

10. Володарский, Е. Т. Планирование и организация измерительного эксперимента [Текст] / Е. Т. Володарский, Б. Н. Малиновский, Ю. М. Туз. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 280 с.
11. Харченко, В. Ф. Розробка експериментального стенду та планування досліджень освітлювального комплексу [Текст] / В. Ф. Харченко, О. А. Якунін, В. Г. Воропай // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. – 2014. – № 116. – С. 81–88
12. Якунін, О. А. Сучасні осцилографи: особливості роботи, переваги та недоліки [Текст] / О. А. Якунін // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. – 2014. – № 118. – С. 183–186.
13. Мелса, Дж. Л. Идентификация систем управления [Текст] / Дж. Л. Мелса, Э. П. Сейдж. – М.: Наука, 1974. – 248 с.
14. Штейнберг, Ш. Е. Идентификация в системах управления [Текст] / Ш. Е. Штейнберг. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.

У даній статті розроблено математичну модель системи управління мобільним роботом на основі нечітких алгоритмів. Математичну модель створено з використанням математичного апарату алгебри предикатів у вигляді системи алгебропредикатних рівнянь. На основі отриманих рівнянь було створено АП-структури, які, у свою чергу, реалізовано у вигляді асоціативно-логічних перетворювачів. Побудовано АП-структури розпізнавачів нечітких підмножин вхідних і вихідних лінгвістичних змінних

Ключові слова: нечіткі алгоритми, алгебра предикатів, алгебропредикатні структури, асоціативно-логічні перетворювачі

В данной статье разработана математическая модель системы управления мобильным роботом на основе нечетких алгоритмов. Математическая модель создана с использованием математического аппарата алгебры предикатов в виде системы алгебропредикатных уравнений. На основе полученных уравнений были созданы АП-структуры, которые, в свою очередь, реализованы в виде ассоциативно-логических преобразователей. Построены АП-структуры распознавателей нечетких подмножеств входных и выходных лингвистических переменных

Ключевые слова: нечеткие алгоритмы, алгебра предикатов, алгебропредикатные структуры, ассоциативно-логические преобразователи

УДК 004.825

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44536

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

В. И. Булкин

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра общеэкономических
дисциплин и
информационных технологий
Макеевский экономико-
гуманитарный институт
ул. Островского, 16,
г. Макеевка, Украина, 86157
E-mail: bulkin01@mail.ru

1. Введение

При решении задач искусственного интеллекта возникают проблемы, связанные с технологией обработки данных традиционными универсальными компьютерами фон Неймановского типа. На современном этапе развития вычислительной техники наблюдается трудности, связанные со спецификой архитектуры и принципов действия неймановских компьютеров с использованием последовательных алгоритмов работы и исключительно двоичного кодирования данных. Эти проблемы требуют разработки новых принципов организации архитектуры вычислительных систем, в том числе и систем искусственного интеллекта (ИИ). Ведь согласно одному из основных законов кибернетики, закону необходимого разнообразия (сложности) для нормальной работы *управляемой системы*, при которой обеспечивается полное использование ее потенциала, необходимо, чтобы сложность (другой синоним термина «разнообразие») управления соответствовала слож-

ности системы. [1]. Исходя из выше сказанного, можно утверждать, что двузначная элементная и структурная база не отвечает по сложности задачам ИИ и должна быть дополнена универсальной k-значной элементной и структурной базой, которая по своей сложности (разнообразию) стоит значительно выше [2].

Системы искусственного интеллекта (СИИ) условно можно разделить на два вида: реальные СИИ и виртуальные СИИ. Полагают, что реальные СИИ имеют материальный носитель интеллекта, а виртуальные СИИ материального носителя интеллекта в своем составе не имеют. Реальные СИИ делят на биологические интеллектуальные системы (человек и высшие животные) и интеллектуальные системы на основе сетевых структур, в частности – искусственных нейронных сетей (ИНС). К виртуальным СИИ относятся интеллектуальные системы, построенные на основе компьютеров фон Неймана. Для создания СИИ используют три метода: алгоритмический, структурно-функциональный и функцио-

нально-структурный. Алгоритмический метод это традиционный метод создания СИИ с использованием аппаратно-программных ресурсов компьютеров последовательного действия фон-неймановского типа. В основе структурно-функционального метода построения СИИ лежит следующий принцип. Вначале создается структура вычислительной системы в виде ИНС, а затем путем обучения или самообучения она настраивается на моделирование заданных функций интеллекта. Функционально-структурный метод основан на том что, на первом этапе строится математическая модель будущей СИИ в виде системы предикатных уравнений, а затем на основе этой модели создаются алгебропредикатные структуры (АП-структуры), которые, в свою очередь, представляются в виде ассоциативно-логических преобразователей (АЛП) [3].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ публикаций в таких научных журналах как Искусственный интеллект, Robotics and Autonomous Systems, Neural Networks, Expert Systems with Applications, Control Engineering Practice [4–14] показывает, что для решения задач управления сложными динамическими объектами в масштабе реального времени в условиях неопределенности и дефицита ресурсов используются методы принятия решений на основе систем искусственного интеллекта. В работе [4] выполнен обзор интеллектуальных алгоритмов планирования на основе технологии мягких вычислений: искусственных нейронных сетей (ИНС), нечеткой логики (НЛ), и генетических алгоритмов (ГА). Работа [5] посвящена разработке метода обхода препятствий в реальном времени для автономного мобильного робота на основе X-Y-T пространства планирование пути. В статье [6] рассматривается стратегия управления движением роботов основанные на комбинации двух коммуникационных типов – внутреннего и внешнего. В работе [7] разработан метод использования специализированного PAES алгоритма управления коалицией роботов. Публикация [8] направлена на решение задачи использования генетического программирования для управления движением робота. В работах [9–11] разрабатываются методы использования нейронных сетей для создания систем управления мобильными роботами. Нечеткие алгоритмы целесообразно использовать при создании систем навигации микророботов, габариты которых не позволяют размещать на их борту высокопроизводительные аппаратно-программные управляющие комплексы, а также бортовых систем управления авиационной и ракетной техникой [12–14]. Анализ публикаций показывает, что большинство работ посвящено использованию алгоритмических методов для создания систем управления роботами и их коалициями. Практика показывает, что для управления микророботами а также для создания систем, работающих в масштабе реального времени, необходимо разрабатывать интеллектуальные системы параллельной обработки данных. Для решения таких задач целесообразно

использовать функционально-структурный метод создания СИИ.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является создание математической модели системы управления мобильным роботом на основе нечетких алгоритмов в условиях быстро меняющейся динамической среды. Математическая модель представляет собой систему алгебропредикатных уравнений, на основе которых создаются АП-структуры, которые получили название АЛП.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- определить значения функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных в промежуточных точках на области носителя лингвистических значений;
- представить нечеткие подмножества лингвистических переменных в виде системы уравнений алгебры предикатов;
- построить АП-структуры распознавателей нечетких подмножеств входных и выходных лингвистических переменных нечеткой системы управления мобильным роботом;
- записать продукционные правила базы знаний нечеткой логической системы на языке алгебры предикатов в виде импликативных уравнений;
- на основе этих уравнений построить АП-структуры, реализующие продукционные правила в виде АЛП.

4. Определение значений функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных

В работе [15] определены входные и выходные сигналы нечеткой системы управления мобильным роботом. Входными сигналами являются: α – секторы обзора, β – угловое отклонение от цели. К выходным сигналам относятся: V – линейная скорость мобильного робота, ω – направление движения мобильного робота. Секторы обзора – это восемь секторов, которые закреплены за каждым из восьми датчиков, расположенных вокруг микроробота. Каждый из секторов может быть свободной зоной, если в его пределах нет препятствий, или несвободной зоной, если препятствие есть. Характеристические функции нечетких подмножеств входной лингвистической переменной α представлены на рис. 1.

Для записи наименования термов входной переменной α – секторы обзора используют сокращения, приведенные в табл. 1.

Опишем нечеткие подмножества M_{NVB} , M_{NB} , M_{NM} , M_{NS} , M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} , M_{PVB} на языке алгебры предикатов. Для этого необходимо знать значения функции принадлежности $\mu(\alpha)$ в промежуточных точках на области носителя лингвистических значений. В данном случае область носителя лингвистических значений – это угловые размеры секторов рабочей зоны вокруг мобильного робота. Чтобы определить значения функций принадлежности каждого нечеткого подмножества, найдем уравнения прямых,

задающих графики характеристических функций нечетких подмножеств. В качестве примера построим уравнения прямых графика характеристической функции нечеткого подмножества M_Z . Обозначим концы отрезков прямых графика характеристической функции нечеткого множества M_Z буквами А, В, С. Эти точки имеют следующие координаты: А(- $\pi/4$, 0), В(0, 1), С($\pi/4$, 0) (рис. 1). Используя уравнение пря-

мой проходящей через две точки с заданными координатами, получим значения функции принадлежности $\mu_Z(\alpha)$ нечеткого подмножества M_Z . Аналогично можно найти значения функций принадлежности нечетких множеств M_{NVB} , M_{NB} , M_{NM} , M_{NS} , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} , M_{PVB} . Значения функций принадлежности нечетких множеств M_{NVB} , M_{NB} , M_{NM} , M_{NS} , M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} , M_{PVB} представлены в табл. 2.

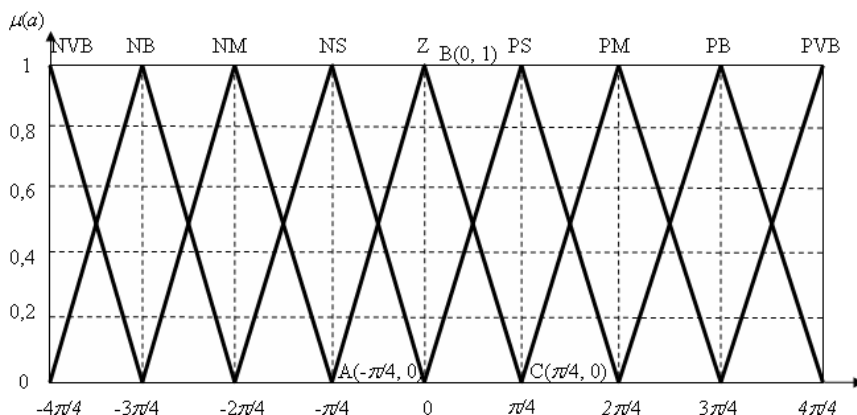


Рис. 1. Характеристические функции нечетких подмножеств входной лингвистической переменной α – секторы обзора

Таблица 1

Сокращения, используемые для записи наименования термов

Термы	Англоязычное название	Русскоязычное название
СЗАДИ (NVB)	Negative Very Big	Отрицательное очень большое
СЗАДИ-СЛЕВА (NB)	Negative Big	Отрицательное большое
СЛЕВА (NM)	Negative Middle	Отрицательное среднее
ПРЯМО-СЛЕВА (NS)	Negative Small	Отрицательное малое
ПРЯМО (Z)	Zero	Нуль
ПРЯМО-СПРАВА (PS)	Positive Small	Положительное малое
СПРАВА (PM)	Positive Middle	Положительное среднее
СЗАДИ-СПРАВА (PB)	Positive Big	Положительное большое
СЗАДИ (PVB)	Positive Very Big	Положительное очень большое

Таблица 2

Значения функций принадлежности нечетких подмножеств лингвистической переменной α

α	$-4\pi/4$	$-3,8\pi/4$	$-3,6\pi/4$	$-3,4\pi/4$	$-3,2\pi/4$	$-3\pi/4$					
$\mu_{NVB}(\alpha)$	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0					
α	$-4\pi/4$	$-3,8\pi/4$	$-3,6\pi/4$	$-3,4\pi/4$	$-3,2\pi/4$	$-3\pi/4$	$-2,8\pi/4$	$-2,6\pi/4$	$-2,4\pi/4$	$-2,2\pi/4$	$-2\pi/4$
$\mu_{NB}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	$-3\pi/4$	$-2,8\pi/4$	$-2,6\pi/4$	$-2,4\pi/4$	$-2,2\pi/4$	$-2\pi/4$	$-1,8\pi/4$	$-1,6\pi/4$	$-1,4\pi/4$	$-1,2\pi/4$	$-\pi/4$
$\mu_{NM}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	$-2\pi/4$	$-1,6\pi/4$	$-1,2\pi/4$	$-0,8\pi/4$	$-0,4\pi/4$	$-\pi/4$	$-0,8\pi/4$	$-0,6\pi/4$	$-0,4\pi/4$	$-0,2\pi/4$	0
$\mu_{NS}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	$-\pi/4$	$-0,8\pi/4$	$-0,6\pi/4$	$-0,4\pi/4$	$-0,2\pi/4$	0	$0,2\pi/4$	$0,4\pi/4$	$0,6\pi/4$	$0,8\pi/4$	$\pi/4$
$\mu_Z(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	0	$0,2\pi/4$	$0,4\pi/4$	$0,6\pi/4$	$0,8\pi/4$	$\pi/4$	$1,2\pi/4$	$1,4\pi/4$	$1,6\pi/4$	$1,8\pi/4$	$2\pi/4$
$\mu_{PS}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	$\pi/4$	$1,2\pi/4$	$1,4\pi/4$	$1,6\pi/4$	$1,8\pi/4$	$2\pi/4$	$2,2\pi/4$	$2,4\pi/4$	$2,6\pi/4$	$2,8\pi/4$	$3\pi/4$
$\mu_{PM}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	$2\pi/4$	$2,2\pi/4$	$2,4\pi/4$	$2,6\pi/4$	$2,8\pi/4$	$3\pi/4$	$3,2\pi/4$	$3,4\pi/4$	$3,6\pi/4$	$3,8\pi/4$	$4\pi/4$
$\mu_{PB}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
α	$3\pi/4$	$3,2\pi/4$	$3,4\pi/4$	$3,6\pi/4$	$3,8\pi/4$	$4\pi/4$					
$\mu_{PVB}(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1					

5. Представление нечетких подмножества лингвистических переменных на языке алгебры предикатов

Нечеткие подмножества $M_{NVB}, M_{NB}, M_{NM}, M_{NS}, M_Z, M_{PS}, M_{PM}, M_{PB}, M_{PVB}$ лингвистической переменной α могут быть представлены в виде соответствующих уравнений алгебры предикатов:

$$\begin{aligned} &\alpha^{-4\pi/4}\mu^1_{NVB}(\alpha)\vee\alpha^{-3,8\pi/4}\mu^{0,8}_{NVB}(\alpha)\vee\alpha^{-3,6\pi/4}\mu^{0,6}_{NVB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-3,4\pi/4}\mu^{0,4}_{NVB}(\alpha)\vee\alpha^{-3,2\pi/4}\mu^{0,2}_{NVB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-3\pi/4}\mu^0_{NVB}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{-4\pi/4}\mu^0_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-3,8\pi/4}\mu^{0,2}_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-3,6\pi/4}\mu^{0,4}_{NB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-3,4\pi/4}\mu^{0,6}_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-3,2\pi/4}\mu^{0,8}_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-3\pi/4}\mu^1_{NB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-2,8\pi/4}\mu^{0,8}_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-2,6\pi/4}\mu^{0,6}_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-2,4\pi/4}\mu^{0,4}_{NB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-2,2\pi/4}\mu^{0,2}_{NB}(\alpha)\vee\alpha^{-2\pi/4}\mu^0_{NB}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{-3\pi/4}\mu^0_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-2,8\pi/4}\mu^{0,2}_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-2,6\pi/4}\mu^{0,4}_{NM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-2,4\pi/4}\mu^{0,6}_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-2,2\pi/4}\mu^{0,8}_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-2\pi/4}\mu^1_{NM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-1,8\pi/4}\mu^{0,8}_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-1,6\pi/4}\mu^{0,6}_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-1,4\pi/4}\mu^{0,4}_{NM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-1,2\pi/4}\mu^{0,2}_{NM}(\alpha)\vee\alpha^{-\pi/4}\mu^0_{NM}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{-2\pi/4}\mu^0_{NS}(\alpha)\vee\alpha^{-1,8\pi/4}\mu^{0,2}_{NS}(\alpha)\vee\alpha^{-1,6\pi/4}\mu^{0,4}_{NS}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-1,4\pi/4}\mu^{0,6}_{NS}(\alpha)\vee\alpha^{-1,2\pi/4}\mu^{0,8}_{NS}(\alpha)\vee\alpha^{-\pi/4}\mu^1_{NS}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-0,8\pi/4}\mu^{0,8}_{NS}(\alpha)\vee\alpha^{-0,6\pi/4}\mu^{0,6}_{NS}(\alpha)\vee\alpha^{-0,4\pi/4}\mu^{0,4}_{NS}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-0,2\pi/4}\mu^{0,2}_{NS}(\alpha)\vee\alpha^0_{NS}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{-\pi/4}\mu^0_Z(\alpha)\vee\alpha^{-0,8\pi/4}\mu^{0,2}_Z(\alpha)\vee\alpha^{-0,6\pi/4}\mu^{0,4}_Z(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{-0,4\pi/4}\mu^{0,6}_Z(\alpha)\vee\alpha^{-0,2\pi/4}\mu^{0,8}_Z(\alpha)\vee\alpha^0_{Z}(\alpha)\vee\alpha^1_{Z}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{0,2\pi/4}\mu^{0,8}_Z(\alpha)\vee\alpha^{0,4\pi/4}\mu^{0,6}_Z(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{0,6\pi/4}\mu^{0,4}_Z(\alpha)\vee\alpha^{0,8\pi/4}\mu^{0,2}_Z(\alpha)\vee\alpha^{\pi/4}\mu^0_Z(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^0\mu^0_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{0,2\pi/4}\mu^{0,2}_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{0,4\pi/4}\mu^{0,4}_{PS}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{0,6\pi/4}\mu^{0,6}_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{0,8\pi/4}\mu^{0,8}_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{\pi/4}\mu^1_{PS}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{1,2\pi/4}\mu^{0,8}_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{1,4\pi/4}\mu^{0,6}_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{1,6\pi/4}\mu^{0,4}_{PS}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{1,8\pi/4}\mu^{0,2}_{PS}(\alpha)\vee\alpha^{2\pi/4}\mu^0_{PS}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{\pi/4}\mu^0_{PM}(\alpha)\vee\alpha^{1,2\pi/4}\mu^{0,2}_{PM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{1,4\pi/4}\mu^{0,4}_{PM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{1,6\pi/4}\mu^{0,6}_{PM}(\alpha)\vee\alpha^{1,8\pi/4}\mu^{0,8}_{PM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{2\pi/4}\mu^1_{PM}(\alpha)\vee\alpha^{2,2\pi/4}\mu^{0,8}_{PM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{2,4\pi/4}\mu^{0,6}_{PM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{2,6\pi/4}\mu^{0,4}_{PM}(\alpha)\vee\alpha^{2,8\pi/4}\mu^{0,2}_{PM}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{3\pi/4}\mu^0_{PM}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{2\pi/4}\mu^0_{PB}(\alpha)\vee\alpha^{2,2\pi/4}\mu^{0,2}_{PB}(\alpha)\vee\alpha^{2,4\pi/4}\mu^{0,4}_{PB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{2,6\pi/4}\mu^{0,6}_{PB}(\alpha)\vee\alpha^{2,8\pi/4}\mu^{0,8}_{PB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{3\pi/4}\mu^1_{PB}(\alpha)\vee\alpha^{3,2\pi/4}\mu^{0,8}_{PB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{3,4\pi/4}\mu^{0,6}_{PB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{3,6\pi/4}\mu^{0,4}_{PB}(\alpha)\vee\alpha^{3,8\pi/4}\mu^{0,2}_{PB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{4\pi/4}\mu^0_{PB}(\alpha)=1, \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} &\alpha^{3\pi/4}\mu^0_{PVB}(\alpha)\vee\alpha^{3,2\pi/4}\mu^{0,2}_{PVB}(\alpha)\vee\alpha^{3,4\pi/4}\mu^{0,4}_{PVB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{3,6\pi/4}\mu^{0,6}_{PVB}(\alpha)\vee\alpha^{3,8\pi/4}\mu^{0,8}_{PVB}(\alpha)\vee \\ &\vee\alpha^{4\pi/4}\mu^1_{PVB}(\alpha)=1. \end{aligned} \tag{9}$$

6. Построение АП-структур распознавателей нечетких подмножеств лингвистических переменных

На основе полученных алгебропредикатных уравнений (1)–(9) могут быть построены АП-структуры распознавателей нечетких подмножеств лингвистической переменной α . В качестве примера, используя уравнение (5), построим АП-структуру распознавателя нечеткого подмножества M_Z (рис. 2).

Значения переменной α , обозначенные на рис. 2 как α_1 – α_{11} представлены в табл. 3.

Аналогично может быть построена АП-структура распознавателя нечеткого подмножества M_{PS} . Ее отличие от АП-структуры распознавателя нечеткого подмножества M_Z (рис. 2) заключается лишь в значениях переменной α . Значения переменной α , обозначенные как α_6 – α_{16} представлены в табл. 4.

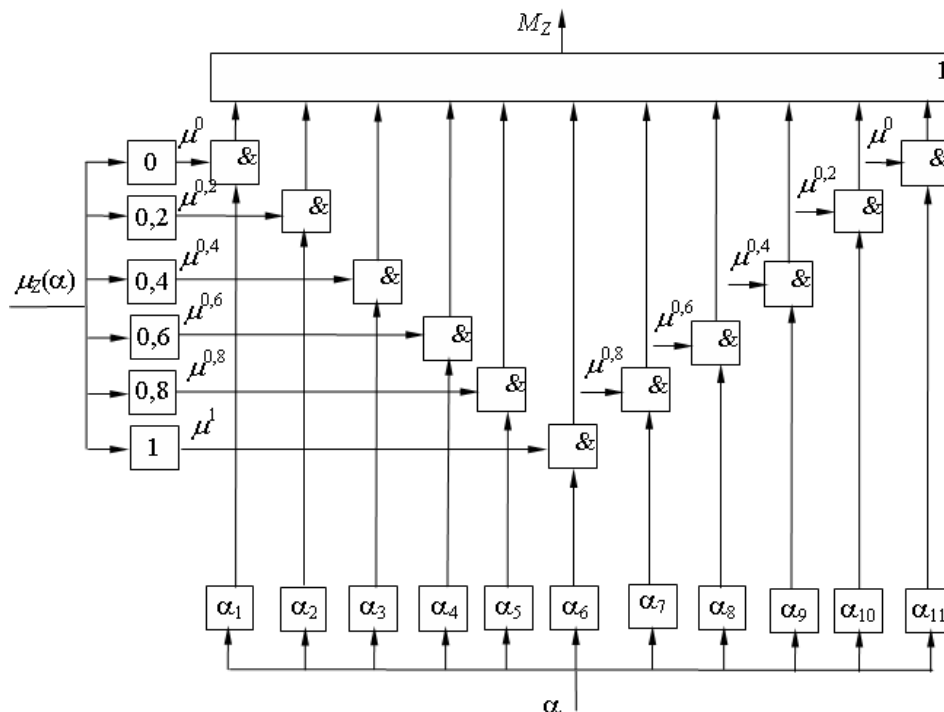


Рис. 2. АП-структура распознавателя нечеткого подмножества M_Z

Таблица 3

Значения переменной α нечеткого подмножества M_Z

α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}
$-\pi/4$	$-0,8\pi/4$	$-0,6\pi/4$	$-0,4\pi/4$	$-0,2\pi/4$	0	$0,2\pi/4$	$0,4\pi/4$	$0,6\pi/4$	$0,8\pi/4$	$\pi/4$

Таблица 4

Значения переменной α нечеткого подмножества M_{PS}

α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{15}	α_{16}
0	$0,2\pi/4$	$0,4\pi/4$	$0,6\pi/4$	$0,8\pi/4$	$\pi/4$	$1,2\pi/4$	$1,4\pi/4$	$1,6\pi/4$	$1,8\pi/4$	$2\pi/4$

Схемы распознавателей нечетких подмножеств M_Z и M_{PS} работают следующим образом. Если на вход α подать, например, сигнал $\alpha=\alpha_7=0,2\pi/4$, и одновременно на вход $\mu_Z(\alpha)$ подать сигнал $\mu_Z(\alpha)=0,8$, то на выходе M_Z появится значение 1. Это говорит о том, что значение переменной $\alpha=\alpha_7=0,2\pi/4$ принадлежит нечеткому множеству M_Z со значением функции принадлежности равной 0,8. И, если теперь на вход $\mu_{PS}(\alpha)$ подать значение 0,2, то на выходе M_{PS} также появится значение 1. Это свидетельствует о том, что значение входной переменной α равно $\alpha_7=0,2\pi/4$ принадлежит нечеткому множеству M_{PS} со значением функции принадлежности равной 0,2. Таким образом, направление $\alpha_7=0,2\pi/4$ принадлежит терм-множеству ПРЯМО (Z) со значением функции принадлежности $\mu_Z(\alpha)$ равной 0,8, и терм-множеству ПРЯМО-СПРАВА (PS) со значением функции принадлежности $\mu_{PS}(\alpha)$ равной 0,2. Аналогично можно построить распознаватели нечетких множеств M_{NVB} , M_{NB} , M_{NM} , M_{NS} , M_{PM} , M_{PB} , M_{PVB} , соответствующих значениям лингвистической переменной α – секторы обзора.

Входная переменная β – угловое отклонение от цели характеризуется терм-множествами аналогичными терм-множествам входной переменной α – секторы обзора. К ним относятся термины: СЗАДИ (NVB), СЗАДИ-СЛЕВА (NB), СЛЕВА (NM), ПРЯМО-СЛЕВА (NS), ПРЯМО (Z), ПРЯМО-СПРАВА (PS), СПРАВА (PM), СЗАДИ-СПРАВА (PB), СЗАДИ (PVB). График функции принадлежности нечеткого множества входной переменной β с точностью до обозначений совпадает с графиком функции принадлежности нечеткого множества входной переменной α (рис. 1). Нечеткие подмножества M_{NVB} , M_{NB} , M_{NM} , M_{NS} , M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} , M_{PVB} входной лингвистической переменной β могут быть описаны на языке алгебры предикатов в виде предикатных уравнений аналогично тому, как это было сделано для входной лингвистической переменной α . Эти уравнения совпадают с предикатными уравнениями (1)–(9) с точностью до обозначений. На основе предикатных уравнений, описывающих нечеткие подмножества M_{NVB} , M_{NB} , M_{NM} , M_{NS} , M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} , M_{PVB} лингвистической переменной β могут быть построены АП-структуры распознавателей нечетких подмножеств входной лингвистической переменной β – угловое отклонение от цели.

Выходная лингвистическая переменная V – линейная скорость мобильного робота характеризуется

следующими терминами: НУЛЕВАЯ (Z), МАЛАЯ (PS), СРЕДНЯЯ (PM), БОЛЬШАЯ (PB). График функции принадлежности нечеткого множества лингвистической переменной V приведен на рис. 3.

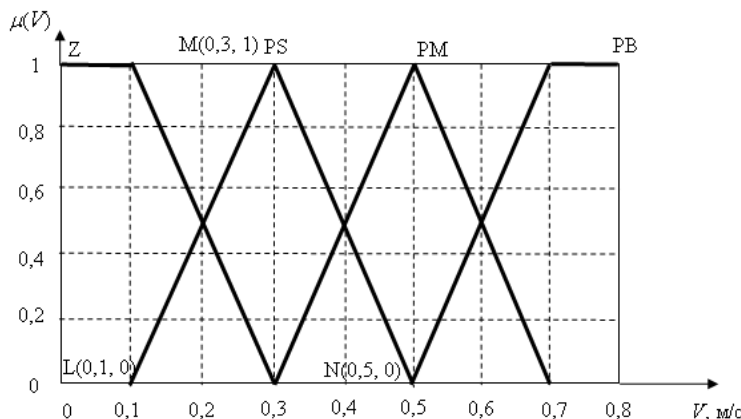


Рис. 3. График функции принадлежности нечеткого множества лингвистической переменной V – линейная скорость мобильного робота

Опишем нечеткие подмножества M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} лингвистической переменной V на языке алгебры предикатов. Значения функции принадлежности $\mu(V)$ в промежуточных точках на области носителя лингвистических значений определяются аналогично тому, как это делалось для лингвистической переменной α . Значения функций принадлежности нечетких множеств M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения функций принадлежности нечетких множеств M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB}

V	0	0,1	0,14	0,18	0,22	0,26	0,3				
$\mu_Z(V)$	1	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0				
V	0,1	0,14	0,18	0,22	0,26	0,3	0,34	0,38	0,42	0,46	0,5
$\mu_{PS}(V)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
V	0,3	0,34	0,38	0,42	0,46	0,5	0,54	0,58	0,62	0,66	0,7
$\mu_{PM}(V)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
V	0,5	0,54	0,58	0,62	0,66	0,7	0,8				
$\mu_{PB}(V)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1				

Нечеткие множества M_Z , M_{PS} , M_{PM} , M_{PB} можно записать в виде следующих уравнений алгебры предикатов:

$$\begin{aligned} &V^{0,1}\mu^0_z(V)\vee V^{0,1}\mu^1_z(V)\vee V^{0,14}\mu^{0,8}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,18}\mu^{0,6}_z(V)\vee V^{0,22}\mu^{0,4}_z(V)\vee V^{0,26}\mu^{0,2}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,3}\mu^0_z(V)=1, \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} &V^{0,1}\mu^0_z(V)\vee V^{0,14}\mu^{0,2}_z(V)\vee V^{0,18}\mu^{0,4}_z(V)\vee V^{0,22}\mu^{0,6}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,26}\mu^{0,8}_z(V)\vee V^{0,3}\mu^1_z(V)\vee V^{0,34}\mu^{0,8}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,38}\mu^{0,6}_z(V)\vee V^{0,42}\mu^{0,4}_z(V)\vee V^{0,46}\mu^{0,2}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,5}\mu^0_z(V)=1, \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} &V^{0,3}\mu^0_z(V)\vee V^{0,34}\mu^{0,2}_z(V)\vee V^{0,38}\mu^{0,4}_z(V)\vee V^{0,42}\mu^{0,6}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,46}\mu^{0,8}_z(V)\vee V^{0,5}\mu^1_z(V)\vee V^{0,54}\mu^{0,8}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,58}\mu^{0,6}_z(V)\vee V^{0,62}\mu^{0,4}_z(V)\vee V^{0,66}\mu^{0,2}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,7}\mu^0_z(V)=1, \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} &V^{0,5}\mu^0_z(V)\vee V^{0,54}\mu^{0,2}_z(V)\vee V^{0,58}\mu^{0,4}_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,62}\mu^{0,6}_z(V)\vee V^{0,66}\mu^{0,8}_z(V)\vee V^{0,7}\mu^1_z(V)\vee \\ &\vee V^{0,8}\mu^1_z(V)=1. \end{aligned} \tag{13}$$

На основе полученных предикатных уравнений (10)–(13) можно построить распознаватели нечетких множеств $M_Z, M_{PS}, M_{PM}, M_{PB}$ лингвистической переменной V – линейная скорость мобильного робота. Их схема подобна АП-структуре, показанной на рис. 2.

Выходная переменная ω – направление движения мобильного робота характеризуется терм-множествами аналогичными терм-множествам входных переменных α – секторы обзора и β – угловое отклонение от цели. Они включают термы: СЗАДИ (NVB), СЗАДИ-СЛЕВА (NB), СЛЕВА (NM), ПРЯМО-СЛЕВА (NS), ПРЯМО (Z), ПРЯМО-СПРАВА (PS), СПРАВА (PM), СЗАДИ-СПРАВА (PB), СЗАДИ (PVB). График функции принадлежности нечеткого множества выходной переменной ω совпадает с графиками функций принадлежности переменных α и β с точностью до обозначений.

Нечеткие подмножества $M_{NVB}, M_{NB}, M_{NM}, M_{NS}, M_Z, M_{PS}, M_{PM}, M_{PB}, M_{PVB}$ выходной лингвистической переменной ω могут быть описаны на языке алгебры предикатов аналогично тому, как это было сделано для входных лингвистических переменных α и β в виде предикатных уравнений. Эти уравнения полностью совпадают с предикатными уравнениями (1)–(9) с точностью до обозначений. На основании предикатных уравнений, описывающих нечеткие подмножества M_{NVB}, M_{NB}, M_{NM} ,

$M_{NS}, M_Z, M_{PS}, M_{PM}, M_{PB}, M_{PVB}$ выходной лингвистической переменной ω могут быть построены АП-структуры распознавателей нечетких подмножеств выходной лингвистической переменной ω – направление движения мобильного робота.

8. Создание базы знаний нечеткой логической системы

База знаний нечеткой логической системы включает в свой состав продукционные правила, которые определяют зависимость между входными и выходными терм-множествами [15]. Выбор необходимого правила определяется угловым отклонением робота от цели, которое задается входной лингвистической переменной β и наличием свободных зон вокруг робота. Продукционные правила базы знаний управляет мобильным роботом так, чтобы его угловое отклонение от цели было минимальным ($\beta \rightarrow \min$) и движение к цели было прямолинейным.

Поэтому при составлении правил базы знаний было принято два условия.

1. Если угловое отклонение от цели больше нулевого ($\beta > 0$), то робот останавливается ($V=0$) и ему придается такое направление движения ω , которое позволит роботу прямолинейно двигаться к цели ($\omega - \beta \rightarrow 0$).

2. Если угловое отклонение от цели равно нулю ($\beta = 0$), то робот развивает максимально возможную скорость ($V = \text{БОЛЬШАЯ (PB)}$), и прямолинейно движется к цели.

В базе знаний определено 72 правила – по девять вложенных правил для каждого из восьми значений СЗАДИ (NVB), СЗАДИ-СЛЕВА (NB), СЛЕВА (NM), ПРЯМО-СЛЕВА (NS), ПРЯМО (Z), ПРЯМО-СПРАВА (PS), СПРАВА (PM), СЗАДИ-СПРАВА (PB), СЗАДИ (PVB) входной лингвистической переменной β – углового отклонения от цели.

Нашей задачей является запись продукционных правил базы знаний нечеткой логической системы на языке алгебры предикатов в виде импликативных уравнений и построение на их основе АП-структур, реализующих эти правила аппаратно.

В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда цель находится перед роботом ($\beta = \text{ПРЯМО (Z)}$). Набор правил для этой ситуации будет следующим (табл. 6).

Таблица 6

Цель находится перед роботом

0	ЕСЛИ	ЦЕЛЬ	Прямо	ТО	V			w	
1	ЕСЛИ	Свободно	Прямо	ТО	Скорость	Большая	И	Направление	Прямо
2	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Прямо-Слева	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Прямо-Влево
3	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Прямо-Справа	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Прямо-Вправо
4	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Слева	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Влево
5	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Справа	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Вправо
6	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Сзади-Слева	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Назад-Влево
7	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Сзади-Справа	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Назад-Вправо
8	ИНАЧЕ ЕСЛИ	Свободно	Сзади	ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Назад
9	ИНАЧЕ			ТО	Скорость	Нулевая	И	Направление	Прямо

Запишем продукционные правила для ситуации, когда цель находится перед роботом, на языке алгебры предикатов.

$$\beta^Z \times \alpha^Z \supset V^{PB} \times \omega^Z, \quad (14)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{NS} \supset V^Z \times \omega^{NS}, \quad (15)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{PS} \supset V^Z \times \omega^{PS}, \quad (16)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{NM} \supset V^Z \times \omega^{NM}, \quad (17)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{PM} \supset V^Z \times \omega^{PM}, \quad (18)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{NB} \supset V^Z \times \omega^{NB}, \quad (19)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{PB} \supset V^Z \times \omega^{PB}, \quad (20)$$

$$\beta^Z \times \alpha^{PVB} \supset V^Z \times \omega^{PVB}, \quad (21)$$

$$\beta^Z \times \alpha^Z \supset V^Z \times \omega^Z. \quad (22)$$

В результате получено девять импликативных уравнений (14)–(22), каждое из которых соответствует одному из продукционных правил из табл. 6 для ситуации, когда цель находится перед роботом. Здесь символом « \times » обозначена операция конъюнкции, а символом « \supset » – операция импликации.

9. Построение АП-структуры, реализующей продукционные правила

Используя уравнения (14) – (22) построим АП-структуру, реализующую эти правила (рис. 4). Схема работает следующим образом. Общая предпосылка всех девяти правил реализуется элементом узнавания Z значения переменной β – угловое отклонение от цели. Если на вход этого элемента поступает сигнал $\beta = Z$, то на его выходе формируется сигнал $\beta^Z = 1$ (цель ПРЯМО (Z)). Аналогично формируются сигналы $\alpha^Z = 1$, $V^{PB} = 1$, $\omega^Z = 1$.

Вследствие этого на выходе элемента, выполняющего операцию импликации (помечен значком « \supset ») появляется сигнал равный 1. Это говорит о том, что в этом случае работает продукционное правило 1. При подаче на входы АП-структуры комбинаций значений переменных β , α , V , ω задающих предпосылки и выводы остальных продукционных правил, на выходах элементов, реализующих операцию импликации, будут появляться единичные сигналы, говорящие о том, что выполняется соответствующее продукционное правило. Подобным образом можно записать продукционные правила базы знаний нечеткой логической системы управления мобильным роботом на языке алгебры предикатов в виде импликативных уравнений и построить на их основе АП-структуру, реализующие эти правила аппаратно для ситуаций, когда цель будет располагаться во всех остальных секторах обзора.

Таким образом, система управления мобильным роботом может быть представлена в виде двухуровневой структуры, на первом уровне которой находятся распознаватели нечетких подмножеств входных и выходных лингвистических переменных α , β , V , ω , а на втором уров-

не – АП-структуры, реализующие правила базы знаний нечеткой системы управления мобильным роботом.

В свою очередь любая АП-структура включает в свой состав блок узнавания предметов и блок логических операций. Блок узнавания предметов состоит из элементов узнавания предметов, каждый из которых представляет собой аппаратную реализацию базисного предиката узнавания предмета [16]. Элемент узнавания предмета a должен быть сконструирован так, чтобы при подаче на его вход имени предмета a , он вырабатывал на своем выходе сигнал 1, «узнавая» этот предмет. При подаче на его вход любой другой буквы, на его выходе должен вырабатываться сигнал 0 [17]. В работе [3] показано, что любой элемент узнавания предмета может быть представлен в виде ячейки ассоциативной памяти, в которой записан двоичный код этого предмета. Если на вход ячейки ассоциативного запоминающего устройства (АЗУ) подать двоичный код имени предмета, то на выходе этой ячейки появится сигнал 1. Это говорит о том, что двоичный код имени предмета совпадает с кодом, записанным в этой ячейке. Если на вход ячейки подать имя любого другого предмета b ($b \neq a$), то на выходе ячейки будет сформирован сигнал 0.

Любую АП-структуру, представленную в виде АЛП, можно рассматривать в качестве функционально-структурной модели человеческого интеллекта способной распознавать предметы из универсума предметов и выполнять логические операции над результатами распознавания. Подобным образом человеческий интеллект, обладая ассоциативной памятью, распознает объекты внешнего мира и может выполнять логические операции над полученными данными.

Одним из достоинств таких структур является то, что содержимое ассоциативной памяти легко можно изменить так, чтобы, не меняя структуры АЛП, можно было бы перенастроить ее на распознавание других предметов из универсума предметов. Таким же образом можно оперативно изменять продукционные правила базы знаний, реализованные в виде АЛП. Для организации ассоциативной памяти в составе АЛП могут быть использованы ИНС Хопфилда и Хэмминга. Это также дает возможность, в случае необходимости, корректировать содержимое ассоциативной памяти АЛП, перенастраивая систему в условиях динамически изменяющейся внешней среды. Кроме того, в случае применения систем на основе АЛП отпадает необходимость в использовании дорогостоящих и относительно медленно работающих аппаратно-программных комплексов последовательного действия. Это очень критично при создании автономных систем управления мобильными микророботами из-за габаритных ограничений, а также в условиях быстро меняющейся динамической среды, например, в системах управления авиа- и ракетной техникой.

Таким образом, распознаватели значений лингвистических переменных можно построить в виде единой АП-структуры и при необходимости, меняя содержимое ассоциативной памяти АЛП, распознавать значения входных и выходных лингвистических переменных α , β , ω , V . Аналогично все 72 продукционных правила можно реализовать с помощью единой АП-структуры, реализующей правила базы знаний нечеткой системы управления мобильным роботом (рис. 4), изменяя содержимое ассоциативной памяти АЛП.

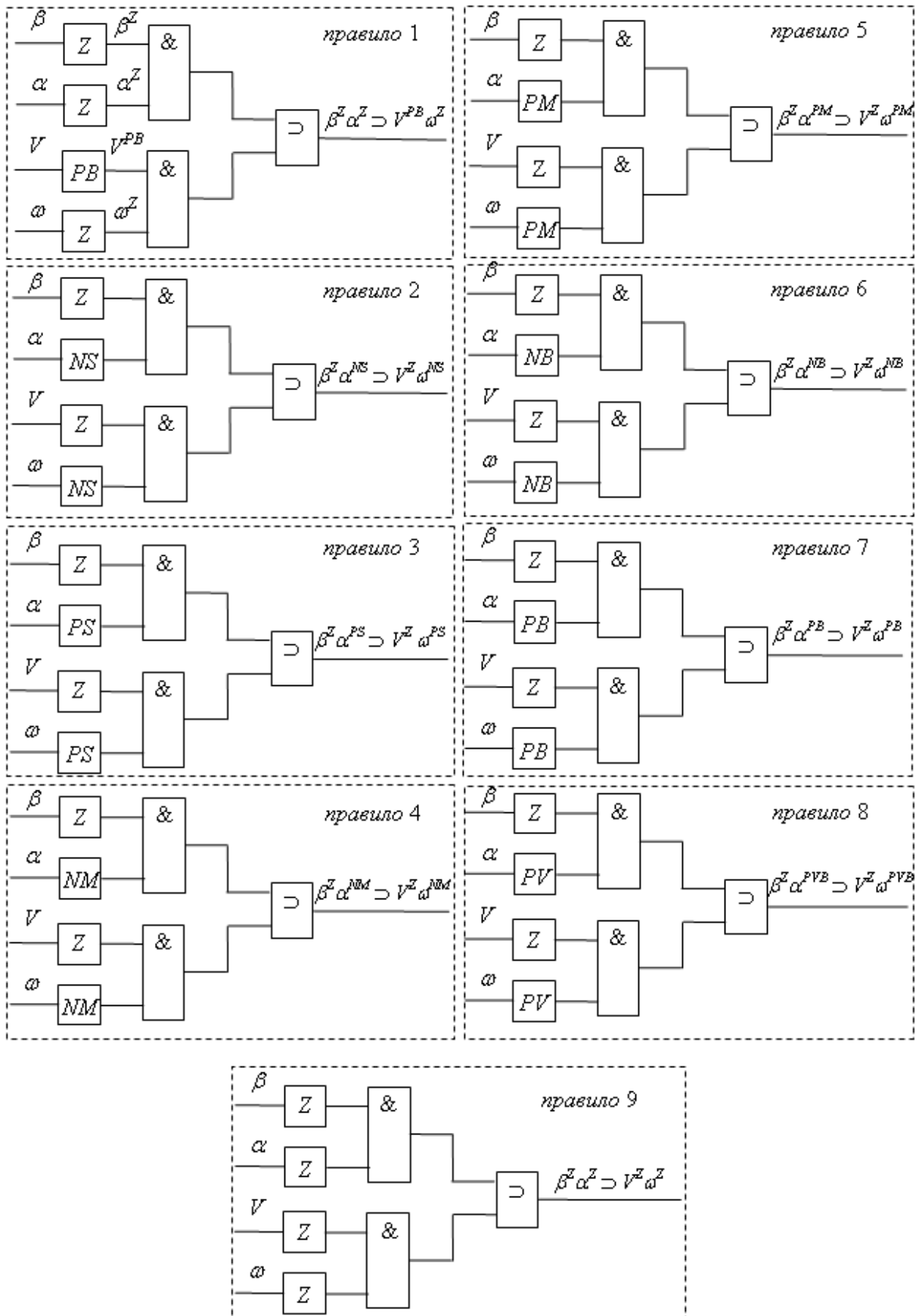


Рис. 4. Логическая схема АП-структуры, реализующей правила базы знаний нечеткой системы управления мобильным роботом

10. Выводы

В данной работе были построены математические модели, описывающие характеристические функции нечетких подмножеств входных и выходных лингвистических переменных нечеткой системы управления мобильным роботом:

1. Для определения значений функций принадлежности в промежуточных точках на области носителя лингвистических значений были найдены уравнения прямых графиков характеристических функции нечетких подмножеств соответствующих лингвистических переменных.

2. Нечеткие подмножества лингвистических переменных были представлены в виде системы уравнений алгебры предикатов.

3. На основе полученных алгебропредикатных уравнений были построены АП-структуры распознавателей нечетких подмножеств входных и выходных лингвистических переменных нечеткой системы управления мобильным роботом на примере АП-структуры распознавателя нечеткого подмноже-

ства M_Z лингвистической переменной α . Для создания базы знаний нечеткой логической системы управления мобильным роботом используются продукционные правила, которые определяют зависимость между входными и выходными терм-множествами.

4. Была решена задача записи продукционных правил базы знаний нечеткой логической системы на языке алгебры предикатов в виде импликативных уравнений.

5. На основе этих уравнений были построены АП-структуры, реализующие продукционные правила в виде АЛП. Учитывая то, что поле ассоциативной памяти можно легко перезаписывать и одну и ту же АП-структуру перенастраивать на распознавание различных объектов предметной области, такие структуры можно отнести к разряду гибких перенастраиваемых структур параллельной обработки данных, работающих в масштабе реального времени. Интересной особенностью таких структур является то, что они имеют функционально-структурное сходство с человеческим интеллектом и по этой причине их можно назвать мозгоподобными структурами [18].

Литература

1. Ashby, W. R. Introduction to Cybernetics [Text] / W. R. Ashby. – Chapman & Hall, 1956.
2. Бондаренко, М. Ф. Основы теории багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту [Текст] / М. Ф. Бондаренко, З. Д. Коноплянко, Г. Г. Четвериков. – Х. : Фактор-Друк, 2003. – 336 с.
3. Булкин, В. И. Представление алгебропредикатных структур в виде ассоциативно-логических преобразователей [Текст] / В. И. Булкин // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 6–17.
4. Даринцев, О. В. Различные подходы управления движением мобильных роботов на основе мягких вычислений [Текст] / О. В. Даринцев, А. Б. Мигранов // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 339–347.
5. Nishitani, I. Human-centered X–Y–T space path planning for mobile robot in dynamic environments [Text] / I. Nishitani, T. Matsumura, M. Ozawa, A. Yorozu, M. Takahashi // Robotics and Autonomous Systems. – 2015. – Vol. 66. – P. 18–26.
6. Baca, J. Modular robot systems towards the execution of cooperative tasks in large facilities [Text] / J. Baca, P. Pagala, C. Rossi, M. Ferre // Robotics and Autonomous Systems. – 2015. – Vol. 66. – P. 159–174. doi: 10.1016/j.robot.2014.10.008
7. Agarwal, M. Non-additive multi-objective robot coalition formation [Text] / M. Agarwal, N. Kumar and L. Vig // Expert Systems with Applications. – 2014. – Vol. 41, Issue 8. – P. 3736–3747. doi: 10.1016/j.eswa.2013.11.044
8. Silva, P. Automatic generation of biped locomotion controllers using genetic programming [Text] / P. Silva, C. P. Santos, V. Matos, L. Costa // Robotics and Autonomous Systems. – 2014. – Vol. 62, Issue 10. – P. 1531–1548. doi: 10.1016/j.robot.2014.05.008
9. Glasius, R. Neural Network Dynamics for Path Planning and Obstacle Avoidance [Text] / R. Glasius, A. Komoda, S. Gielen // Neural Networks. – 1995. – Vol. 8, Issue 1. – P. 125–133. doi: 10.1016/0893-6080(94)e0045-m
10. Ahmed, U. Guided Autowave Pulse Coupled Neural Network (GAPCNN) based real time path planning and an obstacle avoidance scheme for mobile robots [Text] / U. Ahmed, S. F. Kunwar, M. Iqbal // Robotics and Autonomous Systems. – 2014. – Vol. 62, Issue 4. – P. 474–486. doi: 10.1016/j.robot.2013.12.004
11. Huang, D.-W. Self-organizing maps based on limit cycle attractors [Text] / D.-W. Huang, R. J. Gentili, J. A. Reggia // Neural Networks. – 2015. – Vol. 63. – P. 208–222. doi: 10.1016/j.neunet.2014.12.003
12. Rommelfanger, H. Fuzzy decision support system [Text] / H. Rommelfanger. – Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1994. doi: 10.1007/978-3-642-57929-5
13. Wang, X. Lateral control of autonomous vehicles based on fuzzy logic [Text] / X. Wang, M. Fu, H. Ma, Y. Yang // Control Engineering Practice. – 2015. – Vol. 34. – P. 1–17. doi: 10.1016/j.conengprac.2014.09.015
14. Nailia, M. Brain-inspired method for solving fuzzy multi-criteria decision making problems (BIFMCDM) [Text] / M. Nailia, A. Boubetrab, A. Taric, Y. Bouguazzad, A. Achroufenc // Expert Systems with Applications. – 2015. – Vol. 42, Issue 4. – P. 2173–2183. doi: 10.1016/j.eswa.2014.07.047
15. Даринцев, О. В. Планирование траектории движения микроробота на базе нечетких правил [Текст]: матер. межд. науч.-техн. конф. / О. В. Даринцев, А. Б. Мигранов // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2011). – Донецк: ИПИИ «Наука і освіта», 2011. – С. 228–232.
16. Шабанов-Кушнарченко, Ю. П. Теория интеллекта. Математические средства [Текст] / Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. – Х.: Вища шк., 1984. – 144 с.
17. Шабанов-Кушнарченко, Ю. П. Теория интеллекта. Технические средства [Текст] / Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. – Х.: Вища шк., 1986. – 136 с.
18. Бондаренко, М. Ф. Мозгоподобные структуры. Т. 1 [Текст]: справ. пос. / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко; под ред. И. В. Сергиенко. – К. : Наукова думка, 2011. – 460 с.