

УДК 519.681.5

МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМОЙ СИСТЕМЫ

Фозилова М.М.

fozilova.mm@mail.ru

Научно-инновационный центр информационно-коммуникационных технологий

В статье предлагаются результаты исследования различных многоагентных систем на примере ряда моделей и многоагентных реализаций оптимизационных алгоритмов. Выделены общие методы построения и вопросы, касающиеся их поведения, критерии качества работы систем. Определены закономерности, взаимосвязей между свойствами и параметрами, используемыми при задании многоагентной интеллектуальной системы. Разработаны подходы обработки сложноструктурированной информации. Разработаны алгоритмы построения многоагентной интеллектуальной системы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, гибридные интеллектуальные системы, нейро-нечеткие модели, эволюционные алгоритмы, многоагентная интеллектуальная система.

Цитирование: *Фозилова М.М.* Методы применения многоагентной системы для оценки состояния слабоформализуемой системы // Проблемы вычислительной и прикладной математики. — 2019. — № 1(19). — С. 78–89.

1 Введение

Многоагентные системы в последнее время являются одной из важных и перспективных областей развития информационных и коммуникационных технологий. Это обусловлено всё возрастающей сложностью, пространственной распределённостью современных информационных систем, организаций, исследуемых объектов [1]. Параллельно с практическим внедрением идёт теоретический анализ принципов многоагентных систем. Поскольку МАС применяются во многих различных областях, существуют различные подходы к исследованию МАС в зависимости от вопросов, стоящих перед исследователями. Большой популярностью пользуется логический подход к описанию и исследованию МАС, заключающийся в описании их работы с помощью различных логических конструкций, введения специальных операторов для описания работы агентов. Также применяется вероятностный подход, при котором некоторые элементарные шаги работы системы рассматриваются как подверженные действию случайных факторов (например, задержка при передаче информации, или индивидуальные решения агентов) [2].

Однако многие модели, построенные с помощью агентного подхода, являются чисто имитационными, а алгоритмы (если речь идёт о системах ИИ) – чисто эвристическими. Задача теоретического обоснования их эффективности и оценки их поведения остаётся нерешённой. Всё это делает актуальным дальнейшее теоретическое изучение МАС, создание новых подходов, выделение новых семейств, а также развития средств их описания, исследования и реализации, выведения приёмов и методов, как обосновывающих использование существующих систем, так и задающих направление их улучшения и создания новых систем, обладающих определёнными

свойствами [3,4]. В основе многоагентного подхода лежит понятие мобильного программного агента, который реализован и функционирует как самостоятельная специализированная компьютерная программа или элемент искусственного интеллекта.

До появления соответствующих информационных технологий, "агент" был человеком, которому делегировалась часть полномочий — как в выполнении конкретных функций, так и в принятии решений. В первых (не компьютерных) многоагентных системах агенты представляли сотрудников компаний, от имени и по поручению которых они взаимодействовали между собой при выполнении определенной задачи — например, представители покупателя и продавца в торговой сети или в других видах бизнеса. Такие системы наследовали многие черты "бюрократической" организации, включая централизацию управления, статичную структуру и узкоспециализированную агентную функциональность. На смену таким системам, копирующим централизованную иерархию, быстро пришли распределенные системы, в которых знания и ресурсы распределялись между достаточно "самостоятельными" агентами, но сохранялся общий орган командного управления, принимающий решения в критических или конфликтных ситуациях. Дальнейшим шагом в этом направлении стала парадигма полностью децентрализованных систем, в которых управление происходит только за счет локальных взаимодействий между агентами. При этом узкая функциональная ориентация агента на решение какой-то одной отдельной части общей задачи постепенно стала уступать место универсальной целостности (автономности). Примерами таких децентрализованных организаций отчасти могут служить колонии насекомых, например, пчел или муравьев [5-7].

Суть многоагентных технологий заключается в принципиально новом методе решения задач. В отличие от классического способа, когда проводится поиск некоторого четко определенного (детерминированного) алгоритма, позволяющего найти наилучшее решение проблемы, в многоагентных технологиях решение получается автоматически в результате взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных программных модулей — так называемых программных агентов.

Человеку присущ интеллект — это его отличает от компьютера, действующего строго по заложенной в него программе. А это то, что позволяет человеку ориентироваться в сложной обстановке, иметь дело с нечетко поставленными задачами, адаптироваться к меняющимся условиям. Неопределенность присутствует чаще всего, когда существует набор альтернатив, и невозможно предсказать, какой из вариантов окажется лучшим по прошествии достаточно длительного времени.

Каждый отдельно взятый муравей или пчела, очевидно, не обладают интеллектом. С другой — колония в целом проявляет удивительные образцы поведения, которое во многом может считаться интеллектуальным. Такие ситуации называются проявлением эмерджентного интеллекта, или неожиданных свойств, которыми обладает система, но не обладает ни один входящий в нее отдельный элемент. Возникающий при этом эффект "интеллектуального резонанса" часто так и называют "интеллект роя". Действительно, интеллект и физическая сила одной пчелы не так велики, но рой пчел, согласованно действующий, может победить медведя и даже человека [8].

Эти сценарии формируются и исполняются агентами самостоятельно. На каждом шаге агенты рассматривают входы системы и реагируют на непредсказуемые события (задержки, сбои, изменения). Реакция может быть самостоятельной, или осуществляться во взаимодействии с оператором [9].

2 Интеллектуальные многоагентные системы

Многоагентная система кардинально отличается от традиционных систем, и, в перспективе, способны помочь в решении этих задач.

Начало построения моделей и применения искусственных многоагентных систем на практике было положено в 1960-х годах. В качестве основы были взяты достижения таких областей деятельности человека, как системы искусственного интеллекта (Artificial Intelligence), параллельные вычисления (Parallel Computing), распределенное решение задач (Distributed Problem Solving). Многоагентные системы имеют реальную возможность интегрировать в себе самые передовые достижения перечисленных областей, демонстрируя принципиально новые качества. Сейчас МАС — одно из наиболее динамично развивающихся и перспективных направлений в области искусственного интеллекта [5-7].

Открытый характер современного информационного общества и глобальной рыночной экономики приводит к ускорению научно-технического прогресса и обострению конкуренции на рынках. Это заставляет предприятия искать новые методы и средства организации и управления, направленные на более качественное и эффективное удовлетворение индивидуальных запросов потребителей. Большинство современных систем характеризуются отсутствием средств своевременной идентификации новых потребностей и возможностей в среде, позволяющих предприятию оперативно принимать эффективные решения по реконфигурации производственных, кадровых, финансовых и других ресурсов.

Типичными примерами событий, вызывающих необходимость заново идентифицировать потребности и возможности, являются: появление нового выгодного заказа, для исполнения которого недостаточно собственных ресурсов предприятия, выход из строя части имеющихся ресурсов, а так же изменение критериев принятия решений. Чем выше неопределенность, чем более распределенный характер имеют процессы принятия решения и чем чаще случаются незапланированные события, тем ниже эффективность существующих систем, не способных самостоятельно принимать решения и автоматически перестраиваться под изменения в среде [8-10].

Необходимость модификации схемы принятия решений в традиционных системах оказывается сложной и трудоемкой задачей, которая требует высокой квалификации исполнителей. Это делает разработку и эксплуатацию таких систем крайне дорогостоящими. Соответственно, еще одной актуальной проблемой современности становится рост объемов информации и степени сложности описания систем.

Для решения подобных проблем применяются многоагентные технологии, в основе которых лежит понятие "агента которое в последнее время было адаптировано ко многим областям как прикладного и системного программирования, так и к исследованиям в областях искусственного интеллекта и распределенных интеллектуальных систем. Причем в каждом конкретном случае понятию придается несколько разное значение.

Первоначально идея создания интеллектуального посредника (агента) "возникла в связи с желанием упростить стиль общения конечного пользователя с компьютерными программами, поскольку доминирующей, в основном, и ныне стиль взаимодействия пользователя с компьютером предполагает, что пользователь запускает задачу явным образом и управляет ее решением. Но это совершенно не подходит для неискусшенного пользователя". Иначе говоря, сначала идея интеллектуального посредника возникла как попытка интеллектуализации пользовательского интерфейса [1,2].

Развитие методов искусственного интеллекта позволило сделать новый шаг к изменению стиля взаимодействия пользователя с компьютером. Возникла идея создания так называемых "автономных агентов" которые породили уже новый стиль взаимодействия пользователя с программой. Вместо взаимодействия, инициируемого пользователем путем команд и прямых манипуляций, пользователь вовлекается в совместный процесс решения. При этом, как пользователь, так и компьютерный посредник, оба принимают участие в запуске задачи, управлении событиями и решении задачи. Для такого стиля используется метафора персональный ассистент, который сотрудничает с пользователем в той же рабочей среде [5].

Словари дают следующее толкование слова агент: "некто или нечто, прикладывающее усилия для достижения эффекта". Такое самое общее определение указывает на первый признак агента — агенты совершают действия. Часто утверждается, что агенты не просто совершают действия, но они действуют автономно и рационально. Под автономностью обычно понимают, что агент действует без прямого вмешательства человека или другой управляющей сущности. Под рациональностью понимают стремление агента оптимизировать значение некоторой оценочной функции. Мера рациональности неявно указывает на то, что агент имеет цели, которых агент "хочет" достичь, и представления о внешнем мире, на которые агент опирается при выборе действия (реализации намерений: множество избранных, совместимых и достижимых желаний).

Еще одним важным свойством агента является то, что он помещен во внешнюю среду, с которой он способен взаимодействовать. Обычно, среда не контролируется агентом, он лишь способен влиять на нее. Разделение намерений и желаний необходимо, так как агент может иметь несовместимые желания или желания могут быть недостижимы. Поскольку агент ограничен в ресурсах и не может достичь всех желаний одновременно, естественно выбирать наиболее значимые цели — намерения. Итак, агент — разумная сущность, помещенная во внешнюю среду, способная взаимодействовать с ней, совершая автономные рациональные действия для достижения целей, т.е. Интеллектуальный агент — это агент, обладающая следующими свойствами [8-10]:

- реактивность (англ. reactivity) — агент ощущает внешнюю среду и реагирует на изменения в ней, совершая действия, направленные на достижение целей;
- проактивность (англ. pro-activeness) — агент показывает управляемое целями поведение, проявляя инициативу, совершая действия направленные на достижение целей;
- социальность (англ. social ability) — агент взаимодействует с другими сущностями внешней среды (другими агентами, людьми и т. д.) для достижения целей.

При разработке системы каждое из первых двух свойств достигается достаточно легко. Наибольшую сложность представляет совмещение в системе обоих свойств в нужных пропорциях. Будет не слишком эффективно, если агент жестко следует сценарию достижения цели, не реагируя на изменения во внешней среде и не обладая способностью заметить необходимости корректировки плана. Но также не эффективно будет и поведение, ограниченное лишь реакцией на поступающие извне стимулы, без какого-либо планирования целенаправленных действий.

3 Методы применения многоагентной системы для оценки состояния слабоформализуемой системы

Основная идея предложенной многоагентной системы основана на разделении всей системы на согласованно действующие, автономные интеллектуальные агенты. Эти агенты конкурируют и сотрудничают друг с другом для того, чтобы найти полное решение глобальной проблемы и осуществить синтез отдельных решений общей проблемы в итоговое решение.

Предложенная многоагентная распределенная интеллектуальная система состоит из агентов, действующих на основе знаний. Входная информация для всех пяти агентов представлена нечеткими переменными: \tilde{x}_1 , \tilde{x}_2 и \tilde{x}_3 . Используя правила нечеткого вывода, каждый агент генерирует свои выходные решения.

Проблема построения нечетких моделей на основе выводов нечетких правил в условиях неопределенности возникает при оценке состояния слабо формализуемых процессов. Преимущество нечеткой логики заключается в возможности использования экспертных знаний о данном объекте в виде высказываний (предикатных правил): если – "входы то – "выходы"[1,8,49]. Сегодня одним из наиболее перспективных направлений научных исследований в области анализа, прогнозирования и моделирования экономических явлений и процессов является Fuzzy-технология (нечеткая логика, нечеткие множества, нечеткие меры, нечеткое интегральное исчисление). Нечетко-множественные модели, представленные в виде программного обеспечения для персональных компьютеров, позволяют как менеджерам различного уровня, так и собственникам предприятий принимать экономически грамотные решения [6-10].

Хотя впервые упоминание о новом методе математического моделирования появилось около полувека назад, данная область научных исследований до сих пор остается мало изученной в нашей стране. На сегодняшний день потребителями научных разработок, программного обеспечения, в основу которых заложен нечетко-множественный аппарат Fuzzy-технологии, является достаточно узкий круг государственных и чуть более широкий круг коммерческих предприятий, а ученые, создающие и поставляющие на рынок данные продукты, исчисляются одним-двумя десятками человек. Условно период от момента зарождения данной науки до наших дней можно разделить на три этапа:

- первый – этап формирования основных теоретических постулатов (1965 – начало 70-х гг.);
- второй – этап практических разработок в различных областях жизни, основанных на нечеткой логике; рождение нового научного направления в рамках нечеткой логики «Fuzzy Economics» (1973 – начало 90-х гг.);
- третий – этап массового использования продукции, в основе работы которых лежит нечеткая логика (1995 – наше время).

Однако такое деление достаточно условно, т.к. теоретические изыскания в этой области знаний не прекращаются и до сих пор, с каждым годом расширяя область применения данного математического аппарата.

В 1965 году Л.А.Заде (Lotfi A. Zadeh), профессор информатики Калифорнийского Университета в Беркли (Berkeley), ввел в науку понятие нечетких множеств (fuzzy set), давшее название одноименной теории (fuzzy logic) [1].

Пусть состояние слабо формализуемого процесса описывается заданием выборки нечетких экспериментальных данных (X_r, y_r) , $r = \bar{1}, \bar{M}$. Здесь $X_r = (x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{rn})$

– входной n -мерный нечеткий вектор, который задается со своими функциями принадлежности, и $y_r = (y_1, y_2, \dots, y_M)$ – соответствующий ему выходной вектор.

Требуется построить нечетко-корректные модели задач принятия решений по оценке и прогнозированию состояния слабо формализуемого процесса, описываемые в общем виде совокупностью нечетких правил продукций (лингвистических высказываний).

$$\bigcup_{p=1}^{k_i} \left(\bigcap_{j=1}^n x_j^i = a_{ij}^p - \text{с весом } w_{ip} \right) \rightarrow y_i^f = f(b_{i0}, b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}), i = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Здесь a_{ij}^p – лингвистический терм, которым оценивается переменная x_j^i в строчке с номером p в правилах i ; w_{ip} – весовой коэффициент для строк p в правилах i ; $y_i^f = f(b_{i0}, b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in})$ – выход модели (1), описываемой правилом i .

Требуется найти такие значения неизвестных коэффициентов b_{ij} ($i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$) в процессе построения нечеткой модели (1), которые обеспечивают минимум невязки.

Предложенный подход был апробирован при решении задачи оценивания и прогнозирования с использованием реальных данных. Модель исследуемого процесса в описываемом алгоритме представляется в виде нечетко-нейронной сети (т.е. аппроксимируется нейронной сетью с нечеткими параметрами). Для решения задач принятия решений, модели которых описываются нечеткими предикатными правилами (логическими уравнениями) с соответствующими функциями принадлежности нечетких термов, предлагается следующий алгоритм [8,49].

1. Фиксируются значения параметров состояния объекта:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*).$$

2. Определяются значения функций принадлежности $\mu^j(x_i^*)$ при фиксированных значениях параметров x_i^* , $i = \overline{1, n}$.

3. Используя логические уравнения, вычисляются значения функций принадлежности $\mu^{y_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ при векторе состояния.

4. Находится решение y_r^* , для которого функция принадлежности определяется как:

$$\mu^{y_r^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \max_{r=1, M} \left[\mu^{y_r^f}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \right].$$

Суть обучения состоит в подборе таких параметров функций принадлежности, которые минимизируют различие между результатами нечетко-нейронной аппроксимации и реальным поведением объекта.

Алгоритм обучения нечетко-нейронной сети состоит из двух фаз. На первой фазе вычисляется модельное значение выхода объекта (y_r^f), соответствующее заданной архитектуре сети. На второй фазе вычисляется значение невязки (E_t) и пересчитываются параметры функций принадлежности.

Задача вычислительного эксперимента заключалась в реализации и анализе корректности предложенного алгоритма решения задачи принятия решения по оценке состояния слабо формализуемых процессов, описываемых нечетко-нейронной сетью. При этом входные данные модели были представлены неуправляемыми параметрами.

Нечеткие правила базы знаний каждого агента имеют следующий вид:

Для первого агента:

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = H) \text{ И } (x_4 = H)]$

ТО

$$y_1 = v_0(16, 0.98) + v_1(47, 0.97)x_1 - v_2(669, 0.99)x_2 + v_3(374, 0.99)x_3 + v_4(28, 0.98)x_4 + \\ + v_5(35, 0.97)x_1^2 - v_6(510, 0.95)x_2^2 + v_7(44, 0.97)x_3^2 + v_8(5, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(73, 0.99)x_1^3 + v_{10}(12, 0.97)x_2^3 + v_{11}(5, 0.98)x_3^3 - v_{12}(72, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(43, 0.96)x_1^4 - v_{14}(557, 0.99)x_2^4 + v_{15}(73, 0.98)x_3^4 + v_{16}(2, 0.95)x_4^4$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = H) \text{ И } (x_4 = C)]$

ТО

$$y_2 = v_0(16, 0.98) + v_1(304, 0.98)x_1 - v_2(717, 0.99)x_2 + v_3(521, 0.99)x_3 - v_4(7, 0.98)x_4 + \\ - v_5(571, 0.97)x_1^2 + v_6(92, 0.98)x_2^2 + v_7(73, 0.97)x_3^2 + v_8(29, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(74, 0.98)x_1^3 - v_{10}(433, 0.99)x_2^3 + v_{11}(21, 0.97)x_3^3 - v_{12}(35, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(83, 0.98)x_1^4 + v_{14}(84, 0.97)x_2^4 - v_{15}(291, 0.99)x_3^4 + v_{16}(2, 0.98)x_4^4$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = H) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_3 = v_0(20, 0.99) + v_1(3925, 0.98)x_1 + v_2(345, 0.99)x_2 + v_3(128, 0.99)x_3 - v_4(47, 0.98)x_4 + \\ + v_5(231, 0.99)x_1^2 + v_6(1923, 0.98)x_2^2 - v_7(1978, 0.95)x_3^2 + v_8(588, 0.98)x_4^2 + \\ - v_9(748, 0.98)x_1^3 - v_{10}(2483, 0.98)x_2^3 + v_{11}(2979, 0.95)x_3^3 - v_{12}(552, 0.98)x_4^3 + \\ + v_{13}(321, 0.97)x_1^4 - v_{14}(955, 0.99)x_2^4 + v_{15}(543, 0.97)x_3^4 + v_{16}(81, 0.99)x_4^4$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = H)]$

ТО

$$y_4 = v_0(3, 0.99) + v_1(3925, 0.97)x_1 - v_2(3545, 0.98)x_2 + v_3(128, 0.97)x_3 - v_4(47, 0.98)x_4 + \\ - v_5(352, 0.97)x_1^2 + v_6(74, 0.98)x_2^2 + v_7(398, 0.97)x_3^2 - v_8(84, 0.95)x_4^2 + \\ + v_9(298, 0.98)x_1^3 + v_{10}(375, 0.98)x_2^3 + v_{11}(95, 0.99)x_3^3 - v_{12}(395, 0.97)x_4^3 + \\ + v_{13}(289, 0.98)x_1^4 + v_{14}(751, 0.99)x_2^4 - v_{15}(1357, 0.97)x_3^4 + v_{16}(78, 0.99)x_4^4$$

$[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = C)]$

ТО

$$y_5 = -v_0(32, 0.98) + v_1(135, 0.98)x_1 + v_2(354, 0.99)x_2 + v_3(99, 0.99)x_3 - \mu_4(20, 0.98)x_4 + \\ + v_5(352, 0.97)x_1^2 - v_6(95, 0.98)x_2^2 - v_7(92, 0.97)x_3^2 + v_8(31, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(43, 0.98)x_1^3 - v_{10}(284, 0.99)x_2^3 + v_{11}(172, 0.97)x_3^3 + v_{12}(49, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(52, 0.98)x_1^4 + v_{14}(75, 0.97)x_2^4 - v_{15}(332, 0.99)x_3^4 + v_{16}(33, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_6 = v_0(12, 0.99) - v_1(31, 0.99)x_1 - v_3(11, 0.99)x_3 - v_4(6, 0.98)x_4 + \\ + v_5(571, 0.97)x_1^2 + v_6(92, 0.98)x_2^2 - v_7(673, 0.97)x_3^2 + v_8(29, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(14, 0.95)x_1^3 - v_{10}(23, 0.97)x_2^3 + v_{11}(11, 0.98)x_3^3 - v_{12}(23, 0.97)x_4^3 + \\ + v_{13}(22, 0.97)x_1^4 + v_{14}(15, 0.99)x_2^4 - v_{15}(8, 0.97)x_3^4 + v_{16}(13, 0.99)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_7 = \mu_0(21, 0.99) + v_1(287, 0.98)x_1 - v_2(561, 0.99)x_2 - v_3(1, 0.99)x_3 - v_4(87, 0.98)x_4 + \\ -v_5(31, 0.97)x_1^2 - v_6(83, 0.98)x_2^2 + v_7(54, 0.97)x_3^2 + v_8(143.97)x_4^2 + \\ +v_9(32, 0.98)x_1^3 + v_{10}(89, 0.99)x_2^3 - v_{11}(133, 0.97)x_3^3 - v_{12}(42, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(15, 0.98)x_1^4 - v_{14}(73, 0.97)x_2^4 + v_{15}(51, 0.99)x_3^4 + v_{16}(5, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = C)]$

ТО

$$y_8 = \mu_0(8, 0.98) + v_1(289, 0.98)x_1 + v_2(20, 0.99)x_2 - v_3(102, 0.99)x_3 - v_4(12, 0.98)x_4 + \\ -v_5(81, 0.95)x_1^2 + v_6(65, 0.97)x_2^2 + v_7(29, 0.99)x_3^2 + v_8(74, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(85, 0.99)x_1^3 - v_{10}(39, 0.99)x_2^3 + v_{11}(15, 0.97)x_3^3 - v_{12}(24, 0.98)x_4^3 + \\ +v_{13}(83, 0.97)x_1^4 + v_{14}(84, 0.95)x_2^4 - v_{15}(291, 0.94)x_3^4 + v_{16}(2, 0.99)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = H) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_9 = v_0(55, 0.98) + v_1(64, 0.97)x_1 - v_2(106, 0.99)x_2 - v_3(34, 0.99)x_3 + v_4(7, 0.98)x_4 + \\ +v_5(39, 0.97)x_1^2 + v_6(32, 0.98)x_2^2 - v_7(171, 0.97)x_3^2 + v_8(32, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(91, 0.98)x_1^3 - v_{10}(56, 0.99)x_2^3 + v_{11}(19, 0.97)x_3^3 - v_{12}(11, 0.99)x_4^3 + \\ -v_{13}(83, 0.98)x_1^4 + v_{14}(384, 0.97)x_2^4 - v_{15}(291, 0.99)x_3^4 + v_{16}(2, 0.98)x_4^4.$$

Для второго агента:

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = H) \text{ И } (x_4 = H)]$

ТО

$$y_{10} = v_0(27, 0.98) - v_1(644, 0.98)x_1 - v_2(19, 0.99)x_2 - v_3(66, 0.99)x_3 + v_4(79, 0.98)x_4 + \\ -v_5(571, 0.97)x_1^2 + v_6(92, 0.98)x_2^2 + v_7(73, 0.97)x_3^2 + v_8(429, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(3, 0.98)x_1^3 - v_{10}(8, 0.99)x_2^3 + v_{11}(41, 0.97)x_3^3 - v_{12}(57, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(2, 0.98)x_1^4 + v_{14}(8, 0.97)x_2^4 - v_{15}(12, 0.99)x_3^4 + v_{16}(7, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = H) \text{ И } (x_4 = C)]$

ТО

$$y_{11} = v_0(8, 0.99) - v_1(289, 0.98)x_1 + v_2(20, 0.99)x_2 - v_3(102, 0.99)x_3 - v_4(12, 0.98)x_4 + \\ -v_5(24, 0.97)x_1^2 + v_6(31, 0.98)x_2^2 + v_7(27, 0.97)x_3^2 + v_8(9, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(17, 0.98)x_1^3 - v_{10}(74, 0.99)x_2^3 + v_{11}(34, 0.97)x_3^3 - v_{12}(4, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(23, 0.98)x_1^4 + v_{14}(85, 0.97)x_2^4 - v_{15}(154, 0.99)x_3^4 + v_{16}(83, 0.98)x_4^4$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_{12} = v_0(55, 0.98) - v_1(38, 0.98)x_1 - v_2(74, 0.99)x_2 - v_3(20, 0.99)x_3 - v_4(11, 0.98)x_4 + \\ -v_5(76, 0.97)x_1^2 + v_6(38, 0.98)x_2^2 + v_7(21, 0.97)x_3^2 + v_8(89, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(72, 0.98)x_1^3 - v_{10}(292, 0.97)x_2^3 + v_{11}(187, 0.99)x_3^3 - v_{12}(63, 0.97)x_4^3 + \\ +v_{13}(25, 0.98)x_1^4 + v_{14}(54, 0.97)x_2^4 - v_{15}(81, 0.98)x_3^4 + v_{16}(17, 0.98)x_4^4$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = H)]$

ТО

$$y_{13} = -v_0(15, 0.98) - v_1(1583, 0.99)x_1 + v_2(16, 0.99)x_2 - v_3(16, 0.99)x_3 - v_4(162, 0.98)x_4 + \\ +v_5(571, 0.97)x_1^2 + v_6(92, 0.98)x_2^2 - v_7(573, 0.97)x_3^2 + v_8(29, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(44, 0.98)x_1^3 - v_{10}(75, 0.99)x_2^3 + v_{11}(19, 0.97)x_3^3 - v_{12}(64, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(49, 0.98)x_1^4 + v_{14}(84, 0.97)x_2^4 - v_{15}(125, 0.99)x_3^4 + v_{16}(9, 0.98)x_4^4$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = C)]$
ТО

$$y_{14} = -v_0(25, 0.98) - v_1(997, 0.99)x_1 + v_2(88, 0.99)x_2 + v_3(2, 0.99)x_3 + \mu_4(94, 0.98)x_4 + \\ + v_5(79, 0.97)x_1^2 + v_6(33, 0.99)x_2^2 + v_7(42, 0.97)x_3^2 - v_8(265, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(33, 0.98)x_1^3 - v_{10}(106, 0.99)x_2^3 + v_{11}(45, 0.99)x_3^3 - v_{12}(47, 0.97)x_4^3 + \\ + v_{13}(53, 0.97)x_1^4 + v_{14}(47, 0.99)x_2^4 - v_{15}(241, 0.98)x_3^4 + v_{16}(93, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = B)]$
ТО

$$y_{15} = -v_0(63, 0.98) - v_1(7, 0.97)x_1 - v_2(12, 0.99)x_2 + v_3(179, 0.99)x_3 - v_4(16, 0.98)x_4 \\ - v_5(45, 0.97)x_1^2 + v_6(35, 0.98)x_2^2 + v_7(42, 0.97)x_3^2 + v_8(74, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(71, 0.98)x_1^3 - v_{10}(64, 0.99)x_2^3 + v_{11}(85, 0.97)x_3^3 - v_{12}(45, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(24, 0.98)x_1^4 + v_{14}(71, 0.97)x_2^4 - v_{15}(132, 0.99)x_3^4 + v_{16}(93, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = C)]$
ТО

$$y_{16} = v_0(16, 0.98) + v_1(1240, 0.97)x_1 - v_2(3, 0.99)x_2 + v_3(7, 0.99)x_3 - v_4(120, 0.98)x_4 + \\ + v_5(71, 0.97)x_1^2 - v_6(92, 0.98)x_2^2 + v_7(73, 0.97)x_3^2 - v_8(59, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(43, 0.98)x_1^3 - v_{10}(102, 0.99)x_2^3 + v_{11}(10, 0.97)x_3^3 - v_{12}(35, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(83, 0.98)x_1^4 + v_{14}(84, 0.97)x_2^4 - v_{15}(291, 0.99)x_3^4 + v_{16}(2, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = C)]$ ТО

$$y_{17} = v_0(35, 0.98) + v_1(317, 0.97)x_1 - v_2(19, 0.99)x_2 - v_3(4, 0.99)x_3 - v_4(28, 0.98)x_4 + \\ - v_5(33, 0.97)x_1^2 + v_6(72, 0.98)x_2^2 + v_7(93, 0.97)x_3^2 - v_8(28, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(64, 20.98)x_1^3 - v_{10}(21, 0.99)x_2^3 + v_{11}(32, 0.97)x_3^3 - v_{12}(55, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(9, 0.98)x_1^4 - v_{14}(34, 0.97)x_2^4 - v_{15}(36, 0.99)x_3^4 + v_{16}(81, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = B)]$
ТО

$$y_{18} = v_0(85, 0.98) - v_1(223, 0.97)x_1 - v_2(55, 0.99)x_2 - v_3(36, 0.99)x_3 + v_4(26, 0.98)x_4 + \\ + v_5(32, 0.97)x_1^2 - v_6(72, 0.98)x_2^2 - v_7(45, 0.97)x_3^2 + v_8(89, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(82, 0.98)x_1^3 - v_{10}(171, 0.97)x_2^3 + v_{11}(81, 0.97)x_3^3 - v_{12}(11, 0.399)x_4^3 + \\ + v_{13}(21, 0.97)x_1^4 + v_{14}(33, 0.99)x_2^4 - v_{15}(92, 0.99)x_3^4 + v_{16}(45, 0.98)x_4^4.$$

Для третьего агента:

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = C)]$
ТО

$$y_{19} = -v_0(5, 0.99) + v_1(655, 0.97)x_1 + v_2(25, 0.99)x_2 - v_3(700, 0.99)x_3 - v_4(53, 0.98)x_4 + \\ - v_5(7, 0.97)x_1^2 + v_6(12, 0.98)x_2^2 + v_7(33, 0.97)x_3^2 - v_8(349, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(54, 0.98)x_1^3 - v_{10}(79, 0.99)x_2^3 + v_{11}(34, 0.97)x_3^3 - v_{12}(12, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(24, 0.98)x_1^4 + v_{14}(23, 0.97)x_2^4 - v_{15}(52, 0.99)x_3^4 + v_{16}(11, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = H) \text{ И } (x_2 = B) \text{ И } (x_3 = H) \text{ И } (x_4 = C)]$
ТО

$$y_{20} = -v_0(104, 0.98) + v_1(20, 0.98)x_1 - v_2(227, 0.99)x_2 + v_3(37, 0.99)x_3 - v_4(53, 0.98)x_4 + \\ - v_5(271, 0.97)x_1^2 + v_6(54, 0.98)x_2^2 - v_7(91, 0.97)x_3^2 + v_8(182, 0.97)x_4^2 + \\ + v_9(133, 0.98)x_1^3 - v_{10}(31, 0.99)x_2^3 + v_{11}(53, 0.97)x_3^3 - v_{12}(97, 0.99)x_4^3 + \\ + v_{13}(24, 0.98)x_1^4 - v_{14}(75, 0.97)x_2^4 + v_{15}(61, 0.99)x_3^4 - v_{16}(23, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = C) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_{21} = -v_0(240, 0.98) - v_1(236, 0.98)x_1 - v_2(350, 0.99)x_2 + v_3(146, 0.99)x_3 + v_4(47, 0.98)x_4 + \\ -v_5(41, 0.97)x_1^2 + v_6(90, 0.98)x_2^2 + v_7(83, 0.97)x_3^2 - v_8(129, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(21, 0.98)x_1^3 - v_{10}(32, 0.99)x_2^3 + v_{11}(47, 0.97)x_3^3 - v_{12}(29, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(83, 0.98)x_1^4 + v_{14}(84, 0.97)x_2^4 - v_{15}(291, 0.99)x_3^4 + v_{16}(2, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = C) \text{ И } (x_2 = C) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = C)]$

ТО

$$y_{23} = v_0(43, 0.98) - v_1(35, 0.99)x_1 - v_2(7, 0.99)x_2 + v_3(42, 0.99)x_3 - v_4(6, 0.99)x_4 + \\ +v_5(81, 0.97)x_1^2 + v_6(49, 0.98)x_2^2 - v_7(273, 0.97)x_3^2 + v_8(129, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(221, 0.98)x_1^3 - v_{10}(92, 0.99)x_2^3 + v_{11}(31, 0.97)x_3^3 - v_{12}(235, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(31, 0.98)x_1^4 + v_{14}(23, 0.97)x_2^4 - v_{15}(67, 0.99)x_3^4 + v_{16}(33, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = B) \text{ И } (x_2 = b) \text{ И } (x_3 = C) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_{24} = v_0(11, 0.99) - v_1(1, 0.98)x_1 + v_2(5, 0.99)x_2 + v_3(12, 0.98)x_3 + v_4(1, 0.99)x_4 + \\ +v_5(12, 0.97)x_1^2 + v_6(21, 0.97)x_2^2 + v_7(3, 0.97)x_3^2 - v_8(42, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(14, 0.99)x_1^3 - v_{10}(7, 0.99)x_2^3 + v_{11}(31, 0.97)x_3^3 - v_{12}(42, 0.98)x_4^3 + \\ +v_{13}(23, 0.98)x_1^4 + v_{14}(12, 0.97)x_2^4 - v_{15}(31, 0.99)x_3^4 - v_{16}(4, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = B) \text{ И } (x_2 = B) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = H)]$

ТО

$$y_{25} = v_0(15, 0.98) - v_1(13, 0.99)x_1 + v_2(4, 0.99)x_2 + v_3(15, 0.99)x_3 + v_4(3, 0.99)x_4 + \\ +v_5(12, 0.97)x_1^2 + v_6(23, 0.98)x_2^2 - v_7(31, 0.97)x_3^2 + v_8(4, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(21, 0.98)x_1^3 - v_{10}(54, 0.99)x_2^3 + v_{11}(42, 0.97)x_3^3 - v_{12}(9, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(23, 0.98)x_1^4 + v_{14}(18, 0.97)x_2^4 - v_{15}(32, 0.99)x_3^4 - v_{16}(5, 0.98)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = B) \text{ И } (x_2 = B) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = C)]$

ТО

$$y_{26} = v_0(97, 0.99) - v_1(34, 0.98)x_1 - v_2(84, 0.99)x_2 + v_3(43, 0.99)x_3 - v_4(5, 0.99)x_4 + \\ +v_5(81, 0.97)x_1^2 - v_6(31, 0.97)x_2^2 - v_7(29, 0.97)x_3^2 - v_8(18, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(11, 0.98)x_1^3 - v_{10}(32, 0.97)x_2^3 + v_{11}(22, 0.99)x_3^3 - v_{12}(4, 0.98)x_4^3 + \\ +v_{13}(35, 0.98)x_1^4 + v_{14}(24, 0.98)x_2^4 - v_{15}(61, 0.97)x_3^4 + v_{16}(7, 0.99)x_4^4.$$

ЕСЛИ $[(x_1 = B) \text{ И } (x_2 = B) \text{ И } (x_3 = B) \text{ И } (x_4 = B)]$

ТО

$$y_{27} = v_0(52, 0.98) - v_1(27, 0.98)x_1 - v_2(2, 0.99)x_2 - v_3(1, 0.99)x_3 - v_4(1, 0.99)x_4 + \\ -v_5(41, 0.97)x_1^2 + v_6(14, 0.98)x_2^2 - v_7(64, 0.97)x_3^2 + v_8(12, 0.97)x_4^2 + \\ +v_9(23, 0.98)x_1^3 - v_{10}(51, 0.99)x_2^3 + v_{11}(32, 0.97)x_3^3 - v_{12}(7, 0.99)x_4^3 + \\ +v_{13}(39, 0.98)x_1^4 - v_{14}(41, 0.97)x_2^4 + v_{15}(31, 0.99)x_3^4 - v_{16}(28, 0.98)x_4^4.$$

Полученные результаты показали высокую эффективность предложенного алгоритма решения задачи принятия решений по прогнозированию, классификации и оценке слабо формализуемых процессов, описываемых нечеткими моделями.

4 Заключение

Анализ проведенных исследований показал, что альтернативная концепция многоагентных распределенных интеллектуальных систем со взаимодействием и конкуренцией среди агентов, отличается от классического подхода следующим:

- каждый интеллектуальный агент действует абсолютно автономно;
- каждый интеллектуальный агент предлагает решение общей проблемы, каждый агент имеет полный доступ ко всей имеющейся информации;
- общее решение проблемы определяется как предложение одного из параллельно функционирующих агентов на основе конкуренции, кооперация агентов же формирует необходимое поведение всей системы;
- действия связанные с сотрудничеством и конкуренцией в системе осуществляются одновременно (не последовательно).

Сущности многоагентного моделирования в общем случае можно разделить на два класса: обычные, традиционные объекты среды, которые можно считать пассивными, поскольку они ожидают сообщения прежде, чем выполнить операцию. После того, как объекты иницированы, они выполняют свои функции и «засыпают» до получения следующего задания. Применение нечеткого логического вывода в рассуждения ИА позволяет избежать громоздкости правил, по сравнению с продукционным подходом, увеличить скорость вычисления результата и расширить его спектр за счет увеличения мощности терм-множеств, что приближает рассуждения ИА к человеческим. Использование метода Мамдани объясняется простотой программной реализации и естественностью получаемых результатов.

Литература

- [1] *Zadeh L.* The Information principle, In Proc. the 15th IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, San Francisco, CA, USA; August 13-15, 2014.
- [2] *Bordini H., Rafael H.* Multi-Agent Programming : Languages, Platforms and Applications. – Springer, 2005. – 296 p.
- [3] *Hong H.,Zhengxiong Zh.* Research Status and Prospect of Vehicle Routing Problem, Logistics technology, 2010. - pp.21-24.
- [4] *Nourossana H.,Erfani H.* Bee colony system: preciseness and speed in discrete optimization, International Journal on Artificial Intelligence Tools, 2012,21(1): -pp.6-16.
- [5] *Hui L.,Qinfei H.* Optimization of Cold Chain Logistics Distribution Route Considering Road Access, Journal of Dalian Maritime University, 2015,41(4). - pp.67-74.
- [6] *Lin H.* Architectural Design of Multi-Agent Systems, Technologies and Techniques (Premier Reference Series) – IGI Global, 2007. – 421 p.
- [7] *Shamma J.* Cooperative Control of Distributed Multi-Agent Systems. – John Wiley Sons, 2008. – 437 p.
- [8] *Alain J.* A Modelling Approach Based on Fuzzy Agents, International Journal of Computer Science Issues, November, 2012.
- [9] *Xiaojun B.* Improved Artificial Bee Colony Algorithm ,Journal of Harbin Engineering University, 2012,33(1): pp.117-123.

Поступила в редакцию 15.12.2018

UDC 519.681.5

METHODS OF USING A MULTI-AGENT SYSTEM FOR ASSESSING THE STATE OF A WEAKLY FORMALIZABLE SYSTEM

Fozilova M.M.

fozilova.mm@mail.ru

Scientific and innovation center of information and communication technologies

In the article the results of a study of various multi-agent systems using the example of a number of models and multi-agent implementations of optimization algorithms are presented. The essence of multi-agent technology is a fundamentally new method of solving problems. In contrast to the classical method, when some well-defined (deterministic) algorithm is searched, which allows finding the best solution to a problem, in multi-agent technologies, the solution is automatically obtained as a result of the interaction of many independent targeted software modules - so-called software agents. The main idea of the proposed multi-agent system is based on the division of the entire system into consistently acting, autonomous intelligent agents. These agents compete and cooperate with each other in order to find a complete solution to a global problem and to carry out a synthesis of individual solutions to a common problem into a final solution. The proposed multi-agent distributed intelligent system consists of knowledge-based agents. Input information for all five agents is represented by fuzzy variables. Using fuzzy inference rules, each agent generates its own output solutions. General construction methods and issues related to their behavior, criteria for the quality of system performance are highlighted. The regularities, interrelations between the properties and parameters used when specifying a multi-agent intelligent system are defined. Developed approaches for processing complexly structured information. Developed algorithms for building multi-agent intellectual system.

Keywords: artificial intelligence, hybrid intellectual systems, neuro-fuzzy models, evolutionary algorithms, multi-agent intelligent system.

Citation: Fozilova M.M. 2019. Methods of using a multi-agent system for assessing the state of a weakly formalizable system. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 1(19): 78–89.