

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИКА

Махмудов Г.Б.,
Саидова А.Х.,
Мохилова Н.Т.,
Ибрагимова Ч.К.

Навоийский государственный горный институт

Аннотация. В данной статье проанализирована литература по изучению и построению интеллектуальных систем управления на основе нечеткого регулятора, а также описаны методы и алгоритмы работы ученых, разработавших нечеткие регуляторы.

Ключевые слова. Нечеткая логика, интеллектуальной системы управления, регулятор, нечеткий множество.

Annotation. This article analyzes the literature on the study and construction of intelligent control systems based on a fuzzy controller, and also describes the methods and algorithms of the work of scientists who have developed fuzzy controllers.

Keywords. Fuzzy logic, intelligent control system, regulator, fuzzy set.

В современной теории управления, помимо традиционных направлений, основанных на строгой математической формализации, получили развитие и успешное применение эвристические подходы, строгая доказательность которых отсутствует, но демонстрирующие достаточно высокую эффективность на практике. Одним из таких подходов является использование нечеткой логики и процедуры нечеткого вывода при описании и решении задач управления.

Наиболее поразительным свойством человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Построение моделей приближенных рассуждений человека и использование их в компьютерных системах будущих поколений представляет сегодня одну из важнейших проблем науки. Поэтому цель данной статьи изучить метод работы с нечеткой информацией – нечеткую логику.

Понятие нечеткой логики изучалось с 1920-х годов, но термин «нечеткая логика» был впервые использован в 1965 году Л. Заде, профессором Калифорнийского университета в Беркли. Он заметил, что обычная компьютерная логика не способна манипулировать данными, представляющими субъективные или неясные человеческие идеи [1].

В 1965 году Л. А. Заде опубликовал интересную и новаторскую статью о «Нечетких множествах». Эта статья описывает математику теории нечетких множеств, которая затем привела к развитию фундаментальных идей нечеткой логики. Как описано в статье, нечеткое множество — это класс объектов с континуумом степеней принадлежности. Такой набор характеризуется функцией принадлежности, которая присваивает каждому объекту степень принадлежности в диапазоне от нуля до единицы. Затем Заде развил эту идею в последующей статье 1975 г., в которой была введена концепция лингвистических переменных.

В 1987 г. Ягер, Овхинников, Тонг и Нгуен опубликовали отредактированный том под названием «Нечеткое множество и приложения». Эта книга представляет собой сборник избранных статей Заде по нечеткой логике. Редакторы разделили статьи на три основные

категории следующим образом: формальные основания, приблизительное рассуждение и представление смысла.

В 1975 году Мамдани и Ассилиан опубликовали статью под названием «Эксперимент лингвистического синтеза с нечетким логическим контроллером». В этой статье описано первое применение теории нечетких множеств в практическом контексте систем управления. В документе представлены шаги, предпринятые для управления комбинацией парового двигателя и котла путем синтеза набора лингвистических правил управления, полученных от опытных операторов-людей. Входами для нечеткого логического управления в этом случае были «ошибка» и «изменение ошибки», и это во многом было похоже на входы, используемые в обычных ПИ-регуляторах. В других работах, представленных впоследствии Мамдани и его соавторами, описано применение этой концепции лингвистического синтеза к ряду управляющих приложений. Этот подход остается одним из самых популярных и часто используемых методов при разработке контроллеров с нечеткой логикой. В этом исследовании подход типа Мамдани был использован для разработки контроллера с нечеткой логикой для пилотной установки нейтрализации pH.

Помимо работы Мамдани и его коллег, существуют и другие интересные подходы, которые оказались полезными для разработки систем управления на основе нечеткой логики, и работа Сугено особенно важна в этом отношении. В этом подходе нечеткий логический контроллер использует экспериментальные данные для разработки стратегии управления. Еще одно важное различие между методом Мамдани и методом Сугено заключается в выходной функции принадлежности. Для метода Сугено выходные функции принадлежности либо линейны, либо постоянны.

Хотя первая литература по нечеткой логике была представлена и представлена в США, исследователи и производители в Северной Америке не стремились внедрять эту технологию на начальных этапах. Европейцы и японцы были первыми, кто агрессивно применил нечеткий подход к реальным инженерным задачам и создал на его основе настоящие продукты. Сообщалось, что первым промышленным применением, в котором нечеткая логика была реализована в качестве схемы управления, была цементная печь, построенная в Дании в 1975 году. Десять лет спустя Сэйдзи Ясунобу и Соджи Миямото построили модель, которая продемонстрировала превосходство одной из форм нечеткой системы управления для Сендайской железной дороги. Через два года после этого идея была принята и для управления ускорением использовались нечеткие системы, торможение и остановка поездов.

В 1987 г. в Японии были анонсированы первые нечеткие чипы, и с тех пор появилось много электроприборов японской разработки, таких как стиральные машины, посудомоечные машины, кондиционеры, телевизоры и фотокопировальные машины, которые используют концепции нечеткой логики в той или иной форме схемы управления.

В 1994 г. Коско доказал теорему о нечеткой аппроксимации, согласно которой, любая математическая система может быть аппроксимирована системой на нечеткой логике. Следовательно, с помощью естественно-языковых высказываний, с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколь угодно точно отразить произвольную взаимосвязь «входы - выход» без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчисления, традиционно применяемого в управлении и идентификации. Практические успехи нечеткого управления получили теоретическое обоснование.

Сегодня нечеткая логика рассматривается как стандартный метод моделирования и проектирования. В 1997 г. язык нечеткого управления (Fuzzy Control Language) внесен в Международный стандарт программируемых контроллеров IEC 1131-7. Системы на

нечетких множествах разработаны и успешно внедрены в таких областях, как: медицинская диагностика, техническая диагностика, финансовый менеджмент, управление персоналом, биржевое прогнозирование, распознавание образов, разведка ископаемых, выявление мошенничества, управление компьютерными сетями, управление технологическими процессами, управление транспортом, логистика, поиск информации в Интернете, радиосвязь и телевидение. Спектр приложений очень широкий - от бытовых видеокамер, пылесосов и стиральных машин до средств наведения ракет ПВО и управления боевыми вертолетами и самолетами. По прежнему лидирует Япония, в которой выпущено свыше 4800 «нечетких» патентов (для сравнения, в США их около 1700). Практический опыт разработки систем на нечетких множествах свидетельствует, что сроки и стоимость их проектирования значительно ниже, чем при использовании традиционного математического аппарата, при этом обеспечиваются требуемые уровни качества.

В современной литературе предложено несколько основных алгоритмов, реализующих нечеткий логический вывод в имитационном моделировании и получивших наибольшее применение:

1. Алгоритм Мамдани.
2. Алгоритм Цукамото.
3. Алгоритм Ларсена.
4. Алгоритм Сугено.

Алгоритм Мамдани. Мамдани в качестве метода для управления паровым двигателем. По своей сути этот алгоритм порождает рассмотренные выше этапы, поскольку в наибольшей степени соответствует их параметрам.

Формально алгоритм Мамдани может быть определен следующим образом:

1. Формирование базы правил
2. Фаификация входных переменных
3. Агрегирования подусловий

Для агрегирования используются стандартные логические операции, в частности $\min$ и $\max$. Для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов.

4. Активизация подзаклучений

В алгоритме Мамдани используется $\min$ активизация

$$\mu'(y) = \min(C_i, \mu(y))$$

5. Аккумуляция

Аккумуляция осуществляется с помощью функции $\max$ конкретно в алгоритме Мамдани

6. Дефаификация

Алгоритм Цукамото. Формально алгоритм может быть определен следующим образом:

1. Формирование базы правил
2. Фаификация входных переменных
3. Агрегирования подусловий

Для нахождения степени истинности условий всех правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов.

4. Активизация подзаклучений

Осуществляется аналогично алгоритму Мамдани. После чего находятся четкие значения всех выходных лингвистических переменных

$$C_i = (C_{i1} + C_{i2}) / 2$$

$$w_i = \mu(C_i)$$

5. Аккумуляция

6. Дефазификация

Используется модифицированный метод центра тяжести для одноточечных множеств:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n C_i w_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

Алгоритм Ларсена. Формально алгоритм может быть определен следующим образом:

1. Формирование базы правил

2. Фазификация входных переменных

3. Агрегирования подусловий

Используются парные логические операции, как правило, *max* дизъюнкция и *min* конъюнкция

4. Активизация подзаклучений

В алгоритме Ларсона используется *prod* активизация. Значение функции принадлежности находится

$$C_i * \mu_i(y)$$

$$\text{где } C_i = r_i'' * F_i$$

F_i – вес *i*-го правила

r_i'' – результат активизации

5. Аккумуляция

6. Дефазификация

Алгоритм Сугено

1. Формирование базы правил

Используется правило вида:

$$\text{ЕСЛИ « } \beta_1 \text{ есть } \alpha_1 \text{ » И « } \beta_2 \text{ есть } \alpha_2 \text{ » ТО } w = \varepsilon_1 \cdot a_1 + \varepsilon_2 \cdot a_2$$

Где ε_1 и ε_2 это некоторые весовые коэффициенты,

Для двух входных переменных можно представить так:

$$w = \varepsilon_1 \cdot x + \varepsilon_2 \cdot y$$

При этом значение выходной переменной *w* в заключении определяется как некоторое действительное число.

2. Фазификация входных переменных

3. Агрегирования подусловий

4. Активизация подзаклучений

Сначала находится значение степени истинности всех условий. Потом находится значение *C*, где вместо x_1 и x_2 используется конкретные значения входных переменных до этапа фазификации. Таким образом, получаем множество значений с координатами

$$w \text{ и весом } C_i$$

$$\text{где } C_i = b_i'' * F_i$$

F_i – вес *i*-го правила

r_i'' – результат активизации

5. Аккумуляция

6. Дефазификация

Используется модифицированный вариант в форме метода центра тяжести для однотоочечных множеств:

$$y = \frac{\sum_i C_i w_i}{\sum_i C_i}$$

В настоящее время количество успешных фаззи-применений исчисляется тысячами. Интуитивная простота нечеткой логики, как методологии разрешения проблем, гарантирует ее успешное использование во встроенных системах контроля и анализа информации. При этом происходит подключение человеческой интуиции и опыта оператора эксперта.

Смещение центра исследований нечетких систем в сторону практических применений привело к постановке целого ряда проблем, в частности:

- новые архитектуры компьютеров для нечетких вычислений;
- элементная база нечетких компьютеров и контроллеров;
- инструментальные средства разработки;
- инженерные методы расчета и разработки нечетких систем управления, и т.п.

Недостатками нечетких систем являются:

- отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем;
- невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами;
- применение нечеткого подхода по сравнению с вероятностным не приводит к повышению точности вычислений.

Литературы

1. Jumaev O A, Nazarov J T, Makhmudov G B, Ismoilov M T and Shermuradova M F 2021 Intelligent control systems using algorithms of the entropic potential method J. Phys.: Conf. Ser. 2094 022030
2. Jumaev O A, Sayfulin R R, Ismoilov M T and Mahmudov G B 2020 Methods and algorithms for investigating noise and errors in the intelligent measuring channel of control systems J. Phys.: Conf. Ser. 1679 052018
3. Jumaev O A , Nazarov J T, Sayfulin R R, Ismoilov M T and Mahmudov G B 2020 Schematic and algorithmic methods of elimination influence of interference on accuracy of intellectual interfaces of the technological process J. Phys.: Conf. Ser. 1679 042037
4. Jumaev O A, Ismoilov M T, Mahmudov G B and Shermurodova M F 2020 Algorithmic methods of increasing the accuracy of analog blocks of measuring systems J. Phys.: Conf. Ser. 1515 052040
5. Jumayev O. A., Akhmatov A. A., Makhmudov G. B. Process modeling of optimum mixing of cyanic solutions with use of intellectual systems of measurement on a basis to a fuzzy logic //Chemical Technology, Control and Management. – 2018. – Т. 2018. – №. 1. – С. 132-137.
6. Юсупбеков Н. Р. и др. НОАНИК МАНТИК АСОСИДА ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ ТИЗИМЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2020. – №. 2. – С. 20-25.
7. Jumaev O A , Sayfulin R R, Samadov A R, Arziyev E I and Jumaboyev E O 2020 Digital control systems for asynchronous electrical drives with vector control principle IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 862 032054

8. Jumaev O A , Shermuradova M F and Babayev A A 2018 Protection from interference of technical means of automation of control systems (Russia) Science, technology and education Issue 7-48
9. Кадыров Ю.Б.; Бойбутаев С.Б.; и Самадов А.Р. (2020) «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ГМЗ-2 НГМК НА ОСНОВЕ ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛИ», Химическая технология, контроль и управление : Том. 2020 : Вып. 5 , Статья 9.
10. Mukhitdinov, Djalolitdin Pakhritdinovich and Boybutayev, Sanjar (2021) "PROBLEMS OF MODELING AND CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ORE GRINDING," Chemical Technology, Control and Management: Vol. 2021 : Iss. 4 , Article 7.
11. Abdujalilovich J. O. et al. FUZZY LOGIC CONTROLLER IN THE MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF BACTERIAL OXIDATION //Web of Scientist: International Scientific Research Journal. – 2021. – Т. 2. – №. 06. – С. 191-197. <https://doi.org/10.17-605/OSF.IO/G4EQM>
12. Д.П. Мухитдинов, Ё.Б. Кадиров, О.У. Саттаров. Разработка многосвязной динамической модели процесса экстракции фосфорной кислоты в дигидратном режиме. // Композиционные материалы. Научнотехнический и производственный журнал-2019, № 2, с 132-135.
13. Sevinov J. U., Boeva O. H. ADAPTIVE POLE PLACEMENT ALGORITHMS FOR OF NON-MINIMUM-PHASE STOCHASTIC SYSTEMS //Chemical Technology, Control and Management. – 2020. – Т. 2020. – №. 5. – С. 38-43.
14. Botirov T V, Latipov S B, Buranov B M and Barakayev A M 2020 Methods for synthesizing adaptive control with reference models using adaptive observers IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 862(5) 052012
15. Igamberdiev H Z and Botirov T V 2021 Algorithms for the Synthesis of a Neural Network Regulator for Control of Dynamic Advances in Intelligent Systems and Computing 1323 AISC 460-5
16. Botirov T V, Latipov S B and Buranov B M 2021 Mathematical modeling of technological process in formalin production Journal of Physics: Conference Series 2094(2), 022052
17. Botirov T V, Buranov B M and Latipov Sh B 2020 About one synthesis method for adaptive control systems with reference models Journal of Physics: Conference Series 1515(2) 022078
18. Igamberdiev, H. Z., & Botirov, T. V. (2020, October). Algorithms for the Synthesis of a Neural Network Regulator for Control of Dynamic Objects. In World Conference Intelligent System for Industrial Automation (pp. 460-465). Springer, Cham.
19. T. V. Botirov, S. B. Latipov, B. M. Buranov, "About one synthesis method for adaptive control systems with reference models", Journal of Physics: Conference Series, 1515, 2 (2020) 1-6. doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022078
20. Эшмуродов, З. О., Арзиев, Э. И., Исмоилов, М. Т., Махмудов, Г. Б., & Саидова, Ф. А. (2019). Модернизация систем управления электроприводов шахтных подъемных машин.
21. Микропроцессорная система с распределенным управлением / И. И. Каландаров, А. А. Бобоев, С. Е. Ё. л. Меликулов, С. Ф. Тогаев // Образовательная система: вопросы продуктивного взаимодействия наук в рамках технического прогресса : сборник научных трудов. – Казань : ООО "СитИвент", 2019. – С. 357-359.
22. Izam o'g'li A. E., Bakoyevich M. G. SIMULATION OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR FIELD ORIENTED VECTOR CONTROL SYSTEM

-
- //Web of Scientist: International Scientific Research Journal. – 2021. – Т. 2. – №. 06. – С. 185-190.
23. Bobojanov M. K., Eshmurodov Z. O., Ismoilov M. T. Research of Dynamic Properties of Electric Drives of Mining Complexes //International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. IJARSET. – Т. 6. – №. 5. – С. 9200-9207.
24. Кадиров Ё., Самадов А. Разработка дистанционного управления токарно-винторезного станка //ТЕСНика. – 2020. – №. 2. – С. 12-14.
25. Кадиров Ё. Б., Мухитдинов Д. П. Вычисление скоростей потока жидкости и перепада давления //Современные материалы, техника и технологии. – 2016. – №. 5 (8). – С. 84-91.