

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМАХ С ИЗВЕСТНОЙ СТРУКТУРОЙ

В статье рассматривается работа нечетких контроллеров Такаги-Сугено и Мамдани для автоматического управления объектами с известной структурой, компьютерное моделирование их работы, а также сравнение с работой с четкими контроллерами.

Ключевые слова: управление, компьютерное моделирование, контроллер, нечеткие множества.

Автоматические контроллеры применяются для управления технологическими объектами и являются составной частью в автоматизированных системах управления. Управление контроллера реализуется в виде достаточно простой модели типа «входы-выход», то есть математическая модель контроллера может быть представлена в виде функции, заданной аналитически или иным способом. Например, в данном исследовании были применены нечеткие базы знаний. В свою очередь функция, представленная контроллером, строится в ходе решения задачи оптимального управления технологическим объектом. Таким образом, функция контроллера может быть обозначена как $J(F(u(t-\Delta t), w, a))$, где $(u(t-\Delta t))$ – управление на предыдущем шаге, w – вектор неизвестных случайных возмущений, a – вектор известных параметров и для ее построения необходимо знать поведение объекта, которое описывается некоторой функцией $F(u, w, a)$ (рис. 1).

В зависимости от типа объекта управления, необходима разработка различных методов определения функций. Если структура объекта известна, то мы сможем построить на основе этой структуры математическое выражение для функции, если эта информация неизвестна, то структуру функции следует определять исходя из известной внешней информации об объекте. Фактически, эти методы отражают два подхода к анализу поведения объекта: подходы на основе модели «белого» и «черного» ящиков.

При использовании модели «черного» ящика нам неизвестен механизм формирования функции, и возможно использование только ретроспективной инфор-

мации о поведении объекта, однако здесь возможно применение достаточно большого числа методов, позволяющих адекватно оценить функции. В этом случае следует использовать методы математического моделирования. В первую очередь это модели регрессионного анализа, нейросетевые модели.

Рассмотрим задачу оптимального управления, которая заключается в поддержании некоторого параметра системы на заданном уровне [1]. Объект управления можно представить в виде, указанном на рис. 2.

Меняя управление u от 0 до 1 можно менять скорость увеличения параметра x от 0 до k . Траектория такой системы будет задаваться диффе-

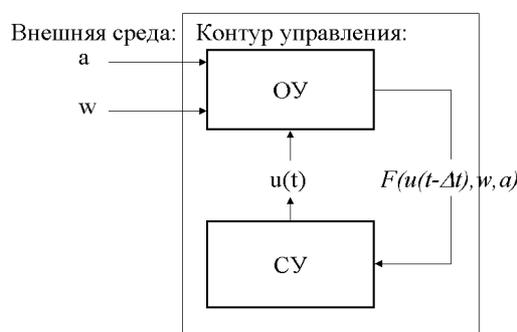


Рисунок 1. Общая схема управления

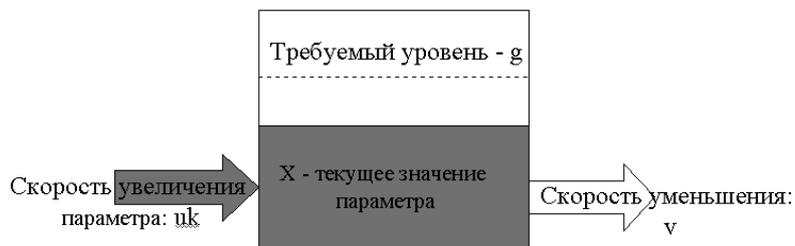


Рисунок 2. Пример объекта управления с известной структурой

ренциальным уравнением: $\frac{dx}{dt} = uk - v$. X в данном случае следует рассматривать как показатель состояния системы.

Условие Коши зададим как $x(0)=0$. Функционал качества в запишем в виде:

$$\int_0^T (x(t) - g)^2 dt \rightarrow \min \quad (1)$$

Принцип максимума Понтрягина неприменим к данной задаче управления, так как оптимального управления при достижении x уровня g не существует (бесконечное количество переключений управления). Однако правила работы системы управления можно сформулировать на основании экспертных данных. Четкие правила, для работы контроллера выглядят следующим образом:

1. Если $x < g$ то $u = 1$
2. Если $x = g$ то $u = v/k$
3. Если $x > g$ то $u = 0$

Однако данные правила не учитывают дискретизации времени в системах реального времени. Измерение параметров производится с определенным интервалом, и за этот интервал объект управления может превысить требуемый уровень g и правило 2 не работает. Как следствие этого может возникнуть режим скачкообразного изменения параметра x , когда регулярно пропускается правило 2. Для устранения этих недостатков без усложнения системы управления можно применить нечеткие контроллеры. Правила нечеткого контроллера Сугено [2, 3]:

1. Если $x = \text{«меньше } g\text{»}$ то $u = 1$
2. Если $x = \text{«}g\text{»}$ то $u = v/k$
3. Если $x = \text{«больше } g\text{»}$ то $u = 0$.

Правила нечеткого контроллера Мамдани [2, 3]:

1. Если $x = \text{«меньше } g\text{»}$ то $u = \text{«около } 1\text{»}$
2. Если $x = \text{«}g\text{»}$ то $u = \text{«около } v/k\text{»}$
3. Если $x = \text{«больше } g\text{»}$ то $u = \text{«около } 0\text{»}$.

Введение нечеткого управления обусловлено тем, что четкое управление не учитывает сложные нелинейности, погрешность замера параметров и временные запаздывания реальных объектов. Учет этих параметров в четком управлении требует существенного усложнения алгоритма управления, в то время как нечеткие алгоритмы легко справляются с этой задачей без усложнения алгоритма управления.

На рисунке 3 изображены графики, изображающие динамику изменения параметра x (x по оси ординат, на оси абсцисс – время).

Результаты моделирования показали, что значение минимизируемого функционала качества для нечеткого контроллера Сугено меньше чем для четкого контроллера (рис. 4). Это объясняется более гладким управлением контроллера Сугено.

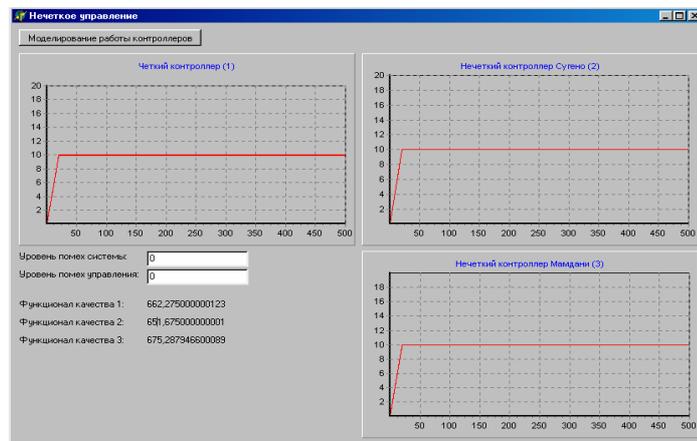


Рисунок 3. Основное окно программного средства



Рисунок 4. Поведение системы в случае четкого и нечеткого управления

Наихудший результат наблюдается для работы контроллера Мамдани, что можно объяснить, сравнив нечеткий вывод Сугено и Мамдани.

Нечеткая база знаний Сугено [2] задается в виде набора правил вида:

$$R_r : \text{Если } \bigcap_{i=1}^m (x_i = a_{ir}) \text{ то } u = b_{0r} + \sum_{i=1}^n b_{ir} x_i$$

где m – количество правил, $r = 1, 2, \dots, m$;

$a_{i,r}$ – нечеткий терм с функцией принадлежности μ_{ir} , применяемый для лингвистической оценки переменной x_i в правиле r ($r = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$),

b_{0r} – действительные числа в заключении r -го правила ($r = 1, 2, \dots, m; q = 0, 1, \dots, n$).

Выходное значение базы данных Сугено является ни чем иным как взвешенной суммой линейных функций. Таким образом, с помощью алгоритма нечеткого вывода Сугено можно удобно задавать функцию контроллера, если управление четко определено.

Нечеткая база знаний Мамдани [2] задается в виде:

$$R_r : \text{Если } \bigcap_{i=1}^m (x_i = a_{ir}) \text{ то } u = b_j$$

где m – количество правил, $r = 1, 2, \dots, m$;

$a_{i,r}$ – нечеткий терм с функцией принадлежности μ_{ir} , применяемый для лингвистической оценки переменной x_i в правиле r ($r = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$),

b_j – нечеткий терм с функцией принадлежности η_j , применяемый для лингвистической оценки переменной u в правиле j ($j = 1, 2, \dots, k; k \leq n$).

Выходное значение базы данных Сугено является некоторым нечетким множеством. Для определения четкого значения выхода алгоритма Мамдани необходима дефаззификация. Этот алгоритм удобен, если в системе управления невозможно точно позиционировать значение параметра управления. Так как модель не предусматривала случайных возмущений управления u , то следовательно более худший результат контроллера Мамдани вполне обоснован.

При моделировании процесса управления с допущением, что управление u содержит случайные возмущения показало, что нечеткий контроллер Мамдани дает наилучший результат.

В разработанном программном средстве функционирование алгоритмов нечеткого вы-

вода реализовано в виде нейро-нечетких сетей, с архитектурой изоморфной нечетким базам знаний. Структура нейро-нечеткой сети Сугено для моделируемого контроллера имеет вид, представленный на рисунке 5.

Слои выполняют следующие функции: первый слой – термы входных переменных; второй слой – antecedentes (посылки) нечетких правил; третий слой – нормализация степеней выполнения правил; четвертый слой – заключения правил; пятый слой – агрегирование результата, полученного по различным правилам.

В силу специфичности алгоритма, функционирование нечеткого вывода Мамдани не удалось осуществить в виде функционирования нейросети.

Для улучшения работы контроллеров использовалось обучение функций принадлежности, исходя из критерия оптимальности (1).

Данное исследование может быть продолжено для систем типа «черный ящик», когда структура объекта управления неизвестна, и имеется лишь информация о его поведении в прошлом. В этом случае для аппроксимации функции $F(u, a, w)$ можно использовать нейро-нечеткую сеть с общей структурой, указанной на рисунке 9 [2, 4].

Структура и параметры сети (в том числе и связи между посылками и правилами) настраиваются в ходе обучения сети по реальным данным. Для оценки коэффициентов линейных функций может быть применен итерационный МНК. Также если использовать в качестве функций принадлежности гладкие функции, то настройка коэффициентов этих функций может быть осуществлена с помощью градиентных методов, в частности метода обратного распространения ошибки [2].

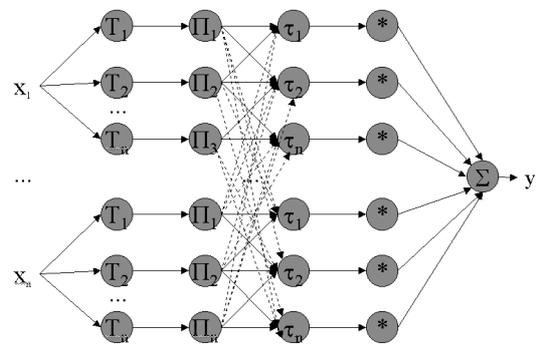


Рисунок 5. общий вид нейро-нечеткой сети со структурой изоморфной базе данных Сугено

Основываясь на полученных результатах можно сделать выводы. Использование нечеткого управления рекомендуется:

- 1) для сложных процессов, когда не существует достаточно простой математической модели;
- 2) для нелинейных процессов высоких порядков;
- 3) если должна производиться обработка

(лингвистически сформулированных) экспертных знаний.

Использование нечеткого управления не рекомендуется, если:

- 1) приемлемый результат может быть получен с помощью общей теории управления;
- 2) уже существует формализованная и адекватная математическая модель проблема не разрешима.

24.11.2010 г.

Работа выполнена по результатам НИР ФЦП Проект №2376

Список использованной литературы:

1. Алтунин, А.Е. Модели и методы принятия решений в нечетких условиях. <http://sky.kuban.ru/Phys-Math/Fuzzy/Book1-Fuzzy/tnm/cont.htm>
2. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. <http://grsu.grodno.by/matlab/fuzzylogic/book1/index.asp.htm>
3. Батыршин, И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения. - Казань: Отечество, 2001
4. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Радио и связь, 2000.

Сведения об авторе: **Влацкая Ирина Валерьевна**, заведующая кафедрой математического обеспечения информационных систем Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460018 г. Оренбург пр-т Победы, 13, e-mail: mois@mail.osu.ru, тел.: (3532) 203704, 561623

UDC 681.5.03

Vlatskaya I.V.

MODELING OF FUZZY CONTROLLER BEHAVIOR IN THE SYSTEM WITH KNOWN STRUCTURE

The article reviews the performance of Takagi-Sugeno and Mamdani fuzzy controllers for automatic management of objects with a known structure, computer modeling of their work, as well as comparison with the work, with clear controllers

Keywords: management, computer modeling, controller, fuzzy sets.