

13. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В. Анализ и обзор моделей эволюции // Известия РАН. ТиСУ. – 2007. – № 5.
14. Ковалев С.М. Гибридные коннекционистские модели извлечения темпоральных знаний в информационных базах данных // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научн. тр. V Международной научно-практической конференции. Т. 1. – М.: Физматлит, 2009. – С. 30-41.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор М.А. Бутакова.

Ковалев Сергей Михайлович – Ростовский филиал Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»; e-mail: ksm@rfniias.ru; 344032, Ростов-на-Дону, Ленина 44/13; тел.: +78632188877; начальник центра интеллектуальных технологий; д.т.н.

Муравский Александр Викторович – e-mail: mouravski_alex@rfniias.ru; начальник лаборатории ЦИТ; к.т.н.

Kovalev Sergey Mihailovich – The Rostov Branch JSC "Research and development institute of information technologies, automation and communication of railway transport"; e-mail: ksm@rfniias.ru; 44/13, Lenina, Rostov-on-Don, 344032, Russia; phone: +78632188877; managing director of Rostov branch of JSC NIIAS; dr. of eng. sc.

Muravskiy Alexander Viktorovich – e-mail: mouravski_alex@rfniias.ru; chief designer of the department for intellectual technologies on Railway transport; cand. of eng. sc.

УДК 669.183.2:658.51.001.57

З.А. Мелихова, О.А. Мелихова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ МАТЕМАТИКИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ*

Рассматриваются модели представления знаний на основе нечеткой логики, классы задач принятия решений в различных предметных областях, модели возникновения простейших информационных и кибернетических систем на ранних стадиях развития эволюции. В работе предлагается, наряду с известными методами логического вывода, использовать ускоренный вывод, позволяющий быстро, но приближенно, оценивать влияние факторов на поведение системы. Нечеткий экспресс вывод строится на основе нечеткой аналогии. При этом исходная модель базы знаний задается в виде нечеткого графа и одного или более нечетких гомоморфных ее образов. Для осуществления вывода на основе нечеткой аналогии необходимо установить нечеткий изоморфизм исходного графа и нечеткого изоморфного образа.

Кибернетическая система; нечеткие множества; база знаний; нечеткий изоморфизм; эпиморфный образ; композиционное правило вывода; нечеткие эталонные ситуации; имплицитивные правила.

Z.A. Melikhova, O.A. Melikhova

THE USE OF FUZZY MATHEMATICS MEANS BY THE SYSTEMS SIMULATION OF THE DECISION THEORY SUPPORT

The models of the knowledges representation on the base of fuzzy logic, the classes of decision problems in various subject, the models of the simplest information and cybernetics systems origin on the early stages of evolution development are considered. In the paper offers to make use

* Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетной научно-исследовательской работы № 37.04.54.

the accelerated conclusion making possible rapidly but approximately the factors influence on the system's behavior parallel with the well-known methods of logical inference. The fuzzy accelerated conclusion forms on the base of fuzzy analogy, in addition, the initial model of knowledge base gives in the forms of fuzzy graph and of one or more its fuzzy homomorphic images. It is necessary to set the fuzzy isomorphism of the initial graph and the fuzzy isomorphic image for the realization of the conclusion on the base of fuzzy analogy.

Cybernetics system; fuzzy sets; knowledge base; fuzzy isomorphism; epimorphic image; composition rule inference; fuzzy standard situations; implicative rules.

Введение. В настоящее время для описания сложных объектов управления, таких как человеческое общество с его системой экономических, политических, социальных отношений, все чаще используется нечеткая логика, позволяющая формализовать нечеткие понятия и обеспечить эффективную обработку семантической информации. Множество задач принятия решений обычно делят на два класса: хорошо структурируемые и плохо структурируемые. Лица, принимающие стратегические решения в области планирования и управления, обычно имеют дело с задачами плохо формализуемыми и поэтому свои решения основывают на личном опыте и интуиции. Очень полезными для них оказываются системы поддержки принятия решений, включающие базу данных и базу знаний. База данных содержит информацию об объектах управления, а база знаний представляет собой математическую модель обработки информации и получения необходимого решения. Совокупность базы данных и базы знаний с нечетким логическим выводом образуют одну из моделей кибернетических систем. Рассмотрим модели возникновения простейших информационных и кибернетических систем на самых ранних стадиях развития эволюции [1]. Такими учеными, как М. Эйгеном, Ф. Криком, Ф. Дайсоном, Ф. Андерсоном, был разработан ряд интересных математических и компьютерных моделей, позволяющих представить возможные схемы эволюции, приведшие к возникновению молекулярно-генетических самовоспроизводящихся систем простейших клеточных организмов. Интерес к такому моделированию был обусловлен мощными достижениями молекулярной биологии. При разработке интеллектуальных систем принятия решений, модели представления знаний которых часто строятся в виде ситуационно-фреймовых сетей, а также при разработке глобальных интеллектуальных систем, использующих гибридные модели знаний для представления концептуальных понятий, необходимо иметь возможность быстро оценивать влияние тех или иных факторов на поведение системы в окружающем ее мире. Для того чтобы прогноз и оценка поведения системы были эффективными, в базе знаний такой системы кроме обычного логического вывода желательно иметь ускоренный вывод, позволяющий быстро, хотя и приближенно, оценивать влияние тех или иных факторов на поведение системы.

Постановка задачи. Нечеткий экспресс вывод можно построить на основе нечеткой аналогии. Под аналогией понимается сходство между предметами, явлениями или понятиями в некотором отношении, то есть это такая форма умозаключения, в которой на основании сходства двух предметов, явлений или понятий в некотором отношении делается логический вывод об их сходстве в другом отношении. Под нечеткой аналогией понимается следующее [2]. Пусть имеется модель исходной базы знаний, заданная в виде нечеткого графа и имеется один или более нечетких гомоморфных ее образов. Тогда для осуществления вывода на основе нечеткой аналогии линейного типа необходимо установить нечеткий изоморфизм исходного графа модели системы и ее нечеткого изоморфного образа, то есть найти нечеткие подстановки, переводящие одну модель в другую, найти пути одинаковой длины из начальной вершины в конечную в изоморфном и в исходном графах модели, которые соответствуют логическому выводу по нечеткой линейной аналогии. Суть нечеткой нелинейной аналогии заключается в следующем. Строит-

ся нечеткий гомоморфный образ нечеткого графа, то есть осуществляется математически корректное сжатие исходного нечеткого графа в его нечеткий эпиморфный образ, в котором и выполняется логический вывод. Это быстрый, но сравнительно грубый экспресс вывод по гомоморфному образу системы. Если это не удовлетворяет заданной точности, то предлагается эффективное направление уточнения логического вывода в определенной области исходной базы знаний. Процедура уточнения может повторяться необходимое число раз.

Сравнительный анализ методов логического вывода. Под логическим выводом в данном случае можно понимать различные методы, например, такие как: вывод на основе композиционного правила вывода, вывод на основе обобщенных правил *modus ponens* и *modus tollens*, вытекающие из условного нечеткого вывода, либо вывод на основе распознавания нечетких эталонных ситуаций. При реализации нечеткого вывода в системах нечетких импликативных правил и нечетких описаний ситуаций этапу логического вывода предшествует этап идентификации входной нечеткой ситуации, на котором, если это требуется, производится преобразование количественной информации в ее качественное описание, то есть определяется семантика ситуации. Другими словами, осуществляется переход от чисел, характеризующих параметры объекта принятия решений, к соответствующим нечетким множествам. Нечеткие множества, получаемые в результате нечеткого логического вывода, могут интерпретироваться в зависимости от установленных требований, либо их лингвистической аппроксимацией, то есть описанием лингвистических переменных, либо переходом к конкретным числам, характеризующим параметры принятого решения. И в том, и в другом случае требуется выполнить ряд специальных операций и преобразований над нечеткими множествами.

Операции над нечеткими множествами имеют особенный характер, обусловленный, с одной стороны, необходимостью выполнения массовых преобразований над совокупностями их векторных представлений, а с другой – их относительной простотой (наиболее часто используемые операции сводятся к попарному выполнению над элементами двух нечетких множеств операций определения максимума и минимума).

Использование метода логического вывода на основе нечеткого гомоморфизма позволяет значительно повысить интеллектуальные возможности существующих и вновь разрабатываемых гибридных и глобальных интеллектуальных систем принятия решений.

Язык четких и нечетких ориентированных графов и гиперграфов является наиболее удобной формой, как для представления знаний, так и для математически корректного решения задачи семантического сжатия информации при нечеткой аналогии на основе нечеткого гомоморфизма общего типа, включающего в себя частные случаи нечеткого мономорфизма, нечеткого эпиморфизма и нечеткого биективного гомоморфизма или изоморфизма систем. В связи с этим следующие утверждения (теоремы) для нечетких гомоморфизмов нечетких отношений имеют, как теоретический, так и практический интерес [2–5].

Теорема 1. Если нечеткое соответствие $\Gamma=(X, Y, F)$ и его инверсия $\Gamma^{-1}=(X, Y, F^{-1})$ суть нечеткие гомоморфизмы нечетких отношений по некоторой операции, то Γ и Γ^{-1} являются нечеткими изоморфизмами по этой операции.

Доказательство. Так как Γ – нечеткий гомоморфизм, то Γ – нечеткое отображение X в Y и по определению оно является нечетким функциональным и нечетким всюду определенным соответствием. Известно, что, если Γ – нечеткое функциональное и всюду определенное соответствие, то его инверсия $\Gamma^{-1}=(X, Y, F^{-1})$ обладает свойствами нечеткой инъективности и нечеткой сюръективности. Отсюда и из того, что Γ и Γ^{-1} – нечеткие гомоморфизмы, вытекает, что Γ и Γ^{-1} – одно-

временно нечеткие функциональные, нечеткие инъективные, нечеткие всюду определенные и нечеткие сюръективные, т.е. нечеткие биективные соответствия. Следовательно, Γ и Γ^{-1} – нечеткие изоморфизмы.

Теорема 2. Если нечеткие соответствия $\Gamma=(X,Y,F)$ и $\Delta=(Y,Z,P)$ суть нечеткие гомоморфизмы по операции $*$ и $V=\Gamma \circ \Delta$ – их композиция, то $V=(X,Z,Q)$ является нечетким гомоморфизмом нечетких отношений по операции $*$.

Доказательство. Поскольку соответствия Γ и Δ – нечеткие гомоморфизмы нечетких отношений, то Γ и Δ – нечеткие отображения множеств X в Y и Y в Z соответственно и поэтому они обладают свойствами нечеткой функциональности и нечеткой всюду определенности. Можно показать, используя закон контрапозиции нечетких логических формул, определение операции композиции нечетких соответствий и основные свойства нечетких соответствий, что композиция произвольных нечетких функциональных или нечетких инъективных соответствий обладает свойством нечеткой функциональности или нечеткой инъективности, а композиция нечетких всюду определенных, нечетких сюръективных и нечетких биективных соответствий обладает указанными свойствами только в том случае, когда область отправления нечеткого соответствия Δ совпадает с областью прибытия нечеткого соответствия Γ . Так как область прибытия Γ совпадает с областью отправления Δ , то их композиция $V=\Gamma \circ \Delta$ также обладает свойством нечеткой функциональности и нечеткой всюду определенности, то есть является нечетким отображением множества X в Z . Поэтому для композиции выполняется нечеткое равенство:

$$V(\varphi * \psi) \approx V(\varphi) * V(\psi),$$

где φ и ψ — произвольные нечеткие отношения, поскольку нечеткое отображение V обладает теми же свойствами, что и нечеткие отображения Γ и Δ , для которых соотношение имеет место по условию теоремы. Следовательно, отображение V является нечетким гомоморфизмом нечетких отношений по операции $*$.

По аналогии с теоремой 2 может быть сформулирована и доказана следующая теорема.

Теорема 3. Если нечеткие соответствия $\Gamma=(X,Y,F)$ и $\Delta=(Y,Z,P)$ суть нечеткие мономорфизмы (нечеткие эпиморфизмы или нечеткие изоморфизмы) нечетких отношений по операции $*$ и нечеткое соответствие $V=\Gamma \circ \Delta$ – их композиция, то $V=(X,Z,Q)$ является нечетким мономорфизмом (нечетким эпиморфизмом или нечетким изоморфизмом) нечетких отношений по операции $*$.

Приведенные теоремы позволяют, используя многократное число раз операцию композиции нечетких гомоморфизмов, для исходного графа строить различные гомоморфные образы, которые усиливают или ослабляют существующие нечеткие характеристики, свойства и виды исходных графов в нечетких мультикомпозиционных гомоморфных образах. Установление наиболее интересных с теоретической и практической точек зрения зависимостей может являться предметом дальнейших исследований.

Заключение. Успешные применения нечеткой логики и нечетких алгоритмов лежат в области построения систем принятия решений и управления сложными технологическими и организационными процессами. Поскольку эти системы являются человеко-машинными, то время их реакции на запрос пользователя жестко лимитировано психологическими особенностями диалога. Управление технологическими процессами естественно должно происходить в реальном или ускоренном масштабе времени [6–8].

Для практических задач объем обрабатываемой нечеткой информации обычно весьма значителен, а одними из основных операторов обработки нечеткой информации являются обращение к памяти и проверка логических условий. В этой

связи возможны случаи, когда программная реализация нечетких алгоритмов не удовлетворяет требованиям комфортной работы пользователя, либо требованиям технологического процесса относительно времени принятия решения и должна поддерживаться аппаратно [9–11].

Исследования, проведенные в области обработки нечеткой информации, показали, что основные операции нечеткой логики, используемые для преобразования нечетких множеств обладают естественным параллелизмом, поскольку выполняются над каждым элементом нечеткого множества независимо друг от друга. Кроме того, в нечетких алгоритмах операции, применяемые ко всем элементам нечеткого множества на каждом конкретном шаге в большинстве случаев одинаковы или однотипны. И, наконец, независимо от базиса используемых операций, более сложные операции образуются как совокупность нескольких простых операций.

Для аппаратной поддержки вывода решений в системах, названных ситуационными, предлагается использовать идеологию векторных или матричных процессоров, применяемых самостоятельно или в качестве сопроцессора. Вывод решения в таких системах основывается на нечетком распознавании входной информации путем сравнения ее описания с описаниями эталонных нечетких ситуаций, характеризующих состояние объекта принятия решений. Нечеткий ситуационный вывод решений достаточно прост для реализации и, вместе с тем, обладает рядом достоинств по сравнению с композиционным выводом, а именно:

- ◆ отсутствием необходимости выполнять лингвистическую интерпретацию получаемых в результате композиции нечетких множеств;
- ◆ сокращением количества хранимой информации, поскольку для реализации нечеткого композиционного вывода необходимо хранение, по крайней мере, одной матрицы нечеткого отношения “вход-выход” для каждого правила, либо их получение в процессе решения;
- ◆ простотой аппаратной реализации, поскольку нечеткий ситуационный вывод сводится к определению нечеткой близости пар нечетких множеств второго уровня.

Параллельный процессор нечеткого вывода может обрабатывать нечеткую информацию, заданную непосредственно на вербальной шкале, минуя первый (предметный) уровень обработки. В то же время, допускается вариант использования нечеткого процессора в одноуровневой схеме вывода, не использующей вербальную шкалу значений признаков [12–15].

По сравнению с имеющимися процессорами нечеткого композиционного вывода решений, скорость нечеткого логического ситуационного вывода в параллельном нечетком процессоре увеличивается в три раза при двухуровневой схеме вывода и на порядок при одноуровневой схеме вывода. Те же временные соотношения сохраняются и при реализации на нечетком процессоре нечеткого композиционного вывода решений. Кроме того, объем множества эталонных ситуаций, используемых нечетким процессором, ограничиваются только технологическими возможностями его изготовителя, поскольку эталонные ситуации хранятся во внешней памяти, и не влияют на временные характеристики процессора. Базис нечетких логических операций в отличие от известных процессоров, не имеет существенного значения для архитектуры параллельного процессора нечеткого логического вывода. При изменении базиса нечетких логических операций меняется только архитектура элементарного процессора. Сопроцессор нечеткого вывода можно использовать для аппаратной поддержки систем принятия решений.

Возможно также его применение в качестве нечеткого контроллера сложных технических объектов, технологических процессов и робототехнических систем, ускорителей экспертных и прогностических систем, работающих на основе нечеткой логики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Редько В.Г.* Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 224 с.
2. *Мелихова О.А.* Методы построения интеллектуальных систем на основе нечеткой логики: Научное издание. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. – 92 с.
3. *Мелихова О.А., Мелихова З.А.* Использование нечеткой математики при моделировании систем искусственного интеллекта. В 2-х томах. Т. 2. – М: Физматлит, 2009. – С. 728-742.
4. *Курейчик В.М.* Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР. – М.: Радио и связь, 1990. – 352 с.
5. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К.* Искусственный интеллект в САПР: Текст лекций. – Таганрог: ТРТИ, 1989. – 48 с.
6. *Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Нужнов Е.В.* Применение экспертных систем в инженерной практике: Учебное пособие. – Таганрог: ТРТУ, 1996. – 135 с.
7. *Kureichic V.M., Lebedev B.K., Nuzhnov E.V.* Approach to genetic switch box gridles routing // Известия ТРТУ. – 1999. – № 3 (13). – С. 89-96.
8. *V.M. Kureichic, B.K. Lebedev, E.V. Nuzhnov.* Approach to genetic switch box intellectual maze routing // Известия ТРТУ. – 1999. № 3 (13). – С. 9-13.
9. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
10. *Курейчик В.В., Курейчик В.М., Емельянов В.В.* Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – 115 с.
11. *Заде Л.* Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационно-интеллектуальных систем // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 2. – С. 7-11.
12. *Malgorzata Marek-Sadowska.* Electrical and Computer Engineering Department. – Santa Barbara: University of California. – USA, 2005. – 254 p.
13. *Klir G.* Fuzzy Sets, Uncertainty and Information / G. Klir, T. Folger // Prentice Hall. New Jersey. – 1988. – P. 233-249.
14. *Тихонов А.Н., Цветков В.Я.* Методы и системы поддержки принятия решений. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 251 с.
15. *Петровский А.Б.* Теория принятия решений. – М.: Изд. дом «Академия», 2009. – 293 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Мелихова Зинаида Александровна – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: ao@tsure.ru.; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; доцент.

Мелихова Оксана Аскольдовна – тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Melikhova Zinaida Aleksandrovna – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: ao@tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; associate professor.

Melikhova Oksana Askoldovna – phone: +78634371651; the department of computer aided design; associate professor.