УДК 004.8

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЛЮБОЙ ПРИРОДЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И ПОНЯТИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Черняев А.П.

Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, e-mail:info@mipt.ru

Известно, что концептуально теория нечетких множеств окончательно не устоялась, некоторая новизна, подкрепленная выразительными примерами, получена относительно трактовок основных понятий. Основой теории нечетких множеств является взвешенная принадлежность, которую ни в коем случае нельзя отождествлять с вероятностью, мы начинаем свой обзор именно с этого основополагающего различия. Поскольку, идеи логики нечетких множеств зародились в технике, и именно в технике особенно важны научные достижения этой теории, мы остановились на прогремевших по всему миру технических вопросах, которые получили блестящие решения благодаря созданию этой теории. Особое внимание уделено проблемам управления, потому что именно управление является основной областью приложений теории нечетких множеств. Очень важно для понимания теории нечетких множеств различие неопределенностей: стохастической и лингвистической. И после этого в своем изложении мы переходим к очень важному понятию лингвистической переменной. Рассматриваются также процессы, моделирование которых должно происходить в условиях трудно устранимой или принципиально неустранимой неопределенности. Приведены примеры подобных неопределенностей сильно влияющих на стратегию моделирования процесса даже с помощью теории нечетких множеств, в то время как другие методы моделирования процессов с подобными неопределенностями слишком сложны.

Ключевые слова: взвешенная принадлежность, нечеткое множество, лингвистическая переменная.

FEATURES OF MODELING OF PROCESSES AND PHENOMENA OF THE TECHNICAL OBJECTS OF ANY NATURE BY MEANS OF FUZZY SETS THEORY AND THE CONCEPT OF LINGUISTIC VARIABLE

Chernyaev A.P.

Moscow institute of physics and technology (state University), Dolgoprudny, e-mail:info@mipt.ru

It is known that conceptual fuzzy set theory is not finally settled, some novelty, backed up by examples obtained on the interpretations of basic concepts. The basis of the theory of fuzzy sets is a balanced membership, which in any case cannot be identified with the probability, we start our review with this fundamental difference. Since, the ideas of fuzzy logic originated in the technique, and that technique is especially important scientific advances of this theory, we stayed thundered around the world technical issues that received a brilliant solution thanks to the creation of this theory. Special attention is paid to governance issues because governance is a major area of applications of fuzzy sets theory. It is very important for understanding the theory of fuzzy sets is the difference of uncertainty: stochastic and linguistic. And after that, we in the statement, we turn to the very important concept of a linguistic variable. It also examines the processes, the modeling of which should occur in the context of difficult or irremovable fundamental uncertainty. Examples of such uncertainties strongly influence the strategy process simulation even with the aid of the theory of fuzzy sets, while other methods of modeling of processes with similar uncertainties too complex.

Keywords: weighted membership, fuzzy set, linguistic variable

Введение

Основой теории нечетких множеств является взвешенная принадлежность, которую ни в коем случае нельзя отождествлять с вероятностью, мы начинаем свой обзор именно с этого основополагающего различия. Поскольку, идеи логики нечетких множеств зародились в технике, и именно в технике особенно важны научные достижения этой теории, необходимо остановиться на прогремевших по всему миру технических вопросах, которые получили блестящие решения благодаря созданию этой теории. Необходимо остановиться на проблемах управления, потому что именно управление является основной областью приложений теории нечетких множеств. Очень важно для понимания теории нечетких множеств различие неопределенностей: стохастической и лингвистической. И после этого мы в своем изложении перейдем к очень важному понятию лингвистической переменной.

Взвешенная принадлежность и вероятность

В традиционной теории множеств есть лишь две ситуации для элемента подмножества: он может либо быть, либо не быть элементом подмножества. На этом основана

любая формальная логика. Заслуга Л.А. Заде состоит в попытке выйти из этого тупика путем введения взвешенной принадлежности [2], [5, с. 9].

Взвешенная принадлежность и вероятность вещи совсем разные, вероятность лишь один из видов взвешенной принадлежности. Например [12], если множество ядов сухопутных змей расположить в порядке убывания по токсичности, то получится убывающая функция принадлежности, максимальное значение которой равное единице, придется отдать самой ядовитой сухопутной змее – австралийскому тайпану (тайпеню). Аналогичная ситуация будет с функцией принадлежности ядов у ядовитых грибов.

Если мы поставим задачу упорядочить по убыванию множество цен самых дорогостоящих картин великих живописцев, указав, что мы рассматриваем лишь картины когда-либо продававшиеся, получим аналогичную функцию принадлежности, если цену каждой картины разделим на цену самой дорогой картины. Тогда, значение функции принадлежности равное единице в 2012 г. придется отдать картине Поля Сезанна «Игроки в карты», ибо она была куплена на аукционе в 2012 г. за 250 млн. долларов.

Рейтинг каждого спортсмена в определенном виде спорта, если он у него есть, четко определяется по рейтинговой таблице. И если этот рейтинг разделить на рейтинг спортсмена с самым большим рейтингом, то также получим функцию принадлежности во множестве спортсменов данного вида спорта, включенных в рейтинговую таблицу [12].

Зарождение идей логики нечетких множеств в технике

Известно, что идеи логики нечетких множеств зародились в технике [8, с. 64]. Первые реализации теории нечетких множеств в промышленности относятся к середине 1970-х гг. Несмотря на известность Л. Заде, не менее важный вклад внесли последователи этой теории.

Сотрудник Лондонского университета Э. Мамдани использовал теорию нечетких множеств и в 1975 г. разработал алгоритм, который был предложен в качестве метода для автоматического управления паровым двигателем. Этот алгоритм получил широкое практическое применение. Управление, основанное на теории нечетких множеств, впервые испытанное в начале 70-х годов Э. Мамдани в начале 80-х годов, было реализовано в Дании для управления цементной обжиговой печью.

Япония – лидер технологий, основанных на теории нечетких множеств с 1985 г.

1. Компании Fisher и Sanyo производят нечеткие логические видеокамеры, в которых применяются нечеткая фокусировка и стабилизация изображения [6, с.13-14].

2. Компания Matsushita выпустила стиральную машину, в которой используются датчики и микропроцессоры с алгоритмами управления, основанные на теории нечетких множеств. Датчики определяют цвет и вид одежды, количество твердых частиц, степень загрязнения, а микропроцессор выбирает наиболее подходящую программу стирки из 600 доступных комбинаций температуры воды, количества стирального порошка и времени производственного цикла быстрого или медленного вращения и промывки.

3. Компания Mitsubishi объявила о выпуске первого в мире автомобиля, где управление каждой системой основано на логике нечетких множеств. При этом Mitsubishi также производит кондиционер, который управляет изменениями температуры и влажности в салоне согласно человеческому восприятию степени комфорта.

4. Компания Nissan разработала автоматическую трансмиссию и противоскользящую тормозную систему, управляемые алгоритмами логики нечетких множеств и реализовала их в одном из своих автомобилей повышенной комфортности.

5. Японский город Сенуай имеет метрополитен у которого в 2005 году было 16 станций и который управляется компьютером, работающим на основе теории нечетких множеств. При этом компьютер регулирует процессы ускорения и торможения поездов метро, делая на 70 % меньше ошибок, чем соответствующий человек-оператор.

6. На фондовом рынке Токио используются трейдерные системы, основанные на логике нечетких множеств, которые превосходят по скоростным и динамическим характеристикам традиционные информационные системы. В Японии имеются также системы управления уличным движением, тостеры, рисовые печи, пылесосы и многие другие бытовые и технические устройства, работающие на принципах, основанных на теории нечетких множеств.

7. Управление доменной печью, важной компонентой в технологическом процессе на металлургическом предприятии, осуществлялось до определенного времени главным образом на основе производственного опыта и знаний технологов и операторов. На металлургическом заводе фирмы NKK в г. Фукуяма для управления доменной печью были использованы методы инженерии знаний и разработана датчиковая экспертная система управления тепловым состоянием доменной печи (или нагревом печи) в реальном времени.

Расширение области приложений теории нечетких множеств

В начале 1990-х гг. в Европе появилось более 200 видов промышленных изделий и устройств, в которых были реализованы модели, работающие на основе теории нечетких множеств. Это были бытовые приборы, которые характеризовались более эффективной экономией электроэнергии и водопотребления без дополнительного увеличения цены изделия. Кроме того, другие промышленные приложения относились к автоматизации производства, включая управление химическими и биологическими процессами, управление станками и сборочными конвейерами, а также различные интеллектуальные датчики.

Этим приложениям сопутствовал коммерческий успех и логика нечетких множеств стала рассматриваться, как стандартный метод проектирования и получила широкое признание среди инженеров и проектировщиков. К подобным технологиям проявляют все больший интерес компании США, особенно те, которые испытывают жесткую конкуренцию со стороны Азии и Европы.

Например, логика нечетких множеств оказалась превосходным инструментом для разработки систем управления внутренними компонентами персональных компьютеров, а также алгоритмов компрессии речи и видео.

Известны приложения из области теле- и радиосвязи, направленные на устранение влияния отраженных ТВ-сигналов и радиосигналов. Реализованы программные алгоритмы для распознавания речи на основе логики нечетких множеств. Развернуты серьезные исследования по нейронно-сетевым технологиям, где упор делается на комбинацию нейронных сетей и логики нечетких множеств.

Министерство обороны США тратит серьезные средства на исследования в области построения систем управления вооружением и тренажеров для обучения пилотов истребителей на основе технологий, основанных на теории нечетких множеств. Национальное управление по аэронавтике (НАСА) использует подобные модели для решения специальных задач в космосе.

Область приложений теории нечетких множеств с каждым годом продолжает неуклонно расширяться [3], [4], [10]. Однако, основной областью применения этой теории остается управление. Почему же применение теории началось именно в управлении? Дело в том, что в исходную идею о логике нечетких множеств укладывались представления об управлении [2], [13]. Более того, поскольку задачи управления возникают почти во всех технологических процессах и в любом оборудовании, потребности в теории и возможности ее приложения достаточно велики.

Управление – основная область применения теории

Основная идея Л. А. Заде, который был специалистом по теории управления. состоит в попытке введения взвешенной принадлежности.

Именно с точки зрения теории управления это легко объяснить [12]. Действительно, представим себе прибор, который управляется при помощи каких-то регуляторов. Перед тем, кто управляет этим прибором, возникает проблема: в каждый момент времени из всего множества положений регуляторов прибора выбрать те, которые приближают к поставленной цели, отбросив положения регуляторов удаляющих от нее. Конечно, заманчиво выбрать оптимальное управление, но оно либо слишком сложно находится, либо вообще не может быть найдено, в силу изначально предполагаемой неопределенности процесса управления прибором. Однако, среди управлений приближающих к цели, одни приводят к цели быстрее, а другие медленнее. Упорядочивая, таким образом, множества управлений, присваивая оптимальным управлениям единицу, а остальным – положительное число от нуля до единицы, мы и получаем взвешенную принадлежность в управлении разного рода процессами и явлениями.

Моделирование, основанное на логике нечетких множеств, особенно полезно, ког-

да в описании процесса или явления присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных методов.

Стохастическая и лингвистическая неопределенности

Неопределенность бывает стохастическая и лингвистическая. Эти неопределенности имеют различный характер.

Приведем наглядный пример [12], который иллюстрирует различие между стохастической и лингвистической неопределенностью. Представим себе кочующего шейха едущего на верблюде по пустыне. Все, кто с ним ехал, умерли от жажды. И вдруг, он находит две бутылки с неизвестной жидкостью внутри каждой из них. На первой бутылке написано P = 0,9, а на другой μ = 0,9. Здесь P – это вероятность принадлежности содержимого первой бутылки множеству жидкостей пригодных для питья, а μ – значение функции принадлежности содержимого второй бутылки множеству жидкостей пригодных для питья. Какую же бутылку нужно выпить кочующему шейху?

Ясно, что кочующий шейх должен выбрать вторую бутылку, т. к. если он выпьет жидкость из первой бутылки, то с вероятностью 0.1 эта жидкость может оказаться ядом, а если он выпьет жидкость из второй бутылки, то яда он не выпьет, ибо у яда значение функции принадлежности равно нулю.

Лингвистическая переменная

Лингвистическую переменную можно определить как переменную, значениями которой являются не числа, а слова или предложения естественного или формального языка [15, с. 11].

Предположим теперь [12], что мы зашли в любой поисковик Интернета и набрали какое-то предложение в поисковой строке – лингвистическую переменную. Если бы поисковик работал бы на принципах логики четких множеств, то очень часто после нескольких часов работы он в качестве ответа выдавал бы отрицательный результат – ничего не найдено. Однако, поисковик Интернета выдает десятки или даже сотни, как правило, нечетких ответов.

Вернувшись к теме самых дорогостоящих картин великих живописцев. Обратившись к поисковику Интернета, снова поставим задачу найти самую дорогостоящую картину великого живописца, и не укажем, что мы рассматриваем лишь картины когда-либо продававшиеся, то на первом месте уже не будет картина Поля Сезанна «Игроки в карты». Пальму первенства, по мнению искусствоведов, придется скорее всего отдать какому-либо шедевру Леонардо да Винчи.

Нечеткость свойственна не только естественному языку, но и диалектам науки. Возьмем для примера физику. Зададимся вопросом: можно ли указать длину предмета (для определенности в метрах) с точностью до тридцатого знака после запятой? Вещество состоит из атомов, атомы из электронов, протонов и нейтронов. Можно ли указать абсолютно точно положение электрона? В квантовой механике получен принцип неопределенности: произведение неопределенности в определении импульса частицы на неопределенность в определении ее положения всегда больше вполне определенной величины – постоянной Планка. Импульс электрона в атоме не может достигать сколь угодно высоких значений (импульс – это произведение скорости на массу; скорость не превосходит скорости света, масса электрона известна). Таким образом, неопределенность импульса ограничена. Стало быть, неопределенность в положении электрона всегда больше некоторой величины – согласно расчетам, примерно 10-10 метра. Иными словами, неустранимая неточность подстерегает нас уже в десятом знаке после запятой, так что о тридцатом не может быть и речи. Отсюда вывод: длину любого тела следует задавать не одним определенным числом, а совокупностью чисел с размытыми границами, т.е. нечетким множеством [7, с. 74-75].

Теория нечетких множеств является обобщением интервальной математики [7, с. 78-81]. Аппарат теории нечетких множеств довольно громоздок. Примером этому служат законы де Моргана для нечетких множеств и, особенно, дистрибутивный закон для нечетких множеств.

Нечеткие множества в задачах с трудно устранимой и принципиально неустранимой неопределенностью

В задачах фильтрации применение нечетких множеств связано с трудностью измерений при определении параметров пласта (параметры пласта определяются по кривым восстановления давления [14]). Трудности этих измерений аналогичны уже упоминавшейся нами ситуации с доменной

печью на металлургическом комбинате в г. Фукуяма. Этот вид неопределенности можно назвать трудно устранимой неопределенностью.

Однако, в тоже теории фильтрации можно привести пример принципиально неустранимой неопределенности [11]. Пусть имеется горизонтальный нефтеносный пласт, который принадлежит двум государствам, которые добывают нефть из этого пласта при помощи горизонтальных скважин. Задавая различные забойные давления, нефтедобытчик рассчитывает на нефть, добытую по выгодной цене. Но то же самое рассчитывает получить и конкурирующий нефтедобытчик. И, вполне вероятно, что мешая друг другу, они добудут нефть по слишком дорогой цене [14]. Точные данные о режиме добычи нефти конкурентом узнать невозможно принципиально, а без них невозможен успех.

Применение нечетких множеств, связанное с распределением большого числа точек поверхности в задачах аэродинамики, по которым восстанавливается система элементарных площадок (трудности подготовки исходных данных [1]), связано с трудностями описания нужной поверхности аналитическими формулами. Аналогичная неопределенность возникает при СВЧ – регистрации эффектов пространственной дисперсии в сверхпроводниках [9].

Список литературы

1. Введение в специальность. Высокоскоростные летательные аппараты / Ю.И. Хлопков, С.Л. Чернышев, Зея Мьо Мьинт и др. – М.: МФТИ, 2013. – 192 с.

2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

3. Икрянов И.И., Башкиров И.Г. Апробация использования элементов теории нечетких множеств на примере алгоритма расчета массовой сводки компоновки: материалы XXIV научно-технической конференции по аэродинамике. ЦАГИ г. Жуковский.

4. Икрянов И.И., Башкиров И.Г. Влияние выбора нечеткой алгебры на результаты предварительного аэродинамического проектирования в нечеткой постановке: материалы XXV научно-технической конференции по аэродинамике. ЦАГИ г. Жуковский.

5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

7. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика: монография. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 600 с.

8. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

9. СВЧ – регистрация эффектов пространственной дисперсии в сверхпроводниках / Н.А. Волчков, В.А. Дравин, А.Л. Карузский и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2007. – Т. 71, № 8. – С. 1124-1128.

10. Тевс С.С. Нечеткая логико-лингвистическая модель распознавания в оптико-электронных системах: сб. материалов второй МНТК «Медико-биологические информационные технологии 2000». – Курск, 2000. – С. 156-157.

11. Черняев А.П., Лигостаева Н.А., Коротеев М.В. Математическая модель линейной стационарной фильтрации к двум горизонтальным скважинам, расположенным в пласте большой протяженности // Математика: фундаментальные вопросы, приложения, преподавание: межвед. сб. научн. тр. 2003. – М.: МГУП, 2003. – Вып. 3. – С. 215-221.

12. Черняев А.П. Особенности моделирования процессов и явлений с помощью теории нечетких множеств и понятия лингвистической переменной // Математика, информатика, естествознание в экономике и обществе (МИЕСКО – 2015): труды Всероссийской научной конференции. – М.: МФЮА, 2015. – С. 74-79.

13. Черняев А.П. Особенности моделирования процессов и явлений объектов любой природы с помощью теории нечетких множеств // Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, наноэлектронных приборов и экологичных технологий: сб. материалов Международной конференции. – М.: МГОУ, 2015. – С. 80.

14. Швидлер М.И., Рахимкулов И.Ф., Портнов В.И. Определение параметров пласта по кривым восстановления давления // Нефтяное Хозяйство. – 1961. – № 8. – С. 49-56.

15. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие. – М.: БИНОМ, 2006. – 316 с.