Чёрный С. П., Васильченко С. А., Гудим А. С., Полей Е. О., Бузикаева А. В.

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ НЕЧЁТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Чёрный С. П., Васильченко С. А., Гудим А. С., Полей Е. О., Бузикаева А. В.

S. P. Cherny, S. A. Vasilchenko, A. S. Gudim, Ye. O. Poley, A. V. Buzikaeva

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ НЕЧЁТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

ONE OF THE APPROACHES TO IMPLEMENT THE MODEL OF THE FUZZY LOGICAL REGULATOR WITH SPATIAL FUNCTIONS OF ACCESSORIES

Чёрный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Mr. Sergey P. Cherny – PHD in Engineering, associate Professor, Electric drive and automation of industrial installations Department of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Васильченко Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Mr. Sergey A. Vasilchenko – PHD in Engineering, associate Professor, Electric drive and automation of industrial installations Department of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Гудим Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: epapu@knastu.ru.

Mr. Alexander S. Gudim – candidate of technical Sciences, associate Professor, associate Professor of electric drive and automation of industrial plants of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: epapu@knastu.ru.

Полей Евгений Олегович – магистр Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Mr. Yevgeny O. Poley – Master's Degree student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Бузикаева Алина Валерьевна – магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Alina V. Buzikaeva – Master's Degree student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kepapu@knastu.ru.

Аннотация. В работе представлена модель нечёткого логического регулятора с пространственными функциями принадлежности. Структурное решение такой интеллектуальной системы включает в себя четыре нечётких регулятора, три из которых используют алгоритмы вывода Мамдани, четвёртый представляет собой интеллектуальное переключающее устройство с алгоритмом вывода Сугено.

Summari. The paper presents a model of fuzzy logic controller with spatial membership functions. The structural solution of such an intelligent system includes four fuzzy regulators, three of which use the Mamdani output algorithms, the fourth is an intelligent switching device with the Sugeno output algorithm.

Ключевые слова: нечёткий логический регулятор с алгоритмом вывода Мамдани, интеллектуальное переключающее устройство с алгоритмом вывода Сугено, интеллектуальная система управления.

Key words: fuzzy logic controller with Mamdani output algorithm, intelligent switching device with Sugeno output algorithm, intelligent control system.

УДК 681.5.01:658.5

Введение

Системы управления, разрабатываемые или дополняемые нечёткой логикой, развиваются с высокой скоростью. Это связано с тем, что системы управления, содержащие элементы нечёткой логики, позволяют управлять там, где вычислительные алгоритмы бессильны.

Таким образом, система управления на базе нечёткой логики способна принимать решения, близкие к действиям инженера, то есть обучаться и подстраиваться под изменяющиеся условия окружающей среды [3].

Актуальность технологии заключается, прежде всего, в тенденции увеличения сложности математических моделей реальных систем и процессов управления, связанной с желанием повысить их адекватность и учесть всё большее число различных факторов, оказывающих влияние на процессы принятия решений. В работе рассмотрена возможность моделирования нечёткой интеллектуальной системы с пространственными функциями принадлежности для управления сложными технологическими объектами, которые чаще всего обладают свойствами уникальности, слабоструктурированности и отсутствием формальных критериев существования. Нечёткие регуляторы с пространственными функциями принадлежности позволяют организовывать процесс управления целым классом объектов, что в конечном результате приводит к формированию экспертной системы [6].

Для разработки управления системы будет использовано моделирование технологического процесса и непрерывно-детерминированный подход [5]. На рис. 1 изображена структурная схема электропривода.

Рис. 1. Структурная схема электропривода с подчинённым регулированием тока и скорости

Для синтеза нечёткой системы управления с алгоритмом вывода Мамдани за основу принимается рассчитанная модель следящего электропривода. Классический регулятор положения заменяется нечётким регулятором с алгоритмом вывода Мамдани, что и показано на рис. 2.

Рис. 2. Модель электропривода постоянного тока с нечётким регулятором

Нечёткий логический регулятор (НЛР) анализирует сигнал ошибки и имеет на своём входе лингвистическую переменную *input1*, выход регулятора формализуется одной лингвистической переменной *output1*. Функционирование данного регулятора осуществляется с применением нечёткого логического вывода Мамдани [2].

Рис. 3. Функциональная схема нечёткого логического регулятора

Лингвистическая переменная *input1* формализует понятия первого входного сигнала нечёткого регулятора – сигнал ошибки по положению. Выбор диапазона области определения лингвистических переменных производится по переходному процессу системы с классическим регулятором. В области определения базового терм-множества лингвистической переменной распределены пять аппроксимированных функций принадлежности нечётких переменных треугольного вида [4].

Лингвистическая переменная *output1* формализует понятия первого входного сигнала нечёткого регулятора – сигнал ошибки по положению. Выбор диапазона области определения лингвистических переменных производится по переходному процессу системы с классическим регулятором. В области определения базового терм-множества лингвистической переменной также распределены пять аппроксимированных функций принадлежности нечётких переменных треугольного вида.

Для формирования модели нечёткого регулятора с пространственными функциями принадлежности необходимо реализовать сложную многокаскадную интеллектуальную систему, включающую в себя ряд простейших регуляторов Мамдани, имеющих единственные функции принадлежности на входе и выходе и интеллектуальное переключающее устройство с алгоритмом вывода Сугено, обладающее единственной лингвистической переменной на входе и тремя информационными выходами [1].

Для формирования внутреннего каскада интеллектуальной системы необходимо уменьшить диапазон регулирования нечёткого регулятора Мамдани, представленного на рисунке 2, на 30 %, а также сформировать подобный регулятор с расширенным на 30 % диапазоном регулирования.

База знаний состоит из набора продукционных правил, остаётся неизменной для всех вышеприведённых регуляторов и имеет следующий вид:

1. Если «*input1*» есть *Z*, то «*output1*» есть *Z*.
2. Если «*input1*» есть *MP*, то «*output1*» есть *MP*.
3. Если «*input1*» есть *P*, то «*output1*» есть *P*.
4. Если «*input1*» есть *O*, то «*output1*» есть *O*.

Введём в систему интеллектуальное переключающее устройство, основной функцией которого будет моделирование функции принадлежности пространственной формы. Оно представляет собой нечёткий логический регулятор с алгоритмом вывода Сугено и тремя элементами умножения (см. рис. 4).

Рис. 4. Модель интеллектуального переключающего устройства

Нечёткий логический регулятор, представленный на рис. 5, анализирует сигнал ошибки и имеет на своём входе одну лингвистическую переменную *input1*; выход регулятора формализуется тремя лингвистическими переменными *output1*, *output2*, *output3*. Функционирование данного регулятора осуществляется с применением нечёткого алгоритма вывода Сугено.

Рис. 5. Функциональная схема нечёткого логического регулятора

Лингвистическая переменная *input1* формализует понятия первого входного сигнала нечёткого регулятора – сигнал ошибки по положению. Область определения представляет собой диапазон $[0 \dots 10,4]$. В области определения базового терм-множества лингвистической переменной распределены три аппроксимированные функции принадлежности нечётких переменных в виде трапеций. Лингвистическая переменная *output1* формализует понятие выходного сигнала нечёткого регулятора. Область определения представляет собой диапазон $[0 \dots 1]$. Базовое терм-множество T (лингвистических переменных) – состоит из следующих элементов: $T = \{Z, P\}$, где Z – постоянная величина, равная нулю; P – постоянная величина, равная единице; названия нечётких переменных лингвистической переменной *output1*.

Нечёткая продукционная база знаний нечёткого логического регулятора представляет собой перечень из трёх правил и имеет следующий вид:

1. Если «*input1*» есть Z , то «*output1*» = 0, «*output2*» = 1, «*output3*» = 0.
2. Если «*input1*» есть P , то «*output1*» = 1, «*output2*» = 0, «*output3*» = 0.
3. Если «*input1*» есть MP , то «*output1*» = 0, «*output2*» = 0, «*output3*» = 1.

[illegible]

Проверка работоспособности системы заключается в изменении задающего сигнала на 30 % от исходной величины, тем самым формируются три сигнала со значениями 5,6 (-30 % от исходного), 8 (исходный сигнал), 10,4 (+30 % от исходного); на классическую систему подаются аналогичные сигналы задания. В результате моделирования получены следующие графики переходных процессов системы (см. рис. 7–9).

29

Рис. 8. Переходный процесс системы с классическим и нечётким регуляторами с исходным управляющим сигналом:
1 – система с классическим регулятором; 2 – система с нечётким регулятором

Рис. 9. Переходный процесс системы с классическим и нечётким регуляторами с управляющим сигналом +30 % от исходного:
1 – система с классическим регулятором; 2 – система с нечётким регулятором

Таким образом, для реализации пространственной формы функции принадлежности получим интеллектуальный регулятор, представленный на рис. 10.

Рис. 10. Интеллектуальный регулятор с пространственными функциями принадлежности

Представленная интеллектуальная система, имеющая в своём составе двухкаскадный набор нечётких регуляторов, формирует пространственные функции принадлежности следующего вида (см. рис. 11).

Рис. 11. Пространственные функции принадлежности

Представленные вариации сигналов не ограничивают возможности регулятора, он остаётся восприимчивым к изменениям внешних факторов вплоть до установленных крайних точек диапазонов регулирования. Такой подход к реализации нечётких систем позволяет существенно повысить универсальность интеллектуального регулятора, расширить его адаптивные свойства и значительно упростить процессы настройки и перенастройки, а также сократить информационную избыточность и алгоритмическую сложность таких регуляторов при их реализации в виде единого модуля.

Подводя итог вышеизложенному, можно заключить, что регуляторы, построенные с использованием классических методов, не обладают необходимой гибкостью, особенно при внедрении в систему недетерминированных возмущающих воздействий. Главным достоинством интеллектуальной системы управления является её гибкость и робастность к целому ряду как внешних, так и внутренних воздействий. Вместе с тем робастные свойства нечёткого регулятора ограничены некоторым пределом, что влечёт за собой необходимость более точной настройки при изменении внутренних параметров объекта регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие / В. А. Соловьев, С. П. Чёрный. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУ ВПО «КНАГТУ», 2006. – 74 с.
2. Соловьев, В. А. Многокаскадные нечёткие системы управления мобильной установкой пиролиза древесины / В. А. Соловьев, С. П. Чёрный, А. И. Малюкова. // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2010. – № 3. – С. 45-51.
3. Чёрный, С. П. Анализ влияния параметров объекта управления на основные характеристики нечёткого регулятора / С. П. Чёрный, А. В. Бузикаева, Е. О. Полей, Чжо Мин У // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № I-1(33). – С. 28-33.
4. Чёрный, С. П. Нечёткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока / С. П. Чёрный, А. А. Гусаров // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № II-1(6). – С. 24-30.
5. Чёрный, С. П. Нечёткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока / С. П. Чёрный, Д. А. Новак // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. – № 4(28). – С. 56-60.
6. Cherny, S. P. Another approach to enhancement of fuzzy controller intellectual capabilities / S. P. Cherny, V. A. Solovyev // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE Xplore Conference Publications. – 2017. – P. 1-4.