

УДК 623.41.418

Анализ методов интеллектуализации управления сложными динамическими объектами

Поклад П.М., асп.

Приведен обзор современных методов управления на базе средств искусственного интеллекта, показаны структурные схемы фаззи-управления и искусственных нейронных сетей. Обобщены и обозначены преимущества, недостатки и принципиальные особенности средств интеллектуального управления.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронная сеть, фаззи-управление, перцептрон, генетический алгоритм.

An Overview of Intellectual Control Methods of Complex Dynamic Systems

P.M. Poklad, Post Graduate Student

An overview of modern control methods on artificial intelligence basis is presented. Block diagrams of fuzzy-control and artificial neural networks are given. Advantages, disadvantages and features of intellectual control methods are described.

Keywords: artificial intellect, neural net, fuzzy control, perception, genetic algorithm.

Основной тенденцией развития методов управления является их интеллектуализация. Основными направлениями исследований в области искусственного интеллекта (AI) являются:

- экспертные системы (Expert Systems) или системы, основанные на знаниях (Knowledge-Based Systems);
- искусственные нейронные сети (Artificial Neural Networks);
- естественно - языковые системы;
- системы с нечеткой логикой (Fuzzy Logic);
- интеллектуальный анализ данных (Data Mining);
- генетические алгоритмы и эволюционное программирование (Genetic Algorithms).

Развитие современных приложений систем искусственного интеллекта идет по пути интеграции интеллектуальных компонентов в информационные системы.

Математическая теория нечетких множеств (fuzzy sets) и нечеткая логика (fuzzy logic) [1] являются обобщениями классической теории множеств и классической формальной логики. Данные понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 г. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем и объектов.

Мощь и интуитивная простота нечеткой логики как методологии разрешения проблем гарантирует ее успешное использование во встроенных системах контроля и анализа информации [2]. При этом происходит подключение человеческой интуиции и опыта оператора. В отличие от традиционной математики, требующей на каждом шаге моделирования точ-

ных и однозначных формулировок закономерностей, нечеткая логика предлагает совершенно иной уровень мышления, благодаря которому творческий процесс моделирования происходит на наивысшем уровне абстракции, при котором постулируется лишь минимальный набор закономерностей.

Нечеткие числа, получаемые в результате «не вполне точных измерений», во многом аналогичны распределениям теории вероятностей, но свободны от присущих последним недостатков: малое количество пригодных к анализу функций распределения, необходимость их принудительной нормализации, соблюдение требований аддитивности, трудность обоснования адекватности математической абстракции для описания поведения фактических величин. В пределе, при возрастании точности, нечеткая логика приходит к стандартной, булевой логике. По сравнению с вероятностным методом, нечеткий метод позволяет резко сократить объем производимых вычислений, что, в свою очередь, приводит к увеличению быстродействия нечетких систем.

Фундаментальным понятием фаззи-логики является фаззи-множество (ФМ), которое характеризуется степенью принадлежности объектов к данному множеству. Лингвистическое выражение физической переменной считается логической переменной в фаззи-логике. Свойством, объединяющим значения физических переменных в ФМ, является выделенная некоторая качественная оценка в лингвистической форме логической переменной – терма. Степень принадлежности значений физической переменной x к ФМ, к данному терму, определяется функцией принадлежности (ФП) (рис. 1).

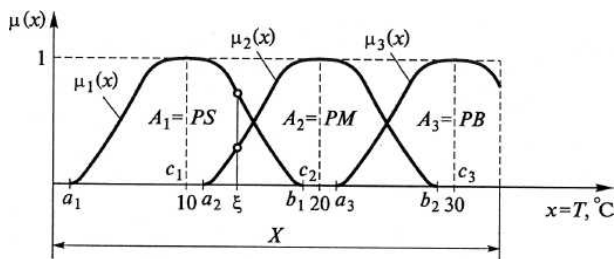


Рис. 1. Пример фаззи-множеств и функций принадлежности

Сама суть фаззи-логики в ее нежесткости и приближенности обуславливает наличие участков перекрытия термов, где нарушается однозначность принадлежности значений переменной только одному терму. При построении ФП приоритетное значение приобретает расстановка центров ФП, где имеет место $\mu(c) = 1$, что означает бесспорную принадлежность значения переменной к соответствующему терму. Такой подход дает основание для принятия определенного решения и относительно значения выходной переменной, являющейся управляющим воздействием в системе с фаззи-управлением.

Система фаззи-управления (ФУ) (рис.2) состоит из четырех блоков, выполняющих последовательно в три этапа процедуру формирования алгоритма управления как функции управляющих воздействий от исходных переменных. Блок фаззификации преобразует входные физические термы лингвистических переменных и выделяет для каждого временно-го такта значения ФП активизированных правил. Блок логического заключения, в соответствии с заложенными правилами в базу знаний, определяет термы V_j выходной лингвистической переменной и присваивает им значения функции принадлежности. При дефаззификации полученные термы преобразуются в управляющий сигнал.

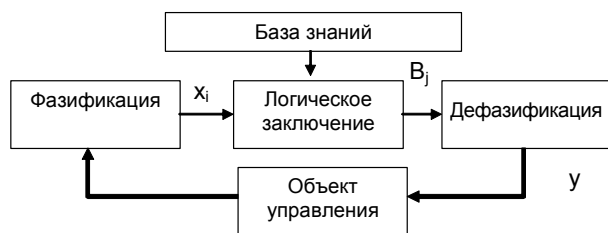


Рис. 2. Блочная структура системы фаззи-управления

Реализация нечеткого алгоритма управления в регулируемых электроприводах обеспечивается фаззи-регулятором. Для регулируемых динамических систем со сложным или неполным математическим описанием за основу алгоритма управления может быть принято условие устойчивости работы устройства, но в расширенной логической форме. Для объектов управления с полным математическим описанием за основу алгоритма ФУ принимается не-

который функционал, решающий заданную задачу управления линеаризованным объектом.

Дополнительно к своду правил в состав алгоритма входят функции принадлежности, определяющие количественную взаимосвязь физических и лингвистических переменных. В силу приближенного характера этого принципа управления к форме ФП $\mu(x)$ предъявляются минимальные требования. Для простоты математического описания ФП представляются обычно в треугольной или трапецеидальной форме. Число ФП, приходящихся на каждую физическую переменную, выбирается из условий обеспечения качества управления. С увеличением числа ФП качество управления повышается, однако при этом усложняется алгоритм ФУ и повышаются требования к быстродействию вычислительных устройств.

На этапе фаззификации входные физические переменные преобразуются в соответствующие термы. В общем случае два значения могут активизировать четыре правила, объединяющих четыре выходных терма. Таким образом, на этапе логического заключения происходит преобразование входных термов в выходные с передачей от входа к выходу значений функций принадлежности по принципу минимума – максимума, получившему название *min-max-регулятор Мамдани*. В данном логическом заключении заложен некоторый компромисс в принятии решения, при использовании которого минимизация входных фаззи-множеств определенным образом компенсируется максимизацией выходного фаззи-множества.

На этапе дефаззификации логическая переменная преобразуется в управляющее воздействие. Для интегральной оценки всего множества возможных значений выходного сигнала одним числом за него эвристически принимают абсциссу центра тяжести площади усеченной части терма. Практически всегда оказываются активизированными несколько правил, для которых имеет место объединенный терм, усеченный разными уровнями функций принадлежности. Методом центра тяжести усеченной площади находится интегральное значение управляющего воздействия, однако процесс расчета его оказывается сложным и требует много места в памяти управляющего устройства, снижая его быстродействие. Поэтому на практике, вводя некоторые упрощения в данный метод, используют его достаточно несложную модификацию в виде так называемой *синглетон-функции*.

Лингвистические переменные количественно оцениваются не отдельными числовыми значениями, а числовыми множествами, перекрывающимися друг друга. В этом смысле ФУ следует отнести к категории управления «в большом».

ФУ не требует знания точной модели объекта, оно организует приближенную страте-

гию управления, моделируя способ мышления человека. Оно выражает в простых лингвистических терминах любой необходимый для задачи управления алгоритм, линейный или нелинейный, который должен быть предварительно составлен экспертом. Фаззи-контроллер – это включенная в процесс управления и работающая в реальном времени экспертная система, которая применяет фаззи-логику для преобразования качественных логических переменных – термов.

Общепризнанными недостатками систем управления с нечеткими регуляторами 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.

Другим перспективным направлением исследований в области искусственного интеллекта являются искусственные нейронные сети (ИНС).

ИНС является упрощенной моделью мозга. Она строится на основе искусственных нейронов, которые обладают тем же основным свойством, что и живые, – пластичностью. Использование структуры мозга и пластичности нейронов делает ИНС универсальной системой обработки информации.

В общем случае ИНС – это машина, моделирующая способ работы мозга. Обычно ИНС реализуются в виде электронных устройств или компьютерных программ.

Сеть нейронов, образующая человеческий мозг, представляет собой высокоэффективную, комплексную, нелинейную, существенно параллельную систему обработки информации [3]. Она способна организовать свои нейроны таким образом, чтобы реализовать восприятие образа, его распознавание или управление движением, во много раз быстрее, чем эти задачи будут решены самыми современными компьютерами [4].

Процедура, используемая для осуществления процесса обучения, называется алгоритмом обучения. Ее функция состоит в модификации синаптических весов ИНС определенным образом так, чтобы она приобрела необходимые свойства. Модификация весов является традиционным способом обучения ИНС.

ИНС реализуют свою вычислительную мощь, благодаря своим свойствам:

- параллельно распределенной структуре;
- способности обучаться и обобщать полученные знания. Под свойством обобщения понимается способность ИНС генерировать правильные выходы для входных сигналов, которые не были учтены в процессе тренировки.

Эти два свойства делают ИНС системой переработки информации, которая решает

сложные многомерные задачи, непосильные другим техникам.

ИНС перцептронного типа представляет собой совокупность искусственных нейронов, упорядоченных по слоям (рис. 3). Нейроны из разных слоев соединяются между собой так, чтобы каждый нейрон из последующего слоя получал сигналы от всех нейронов предыдущего слоя.

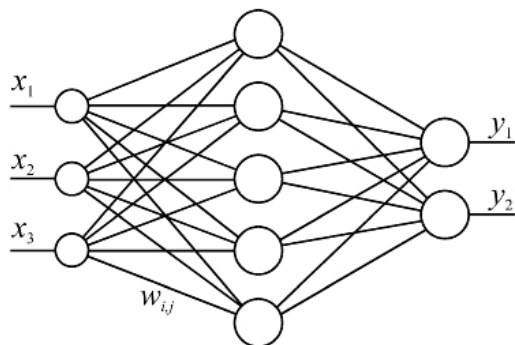


Рис. 3. Схема трехслойной ИНС перцептронного типа с одним скрытым слоем

Сила межнейронных связей моделируется настраиваемыми весовыми коэффициентами w_{ij} , усиливающими или ослабляющими передаваемый сигнал. Сигналы, поступающие на входы нейронов скрытого слоя от нейронов входного слоя, суммируются и преобразуются в выходной сигнал, формируемый в соответствии с активационной функцией. Таким образом, скрытые слои ИНС осуществляют нелинейное преобразование вектора входных сигналов x в вектор выходных сигналов y любой желаемой размерности.

Функциональное преобразование вход-выход нейронной сети $y = NN(x)$ с активационными функциями нейронов скрытого слоя сигмоидального типа описывается математическими выражениями:

$$y_k(x) = w_{0,k} + \sum_{j=1}^v w_{j,k} \text{th} \left(w_{0,j} + \sum_{i=1}^p w_{i,j} x_i \right),$$

где $y = (y_1, \dots, y_q)$ – вектор выходов сети; q – размер выходного слоя сети; $x = (x_1, \dots, x_p)$ – вектор входов сети; p – размер входного слоя сети; v – размер скрытого слоя сети; $w_{j,k}$ – веса k -го нейрона выходного слоя; $w_{i,j}$ – веса j -го нейрона скрытого слоя.

Такую нейронную сеть условно обозначают записью $NN \ p-v-q$. Настраиваемыми параметрами сети являются веса нейронов w , общее количество которых равно $q(v+1) + v(p+1)$.

Для оценки качества обучения ИНС используются ошибки e запоминания нейросетью шаблонов из тренировочного набора (при обучении ИНС методом обратного распространения ошибки [5]):

$$e_i = \|y_i - y_i^*\|;$$

$$y_i = NN(x_i^*),$$

или сумма квадратов ошибок F , рассчитанная по всему набору шаблонов (при обучении с помощью генетического алгоритма):

$$F = \sum_{i=1}^N e_i^2.$$

Если удается так настроить ИНС, чтобы величина F не превышала некоторый порог, процесс обучения считается законченным.

Среди достоинств ИНС выделяют следующие:

- присущий им параллелизм при обработке информации;
- низкую чувствительность к помехам;
- универсальность для решения различных задач моделирования.

Несмотря на успешное применение ИНС в системах управления сложными динамическими объектами, по сей день применение ИНС опирается только на допущение о том, что настроечные параметры сети можно выбрать такими, чтобы обеспечить оптимальное качество управления. К сожалению, теоретические исследования свойств ИНС пока не дают четких рекомендаций и правил выбора типа и структуры ИНС, которые помогли унифицировать процесс проектирования ИНС.

Выбор архитектуры ИНС остается достаточно трудоемкой процедурой, требующей выполнения многочисленных экспериментов.

Не менее сложным и длительным по времени является процесс обучения ИНС. Даже длительное обучение не гарантирует сходимости к глобальному экстремуму в пространстве настроечных параметров сети. Все это приводит к тому, что на практике не всегда удается достичь заданной точности системы управления на базе нейросети, не говоря уже о том, чтобы выполнить ее обучение в реальном времени.

Позитивную роль при синтезе ИНС играют эволюционные технологии глобального поиска, в частности генетические алгоритмы (ГА), рассматриваемые в качестве алгоритма обучения и адаптации ИНС. Особые свойства ГА позволяют оптимизировать параметры ИНС без привлечения знания ее правильных выходных значений, а также вычисления производных.

Поклад Павел Михайлович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант,
e-mail: stprint@mail.ru

Заключение

Применение фаззи-управления предпочтительнее в ситуациях, когда необходимый алгоритм управления проще сформулировать лингвистическим путем. Особенностью фаззи-управления является возможность придавать нелинейным системам свойство робастности, поэтому его целесообразно использовать как средство приближенной параметрической адаптации в установках с изменяющимися параметрами, где точные традиционные системы параметрической адаптации сложнее структурно и труднее реализуемы.

Считается, что фаззи-управление не подходит для построения высокоточных систем регулирования, однако может успешно использоваться для указанных систем как дополнительное регулирующее средство в режимах обработки больших воздействий, когда проявляются нелинейности объекта управления и основной регулятор не обеспечивает удовлетворительное качество данных режимов.

Нейронные сети являются естественным инструментом для построения эффективных и гибких информационных моделей инженерных систем. Различные нейроархитектуры отвечают различным практическим требованиям. ИНС представляют собой мощное средство решения задач управления различного уровня сложности. Методы обучения ИНС позволяют синтезировать по экспериментальным данным модели сложных нелинейных динамических объектов управления.

Список литературы

1. **Круглов В.В., Дли М.И.** Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.
2. **Николаев И.Б., Самок С.Г.** Гибридные электроприводы для робототехнических комплексов с нечетким управлением: Тр. III Междунар. науч.-практич. конф. «Прогрессивные технологии в современном машиностроении». – Пенза, 2007. – С. 103–108.
3. **Shepherd G.M., Koch C.** Introduction to synaptic circuits // The Synaptic Organization of the Brain (G. M. Shepherd, ed.). – New York: Oxford University Press, 1990. – P. 3–31.
4. **Churchland P.S.** Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind/Brain. – Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
5. **Werbos P.J.** Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral science: Ph.D. Thesis. – Harvard University, Cambridge, MA, 1974.