

М. Я. АФАНАСЬЕВ, А. Н. ФИЛИППОВ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются основные направления применения методов нечеткой логики и нечеткого управления в экспертных модулях автоматизированных систем технологической подготовки производства. Приведены примеры конкретных объектов управления, а также описан общий алгоритм основных этапов процесса нечеткого управления.

Ключевые слова: нечеткая логика, технология приборостроения.

Введение. Практически любая задача технологии может иметь не одно решение, а несколько. Перед технологом всегда стоит проблема выбора наиболее рационального способа достижения поставленной цели, обычно опыт подсказывает ему, какое решение наиболее выгодно в данных производственных условиях.

Попытка использовать логику первого порядка для представления знаний в таких проблемных областях, как технология приборостроения, может заканчиваться неудачей по двум основным причинам, описанным ниже.

Во-первых, формирование полного множества антецедентов или консеквентов, необходимого для составления правила, не имеющего исключений, слишком трудозатратно, а само применение таких правил является слишком сложным.

Во-вторых, даже если известны все правила, может оставаться неопределенность относительно решения конкретной технологической задачи, поскольку производственная ситуация может существенно измениться, например, из-за непредвиденного выхода из строя необходимого оборудования.

Определения нечеткой логики и нечетких множеств. Нечеткая логика и теория нечетких множеств — раздел математики, обобщающий классическую логику и теорию мно-

жеств. Понятие нечеткой логики было введено азербайджанским профессором Лютфи Заде в 1965 г. В его работе понятие множества было расширено допущением, что функция принадлежности элемента к множеству может принимать любые значения в интервале $[0..1]$, а не только 0 или 1, такие множества были названы нечеткими. Также автором были предложены различные логические операции над нечеткими множествами и предложено понятие лингвистической переменной, в качестве значений которой выступают нечеткие множества.

Нечеткая логика основана на использовании таких оборотов естественного языка, как „далеко“, „близко“, „холодно“, „горячо“. Диапазон ее применения очень широк — от бытовых приборов до управления сложными промышленными процессами [1]. Здесь можно выделить три основных направления применения нечеткой логики:

- 1) создание управляющих программ для промышленных роботов;
- 2) управление технологическими процессами во времени;
- 3) управление работой виртуальных предприятий.

Рассмотрим такие понятия, как „лингвистическая переменная“, „нечеткие правила“, „нечеткий вывод“ и сам термин „нечеткое управление“.

Классическая логика имеет один существенный недостаток — с ее помощью невозможно описать ассоциативное мышление человека. Классическая логика оперирует только двумя понятиями: *истина* и *ложь*, исключая любые промежуточные значения. Такой подход хорош для вычислительных машин, но для описания процессов реального мира он не подходит. Решить эту проблему и призвана нечеткая логика.

Термином „лингвистическая переменная“ можно связать любую физическую величину, для которой нужно иметь больше значений, чем только *да* и *нет*. В этом случае определяется необходимое число термов и каждому из них ставится в соответствие некоторое значение описываемой физической величины. Для этого значения степень принадлежности физической величины к терму будет равна единице, а для всех остальных значений — будет зависеть от выбранной функции принадлежности.

Здесь следует сделать небольшое отступление и отметить, что для описания лингвистических переменных, термов и нечетких правил применяется специальный язык: Fuzzy Control Language (FCL), описанный в стандарте ИЕС 1131.

Получившие наибольшее развитие из всех разработок искусственного интеллекта экспертные системы завоевали устойчивое признание в качестве систем поддержки принятия решений.

Одним из основных методов представления знаний в экспертных системах являются продукционные правила, позволяющие приблизиться к стилю мышления человека. Любое правило состоит из посылок и заключения. Возможно наличие нескольких посылок в правиле, в этом случае они объединяются посредством логических связок *и—или*. Обычно продукционное правило записывается в виде:

ЕСЛИ (условие) (связка) (условие)... (условие),
ТО (действие_1, ..., действие_n) .

Главным недостатком продукционных систем остается то, что для их функционирования требуется наличие полной информации о системе.

Нечеткие системы тоже основаны на правилах продукционного типа, однако в качестве посылки и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих классическим продукционным правилам.

Целевая установка процесса управления связывается с выходной переменной нечеткой системы управления, но результат нечеткого логического вывода является нечетким, а физическое исполнительное устройство не способно воспринять такую команду. Необходимы специальные математические методы, позволяющие переходить от нечетких значений к

вполне определенным. Весь процесс нечеткого управления можно разбить на несколько шагов: фаззификация, разработка нечетких правил и дефаззификация [2].

Рассмотрим подробнее эти шаги на примере промышленного робота, осуществляющего установку и съем заготовки в шпиндель токарного станка. Роботу необходимо взять заготовку или блок заготовок из перегрузочного лотка, преодолеть какое-то расстояние и закрепить заготовку в шпинделе. Возможно управлять мощностью двигателя тележки робота, заставляя ее двигаться быстрее или медленнее. От скорости перемещения тележки, в свою очередь, зависят расстояние до цели и амплитуда колебания заготовки в захвате манипулятора. Вследствие того что стратегия управления роботом сильно зависит от положения тележки, применение стандартных контроллеров для этой задачи весьма затруднительно. Вместе с тем математическая модель движения заготовки, включающая несколько дифференциальных уравнений, может быть составлена довольно легко, но для ее решения при различных исходных данных потребуется довольно много времени. К тому же исполняемый код программы будет довольно объемным. Нечеткая система справляется с такой задачей очень быстро, несмотря на то что вместо сложных дифференциальных уравнений движения заготовки весь процесс движения описывается терминами естественного языка: „больше“, „средне“, „немного“ и т.п. — так, будто роботом управляет оператор.

Фаззификация (переход к нечеткости). Точные значения входных переменных преобразуются в значения лингвистических переменных посредством применения некоторых положений теории нечетких множеств, а именно при помощи определенных функций принадлежности.

Рассмотрим этот этап подробнее. Прежде всего, введем понятие „лингвистической переменной“ и „функции принадлежности“.

В нечеткой логике значения любой величины представляются не числами, а словами естественного языка и называются термами. Так, значением лингвистической переменной *дистанция* являются термы *далеко*, *близко* и т.д.

Конечно, для реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения ее термов. Пусть, например, переменная *дистанция* может принимать любое значение из диапазона от 0 до 60 метров. Какое выбрать значение? Согласно положениям теории нечетких множеств, каждому значению расстояния из диапазона в 60 метров может быть поставлено в соответствие некоторое число от нуля до единицы, которое определяет *степень принадлежности* данного физического значения расстояния (допустим, 10 метров) к тому или иному терму лингвистической переменной *дистанция*. В нашем случае расстоянию в 50 метров можно задать степень принадлежности к терму *далеко*, равную 0,85, а к терму *близко* — 0,15. Конкретное определение степени принадлежности возможно только при работе с экспертами (в нашем случае — технологами и проектировщиками). В настоящее время сложилось мнение, что для большинства приложений достаточно 3—7 термов на каждую переменную.

Функции принадлежности. Как уже говорилось, принадлежность каждого точного значения к одному из термов лингвистической переменной определяется посредством функции принадлежности. Ее вид может быть абсолютно произвольным. Сейчас сформировалось понятие о так называемых стандартных функциях принадлежности, к ним относятся такие функции, как Z-функция, S-функция, треугольная функция и трапециевидная функция.

Стандартные функции хорошо применимы для решения большинства типовых задач. Для решения более сложных задач может потребоваться создание специальных функций принадлежности, например, полигональных или единичных.

Разработка нечетких правил. Большинство нечетких систем используют продукционные правила для описания зависимостей между лингвистическими переменными. Типичное продукционное правило состоит из антецедента (часть *если* ...) и консеквента (часть *то* ...).

Антеcedент может содержать более одной посылки. В этом случае они объединяются посредством логических связок **и** или **или**.

Процесс вычисления нечеткого правила называется нечетким логическим выводом и подразделяется на два этапа: обобщение и заключение [3]. Пусть имеется следующее правило:

ЕСЛИ ДИСТАНЦИЯ = средняя И УГОЛ = малый,
ТО МОЩНОСТЬ = средняя.

Обратимся к примеру с промышленным роботом и рассмотрим ситуацию, когда расстояние до перегрузочного лотка равно 20 метрам, а угол отклонения заготовки в захвате манипулятора равен четырем градусам. После фаззификации исходных данных получим, что степень принадлежности расстояния в 20 метров к терму **средняя** лингвистической переменной **дистанция** равна 0,9, а степень принадлежности угла в 4 градуса к терму **малый** лингвистической переменной **угол** равна 0,8.

На первом шаге логического вывода необходимо определить степень принадлежности всего антеcedента правила. Для этого в нечеткой логике существуют два оператора: $\text{MIN}(\dots)$ и $\text{MAX}(\dots)$. Первый вычисляет минимальное значение степени принадлежности, второй — максимальное. Когда применять тот или иной оператор, зависит от того, какой связкой соединены посылки в правиле. Если использована связка **и**, применяется оператор $\text{MIN}(\dots)$. Если же посылки объединены связкой **или**, необходимо применить оператор $\text{MAX}(\dots)$. Для нашего примера применим оператор $\text{MIN}(\dots)$, так как использована связка **и**. Получим следующее:

$$\text{MIN}(0,9; 0,8) = 0,8.$$

Следовательно, степень принадлежности антеcedента такого правила равна 0,8. Операция, описанная выше, отрабатывается для каждого правила в базе нечетких правил.

Следующим шагом является собственно вывод, или заключение. Подобным образом посредством операторов MIN/MAX вычисляется значение консеквента. Исходными данными служат вычисленные на предыдущем шаге значения степеней принадлежности антеcedентов правил.

После выполнения всех шагов нечеткого вывода находим нечеткое значение управляющей переменной. Чтобы исполнительное устройство смогло отработать полученную команду, необходим этап управления, на котором можно избавиться от нечеткости, называемый дефаззификацией.

Дефаззификация (устранение нечеткости). На этом этапе осуществляется переход от нечетких значений к определенным физическим параметрам, которые могут служить командами исполнительному устройству.

Результат нечеткого вывода, конечно, будет нечетким. В примере с роботом команда для электромотора будет представлена термом **средняя** (мощность), но для исполнительного устройства это ровно ничего не значит, поэтому для устранения нечеткости могут быть применимы специальные математические методы (например, метод центра максимума), позволяющие на выходе получать точные значения, передаваемые непосредственно исполнительному устройству манипулятора.

Выводы. Теория символической нечеткой логики, а также нечетких множеств может быть применена для создания экспертных модулей автоматизированных систем технологической подготовки производства механической обработки заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. и др. Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993.
2. Пономарьов О. С. Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решений. Харків: НТУ „ХП“, 2005. 232 с.

3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственном интеллекте / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука, 1986.

Сведения об авторах

- Максим Яковлевич Афанасьев** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения; E-mail: ichiro.kodachi@gmail.com
- Александр Николаевич Филиппов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения; E-mail: filippov_an@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
14.12.09 г.