

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АССОЦИАТИВНО-ЛОГИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

УДК 004.942

БУЛКИН Виталий Иванович

кандидат технических наук, доцент, зав. секцией информационных технологий кафедры общеэкономических дисциплин и информационных технологий, Макеевский экономико-гуманитарный институт (г. Краматорск), тел. 099 270 22 07,

Научные интересы: интеллектуальные системы, математические модели знаний, системы параллельной обработки знаний, автоматизированная обработка текстовой информации.

e-mail: bulkin01@mail.ru

В настоящее время при создании знание-ориентированных систем в подавляющем большинстве случаев используется алгоритмический метод и в качестве моделирующего устройства выбирается компьютер последовательного действия фон-неймановского типа. Такая технология обработки знаний имеет свои неоспоримые преимущества и, в то же время, существенные недостатки. Преимуществами алгоритмического метода представления и обработки знаний являются хорошо проработанные модели представления знаний (логические, сетевые, продукционные), языки представления знаний (KRL, FRL, KL-ONE, OPS5), языки программирования для создания баз знаний (ЛИСП, СНОБОЛ, РЕФАЛ, ПРОЛОГ, CLIPS). К основным недостаткам алгоритмического метода представления и обработки знаний относится, в первую очередь, последовательный метод обработки данных компьютерами фон-неймановского типа. Для выполнения программ требуется достаточно большое время, так как оно включает в себя время трансляции программы,

написанной на языке высокого уровня в программу на языке машинных кодов, время выполнения машинных команд, каждая из которых выполняется в течение нескольких машинных тактов работы центрального процессора. Кроме того, в продукционных системах, например, поиск решения осуществляется за счет полного перебора всех правил, что приводит к факториальной вычислительной сложности логического вывода. Поэтому современные компьютеры могут обрабатывать в масштабе реального времени всего несколько десятков правил вывода. Это не позволяет создавать базы знаний для сложных предметных областей, где количество правил достигает нескольких тысяч продукций. В качестве альтернативы алгоритмическому методу обработки знаний предлагается использовать функционально-структурный метод моделирования знаний. При использовании функционально-структурного метода продукционные правила формально представляются в виде импликативных уравнений алгебры предикатов. На основе этих уравнений



строятся АП-структуры, которые представляются в виде ассоциативно-логических преобразователей. Получение вывода с помощью таких структур осуществляется всего за один такт работы цепи. При этом время обработки правил продукций не зависит от количества этих правил, поскольку они обрабатываются параллельно.

Создание систем ориентированных на знания предполагает комплексный подход к моделированию таких систем. Наряду с алгоритмическим методом моделирования целесообразно использовать функционально-структурный и структурно-функциональный методы [1]. Однако обзор научных публикаций показывает, что основным методом проектирования интеллектуальных систем по-прежнему остается алгоритмический метод. Так, например, в работе [2] предлагается метод асинхронной обработки знаний в мультиагентной среде. При этом каждый агент может использовать свои собственные знания, опираясь только на их внутреннюю историю наблюдений, а не требовать полную историю мира. Работа [3] посвящена разработке алгоритма обучения нейронных сетей посредством случайно выпадающих единиц в процессе обучения для предотвращения их совместной адаптации. Алгоритм позволяет осуществить усреднение свойств линейных сетей, для того чтобы понять нелинейный случай. Следующая статья [4] посвящена разработке алгоритма обработки данных, хранящихся в неопределенных базах данных с целью повышения эффективности извлечения знаний из таких хранилищ данных. В статье [5] предлагается использовать язык PSTCSP служащий для идентификации и верификации параметрических иерархических систем реального времени со сложными структурами данных. Пред-

лагается использовать несколько алгоритмов для эффективного синтеза параметров, которые хорошо зарекомендовали себя на практике. В работе [6] представляется новая модель, в которой взаимодействие между компонентами интеллектуального капитала (IC) рассматривается в процессе планирования и оценки развития. Это исследование решает общую проблему внутренней корреляции между компонентами IC с использованием нечеткой логики, которая дает конкретные результаты. Взаимодействие между критериями IC фиксируются с помощью нечетких когнитивных карт. Были разработаны и проанализированы несколько сценариев с целью реализации их эффективности и результативности для развития IC. Статья [7] представляет новую методологию для решения групповых задач принятия решений в условиях нечеткой и динамичной среды. Работа предоставляет алгоритм для GDM в нечеткой и динамичной среде. Для получения ранжированного списка альтернатив используется парное сравнение альтернатив. Эффективность алгоритма проверена с использованием различных наборов данных.

Целью исследований, выполненных в данной работе, является разработка метода представления нечетких выводов в виде уравнений алгебры предикатов с последующим построением АП-структур, реализующих нечеткие отношения мета-импликации. На основе построенных АП-структур предлагается создать нечеткую базу знаний, представленную в виде ассоциативно-логических преобразователей для идентификации и параллельной обработки нечетких знаний. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- представить нечеткие множества в виде уравнений алгебры предикатов;

- на основе полученных уравнений построить АП-структуры распознавателей нечетких множеств;

- определить значения функции принадлежности $\mu_R(x, y)$ нечеткого отношения для операции нечеткой метаимпликации и представить его в виде уравнения алгебры предикатов;

- на основе полученного уравнения, построить АП-структуру, распознавателя нечеткого отношения для операции нечеткой метаимпликации;

- определить значения матрицы инцидентности композиции двух отношений R и S ;

- на основе полученной матрицы инцидентности записать отношение $T = R \circ S$ в виде уравнения алгебры предикатов;

- построить АП-структуру, реализующую композицию нечетких отношений $T = R \circ S$.

Введем понятие нечеткого соответствия и нечеткого отношения. Нечетким соответствием между множествами X и Y называется тройка множеств (X, Y, \tilde{F}) , где X и Y – четкие множества, \tilde{F} – нечеткое множество, заданное на декартовом произведении $X \times Y$. Множество X называют областью отправления, множество Y – областью прибытия, \tilde{F} – нечетким графиком нечеткого соответствия. Нечетким отношением заданным на непустом множестве X называют пару множеств (X, \tilde{F}) , в которой \tilde{F} является нечетким множеством, заданном на декартовом квадрате X^2 . X – это область задания отношения, а \tilde{F} – это нечеткий график отношения. [8-10]. Традиционными методами задания нечетких соответствий и нечетких отношений являются теоретико-множественный, графический и матричный. В данной работе нечеткие соответствия и нечеткие отноше-

ния предлагается представлять в виде формул алгебры предикатов.

Комбинация нечетких отношений. Пусть заданы четкие множества X, Y, Z и нечеткие отношения $R \subseteq X \times Y$ и $S \subseteq Y \times Z$ с функциями принадлежности $\mu_R(x, y)$ и $\mu_S(y, z)$.

Определение 1

Комбинацией типа $\sup - T$ нечетких отношений $R \subseteq X \times Y$ и $S \subseteq Y \times Z$ называется нечеткое отношение $R \circ S \subseteq X \times Z$ с функцией принадлежности

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \sup_{y \in Y} \{ (\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z)) \} \quad (1)$$

Конкретная форма функции принадлежности $\mu_{R \circ S}(y, z)$ комбинации $R \circ S$ зависит от T -нормы, применяемой в формуле (1). Если в качестве T -нормы используется \min , то равенство (1) можно представить в виде:

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \sup_{y \in Y} \{ \min(\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)) \} \quad (2)$$

Если множество Y конечно, то равенство (2) примет форму [11]:

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \max_{y \in Y} \{ \min(\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)) \}$$

Нечеткие выводы осуществляются с использованием нечетких соответствий R , которые задаются следующей формулой:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{ (\mu_R(x_i, y_j)) | (x_i, y_j) \}$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – область отправления, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – область прибытия $\mu_R(x_i, y_j)$ – функция принадлежности (x_i, y_j) нечеткому соответствию R , а знак Σ означает совокупность (объединение) множеств.

Для правила «если A , то B », использующего нечеткие множества $A (A \subseteq X)$ и $B (B \subseteq Y)$, нечеткое соответствие R можно построить на основе следующей формулы:

$$R = A \times B = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{(\mu_A(x_i) \& \mu_B(y_j) | (x_i, y_j))\}$$

при этом

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \& \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3)$$

где $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$ – функции принадлежности элементов x , y множествам A и B соответственно [12].

Пусть X и Y множества чисел $X = Y = \{10, 20, 30, 40\}$, определяющих возраст человека. Для формальной записи множеств X и Y используем следующие уравнения алгебры предикатов:

$$x^{10} \vee x^{20} \vee x^{30} \vee x^{40} = 1 \quad (4)$$

$$y^{10} \vee y^{20} \vee y^{30} \vee y^{40} = 1 \quad (5)$$

Совокупность всех корней этих уравнений совпадают с множествами X и Y . Уравнения (4) и (5) представляют собой формальную запись утверждений $x \in X$ и $y \in Y$. Четкие множества X и Y являются но-

сителями нечетких множеств A и B . Определим нечеткие множества A – «юный», B – «взрослый» следующим образом:

$$A = \{(\mu_A(x_i) | x_i)\} = \{(1 | 10), (0,6 | 20), (0,2 | 30), (0 | 40)\},$$

$$B = \{(\mu_B(y_j) | y_j)\} = \{(0 | 10), (0,2 | 20), (0,6 | 30), (1 | 40)\}.$$

Графическое представление нечетких множеств A и B будет выглядеть так, как показано на рис.1 а, б.

На языке алгебры предикатов любое нечеткое множество можно записать в виде следующего уравнения [Булкин В.И. Обработка качественных знаний]:

$$\mu_A^{p_1}(x)x^{a_1} \vee \mu_A^{p_2}(x)x^{a_2} \vee \dots \vee \mu_A^{p_m}(x)x^{a_m} = 1$$

где p_1, p_2, \dots, p_m – значения функции принадлежности $\mu_A(x)$, a_1, a_2, \dots, a_m – элементы произвольного нечеткого множества A .

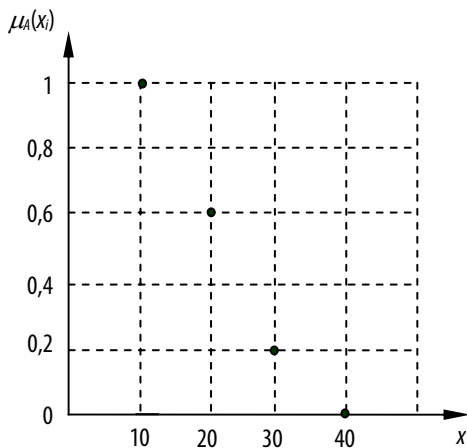


Рис. 1 а. Графическое представление нечеткого множества A – «юный»

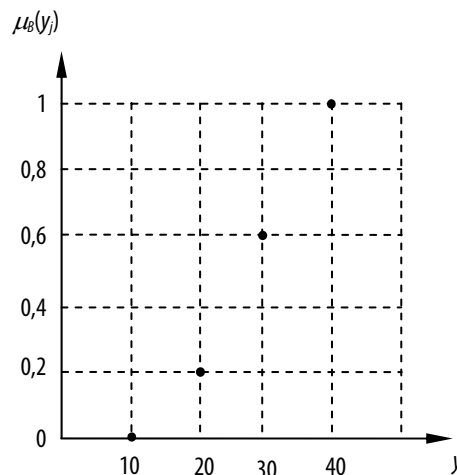


Рис. 1 б. Графическое представление нечеткого множества B – «взрослый»

Нечеткому множеству A – «юный» будет соответствовать следующее уравнение алгебры предикатов:

$$\mu_A^1(x)x^{10} \vee \mu_A^{0,6}(x)x^{20} \vee \mu_A^{0,2}(x)x^{30} \vee \mu_A^0(x)x^{40} = 1 \quad (6)$$

Нечеткому множеству B – «взрослый» будет соответствовать алгебропредикатное уравнение:

$$\mu_B^0(y)y^{10} \vee \mu_B^{0,2}(y)y^{20} \vee \mu_B^{0,6}(y)y^{30} \vee \mu_B^1(y)y^{40} = 1 \quad (7)$$

На основе левой части уравнения (6) построим АП-структуру распознавателя нечеткого множества A – «юный» (рис. 2). Аналогичным образом, используя уравнение (7) можно построить распознаватель нечеткого множества B – «взрослый».

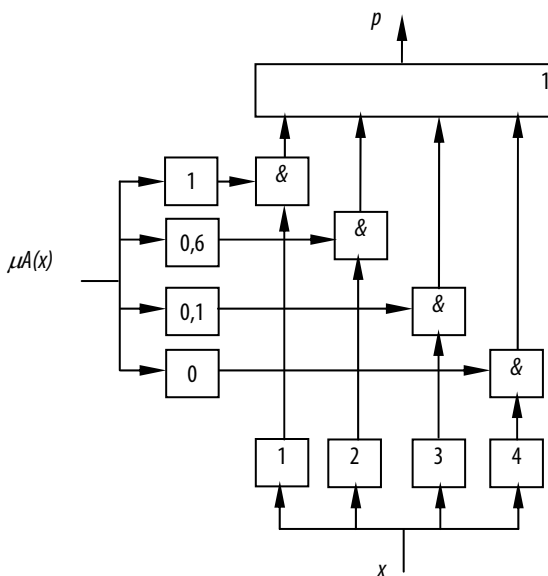


Рис. 2. Схема распознавателя нечеткого подмножества

Нечеткое продукционное правило «если x юный, то y взрослый» формально представляется в виде операции нечеткой метаимпликации $A \Rightarrow B$. Нечеткое отношение

$$\begin{aligned} & \mu^0_R(x, y)x^{10}y^{10} \vee \mu^{0,2}_R(x, y)x^{10}y^{20} \vee \mu^{0,6}_R(x, y)x^{10}y^{30} \vee \mu^{1,0}_R(x, y)x^{10}y^{40} \vee \mu^0_R(x, y)x^{20}y^{10} \vee \\ & \vee \mu^{0,2}_R(x, y)x^{20}y^{20} \vee \mu^{0,6}_R(x, y)x^{20}y^{30} \vee \mu^{0,6}_R(x, y)x^{20}y^{40} \vee \mu^0_R(x, y)x^{30}y^{10} \vee \mu^{0,2}_R(x, y)x^{30}y^{20} \vee \\ & \vee \mu^{0,2}_R(x, y)x^{30}y^{30} \vee \mu^{0,2}_R(x, y)x^{30}y^{40} \vee \mu^0_R(x, y)x^{40}y^{10} \vee \mu^0_R(x, y)x^{40}y^{20} \vee \mu^0_R(x, y)x^{40}y^{30} \vee \\ & \vee \mu^0_R(x, y)x^{40}y^{40} = 1 \end{aligned} \quad (8)$$

На основе предиката, стоящего в левой части уравнения (8), построим АП-структуру, реализующую нечеткое отношение R для операции нечеткой метаимпликации (рис. 3)

На схеме, представленной на рис. 3, внутри пунктирных прямоугольников располагаются АП-структуры, построенные на основе предикатов, описывающих первую, вторую, третью и четвертую строки таблицы значений функции принадлежности $\mu_R(x, y)$ нечеткого отношения R . Схема работает следующим образом. Если на вход схемы подать сигналы $x = 10, y = 10$ и $\mu_R(x, y) = 0$, то на выходе появится сигнал $R = 1$. Это говорит о том, что значения переменных $x = 10$ и $y = 10$ принадлежат от-

нению R для операции нечеткой метаимпликации можно записать в виде следующей таблицы:

Таблица 1

Значения функции принадлежности $\mu_R(x, y)$ нечеткого отношения R

	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0	0,1	0,6	1
x_2	0	0,1	0,6	0,6
x_3	0	0,1	0,1	0,1
x_4	0	0	0	0

Элементами матрицы, представленной в табл. 1, являются значения $\mu_R(x, y)$, которые вычисляются по формуле (3). Используя полученные значения функции принадлежности $\mu_R(x, y)$, запишем отношение R для операции нечеткой метаимпликации в виде следующего уравнения алгебры предикатов:

ношению R со значением функции принадлежности $\mu_R(x, y) = 0$, то есть нечеткое продукционное правило «если x юный, то y взрослый» для данных значений переменных x и y не выполняется. Аналогичным образом при подаче, например, сигналов $x = 10, y = 30$ и $\mu_R(x, y) = 0,6$ на выходе появится сигнал $R = 1$. Это свидетельствует о том, что значения переменных $x = 10$ и $y = 30$ принадлежат отношению R со значением функции принадлежности $\mu_R(x, y) = 0,6$. Данную АП-структуру можно рассматривать как распознаватель нечеткого отношения R для операции нечеткой метаимпликации (см. рис. 3).

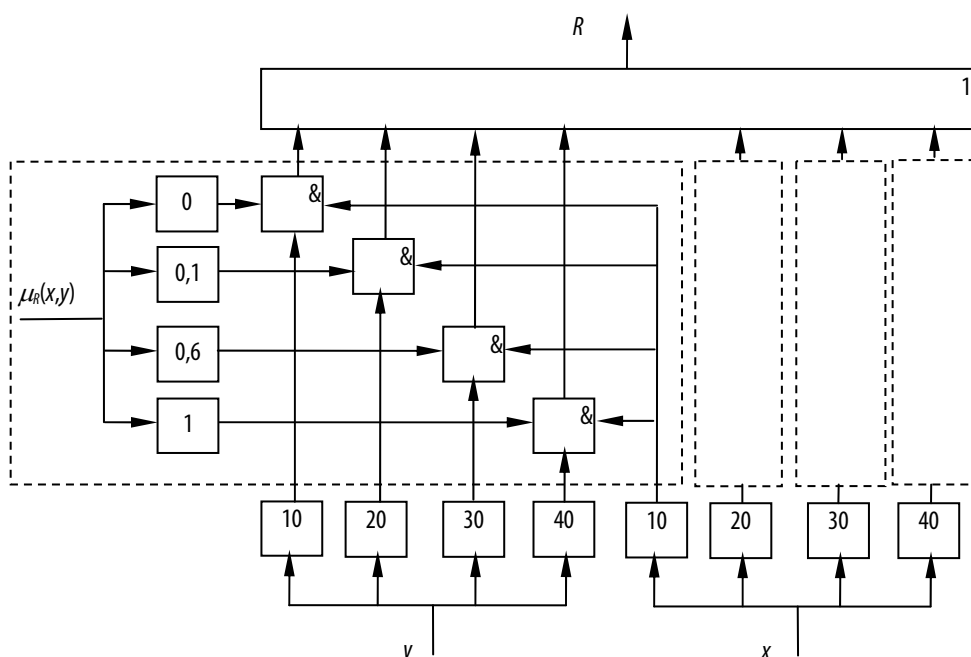


Рис. 3. АП-структура, реалізуюча нечеткое отношение R для операции нечеткой импликации

Для получения матрицы композиции отношений используется максиминное произведение соответствующих матриц. Если R и S нечеткие отношения, то их максиминное произведение определяется по формуле:

$$M = R \circ S = [m_{ki}][m_{ij} \max\{\min(m_{ki} m_{ij})\}]$$

Здесь R – нечеткое соответствие множества X и множества Y, S – нечеткое соответствие множеств Y и V. Тогда нечеткое соответствие между X и V определяется как композиция RoS, которая вычисляется по следующей формуле:

$$R \circ S = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l \vee_{y_j \in Y} (\mu_R(x_i, y_j) \& \mu_S(y_j, v_k))(x_i, v_k)$$

или

$$R \circ S = \max_{y_j \in Y} \min(\mu_R(x_i, y_j), \mu_S(y_j, v_k))(x_i, v_k) \quad (9)$$

Пусть даны четкие множества Y = V = {10, 20, 30, 40} на которых определены нечеткие множества A (A ⊂ Y) – «не юный» и G (G ⊂ V) – «очень взрослый», где

$$A = \{(\mu_A(y_j)|y_j)\} = \{(0|10), (0,4|20), (0,9|30), (1|40)\},$$

$$G = \{(\mu_G(v_k)|v_k)\} = \{(0|10), (0|20), (0,5|30), (1|40)\}.$$

Тогда для нечеткого правила «если y не юный, то v очень взрослый» (A ⇒ V) нечеткое соответствие S определяется в соответствии с формулой (3) и задается следующим образом (табл. 2)

Таблица 2

Значения функции принадлежности μ_S(y, v) нечеткого отношения S

	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄
y ₁	0	0	0	0
y ₂	0	0	0,4	0,4
y ₃	0	0	0,5	0,9
y ₄	0	0	0,5	1

Используя полученные значения функции принадлежности μ_S(y, v), запишем отношение S для операции нечеткой мета-импликации в виде следующего уравнения алгебры предикатов:

$$\mu^{\rho_S}(y, v) y^{10} v^{10} \vee \mu^{\rho_S}(y, v) y^{10} v^{20} \vee \mu^{\rho_S}(y, v) y^{10} v^{30} \vee \mu^{\rho_S}(y, v) y^{10} v^{40} \vee \mu^{\rho_S}(y, v) y^{20} v^{10} \vee$$

$$\begin{aligned} & \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{20} v^{20} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{20} v^{30} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{20} v^{40} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{30} v^{10} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{30} v^{20} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{30} v^{30} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{30} v^{40} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{40} v^{10} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{40} v^{20} \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{40} v^{30} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_s}(y, v) y^{40} v^{40} = 1 \end{aligned}$$

Если теперь вычислить композицию двух отношений R и S по формуле (9), то из

$$T = R \circ S = \vee_{y \in Y} \{(\mu_R(x, y) \& \mu_S(y, v))\} = \max_{y \in Y} \min(\mu_R(x, y), \mu_S(y, v)) =$$

	v_1	v_2	v_3	v_4
x_1	0	0	0,5	1
x_2	0	0	0,5	0,6
x_3	0	0	0,1	0,1
x_4	0	0	0	0

На основе полученной матрицы инцидентности запишем отношение $T = R \circ S$ в виде следующего уравнения алгебры предикатов:

$$\begin{aligned} & \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{10} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{20} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{30} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{40} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{10} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{20} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{30} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{40} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{10} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{20} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{30} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{40} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{10} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{20} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{30} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{40} = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

двух отношений R – «если x юный, то y взрослый» и S – «если y не юный, то v очень взрослый» можно построить нечеткое отношение $R \circ S$ – «если x юный, то v очень взрослый». Значения матрицы инцидентности нечеткого отношения $T = R \circ S$ определим по следующей формуле [14]:

$$\begin{aligned} & \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{10} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{20} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{30} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{10} v^{40} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{10} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{20} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{30} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{20} v^{40} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{10} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{20} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{30} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{30} v^{40} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{10} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{20} \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{30} \vee \\ & \vee \mu^{\rho_T}(x, v) x^{40} v^{40} = 1 \end{aligned}$$

На основе предиката, стоящего в левой части уравнения (10), построим АП-структуру, реализующую нечеткое отношение $T = R \circ S$ для композиции двух отношений R и S (рис. 4)

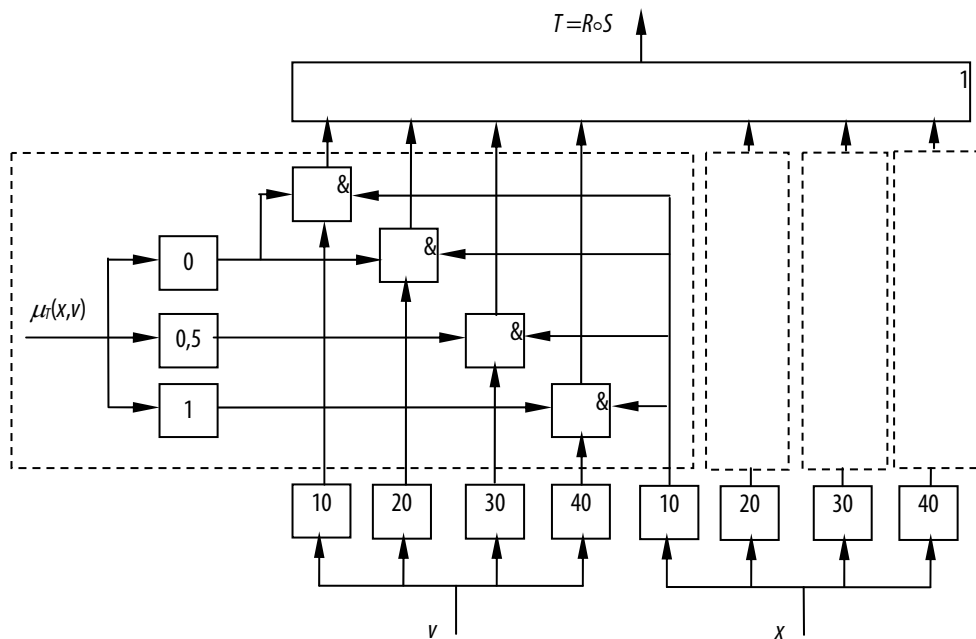


Рис. 4. АП-структура, реализующая нечеткое отношение $T = R \circ S$



Таким образом, используя алгебропредикатные уравнения, описывающие нечеткие отношения, а также АП-структуры распознавателей нечетких отношений, построенные на их основе, можно построить нечеткую базу знаний для реализации нечетких выводов в виде структур, параллельной обработки нечетких знаний. Данные структуры можно представить в виде ассоциативно-логических

преобразователей, служащих для идентификации и обработки нечетких знаний. Поскольку такие структуры включают в свой состав поле ассоциативной памяти и поле логических операций их можно рассматривать как структуры, моделирующие функции человеческого интеллекта, связанные с распознаванием и обработкой нечетких знаний.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Bulkin V.I. Osnovnie puti sozdaniya intellectualnih system I perspetivi ih razvitiya // Problemi informatsiynih tehnologiy. – Herson: HNTU, 2008. – №1 (003). – S. 164–172.
2. Kelly R.F., Pearce A.R. Asynchronous knowledge with hidden actions in the situation calculus // Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 221. – P. 1–35.
3. Baldi P., Sadowski P. The dropout learning algorithm // Artificial Intelligence. – 2014. – Vol. 210. – P. 78–122.
4. Lin J. C.-W., Gan W., Fournier-Viger P., Hong T.-P., Tseng V.S. Weighted frequent itemset mining over uncertain databases // Applied Intelligence. – 2016. – Vol. 44, Issue 1. – P. 232–250.
5. André É., Liu Y., Sun J., Dong J.-S. Parameter synthesis for hierarchical concurrent real-time systems // Real-Time Systems. – 2014. – Vol. 50, Issue 5. – P. 620–679.
6. Arvana M., Omidvarb A., Ghodsic R. Intellectual capital evaluation using fuzzy cognitive maps: A scenario-based development planning // Expert Systems with Applications. – 2016. – Vol. 55. – P. 21–36.
7. Gupta M., Mohanty B.K. An algorithmic approach to group decision making problems under fuzzy and dynamic environment // Expert Systems with Applications. – 2016. – Vol. 55. – P. 118–132.
8. Blumin S.L., Shuykova I.A. Modeli I metodi prinyatiya resheniy v usloviyah neopredelennosti. – Lipetsk: LEGI, 2001. – 138 s.
9. Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkih mnojestv. Per. s frants. – M.: radio i svyaz, 1982. – 432 s.
10. Orlovskiy S.A. Problemi prinyatiya resheniy pri nechetkoy ishodnoy informatsii. – M.: Nauka, 1981. – 194 s.
11. Rutkovskaya D., Pilinskiy M., Rutkovskiy L. Neyronnie seti, geneticheskie algoritmi I nechetkie systemi. Per. s polsk. I.D. Rudinskogo. – M.: Goryachaya liniya-Telecom, 2006. – 452 s.
12. Melihova O.A. Logicheskiy vivod na osnove nechetkoy implikatsii // Izvestiya TRTU. Tematicheskij vipusk Intellektualnie SAPR. Materiali Vserossiyskoy konferentsii "Intellektualnie SAPR-97", Taganrog: TRTU, 1998, №2(8). – 296 s.
13. Bulkin V.I. O formalnom predstavlenii "kachestvennih" znaniy // Vestn. Herson. nats. tehn. Un-ta. – Herson, 2006. – №1(24) – S. 411–416.
14. Zadeh L.A. Osnovi novogo podhoda k analizu slojnih system i protsessov prinyatiya resheniy // M.: Matematika segodnya, 1974. – S. 5–49.

Рецензент: д.т.н., проф. Ходаков В.Е.
Херсонский национальный технический университет