между информационными единицами. Семантика отношений носит и декларативный, и процедурный характер. С другой стороны процесс, как правило, описывается как функциональными связями, так и отношениями между информационными ячейками. Имея предикатные признаки, мы можем формализовать процессные знания получения символьных моделей сигнальных отметок для протяженных объектов

типа облака, тучи, атмосферные образования типа «ангел-эхо».

Здесь две информационные единицы связаны отношением "причина – следствие": отношением появления сигнала в a_{ij} ячейке (это предикатный признак $Z_{p ij}^k$ присутствия сигнала); отношением ухода сигнала из a_{ij} ячейки (это предикатный признак $Z_{d ij}$ ухода (departure) сигнала); и отношением "соседней ячейки" (это предикатный признак $Z_{a ij}$ перехода сигнала в смежную по азимуту информационную ячейку). Приведенные отношения характеризуют декларативные знания.

Если между двумя информационными единицами установлено отношение "аргумент – функция", то оно характеризует процессное знание, связанное с вычислением определенных предикатных функций. Исследуем возможные операции.

На первом шаге составляем предикатные уравнения возможных состояний и путем их решения определяем номера $k = k_1$ и $l = l_1$ рядом расположенных элементов обработки с предикатными признаками $Z_{d ij}$ и $Z_{a ij}$ соседнего элемента обработки. Определяем также, с какими из этих признаков работать. Для этого при появлении предиката $Z_{p ij}$ наличия сигнала в a_{ij} информационной ячейке составляем предикатные уравнения для проверки возможности формирования бинарного предиката $Z_{d ij}$ (прихода сигнала из соседней по дальности $a_{i-1 j}$ ячейки) и бинарного предиката $Z_{a ij}$ (перехода сигнала из смежной по азимуту a_{ij-1} ячейки), полученные из условий (4) и (5):

$$\begin{aligned} (A_{i-1 j} > 0 \wedge Z_{p ij} = 1) &= 1 \\ (Z_{p ij} = 1 \wedge A_{ij-1} > 0) &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Из анализа вариантов решений уравнений (7) можно сделать следующие выводы:

1. Если выполняется первое уравнение, то формируется бинарный предикат $Z_{d ij}$. Это означает, что сигнал в исследуемую ячейку переходит из соседней по дальности $a_{i-1 j}$ ячейки и начинает формироваться новая символьная модель сигнальных отметок для протяженных неподвижных объектов типа облака, тучи или атмосферной неоднородности типа «ангел-эхо»;

2. Если выполняется второе уравнение, то формируется бинарный предикат $Z_{a_{ij}}$. Это означает, что сигнал в исследуемую ячейку переходит из соседней по азимуту a_{ij-1} ячейки и начинает формироваться новая символьная модель (пачка) сигнальных отметок для точечных подвижных и малоподвижных летательных аппаратов типа самолет, вертолет, БПЛА;

3. Если выполняются первое и второе уравнение, то формируются бинарные предикаты $Z_{d_{ij}}$ и $Z_{a_{ij}}$. Это означает, что сигнал в исследуемую ячейку переходит и из соседней по дальности a_{i-1j} ячейки и из соседней по азимуту a_{ij-1} ячейки. При этом начинает формироваться новая символьная модель сигнальных отметок для протяженных неподвижных объектов типа облака, тучи или атмосферной неоднородности типа «ангел-эхо»;

Более детально изучим процессные знания формирования символьной модели протяженных объектов. Для начала определим номер $k = k_1$ и $l = l_1$ рядом расположенных элементов обработки с предикатными признаками $Z_{d_{ij}}$ и $Z_{a_{ij}}$ соседнего элемента обработки. Здесь k_1 и l_1 – номера начала столбца и начала пачки символьных моделей сигнальных отметок для протяженных неподвижных объектов и точечных подвижных объектов. Для первого шага начала формирования символьных моделей определяем значения $k_1=0, l_1=0$. Исходя из анализа вариантов решений уравнений (7) и с учетом анализа структурных элементов процессной модели знаний по обнаружению и распознаванию протяженных объектов определяем очередность последующих процедур (шагов) обработки процессных знаний.

Далее, для нахождения следующего номера $k = k_2$ и $l = l_2$ элемента обработки с подобным предикатным признаком учитываем обозначившееся на первом шаге направление $(a_{ij}, a_{i+k_1, j+l_1})$ формирования возможных символьных моделей. Направление определяется с помощью анализа возможного (прогнозного) изменения номеров k_1, l_1 согласно анализу вариантов решений уравнений (7). При изменении номера по одной из координат (k_1 или l_1) направление поиска совпадает с направлением вдоль осей координат i или j (вниз или вправо). Анализ структурных элементов процессной модели знаний при межпериодной обработке сигнальной информации в обзорных РЛС показывает, что сначала идет заполнение информационных ячеек по дальности i , а затем уже идет заполнение информационных ячеек по азимуту j .

Таким образом, если имеется предикатный признак $Z_{d_{i+k_1j}}$ соседней ячейки по дальности, то в следующем шаге обработки проверяется наличие предикатного признака $Z_{d_{i+k_2j}}$ в информационной ячейке a_{i+k_2j} .

$$Z_{d_{i+k_2j}} = (A_{ij} > 0 \wedge Z_{p_{i+k_2j}} = 1) = 1 \quad (8)$$

На n -м шаге предикатное уравнение имеет вид:

$$Z_{d_{i+k_nj}} = (A_{i+k_{n-1}j} > 0 \wedge Z_{p_{i+k_nj}} = 1) = 1 \quad (9)$$

В результате решения системы n предикатных уравнений (8), (9) находим все значения $k_1 \dots k_n$ и запишем форму (вид) столбца символьной модели протяженного объекта в виде предикатного уравнения:

$$Z_{cdij} = \bigwedge_{k_1}^{k_n} Z_{di+k_n, j} = Z_{di+k_1, j} \wedge Z_{di+k_2, j} \wedge \dots$$

$$\dots \wedge Z_{di+(k_{n-1}), j} \wedge Z_{di+k_n, j} = 1 \quad (10)$$

Если выполняется первое и второе уравнение условий формулы (7), то одновременно формируются бинарные предикаты Z_{dij} и Z_{aij} . Это означает, что сигнал в исследуемую ячейку переходит и из соседней по дальности $a_{i-1, j}$ ячейки, и из соседней по азимуту a_{ij-1} ячейки. При этом начинает формироваться предикатный признак Z_{bij} символьной модели протяженных объектов типа облака, тучи или атмосферной неоднородности типа «ангел-эхо». В этом случае в следующем шаге обработки проверяется наличие столбца символьной модели протяженного объекта Z_{cdij} в информационной ячейке $a_{i+k_2, j+l_2}$ следующего по номеру $j+l_2$ зондирования РЛС:

$$Z_{di+k_2, j+l_2} = (A_{ij+l_2} > 0 \wedge Z_{pi+k_2, j+l_2} = 1) = 1. \quad (11)$$

На n -м шаге предикатное уравнение имеет вид:

$$Z_{di+k_n, j+l_2} = (A_{i+k_{n-1}, j+l_2} > 0 \wedge Z_{pi+k_n, j+l_2} = 1) = 1. \quad (12)$$

В результате решения системы n предикатных уравнений (11), (12) находим все значения $k_1 \dots k_n$ и запишем форму (вид) столбца символьной модели протяженного объекта в виде предикатного уравнения:

$$Z_{cdij+l_2} = \bigwedge_{k_1}^{k_n} Z_{di+k_n, j+l_2} = Z_{di+k_1, j+l_2} \wedge Z_{di+k_2, j+l_2} \wedge \dots$$

$$\dots \wedge Z_{di+(k_{n-1}), j+l_2} \wedge Z_{di+k_n, j+l_2} = 1 \quad (13)$$

В результате решения систем предикатных уравнений, подобных уравнениям (11) – (13), находим все возможные значения параметров столбцов символьной модели протяженного объекта Z_{cdij} для $j+l_1 \dots j+l_n$ азимутальных направлений и значение предикатного признака Z_{bij} символьной модели неподвижного протяженного объекта как решение предикатного уравнения

$$Z_{bij} = \left(\bigwedge_{l_1, k_1}^{l_n, k_n} Z_{cdi+k, j+l} = 1 \right) = \bigwedge_{l_1}^{l_n} \left(\bigwedge_{k_1}^{k_n} Z_{cdi+k, j+l} = 1 \right) = 1 \quad (14)$$

Мы составили систему предикатных уравнений (8) – (14) моделей обработки процессных знаний при обнаружении и распознавании протяженных неподвижных объектов типа облака, тучи и «ангел-эхо». Путем решения этих уравнений можно составить структуру и перечень процедурных и семантических операций процессных моделей знаний.

Вид структуры и перечень процедурных и семантических операций обработки процессных знаний следует из анализа вариантов решений уравнений (7).

Если выполняется первое уравнение, то формируется бинарный предикат Z_{dij} . Это означает, что сигнал в исследуемую ячейку перешел из соседней по дальности $a_{i-1, j}$ ячейки и сформировался столбец новой символьной модели сигнальных отметок для протяженных

неподвижных объектов типа облака, тучи или атмосферной неоднородности типа «ангел-эхо». В результате решения системы n предикатных уравнений (8), (9) находим все значения $k_1 \dots k_n$ и запишем форму (вид) столбца символьной модели протяженного объекта в виде предикатного уравнения (10).

Если выполняются первое и второе уравнение, то формируются бинарные предикаты Z_{dij} и Z_{aij} . Это означает, что сигнал в исследуемую ячейку переходит и из соседней по дальности a_{i-1j} ячейки и из соседней по азимуту a_{ij-1} ячейки. При этом начинает формироваться предикатный признак Z_{bij} символьной модели сигнальных отметок для протяженных неподвижных объектов типа облака, тучи или атмосферной неоднородности типа «ангел-эхо». В результате решения системы n предикатных уравнений (8), (9) находим все значения $k_1 \dots k_n$ и запишем форму (вид) столбца символьной модели протяженного объекта в виде предикатного уравнения (10), а в результате решения систем предикатных уравнений, подобных уравнениям (11), (12), находим все возможные значения Z_{cdij} столбцов символьной модели протяженного объекта для $j+1_1 \dots j+1_n$ азимутальных направлений и вид, и значение предикатного признака Z_{bij} символьной модели неподвижного протяженного объекта в виде предикатного уравнения (14).

Метод принятия решений, основанный на известных прецедентах

На основе разработанной модели процессных знаний при обнаружении и распознавании протяженных объектов разработан метод принятия решений, основанный на прецедентах. В зависимости от типов связей, используемых в модели, различают классифицирующие и функциональные сети [3]. Для наших целей наиболее применимы производственные или комбинированные сети. В моделях этого типа используются некоторые элементы логических и сетевых моделей [8]. Из логических моделей заимствована идея правил вывода или решающего правила, а из сетевых моделей – описание знаний в виде семантической нейронной сети (рис. 4).

В методе явно выделена процедурная информация, которая описывается иными средствами, чем декларативная информация. Вместо логического вывода появляется вывод или решающее правило на знаниях. Формализация процессных знаний получения и обработки символьных моделей включает систему предикатных уравнений (8) – (14). Путем решения этих уравнений можно составить вид структуры и перечень процедурных и семантических операций обработки процессных этих моделей знаний. На рис. 4 иерархическая схема принятия решения.

Для оценки энергетического признака символьной модели протяженных объектов введено понятие накопленной энергии [12]. Она определяется как сумма амплитуд (предикатов) сигналов информационных ячеек символа протяженного объекта в направлениях, определяемых векторами (k_n, l_n) согласно предикатному уравнению:

$$I_{b2} = \sum_{k_1, l_1}^{k_n, l_n} q_{i+k_n, j+1_n} Z_{cdi+k, j+1} \quad (15)$$

Матрица данных $M = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn}\}$	
Первый уровень Матрица предиката событий $A = \{A_{11}, A_{12}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{mn}\}$	
Второй уровень Система унарных и бинарных предикатов $\{Z_{11}, Z_{12}, \dots, Z_{ij}, \dots, Z_{mn}\}$: – унарный предикат Z_{pij} присутствия в a_{ij} информационной ячейке $Z_{pij} = 1$, при $A_{ij} > 0$ (i, j – номера элементов зоны обзора РЛС); – бинарный предикат Z_{dij} ухода сигнала a_{ij} в соседнюю по дальности информационную ячейку $Z_{dij} = 1$, при $A_{i-1j} > 0 \wedge Z_{pij} = 1$; – бинарный предикат Z_{aij} перехода сигнала в смежную по азимуту или соседнюю информационную ячейку $Z_{aij} = 1$, при $Z_{pij} = 1 \wedge A_{i-1} > 0$,	
Третий уровень Добавление новых реляционных сетей $\{I_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)\}$, $i = 1, \dots, k$ заданных на множестве начальных данных $A = \{A_{11}, A_{12}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{mn}\}$: – предикатный признак символьной модели неподвижных протяженных объектов: $I_{b1} = Z_{bij} = \left(\bigwedge_{l_1, k_1}^{l_n, k_n} Z_{cdi+k, j+l} = 1 \right) = \bigwedge_{l_1, k_1}^{l_n, k_n} (Z_{cdi+k, j+l} = 1) = 1;$ – энергетический признак символьной модели неподвижных протяженных объектов: $I_{b2} = \sum_{k_1, l_1}^{k_n, l_n} q_{i+k_n, j+l_n} Z_{cdi+k, j+l}$ где k, l – номера элементов символьных моделей объектов, начиная с текущего.	
Четвертый уровень объединяет все предыдущие уровни, имеет вид предикатной операции $W(I_1, I_2, \dots, I_k)$.	
Возможная иерархическая схема принятия решения	
Неподвижный протяженный воздушный объект $O_b = W(I_{b1}, I_{b2})$	

Рис. 4. Иерархическая схема принятия решения

По виду предикатного признака символьной модели сигнальных отметок для протяженных неподвижных объектов, найденного из системы предикатных уравнений (8) – (14), и по энергетическому признаку символьной модели, определенному как суммарная амплитуда в виде (15), осуществляется процедура распознавания протяженных неподвижных воздушных объектов типа облака, тучи или атмосферной неоднородности типа «ангел-эхо».

Заключение

Разработаны предикатные модели процессных знаний при обнаружении и распознавании радиолокационных сигналов протяженных объектов и метод принятия решений, основанный на прецедентах. Предложен метод обработки процессных знаний как инструмент для создания универсальных алгоритмов межпериодной обработки сигнальной информации для обеспечения эффективного обнаружения и распознавания сигналов от разных протяженных объектов, в том числе слабых сигналов от атмосферных неоднородностей типа «ангел-эхо». В разработанную технологию входят процедуры формализации и анализа символической модели наблюдаемых объектов на основе алгебры предикатов и операций обработки процессных знаний для получения решений о протяженных объектах.

Список литературы:

1. Сколник М.И. Справочник по радиолокации : в 2 т. ; пер. с англ. под ред. В.С. Вербы. Москва : Техносфера, 2014. 672 с.
2. Иванилов А.А. Реляционные алгебры и алгебры предикатов / А. А. Иванилов, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2007. № 4/2. С. 43–48.
3. Russel S. Artificial intelligence. A modern approach, Second Edition / S. Russel, P. Norvig. Williams, 2006. 1410 p.
4. Бондаренко М. Ф. Теория интеллекта : учебник / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. Харьков : изд-во СМИТ, 2007. 576 с.
5. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. Москва : Высш. шк., 2004. 261 с.
6. Журавлев Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. 2005. Вып. 33. С. 5–68.
7. Жирнов В.В., Солонская С.В. Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых объектах в многоканальных интеллектуальных системах мониторинга // Радиотехника. 2019. Вып. 199. С. 67 – 74.
8. Solonskaya S. V., Zhirnov, V. V. Intelligent analysis of radar data based on fuzzy transforms // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radio-tekhnika). 2018. 77 (15). P. 1321-1329.
9. Shubin I., Snisar S., Zhyrnov V., Slavhorodskiy V. Practical Application of Formal Representation of Information for Intelligent Radar Systems // 5th International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)”, 2018, 9-12 October, Pages 433-436.
10. Solonskaya S.V., Zhirnov V.V. Signal processing in the intelligence systems of detecting low-observable and low-doppler aerial targets/ Telecommunications and Radio Engineering. 2018. Vol. 77, Issue 20. P. 1827-1835.
11. Zhirnov V.V., Solonskaya S.V., Zima I.I. Magnetic and electric aspects of genesis of the radar angel clutters and their virtual imaging // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika). 2016. 75 (15). P. 1331-1341.
12. Solonska S., Zhyrnov V., Holovin O. Semantic Processing of Radar Spectral Information for Air Object Recognition // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings.
13. Shubin I., Solonska S., Snisar S., Slavhorodskiy V., Skovorodnikova V. Semantic Radar Technology for Detecting and Recognizing Low-Visible Air Objects // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings.

Поступила в редколлегию 12.09.2020

Сведения об авторах:

Жирнов Владимир Витальевич – к.т.н., Харьковский национальный университет радиоэлектроники, в.н.с. НИЦ интегрированных радиоэлектронных систем и технологий, Украина, e-mail: nauka123@ukr.net

Солонская Светлана Владимировна – к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, доцент кафедры естественных и гуманитарных наук, Украина, e-mail: solonskaya@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8841-7825>