

# Системы интеллектуальной обработки информации с применением нечеткой логики

Л. П. Козлова

Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)

tigrenok59@mail.ru

О. А. Козлова

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

K\_olga\_a@mail.ru

**Аннотация.** Одной из основных единиц работы любой системы является информация. Именно поэтому методы ее обработки важны для полноценного функционирования всего процесса. В статье рассматриваются сферы применения алгоритмов интеллектуальной обработки информации, сложности и особенности таких систем, предлагается метод нечеткой логики для достижения высоких результатов.

**Ключевые слова:** нечеткая логика; информация; интеллектуальные системы; данные

## I. ВВЕДЕНИЕ

Информация всегда играла важную роль во всех сферах человеческой деятельности. Со временем, перенасыщенность информационными потоками привела к тому, что потребовались методы обработки данных, способные уменьшать объемы без потери качества. Дальнейшее развитие привело к совершенствованию алгоритмов не только для хранения, но и для функционирования информации в разных сферах человеческой деятельности, зачастую без присутствия человека.

С другой стороны, закономерное развитие методов искусственного интеллекта привело к тому, что работа с информацией стала не просто заведенной по жестко заданному алгоритму, но получила интеллектуальные направления, к которым можно отнести:

- системы распознавания образов, применяемые в различных областях (системы технического зрения, системы распознавания звука, т.д.);
- экспертные системы, для которых очень сложно подобрать формализации;
- методы datamining, т.д.

Характерной чертой таких систем стали, в первую очередь, отсутствие строго сформированных последовательностей и приспособляемость к внешним изменяющимся по априорно неизвестной закономерности данным. Соответственно, из всего многообразия проблем, характерных для всех видов интеллектуальных систем можно выделить одну общую – значительное усложнение структуры.

И действительно, классические методы, работающие на бинарном значении «0» и «1» плохо подходят для отображения всех возможных вариантов решений конкретной проблемы.

Именно тут на помощь приходят алгоритмы, использующие нечеткую логику, которые позволяют дать системе большую вариантность по сравнению с обычными системами.

## II. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Процесс создания системы интеллектуального решения какой-либо проблемы предполагает построение математической модели, ориентированной на задачу, требующую реализации в обособленной предметной области.

В данном случае, под математической моделью будем понимать создание последовательности действий с целью выявления основных закономерностей, присущих выбранной тематике.

Разумеется, в условиях априорной неопределённости сложно говорить исключительно о системах уравнений, будь то линейные, дифференциальные или интегральные уравнения. Сюда же стоит отнести построение моделей в форме графов, использование матриц, создание наборов правил т.п.

Очевидно, что один и тот же объект или действие можно рассмотреть с разных точек зрения, а, значит, построить несколько моделей, основанных на разных аспектах. Однако, проблема здесь заключается в том, что каждая из моделей отображает только одну характерную черту системы, а значит, не может использоваться для решения других проблем.

При рассмотрении процесса создания математического описания интеллектуальной системы необходимо выделить ряд спецификаций, вызывающих необходимость особого подхода и методологии их исследования.

Выделим здесь следующие характерные черты:

- Многофакторность систем – предполагает, что один процесс можно разделить на несколько отдельных подпроцессов, которые, в свою очередь, представляют собой тоже сложные алгоритмы. Более того, эти процессы могут не только дополнять друг друга, но и, наоборот, быть конкурирующими и требовать нахождения компромисса при установке параметров.
- Стохастичность временных характеристик – особенно важный параметр в случае, когда

изменчивость системе задают не только внешние факторы, но и ее собственная структура.

- Внутренняя организация системы, предполагающая неоднозначные проявления внутренних причинно-следственных отношений.
- Изменчивость внутренних и внешних характеристик системы.
- Распределение целевых функций системы по временным и пространственным значениям.

Перечисленные особенности приводят к необходимости абстрагирования от жестко заданных формализаций процесса функционирования систем, его внутренних параметров и условий протекания процессов управления.

В результате получаем рассмотрение интеллектуальной системы в виде многомерной структуры однонаправленного преобразования основных параметров, а именно:

- входных управляющих воздействий;
- входных управляемых возмущающих воздействий;
- входных неуправляемых возмущающих воздействий;

в выходные реакции, что приводит к необходимости использования методов системного анализа.

Приведем основные принципы системного подхода:

- При рассмотрении системы исследуются как характеристики, присущие системе в целом, так и характеристики, относящиеся исключительно к ее отдельным элементам.
- Подход к системе определяется методологиями, относящимися к понятию сложных систем, а, значит, оцениваются не только свойства элементов, но и свойства структуры.
- Построение нескольких моделей для каждого из аспектов системы.

При построении модели интеллектуальной систем в рамках системного подхода необходимо рассматривать систему с точки зрения следующих аспектов:

1. Исторический аспект отвечает за причины возникновения системы и прогрессию ее развития во временных характеристиках.
2. Целевой подход, предполагающий рассмотрение целевых векторов функционирования системы.
3. Ресурсные характеристики, рассматриваются не только в текущем моменте времени, но и возможность их изменчивости.
4. Элементная база системы, может предполагать такой уровень вложенности рассмотрения системы, который диктуется задачей построения. Таким образом, в рамках одних систем, все элементы делятся до простых, не имеющих составных частей, в других случаях достаточно выделение лишь общих элементов структур.

5. Исследование структуры системы, от которой зависит, как будет функционировать целевой вектор.

6. Выявление функциональных зависимостей внутри системы.

7. Интеграционные характеристики, предполагающие принципы объединения отдельных элементов в систему в целом.

8. Выявление взаимосвязи системы с окружающей средой, в понятие которой входят как другие системы, контакт с которыми предусмотрен целевыми задачами, так и внешними факторами, не предусмотренными целевым функционалом. Последние особенно часто вносят сложность в формирование модели системы.

Ввиду того, что характерной чертой создания интеллектуальной системы является сложность и непостоянство структурных связей при создании причинно-следственных отношений, то задачу формирования можно представить в виде задачи аппроксимации объекта ненаправленного действия с помощью моделей однонаправленного действия.

Отсюда формируется необходимость проведения исследований, целью которых является синтез топологии моделей интеллектуальных систем.

Из изложенных выше особенностей построения закономерно вытекает еще одно важное требование к последовательности построения модели системы – она должна основываться на трех основных аспектах, в которые входят:

- принципы системного подхода;
- комплексный анализ;
- эволюционный синтез.

В общем смысле все подходы к методологиям построения математического описания можно разделить на три основные группы:

- Аналитический подход, предполагающий высокую степень изученности предмета, процесса или явления и позволяющий построить модель используя исключительно теоретический анализ известных характеристик.
- Статистический подход, при котором формируется функция зависимости входных и выходных значений строится с использованием методов теории вероятности.
- Интеллектуальный подход, предполагающий использования экспертных знаний в качестве основы для построения моделей, а, значит, требующий использования методов нечеткой логики.

Разумеется, на практике для построения системы в целом данные подходы комбинируются с разной степенью интеграции в общий алгоритм [1].

К сложностям построения интеллектуальной системы отнесем следующие факторы:

1. Аппаратные аспекты системы. Они традиционно вносят множество проблем как на этапе создания, так и на этапе эксплуатации.

При проектировании системы разработчик может не иметь точных характеристик устройств, а использование усредненных значений может привести как к недооценке возможностей, т.е. потенциал оборудования не будет использован в полной мере; так и к переоценке, что приведет к ошибкам работы алгоритмов, таким, например, как временные задержки.

С другой стороны, любые устройства, даже при известных характеристиках, имеют свои особенности. Это можно проиллюстрировать на примере систем технического зрения.

Задача алгоритмов тут, как правило, заключается в определении конкретных объектов из всего массива входной информации. Понятно, что информация система получает со считывающих устройств: фото и видео камер.

Предположим, что устройства имеют хорошее разрешение и полностью исправны. В теории, процесс распознавания должен пройти с очень хорошими показателями. Однако, тут необходимо вспомнить про внешние факторы и тогда можем получить следующие ситуации, не позволяющие, впоследствии получить желаемое:

- объект может попадать в поле зрения объектива не полностью;
- в поле зрения объектива может попасть объект очень близкий по своим характеристикам к требуемому;
- на камеру могут влиять внешние факторы в виде солнца или, наоборот, темного времени суток, т.п.

2. Как уже говорилось, большинство интеллектуальных систем предполагает модели плохо формализуемые и плохо структурированные, что в свою очередь приводит к невозможности использования систем уравнений или неравенств. В такой ситуации, в ход идут другие методы, предполагающие описание систем на основе эвристических подходов, которые, по своей сути могут уже на начальной стадии вносить неточности, требующие последующего устранения.

3. Сложность переноса теоретического описания интеллектуальной системы на реальные объекты.

Все это приводит к необходимости использовать концепции, дающие больше вариативности в принятии решений, что и позволяют алгоритмы нечеткой логики.

### III. КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Принцип построения, основывающийся на концепции нечетких алгоритмов, позволяет преодолеть неоднозначность исходного описания системы и преобразовать его в математическое описание.

Для достижения этой цели вводится понятие степени принадлежности, которая позволяет сопоставить один объект одновременно со всеми классами и лишь впоследствии, рассматривая совместно с остальными характеристиками выявить нужное значение. Очевидными условиями тут становятся:

- значение степени принадлежности рассчитывается в диапазоне от 0 до 1;

- сумма всех степеней принадлежности для одного объекта равна строго 1.

Представим формализацию этого правила, тогда  $MF(\omega)$  – степень принадлежности, а  $S$  – нечеткое множество, которое определяется как  $S = \{MF(\omega) / \omega\}, MF(\omega) \in [0,1]$ .

Далее на рисунке приведена структура нечеткого логического регулятора.

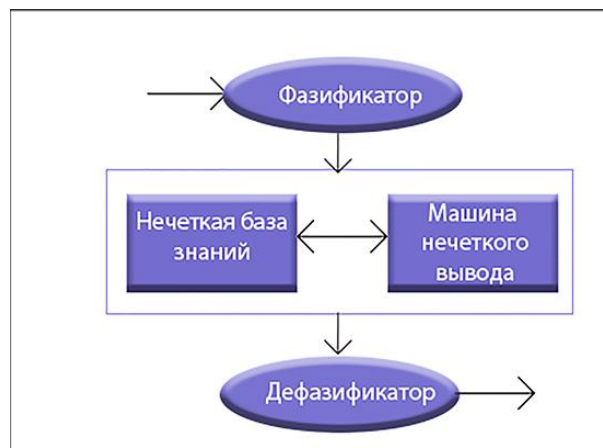


Рис. 1. Структура нечеткого логического регулятора

#### A. Структура нечеткой модели

Общую концепцию нечеткого логического регулятора, приведенную на рис. 1 можно представить в виде последовательности:

- процесс фазификации, который непосредственно преобразует вектор входной информации в вектор нечетких множеств;
- из всего массива информации составляется набор нечетких правил, представленный в форме «если...то...»;
- использование логических операций для группирования высказываний, имеющих взаимосвязь;
- обращение к нечеткой базе знаний для сопоставления исходных значений;
- формирование результата нечеткого логического вывода;
- процесс дефазификации.

Результатом работы оказывается конкретное значение, но оно образуется благодаря процессу дефазификации, который может учитывать другие факторы [2].

#### B. Эталонная база

В процессе формирования нечеткого аппарата важной составляющей является эталонная база. Процесс соотношения элемента с эталоном всегда зависит от заложенной математической модели. Однако, отдельным вопросом становится добавления самого эталона в базу.

В исходном варианте, функционирование эталонной базы не отличается от процессов работы обычной базы, а, значит, можно выделить следующие проблемы:

- исходные данные могут не иметь достаточной достоверности или подтверждения свойств эталона;
- исходные знания о системе могут быть недостаточными для того, чтобы сформировать полноценный эталон;
- технические ошибки при внесении эталона в базу;
- в процессе функционирования системы набор свойств, характеризующий эталон может меняться.

Соответственно, эталонная база должна обладать некоторыми показателями, к которым отнесем:

- доступ для изменения количества объектов;
- возможность изменения свойств уже сформированных объектов;
- система с самого начала должна включать в себя алгоритм, который бы учитывал изменения в существующем эталоне и изменял бы его значения в базе.

Отсюда появляется необходимость сформировать критерии, на основе которых эталон будет добавляться в базу.

Фактически, задача добавления нового эталона может разделиться на два основных варианта: добавление нового эталона из сторонней базы либо изменение уже существующего.

При добавлении эталонов из сторонней базы необходимо сформировать принцип доверия к достоверности новой информации.

Это означает, что необходимо будет использовать вероятностный критерий оценки. Сложным моментом тут может стать то, что достоверность эталона для одной базы может быть несовместима с критериями другой.

Другой стороной при использовании принципа доверия может стать то, что он будет транзитивным.

В такой ситуации решение о доверии к эталону будет приниматься по совокупности характеристик:

- вероятностная характеристика присуще не только новой базе, но и той, из которой заимствуется эталон, причем они могут быть не идентичны между собой;
- вероятностные показатели базы, из которой заимствуется эталон, известны и доступны для оценки достоверности.

Само понятие достоверности характерно для многих направлений, использующих интеллектуальные системы. Алгоритмы, которые, разрабатываются в рамках этих направлений, доступны для использования и при формировании базы эталонов.

Другой естественной возможностью добавления эталона в базу является появление новых свойств, не характерных до этого другим эталонам. В этом случае система на основе своих алгоритмов исследует входную информацию и выявляет значения, которые несут уже не вероятностный, а фиксированный характер и отличаются от уже существующих не менее чем на зафиксированный показатель. Далее, на основе критериев допустимости формирования нового значения система создает новый эталон.

Если говорить не только о теоретическом формировании системы, но о применении данных принципов на практике, конечно, методы совмещаются для получения оптимального результата [3].

Внесение алгоритмов нечеткой логики в формирование эталонной базы позволяет более детально изучить объект и выделить не только очевидные отличия, но более детальные, которые, возможно и будут иметь небольшое расхождение с уже существующими, но в совокупности привнесут в систему значения, недоступные для классических последовательностей.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование интеллектуальной системы является нетривиальной задачей, требующей детальной проработки на всех этапах цикла жизни.

Для таких систем не может быть универсальных алгоритмов, а новые задачи могут появиться в любой момент.

Разумеется, при таких параметрах аппарат нечеткой логики дает значительные преимущества. В частности, к достоинствам относится то, что появляется возможность использовать показатели с меньшим значением, комбинируя их с другими и получая более точный результат.

Конечно же, имеются и недостатки. Так, необходимость проведения процесса фазификации и дефазификации делает общий алгоритм более сложным, особенно, если учесть, что аппарат нечеткой логики может быть использован не единожды.

Хочется в результате отметить, что создание интеллектуальных систем, на данном этапе находится лишь на начальной стадии, не смотря на то, что многие системы уже функционируют на практике. А нечеткая логика позволяет приблизить такие системы к реальному интеллекту.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Системы управления с нечеткой логикой. СПб.: СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 2008г. 58 с.
- [2] Козлова О. А., Козлова Л.П. Роботы тоже могут видеть // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010, вып 10. С. 47–52.
- [3] Kozlova Lyudmila P., Belov Aleksandr M., Kozlova Olga A. The Use of Neural Networks for Planning the Behavior of Complex Systems / Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Saint Petersburg, pp. 902-904 DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317234