

УДК 62-522.7:62-529

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Хазиев Э.Л., Хазиев М.Л.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Набережночелнинский институт (филиал), Naberezhnye Chelny, e-mail: emilius@yandex.ru

Существующий недостаток пневматических роботов, управляемых по схеме путевой автоматики, заключается в том, что применяемые пневмоприводы работают в конечных положениях, поэтому существует необходимость гибкого управления позиционированием рабочих органов в диапазонах их возможных перемещений. Статья посвящена разработке и исследованию системы управления с целью программного слежения за положением пневмоприводов робота на основе нечеткой логики с конечной задачей улучшения качественных показателей управления пневматическим роботом, а именно точности позиционирования в промежуточных точках возможных перемещений, с сохранением высокого быстродействия и позволяет оперативно менять режимы работы пневматического робота. Разработка программы работы системы управления роботом на основе нечеткой логики состоит из нескольких этапов: экспертный режим работы; этап формирования массивов параметров, изменяемых во времени, полученных экспериментально; этап фаззификации, этап формирования базы правил; этап дефаззификации и этап формирования команд управления с учетом нечеткого вывода.

Ключевые слова: пневматический робот, управление, нечеткая логика

CONTROL SYSTEM PNEUMATIC ROBOT BASED ON FUZZY LOGIC

Khaziev E.L., Khaziev M.L.

Federal State Autonomous Educational Institution I.N. Kazan (Volga region) Federal University,
Naberezhnye Chelny Institute (branch), Naberezhnye Chelny, e-mail: emilius@yandex.ru

The existing disadvantage of pneumatic robots controlled by the scheme limit automation is that the applied pneumatic actuator working in both end positions, so there is a need for flexible control of the positioning of the working bodies in the range of their possible movements. The article is devoted to research and development of control system software for the purpose of tracking the position of a pneumatic robot based on fuzzy logic with the ultimate goal of the quality control of pneumatic robot, namely the accuracy of positioning at intermediate points possible movements, while maintaining high performance and allows you to quickly change the mode of operation of the pneumatic robot. The development of the programme of work of the control system of the robot based on fuzzy logic consists of several stages: expert mode; the stage of formation of arrays of parameters are modified in time, obtained experimentally; the stage of fuzzification, the stage of formation of the rule base; defuzzification stage and the stage of forming of control commands based fuzzy inference. Keywords: pneumatic robot control, fuzzy logic.

Keywords: pneumatic robot, control, fuzzy logic

Пневматические роботы нашли широкое применение в машиностроительном производстве. Они используются во многих технологических процессах и операциях: штамповки, резки, механической сборки, монтаже, сварке и др. Пневматические роботы, в отличие от электромеханических, дешевы, компактны, безопасны, обладают высокой надежностью и высоким ресурсом работы, перепрофилирование производства с использованием пневматических роботов доступнее. Одной из распространенных и актуальных задач, возникающих при автоматизации производства, является позиционирование рабочих органов роботов с заданной точностью и быстродействием, с конечной целью обеспечения заданных показателей качества технологического процесса.

Решение этой задачи заключается в создании рациональных конструкций пневматических робототехнических механизмов, с параллельным совершенствованием способов программного управления ими, или

с учетом информации о среде, или управления функционально законченными действиями, или с применением самообучаемых моделей функционирования на основе искусственного интеллекта.

В данной работе рассмотрена методика формирования управляющих программ робота на основе нечетких коэффициентов, позволяющих гибко управлять пневмодвигателями робота. Приведены результаты экспериментов.

Основная часть

Разработанная аппаратно-программная система управления пневматическим роботом с использованием крановых пневмораспределителей (КПР) на основе нечеткой логики показана на рис. 1. Работа системы основана на адаптивном программном управлении, с использованием нечеткой логики на основе отслеживаемых данных от датчиков обратной связи (измерители пути) магнитострикционного типа. Для

обеспечения приемлемых расходов газа и высоких динамических характеристик пневмоприводов робота используются крановые пневмораспределители с приводом от электрических шаговых двигателей (Патент RU 158927 U1. 2016 бюл. № 2), конвертирующих прямоугольные импульсы электрического напряжения в механическое вращение. За рабочие положения каждого пневмопривода отвечает пара КПП, за исключением пневмопривода механизма захвата, в нем используется один КПП. В качестве регулятора давления также применен КПП с управлением от электрического шагового двигателя, обратная связь в нем осуществляется при помощи датчика давления пьезоэлектрического типа.

Обучаемая программная часть системы включает следующие блоки.

«Блок обучения» получает данные с датчика обратной связи и фактически управляет «блоком элементарных программ управления». Эти данные формируют базу знаний, на основе которой формируются управляющие правила. Эти правила также могут задаваться или изменяться на основе команд, задаваемых в экспертном режиме.

Функционирование базы знаний нечеткого контроллера осуществляется на трех уровнях. На первом уровне располагаются лингвистические переменные, использу-

емые для фаззификации данных. Лингвистические переменные формируются экспертным путем в «блоке задания параметров режимов работы робота» и методами прямых измерений при помощи магнитоэлектрического датчика измерителя пути. На этом уровне определяется базовый диапазон и число нечетких меток на нем, а также тип функции принадлежности. Количество нечетких меток влияет на точность управления.

На втором уровне сохранены нечеткие правила управления, применяемые для преобразования задаваемых параметров в управляющие. Эти правила составляются из лингвистических переменных, определенных на уровне выше.

На третьем уровне осуществляется соответствие полученных правил с реальными элементарными командами управления блока числового программного управления, которые сохраняются в блоке «База данных программ задания режимов работы робота» и в дальнейшем исполняются «блоком элементарных программ управления».

Разработка программы работы системы управления роботом на основе нечеткой логики включает несколько этапов.

В начале экспертным путем задаются режимы работы – типовой характер работы робота на основе элементарных программ управления.

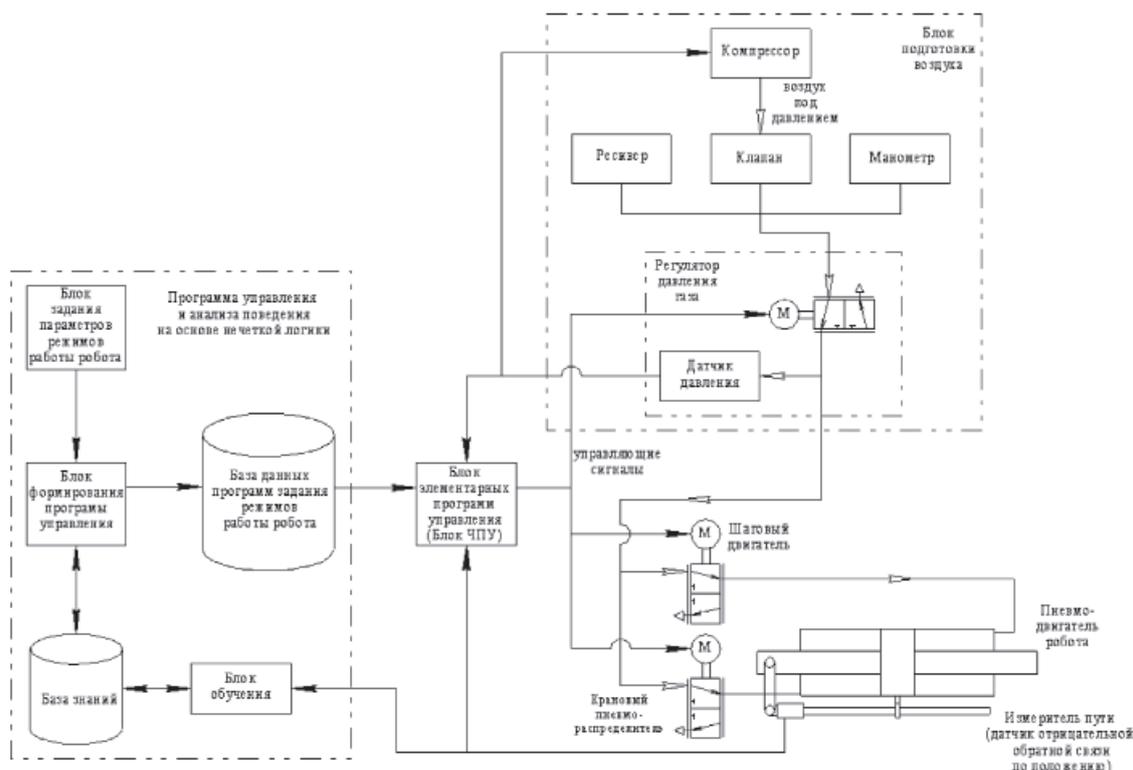


Рис. 1. Схема системы управления пневматическим роботом

На втором этапе, на основе характеристической методики работы робота, формируются изменения параметров во времени.

Следующий этап включает получение множества экспериментальных данных параметров (L, α_1, α_2) работы робота в соответствии с технологическим процессом по перемещению деталей разной массы. Для примера в таблице приведены данные с перемещаемой полезной нагрузкой, равной 0,1 кг.

На четвертом этапе проводится фаззификация, то есть преобразование четких экспериментальных значений входных переменных в нечеткие с использованием лингвистического описания параметров (L, α_1, α_2).

Построение систем нечеткого вывода основано на понятии лингвистической переменной:

$$\langle X, U, FL(x), Stx(x), Sem(x) \rangle, \quad (1)$$

где X – название конкретного параметра (L, α_1, α_2); U – базовое множество диапазона значений параметров L, α_1, α_2 ; $FL(x)$ – нечеткие метки; $Stx(x)$ – синтаксические правила формирования команд управления; $Sem(x)$ – семантические множества, показывающие отношения лингвистических переменных друг на друга.

В аналитическом виде треугольная функция принадлежности может быть задана следующим образом [1]:

$$f(x, a, b, c) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & x > c, \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где x – базовое значение; b – нечеткая метка, соответствующая вершине распределения; a – левая граница функции принадлежности; c – правая граница функции принадлежности.

В аналитическом виде симметричная Гауссова функция принадлежности может быть задана следующим образом:

$$f(x, \sigma, b) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где b – координата максимума функции принадлежности; σ – коэффициент концентрации функции принадлежности.

Пример таблицы параметров L, α_1, α_2

$L, \text{ м}$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
$\alpha_1, \text{ град}$	12,5	12	11,5	11	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	0
$\alpha_2, \text{ град}$	0	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5

Лингвистическая переменная L – это линейная длина измерительного элемента – волновода, датчика измерителя пути. Разбиваем показания L на нечеткие метки – 21 точку (0; 0,01; 0,02; 0,03; ...; 0,2 м), α_1, α_2 – углы поворота шаговых двигателей КТР рассматриваемого привода.

Связь между базовым множеством параметров и нечеткими метками осуществляется при помощи функций принадлежности. Совместное рассмотрение лингвистических переменных L, α_1, α_2 лучше всего описывается треугольными (для L) и гауссовыми (для α_1, α_2) функциями принадлежности.

Далее на основе лингвистических переменных формируются нечеткие фреймы управления типа ЕСЛИ L ТО α_1 И α_2 .

На основе полученных фреймов формируется база знаний:

ЕСЛИ $L_{\text{низ}}$ ТО $\alpha_{1\text{выс}}$ И $\alpha_{2\text{низ}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{ниже сред}}$ ТО $\alpha_{1\text{выше сред}}$ И $\alpha_{2\text{ниже сред}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{сред}}$ ТО $\alpha_{1\text{сред}}$ И $\alpha_{2\text{сред}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{выше сред}}$ ТО $\alpha_{1\text{ниже сред}}$ И $\alpha_{2\text{выше сред}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{выс}}$ ТО $\alpha_{1\text{низ}}$ И $\alpha_{2\text{высок}}$.

С их помощью получаем приближенный нечеткий результат.

Заключительный этап – дефаззификация, то есть приведение нечетких фреймов управления реальным управляющим командам, которые записываются и хранятся в БД.

Проведем дефаззификацию по методу Мамдани.

Выходная переменная относительно одной лингвистической переменной определяется как:

$$y_{x_i} = \sum a_i \cdot \mu_{x_i}(a_i), \quad (4)$$

где x – четкое значение переменной A ; y_{x_i} – выходная переменная y относительно лингвистической переменной A ; a_{x_i} – нечеткие метки, принадлежащие лингвистической переменной A ; $\mu_x(a_{x_i})$ – принадлежность переменной x к соответствующей нечеткой метке.

Тогда выходные данные для α_1, α_2 запишем

$$\begin{cases} y_{\alpha_1} = \sum a_{\alpha_1} \cdot \mu_{\alpha_1}(a_{\alpha_1}); \\ y_{\alpha_2} = \sum a_{\alpha_2} \cdot \mu_{\alpha_2}(a_{\alpha_2}) \end{cases} \quad (5)$$

или

$$\begin{cases} y_{\alpha_1} = a_{\alpha_1 \text{выс}} \cdot \mu_{\alpha_1 \text{выс}} + a_{\alpha_1 \text{выше сред}} \cdot \mu_{\alpha_1 \text{выше сред}} + a_{\alpha_1 \text{сред}} \cdot \mu_{\alpha_1 \text{сред}} + \\ \quad + a_{\alpha_1 \text{ниже сред}} \cdot \mu_{\alpha_1 \text{ниже сред}} + a_{\alpha_1 \text{низ}} \cdot \mu_{\alpha_1 \text{низ}}; \\ y_{\alpha_2} = a_{\alpha_2 \text{выс}} \cdot \mu_{\alpha_2 \text{выс}} + a_{\alpha_2 \text{выше сред}} \cdot \mu_{\alpha_2 \text{выше сред}} + a_{\alpha_2 \text{сред}} \cdot \mu_{\alpha_2 \text{сред}} + \\ \quad + a_{\alpha_2 \text{ниже сред}} \cdot \mu_{\alpha_2 \text{ниже сред}} + a_{\alpha_2 \text{низ}} \cdot \mu_{\alpha_2 \text{низ}}. \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, четкий вывод будет рассчитываться как сумма произведений переменных с добавлением дополнительной метки направления:

$$y = \sum_{i=1}^n y_{x_i} \cdot \text{sign}(y), \quad (7)$$

где y – четкое выходное значение; y_{x_i} – выходная переменная относительно соответствующей лингвистической переменной; n – количество лингвистических переменных; $\text{sign}(y)$ – метка сигнатуры направления движения, определяется по приращению относительно двух точек, пройденных пневмодвигателем.

Метка сигнатуры направления необходима для преодоления точки равновесия α_1 и α_2 , а также она применяется для записи сопутствующих физических данных.

В дальнейшем значение y учитывается в командах управления роботом верхнего и нижнего уровня.

На рис. 2 приведено окно визуализации нечеткого логического вывода.

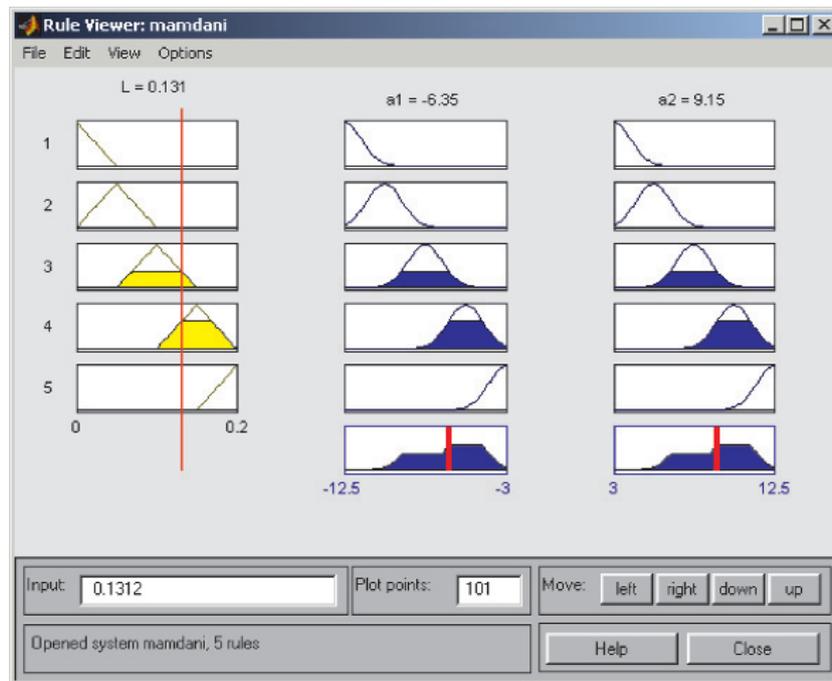


Рис. 2. Визуализация нечеткого логического вывода в среде Matlab

Результаты экспериментов

Испытания подтвердили работоспособность модели; разработана экспериментальная установка на базе пневматического робота МП-9С с применением предлагаемой аппаратно-программной системы управления и проведены экспериментальные исследования ее динамических характеристик; погрешность позиционирования рабочего органа робота при рабочей нагрузке 0,1 кг составила ~ 0,14 мм (или 0,1 %) при доверительной вероятности 0,993. Проведено сравнительное исследование с существующим аналогом, показавшее, что при использовании предлагаемой системы управления и в зависимости от заданной программы работы повышается быстродействие при достижении конечных положений выходных звеньев робота, возможна регулировка скорости, а также позиционирование рабочего органа робота в промежуточных положениях за счет программного управления шаговыми двигателями; установлено, что быстродействие предложенной системы управления выше на 16,7 % по сравнению с системой с использованием ближайшего аналога.

Выводы

Предлагаемая система управления пневматическим роботом на основе нечеткой логики позволяет управлять пневмоприводом робота по разностному способу включения крановых регулирующих устройств за счет программного управле-

ния их приводами, – электрическими шаговыми двигателями, с использованием методов нечеткой логики; повысить качество процесса управления пневматическим роботом за счет управляемого регулирования этапов замедления и ускорения при достижении промежуточных положений приводов его исполнительных механизмов с погрешностью не более 0,1 %.

Список литературы

1. Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А. и др.; под ред. Н.Г. Ярушкиной. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика. – М.: Физматлит, 2007. – 208 с.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.: ил.
3. Хазиев Э.Л. Математическое моделирование системы управления пневматического манипулятора промышленного робота // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – Вып. № 3. – С. 173–177.
4. Хазиев Э.Л. Система управления пневматическим промышленным роботом // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – Вып. № 4. – С. 216–222.
5. Хазиев Э.Л. Расчет основных параметров кранового пневмораспределителя промышленного робота // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – Вып. № 4. – С. 223–226.
6. Хазиев Э.Л. Имитационное моделирование работы пневматического промышленного робота // Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2014): сборник трудов материалов международной научно-практической конференции / ред. кол. Л.А. Симонова [и др.]; под. ред. Л.А. Симоновой, С.К. Савицкого. – Набережные Челны: Изд-во Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 2014. – С. 230–238.
7. Хазиев Э.Л., Дмитриев С.В. Пневматический распределитель // Патент RU 158927 U1. 2016 бюл. № 2.