

С. Б. Антошкин, Р.Ю. Оболтин

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Аннотация. В данной статье представлена разработка алгоритма обхода препятствий мобильным управляемым роботом на базе нечетких алгоритмов. В работе изложены основные теоретические и практические принципы расчета и моделирования нечетких логических систем. Приведены результаты исследования системы с нечетким алгоритмом обхода препятствий. Эффективность использования показана на примере построения системы нечеткого регулирования управления движением мобильного автономного робота в условиях территории обслуживания при использовании ориентировочных маяков. Разработан алгоритм формирования программной траектории, обеспечивающий заданную точность объезда препятствий. Особенностью данной структуры является то, что они имеют функционально-структурное сходство с человеческим интеллектом.

Ключевые слова: алгоритм, навигация, обход препятствий, коррекция курса, прокладка курса, автономный мобильный робот, нейронные сети, нечеткая логика.

S. B. Antoshkin, R. Yu. Oboltin

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR MANAGING THE MOTION OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS BASED ON FUZZY LOGIC

Abstract. This article presents the development of an obstacle avoidance algorithm for a mobile controlled robot based on fuzzy algorithms. The basic theoretical and practical principles of calculating and modeling fuzzy logical systems are described. The results of a study of a system with a fuzzy obstacle avoidance algorithm are presented. The efficiency of use is shown by the example of constructing a system of fuzzy regulation of the motion control of a mobile autonomous robot in the conditions of the service area when using reference beacons. An algorithm has been developed for the formation of a programmed trajectory, providing a given accuracy of avoiding obstacles. A feature of this structure is that they have a functional-structural similarity with human intellects.

Keywords: algorithm, navigation, obstacle avoidance, course correction, course plotting, autonomous mobile robot, neural networks, fuzzy logic.

Введение

На транспорте в настоящее время широко внедряются мобильные транспортные роботы. Одной из задач таких роботов является перемещение грузов в заданные места на складах, грузовых площадках и в подобных ситуациях. При этом далеко не всегда путь для таких роботов свободен из-за препятствий. В данной работе рассматривается алгоритм управления мобильным роботом на основе нечеткой логики [1, 2] при наличии препятствий на пути следования.

При решении данной задачи требуется знать положение робота относительно пункта назначения. Ориентация робота при разработке алгоритма обхода препятствий может осуществляться любым доступным способом, например по оптическим маякам, по акустическим сигналам, или по системам спутниковой навигации [3, 4]. Для построения алгоритма обхода препятствия это не принципиально.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ публикаций в таких научных журналах как Искусственный интеллект, Expert Systems with Applications, Control Engineering Practice, Neural Networks и Robotics and Autonomous Systems [5-12] показывает, что для решения задач управления мобильными роботами в условиях реального времени, при недостаточной информации о зоне обслуживания,

используются методы принятия решений на основе систем искусственного интеллекта. В работе [5] выполнен обзор интеллектуальных алгоритмов планирования на основе технологии мягких вычислений: искусственных нейронных сетей, нечеткой логики, и генетических алгоритмов. Работа [6] посвящена разработке метода обхода препятствий в реальном времени для автономного мобильного робота на основе метрического пространства планирование пути. В статье [7] рассматриваются стратегии управления движением роботов, основанные на комбинации внутренних и внешних коммуникационных типах. Публикация [8] направлена на решение проблемы использования генетического программирования для управления движением робота. В работах [9,10] разрабатываются методы использования нейронных сетей. Нечеткие алгоритмы целесообразно использовать при создании систем навигации роботов с ограниченными габаритами, когда отсутствует точно известная математическая модель, а также для бортовых систем управления авиационной и ракетной техникой [11,12, 15-17].

Пусть имеется территория обслуживания, например, как на рис.1. Задача ставится таким образом, что мобильному роботу необходимо доставить груз из пункта отправления в пункт назначения. Координаты исходной и конечной точки определяются по трем маякам М1 – М3. На пути следования могут находиться препятствия (например Р1 – Р3).

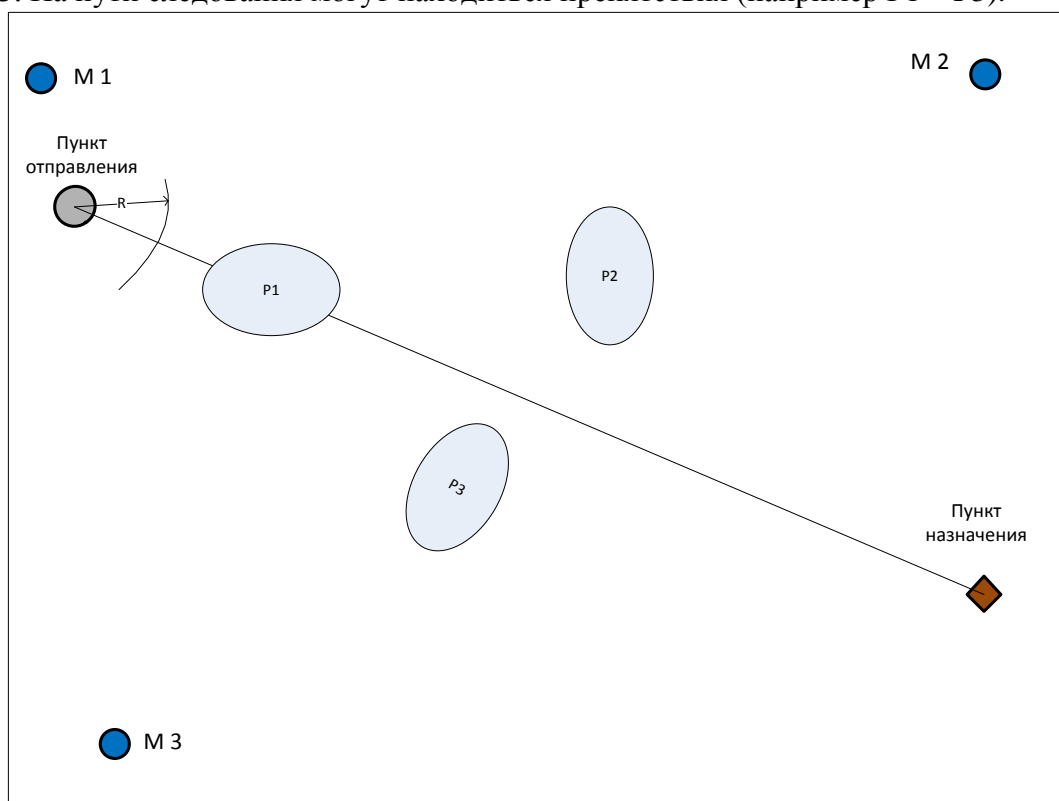


Рис. 1. Пример территории обслуживания

Для обнаружения препятствий имеется локатор (например, ультразвуковой), позволяющий измерять расстояние до препятствий, но с ограниченным радиусом действия (R).

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является создание алгоритма управления мобильным роботом с учетом обхода препятствий на основе нечеткой логики. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- создать стратегию обхода препятствий мобильным роботом, обеспечивающую эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира;
- разработать алгоритм формирования программной траектории объезда препятствий;
- определить значения функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных;
- сформировать систему отношений и функций принадлежности, выполняющих заданные требования.
- представить наглядную модель процесса обхода препятствий.

Задание конструктивных параметров автономного мобильного робота

В данной статье рассматривается создание алгоритма для мобильного наземного робота, содержащего платформу с приводом перемещения, поворотные электродвигатели, источник питания и бортовую вычислительную сеть, включающую установленные на платформе контроллер и датчики обнаружения препятствий, расположенные по ходу движения робота и под углами -45 и $+45$ градусов по отношению к продольной оси робота. За каждым из датчиков закреплена зона, которая может быть либо свободной, либо несвободной в случае обнаружения препятствий.

Описание алгоритма управления движением с учетом обхода препятствий

Работа алгоритма начинается с вычисления текущих координат робота и координат конечной цели, если они совпадают, то цель достигнута, если нет, то идет процесс изменения курса, который заключается в построении кратчайшей траектории по формуле (1).

$$AB = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}. \quad (1)$$

где x_a, y_a, x_b, y_b – координаты робота и точки назначения, AB – расстояние между точками. Во время движения идет постоянный поиск возможных препятствий путем опроса датчиков. Если возникает препятствие, то запускается подпрограмма обхода на нечеткой логике, после завершения которой повторяется процедура определения координат мобильного робота, сверка их с координатами конечной цели и, если необходимо, строится новая кратчайшая траектория.

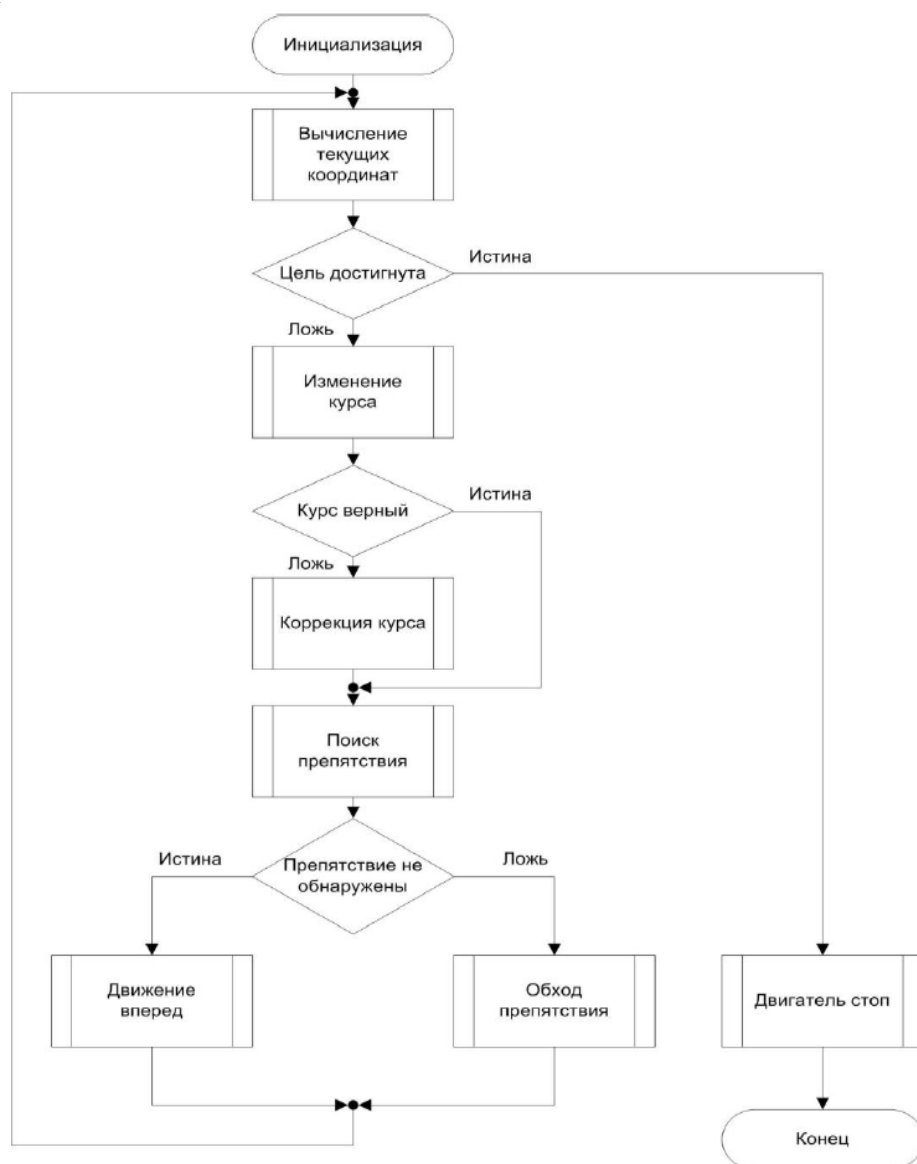


Рис. 2. Блок-схема программы обхода препятствий

Определение значений функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных

Введем две лингвистические переменные: ДИСТАНЦИЯ (расстояние от робота до препятствия) и НАПРАВЛЕНИЕ (угловой сектор обнаружения препятствия). Значения лингвистической переменной ДИСТАНЦИЯ можно определить терминами: ДАЛЕКО, СРЕДНЕ, БЛИЗКО и ОЧЕНЬ БЛИЗКО. Для физической реализации необходимо определить точные значения термов этой переменной. Пусть она принимает значения от нуля до бесконечности. В таком случае, согласно теории нечетких множеств [13-18] каждому значению расстояния из указанного диапазона может быть поставлено в соответствие некоторое число от 0 до 1, которая определяет степень принадлежности данного расстояния до того или другого термина лингвистической переменной. Степень принадлежности определяется функцией $M(d)$, где d - расстояние до препятствия. Переменная НАПРАВЛЕНИЕ принимает значения от 0 до 360 градусов, задана через термы: СЛЕВА, НЕМНОГО СЛЕВА, ПРЯМО, НЕМНОГО СПРАВА и СПРАВА.

Входными сигналами являются: α – сектор обзора датчика (направление) и d – расстояние до препятствия. Выходными сигналами являются: R-right и L-left – входные мощности на левом и правом двигателях.

Задание характеристик входных и выходных лингвистических переменных

Для записи наименования термов входной переменной α – сектор обзора датчика (направление) используют сокращения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Сокращения, используемые для записи наименования термов α

Терм	Сокращение	Англоязычное название	Русскоязычное название
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 большое

Термы СЛЕВА и СПРАВА в решаемой нами задаче объезда препятствий не нужны, однако их введение позволит в будущем реализовать задачу прохождения через туннель и движения вдоль объекта. В рамках эксплуатируемого пространства предполагается, что мобильному роботу не угрожает боковое столкновение и на пути следования нет узких проёмов. Для максимального охвата всего пространства вокруг бота потребовалось бы 8 термов и соответственно 8 датчиков, через каждые 45 градусов.

Далее необходимо сопоставить термам секторов соответствующие значения. Для этого построим график функций принадлежности.

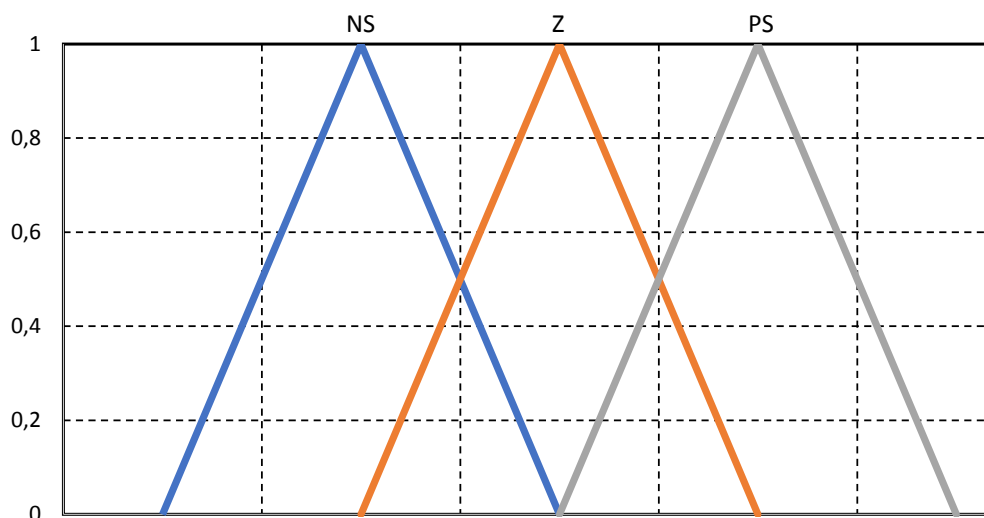


Рис. 3. Характеристические функции нечетких подмножеств входной лингвистической переменной α – сектор обзора

Далее нам необходимо знать значения функций принадлежности $M(\alpha)$ в промежуточных точках на области носителя лингвистических значений. В данном случае областью лингвистических значений являются угловые размеры секторов рабочей области вокруг мобильного робота. В дальнейшем это необходимо для проведения дефазификации.

Таблица 2

Значения функций принадлежности нечетких подмножеств переменной α

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
$M_{NS}(\alpha)$	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	$0.2\pi/4$	$0.4\pi/4$	$0.6\pi/4$	$0.8\pi/4$	$\pi/4$
$M_Z(\alpha)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
α	0	$0.2\pi/4$	$0.4\pi/4$	$0.6\pi/4$	$0.8\pi/4$	$\pi/4$	$1.2\pi/4$	$1.4\pi/4$	$1.6\pi/4$	$1.8\pi/4$	$2\pi/4$
$M_{PS}(\alpha)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0

Входная переменная d - расстояние до препятствия характеризуется аналогичным образом. Для этого сначала вводятся необходимые сокращения табл.3.

Таблица 3

Сокращения, используемые для записи наименования термов d

Терм	Сокращение	Англоязычное название
Далеко	LW	Long away
Средне	M	Medium
Близко	C	Close
Очень близко	VC	Very close

Затем строится график функции принадлежности, представленный на рисунке 4.

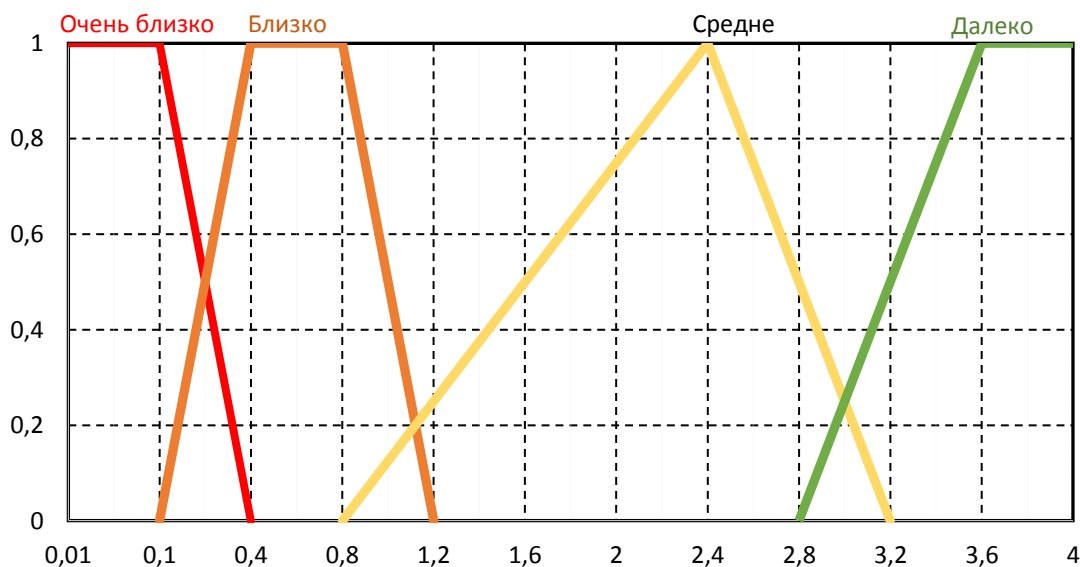


Рис. 4. Характеристические функции нечетких подмножеств входной лингвистической переменной d – дистанция

Пусть робот имеет два независимых колеса, приводимых в движение моторами постоянного тока с диапазоном входных напряжений $\pm 12В$. Введем для входа лингвистические переменные с характерными точками функций принадлежности и их видами. Для правого и левого двигателей вводим две выходных функции принимающие по три функции принадлежности, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Характеристические значения и сокращения выходных переменных

Лингвистическая переменная	Сокращение	Вид функции принадлежности
Правое колесо (Range [-12 12])		
Вращение назад	REVR	Zmf [-8 -3]
Замедление	STR	Trapmf [-5 -3 3 5]
Вращение вперед	DIRR	Smf [3 8]
Левое колесо (Range [-12 12])		
Вращение назад	REVL	Zmf [-8 -3]
Замедление	STL	Trapmf [-5 -3 3 5]
Вращение вперед	DIRL	Smf [3 8]

База знаний нечеткой логической системы включает в свой состав производные правила, которые определяют зависимость между входными и выходными терм-множествами. Выбор необходимого правила определяется угловым сектором, где было обнаружено препятствие, дистанцией до препятствия и наличием свободных зон вокруг робота. Свод правил, включающих себя действия при обнаружении препятствий в разных секторах обзора представлен на таблице 5.

Таблица 5

База правил обхода препятствий

№	Сектор обзора (α)							Дистанция (d)		TO	R		L	
	Название		Обозначение		Название		Обозначение		Правый			Левый		
1	Прямо-слева		NS		И	LW	Далеко		TO	DIRR	И	DIRR		
2	Прямо-слева		NS		И	M	Средне		TO	DIRR	И	DIRR		
3	Прямо-слева		NS		И	C	Близко		TO	STL	И	DIRR		
4	Прямо-слева		NS		И	VC	Очень близко		TO	REVL	И	STL		
5	Прямо		Z		И	LW	Далеко		TO	DIRR	И	DIRR		
6	Прямо		Z		И	M	Средне		TO	DIRR	И	DIRR		
7	Прямо		Z		И	C	Близко		TO	DIRR	И	STL		
8	Прямо		Z		И	VC	Очень близко		TO	REVL	И	REVL		
9	Прямо-справа		PS		И	LW	Далеко		TO	DIRR	И	DIRR		
10	Прямо-справа		PS		И	M	Средне		TO	DIRR	И	DIRR		
11	Прямо-справа		PS		И	C	Близко		TO	DIRR	И	STL		
12	Прямо-справа		PS		И	VC	Очень близко		TO	STL	И	REVL		
13	Прямо-слева	И	Прямо	NS	И	Z	И	LW	Далеко	TO	DIRR	И	DIRR	
14	Прямо-слева	И	Прямо	NS	И	Z	И	M	Средне	TO	DIRR	И	DIRR	
15	Прямо-слева	И	Прямо	NS	И	Z	И	C	Близко	TO	STL	И	DIRR	
16	Прямо-слева	И	Прямо	NS	И	Z	И	VC	Очень близко	TO	STL	И	REVL	
17	Прямо-справа	И	Прямо	PS	И	Z	И	LW	Далеко	TO	DIRR	И	DIRR	
18	Прямо-справа	И	Прямо	PS	И	Z	И	M	Средне	TO	DIRR	И	DIRR	
19	Прямо-справа	И	Прямо	PS	И	Z	И	C	Близко	TO	DIRR	И	STL	
20	Прямо-справа	И	Прямо	PS	И	Z	И	VC	Очень близко	TO	REVL	И	STL	
21	Прямо-справа	И	Прямо-слева	PS	И	NS	И	LW	Далеко	TO	DIRR	И	DIRR	
22	Прямо-справа	И	Прямо-слева	PS	И	NS	И	M	Средне	TO	DIRR	И	DIRR	
23	Прямо-справа	И	Прямо-слева	PS	И	NS	И	C	Близко	TO	DIRR	И	STR	
24	Прямо-справа	И	Прямо-слева	PS	И	NS	И	VC	Очень близко	TO	REVL	И	REVL	

Моделирование базы знаний нечеткой логической системы

Для создания полноценной модели на основе разработанной системы правил воспользуемся пакетом Fuzzy Logic Toolbox MATLAB. При этом используем наиболее распространенную модель «madamani», результаты представлены на рисунке 5.

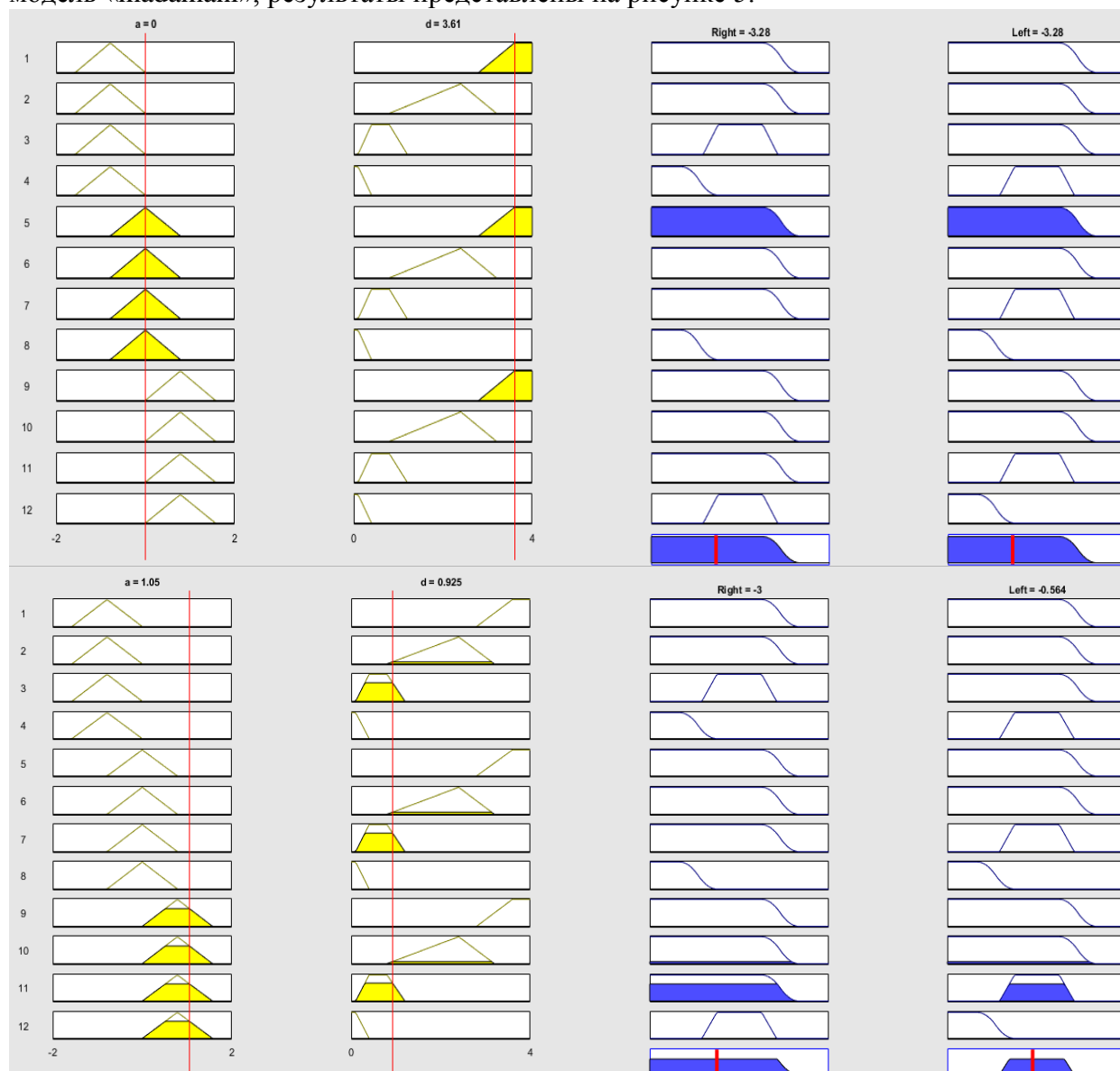


Рис. 5. Результат моделирование обхода препятствий в среде Fuzzy Logic Toolbox MATLAB

В целях наглядности в результатах представлено моделирование только с 1 по 12 правило. На основе полученных данных можно сказать, что при обнаружении препятствия система реагирует на него согласно установленным требованиям и начинает объезд.

Заключение

В данной работе были построены математические модели, описывающие характеристические функции нечетких подмножеств входных и выходных лингвистических переменных нечеткой системы управления мобильным роботом. Для определения значений функций принадлежности в промежуточных точках области носителя лингвистических значений были построены графики характеристических функций нечетких подмножеств соответствующих лингвистических переменных. В итоге был разработан контроль дистанции и сектора обнаружения препятствия.

Предложенная стратегия управления движением мобильного робота внутри помещений и структура системы управления, позволяет декомпозировать задачу, разделив её на два относительно простых, последовательно выполняемых этапа: определения координат и по-

строения маршрута, и обхода возможных препятствий нечетким алгоритмом. Это позволяет придать мобильным роботам новые функциональные возможности, существенно повысить сложность преодолеваемых препятствий. В дальнейшем планируется представить полученные в виде системы уравнений алгебры предикатов, на основе которых возможно построение АП-структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бартышин И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения. – Казань: Отечество, 2001. – 100 с., ил.
2. Власов С.М., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Бесконтактные средства локальной ориентации роботов. –СПб: Университет ИТМО, 2017. -169с.
3. 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.
4. Карпов В. Э., Платонова М. В., Система навигации мобильного робота, Москва, Московский Энергетический Институт (Технический Университет, Россия, лаборатория робототехники и искусственного интеллекта Политехнического музея, реферат, 2013. 7с.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. –СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -736с.: ил.
6. Пегат А., Нечеткое моделирование и управление / Пегат А. - Москва: БИНОМ, 2013. - 798 с. - ISBN 978-5-9963-1319-8
7. 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.
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
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. Александров А.А. Прогнозирование динамики охлаждения заготовок из алюминиевых сплавов при термообработке / А.А. Александров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014 - №1(41). – с. 140-145.
15. Александров А.А. Влияние растяжения заготовок на уровень термических остаточных напряжений / А.А. Александров, А.В. Лившиц // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016 - №4(52). – с. 66-69.
16. Livshits A.V., Filippenko N.G., Homenko A.P., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Dambaev Z.G. Mathematical modelling of the processes of the high-frequency heating of thermoplastics

and quality improvement of welded polymeric items // JP Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. T. 14. № 2. С. 219-226.

17. Ларченко А.Г., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов // Патент на полезную модель RU 132209 U1, 10.09.2013. Заявка № 2013115531/28 от 05.04.2013.

18. А.А., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И., Филатова С.Н. Устройство для определения коэффициентов теплоотдачи Александров // Патент на полезную модель RU 155337 U1, 10.10.2015. Заявка № 2014154288/28 от 30.12.2014.

REFERENCES

1. Bartishin I.Z. The basic operations of fuzzy logic and their generalization. - Kazan: Fatherland, 2001. - 100 p., Ill.
2. Vlasov S.M., Boykov V.I., Bystrov S.V., Grigoriev V.V. Contactless means of local orientation of robots. –SPb: ITMO University, 2017. -169s.
3. Darintsev, OV. Various approaches to controlling the movement of mobile robots based on soft computing [Text] / OV V. Darintsev, A. B. Migranov // Artificial Intelligence. - 2012. - No. 3. - S. 339–347.
4. Karpov V.E., Platonova MV, Navigation system for a mobile robot, Moscow, Moscow Power Engineering Institute (Technical University, Russia, Laboratory of Robotics and Artificial Intelligence, Polytechnic Museum, abstract, 2013. 7p.
5. Leonenkov A.V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH. –SPb.: BHV-Petersburg, 2005. -736 pp.: ill.
6. Pegat A., Fuzzy modeling and control / Pegat A. - Moscow: BINOM, 2013. - 798 p. - ISBN 978-5-9963-1319-8
7. 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.
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
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. Alexandrov A. A. Forecasting of dynamics of cooling of billets from aluminum alloys at heat treatment / A. A. Alexandrov // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2014-No. 1(41). pp. 140-145.

15. Alexandrov A. A. Influence of stretching of billets on the level of thermal residual stresses / A. A. Alexandrov, A.V. Livshits // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2016-No. 4 (52). pp. 66-69.

16. Livshits A.V., Filippenko N.G., Homenko A.P., Kargapoltsev S.K., Gozbenko V.E., Dambaev Z.G. Mathematical modelling of the processes of the high-frequency heating of thermoplastics and quality improvement of welded polymeric items // JP Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. T. 14. № 2. С. 219-226.

17. Larchenko A.G., Livshic A.V., Filippenko N.G., Popov S.I. Ustroistvo diagnostiki detalei iz poliamidnih materialov // Patent na poleznuyu model RU 132209 U1 10.09.2013. Zayavka № 2013115531/28 ot 05.04.2013.

18. A.A. Livshic A.V., Filippenko N.G., Popov S.I., Filatova S.N. Ustroistvo dlya opredeleniya koeffitsientov teplootdachi Aleksandrov // Patent na poleznuyu model RU 155337 U1 10.10.2015. Zayavka № 2014154288/28 ot 30.12.2014.

Информация об авторах

Антошкин Станислав Борисович - к. т. н., доцент, кафедры автоматизация производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: antoshkinsb@gmail.com

Оболтин Роман Юрьевич – магистрант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: roman.oboltin@mail.ru

Authors

Stanislav Borisovich Antoshkin – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor at the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: antoshkinsb@gmail.com

Roman Yurievich Oboltin – Master's student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: roman.oboltin@mail.ru

Для цитирования

Оболтин Р.Ю., Антошкин С.Б. Разработка алгоритмов управления движением автономных мобильных роботов на базе нечеткой логики [Электронный ресурс] / Р.Ю. Оболтин, С.Б. Антошкин // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2020. — №2. — Режим доступа: <http://mnpv.irgups.ru/toma/28-20>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 28.05.2020)

For citation

Oboltin R.Yu., Antoshkin S.B. *Razrabotka algoritmov upravleniya dvizheniyem avtonomnykh mobil'nykh robotov na baze nechetkoy logiki* [Development of algorithms for managing the motion of autonomous mobile robots based on fuzzy logic]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 1. [Accessed 28/05/20]