

## **РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ФОРМАЛИЗМОВ СЕМАНТИЧЕСКИ-СОГЛАСОВАННОЙ СРЕДЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

### **Введение**

Компьютерно-интегрированные производственные системы (КИПС) вообще и сборочные, в частности, при моделировании рассматриваются как виртуально созданные дискретно-событийные системы (ДСС), смена состояний которых осуществляется в дискретные, непредвиденные моменты времени при свершении событий.

Сложность реализации и исследования ДСС усложняется гетерогенностью природы КИПС и особенностями синхронизации и координации. Для отображения функционирования КИПС могут использоваться различные формализмы: теории автоматов, Марковских процессов, очередей, максплюс и процессных алгебр, имитационного моделирования, аппарата сетей Петри (СП) и его различных расширений, дифференциальных уравнений. Каждый из приведенных выше инструментариев, используемых при синтезе и анализе КИПС, является достаточно мощным и развитым в решении определенного ряда задач и отличается значительными преимуществами в конкретных ситуациях. В то же время ни один из них как в отдельности, так и совместно с другими не способен в полной мере отобразить специфику протекающих в системе процессов. Существующие методы решения задач синтеза/анализа, верификации, идентификации и моделирования являются специализированными и не поддерживают автоматической последовательности “синтез-имитация-верификация” в границах однородной семантической среды [2].

Таким образом, эффективное моделирование ДСС требует решения задачи выбора наиболее подходящей семантики из набора для максимально полного отображения свойств и состояний каждого объекта системы, что затрудняется субъективным фактором. Объектами при этом могут быть как составляющие компоненты (обрабатывающие ресурсы) КИПС, так и процессы их взаимодействия и функционирования. В статье предлагается концепция автоматизированного рационального выбора формализмов, основанного на объектно-ориентированном подходе.

© В.В. Олейник, О.И. Лисовиченко, Л.С. Ямпольский, 2006

## Проблема объектно-ориентированного выбора соответствий (формализмы – объекты)

С учетом вышесказанного, важнейшей является задача разработки общих подходов к идентификации процессов в КИПС, их композиционного моделирования на основании комбинированных методов гиперпространственной семантики [3]. Разработка таких подходов позволяет комплексно описывать происходящие в КИПС процессы на стадии проектирования и управления. Само проектирование при этом реализуется согласно определенной системе формально обоснованных математических правил, обеспечивая аналитическое предсказание сложных динамических и тупиковых ситуаций, заикливания, общих блокировок системы и т.п., предлагая средства для предупреждения проблемных ситуаций, а при необходимости - их разрешения.

Эффективным и универсальным путем создания такого аппарата, надлежащим образом реализующего взаимодействие формализмов, является такое их описание на семантическом уровне, когда способы представления одних моделей одновременно служат семантическим базисом для представления других в пространствах гиперпространственной модели КИПС [2]. При этом преобразования и манипуляции над моделями определяют соответствующие изменения семантики на всем гиперпространстве моделирования.

Использование разных методик, поддерживаемых в рамках общей семантически согласованной средой, связано с проблемой неопределенности выбора “наилучшей” для решения данной задачи методики. Каждый формализм, как показано выше, обладает рядом показателей, характеризующих его возможности. В то же время, выбор различных техник моделирования происходит в рамках интегрированной объектно-ориентированной среды, поэтому конкретные значения показателей характеристик зависят также от решаемых в процессе моделирования задач. Таким образом, определение приоритетности использования того или иного формализма при работе с различными объектами используемой среды заключается в выявлении значимости показателей метода для решения различных задач и выбора на основании этих показателей наилучшего метода.

Данную неопределенность применимости различных методов удобно представить в виде гиперпространственной модели (рис. 1) применимости формализмов (инструментальных средств формального описания или представления знаний об отображаемом объекте – компоненте КИПС), измерениями которой являются: *плоскость методов*, представляющая перечень используемых при моделировании КИПС формализмов; *плоскость показателей семантик*, характеризующих основные особенности и возможности отображения ими свойств представляемых объектов; *плоскость объектов* с отражением их характерных свойств и особенностей функционирования (динамические, логические и логистические). Адекватным представлением значения ячейки такой гиперпро-

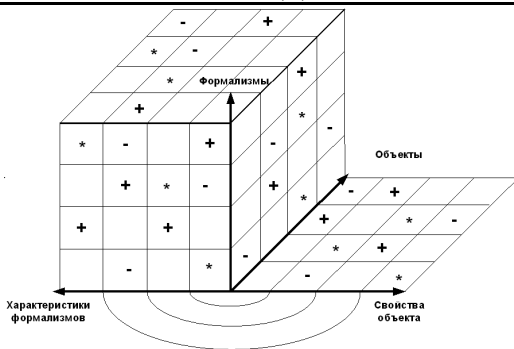


Рис. 1 – Гиперпространственная модель применимости формализмов

странственной модели может являться оценка применимости метода для решения конкретной задачи с точки зрения заданной функции отображения совокупного или локального свойства объекта.

На начальных этапах выбора подходящего формализма из альтернативных вариантов семантик неопределенность обусловлена объективными и субъективными факторами. К объективным факторам принадлежат неполнота множества исходных данных, отсутствие квалифицированных специалистов и ограничений, обусловленных внешней средой. Субъективные факторы определяются опытом и интуицией экспертов, их отношением и личной заинтересованностью в вариантах выбора. Аналитическими методами определить влияние таких причин на конечный выбор достаточно сложно. Требуется введение слишком громоздкой системы классификационных признаков, их градаций и взаимных влияний, которыми описываются возможности экспертов, с одной стороны, и степеней риска принятия неадекватных решений, с другой. Вместе с тем, используя аппарат нейронных сетей и методы теории нечетких множеств, такую неопределенность можно существенно уменьшить, принимая рациональные решения о выборе удовлетворяющей исходные требования семантики.

Приведенная в таблице характеристика используемых при моделировании КИПС формализмов отображает их применимость лишь качественно, указывая, реализует ли метод некоторое свойство (+ или -). При этом, ряд параметров реализуются лишь частично (\* в таблице), информация о некоторых показателях вообще отсутствует. Очевидно, что адекватно отобразить имеющуюся информацию можно на основе аппарата нечеткой логики. При этом может использоваться как качественная информация в виде лингвистических переменных, реализующих некоторое значение из набора терм-множества, так и количественные данные в виде оценки применимости, определенной на некоторой шкале. Источником информации для формирования оценок и параметров термов лингвистических переменных на начальном этапе (обучения) высту-

пают мнения экспертов. Впоследствии, в процессе использования, значения могут корректироваться посредством различных адаптивных алгоритмов.

При уточнении оценок применимости методов возникает задача принятия решения относительно выбора наилучшего метода для различных объектов системы. Учитывая нечеткий характер содержимого гиперпространственной модели применимости формализмов и специфику её формирования, принятие решения о выборе метода, происходящее в условиях лингвистической неопределенности, необходимо осуществлять на основании нечетких подходов. Применению данного подхода для работы с неопределенностями способствует также гиперпространственная распределенность КИПС [2], когда в задачах управления следует принимать решения при неопределенности и нечеткости условий перехода в новое агрегатное (под влиянием внешних факторов) или дискретное (относительно вектора управления) состояние.

### **Реализация выбора решений в условиях лингвистической неопределенности**

Управление реализацией принятия решений в условиях лингвистической неопределенности в КИПС традиционно осуществляется системами на основе фаззи-контроллеров – модулях, осуществляющих нечеткий логический вывод на базе продукционных правил, и искусственных нейронных сетей (ИНС) как универсальных обучаемых классификаторах [1]. В последнее время все большую популярность приобретают комбинированные нейро-фаззи технологии, позволяющие объединить возможности логического вывода классических нечетких модулей с возможностями обучения нейронных сетей. Модель такого нечеткого решателя основана на гибридном использовании нейротехнологий (на базе ИНС) как обучаемом классификаторе и нечетком контроллере как компоненте для принятия решений и реализуется нечеткими нейронными сетями (ННС). Основными преимуществами использования ННС являются быстрые алгоритмы обучения и интерпретируемость накопленных знаний, что делает подобные системы одними из самых перспективных и эффективных инструментов “мягких” вычислений.

Поскольку основной моделью представления системы управления в нечетких решателях является продукционная модель знаний, то базовой математической моделью описания механизма принятия решений является лингвистическая продукционная модель (ЛПМ). При этом логика принятия решения определяется совокупностью продукционных правил вида “ЕСЛИ” условие “ТО” выбор. Данная ЛПМ эффективно реализуется ННС, которые осуществляют выводы на основе аппарата нечеткой логики, а параметры функций принадлежности которых настраиваются с использованием алгоритмов обучения ИНС. Для подбора параметров таких сетей применим стандартный метод обратного распространения ошибки.

Характеристика методов и формализмов моделирования ГПС

	Формализм	Описание динамики процесса	Количественные хар-ки	Качественные хар-ки	Анализ переходов	Компактное синтаксическое описание	Логика внутреннего функционирования	Прогнозирование	Простота описания сложных систем	Описание иерархии
1	Теория автоматов (*стохастические, временные, нечеткие)	+	*	*	+		-	-	-	+/-
2	Теория графов			+					-	+
3	Сети Петри (*достижимость, безопасность, живость)	+		*	+	-			-	
	Временные СП (*выражает временные аспекты поведения системы)	+	*	*		-	+		-	
	Раскрашенные СП (*посредством много-мерности атрибутов)	+	*	*	*	-	+		-	
	Объектные СП	+		+			+		+	+
4	Системы массового обслуживания	-	+						-	
	Марковские пр-сы (*вероятностные)	-	*		-		-	+		
	Теория очередей	-	*		-		-	-		
5	Алгебры процессов	-		+	+/-	+	-			-
6	Диоидные (max, min+) алгебры		*	*					+	
7	Разностные ур-я	+				+				
8	Методы формальных спецификаций	+		*						

Реализация принятия решения относительно выбора необходимой семантики может происходить и без формируемой экспертами базы продукционных правил. В этом случае выбор осуществляется обычной ИНС, предварительно обученной на заданном наборе экспериментальных значений. Полученная при этом обученная нейронная сеть может быть интегрирована в сложную нечеткую систему в качестве отдельного компонента, реализующего некоторую функциональность. Учитывая возможности ИНС как универсального аппроксиматора, это позволяет интегрировать в логическую систему автоматические элементы принятия решений на основании знаний, экстрактированных нейронной сетью из обучающей выборки.

Для решения приведенных выше задач авторами статьи был разработан прикладной программный комплекс, обеспечивающий возможность реализации систем принятия решения на основе нейро-фаззи технологий. Программный пакет “Нейро-фаззи конструктор” (КОНСТРУКТОР) представляет собой среду для проектирования сложных информационных систем, основанных на нейронных сетях и нечеткой логике.

Работа с ИНС в рамках КОНСТРУКТОРА предусматривает как режимы непосредственно создания, обучения, исследования и использования готовых нейронных сетей, так и функцию универсального аппроксиматора для систем с нечеткой логикой. В частности, программный комплекс позволяет использовать ИНС для подстройки параметров фаззи-контроллеров, созданных в модуле нечеткой логики. При этом могут быть откорректированы формы и параметры термов лингвистических переменных на входе нечеткой системы и веса продукционных правил.

Механизм подстройки параметров заключается в преобразовании нечетких систем, содержащих одну базу правил, в эквивалентную четырехслойную нейронную сеть, которая подвергается процедуре обучения на экспериментальных данных. Обученная сеть может быть преобразована обратно в нечеткую систему с продукционными правилами, что обеспечивается определенными ограничениями, накладываемыми при обучении сети. Ограничения заключаются в том, что в процессе обучения будут изменяться только веса при нейронах, отвечающих за подстраиваемые параметры ( $\alpha$ -уровни термов лингвистических переменных и коэффициенты активности правил), остальные же веса синапсов остаются неизменными.

Такой подход позволяет не только подстроить параметры имеющейся нечеткой системы, но и генерировать новые правила, исходя из экспериментальных данных. Это обеспечивает возможность преобразования существующих нечетких систем в адаптивные, в которых подбор параметров и структуры нечеткой системы производится в процессе обучения. При этом реализуется автоматизированное извлечение знаний из набора данных, поскольку полученная в результате обработки набора экспериментальных данных база продукционных правил уже является формализованным знанием. Алгоритмы обучения адаптивных нечетких систем относительно трудоемки и сложны по сравнению с ал-

горитмами обучения нейронных сетей, и, как правило, состоят из двух стадий: генерации лингвистических правил и корректировки функций принадлежности. Первая задача относится к задаче переборного типа, вторая – к оптимизации в непрерывных пространствах. При автоматической генерации нечетких правил необходимо предусматривать средства обеспечения их полноты и непротиворечивости.

Таким образом, использование нейро-фаззи систем позволяет использовать: возможности фаззи-логики – для адекватного формального представления неполной или “размытой” информации окружающего мира, фаззи-системы – для хранения и использования в задачах управления, а возможности по обучению нейронных сетей – для автоматизированного или даже автоматического сбора этой информации.

Для реализации механизма нечеткого вывода в КОНСТРУКТОРЕ используется четырехслойная ИНС прямого распространения, которая адекватно воспроизводит структуру модели с одной базой правил и механизм нечеткого вывода.

Нейронная сеть (рис. 2), используемая для представления нечеткой системы, формально по структуре идентична многослойной нейронной сети прямого распространения с обучением, например, по алгоритму обратного распространения ошибки, но скрытые слои в ней соответствуют этапам функционирования нечеткой системы.

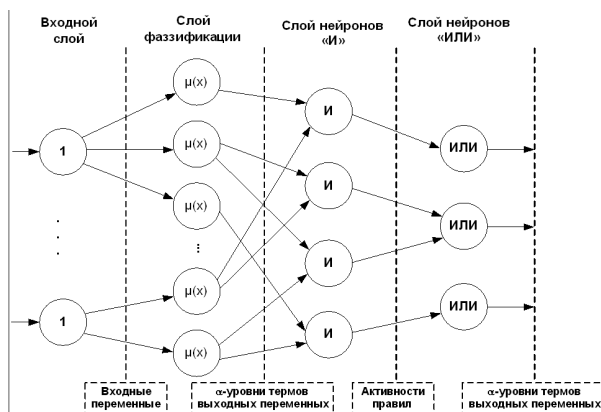


Рис. 2 – Схема ИНС, используемой для представления нечеткой системы

Слой фаззификации выполняет функцию введения нечеткости на основе заданных функций принадлежности входов. При этом каждому терму всех входных лингвистических переменных ставятся в соответствие нейроны с активационными функциями, повторяющими функции принадлежности термов.

Слой нейронов “И” и “ИЛИ” отображают совокупность нечетких правил. При этом логический вывод выполняется с использованием мини-макс-нейронов, т.е. реализуется алгоритм Мамдани [1]. Мини-макс-

нейроны реализованы с использованием активационной  $\gamma$ -функции вида:

$$f(\alpha_1.. \alpha_n) = \prod_{i=1}^n (\alpha_i)^{1-\gamma},$$

которая обладает непрерывной производной, что позволяет использовать при обучении такой сети градиентные методы, включая метод обратного распространения ошибки. При  $\gamma=0$  нейрон ведет себя как нейрон “И”, моделируя зависимость  $f(\alpha_1.. \alpha_n) = \min(\alpha_1.. \alpha_n)$ . При  $\gamma=1$  нейрон реализует оператор максимума. Кроме того, существует возможность устанавливать значение  $\gamma$  в диапазоне от нуля до единицы (в окрестностях нуля для “И”, и в окрестностях единицы для “ИЛИ”), что обеспечивает более “мягкое” действие правила.

Используемая нейронная сеть не содержит этапа дефаззификации, что позволяет упростить модель и процедуру обучения и допустимо, учитывая неучастие параметров выходных лингвистических переменных в процессе оптимизации. Кроме того, реализуемая ННС является классификатором, и выход сети моделируется одной лингвистической переменной с набором термов, соответствующих вариантам выбора. Наилучшему варианту выбора при этом отвечает максимальное значение  $\alpha$ -уровня терма выходной переменной.

Таким образом, каждый из названных выше слоев характеризуется набором параметров, характерных для нечеткой системы (функциями принадлежности, текущими  $\alpha$ -уровнями, нечеткими решающими правилами) и соответствующими им параметрами классических нейронных сетей (активационными функциями, весами связей), настройка которых производится обычным образом.

Кроме слоев, непосредственно моделирующих механизм нечеткого вывода, сеть содержит также входной слой, являющийся обычным повторителем и предназначенный для удобного программного использования сети в рамках многокомпонентной структуры. Количество нейронов входного слоя равно числу входных лингвистических переменных, и каждый нейрон связан только с нейронами следующего слоя, моделирующими термы этой переменной.

## Выводы

Разработанный авторами программный комплекс позволяет эффективно решать задачу принятия решения о выборе привязки (по объектно-ориентированному подходу) “объект – набор свойств объекта – набор свойств обслуживаемой семантики – собственно инструментарий (формализм)” на основе нечеткой информации об их взаимосвязях, представленной гиперпространственной моделью применимости формализмов. Базовый набор логических правил предпочтения задается экспертом на этапе проектирования решателя. Окончательная подстройка весов правил и коррекция исходных данных гиперпространственной модели происходит на этапе обучения на наборе экспериментальных дан-



ных.

Таким образом, в результате предложенной концепции решения задачи автоматизированного рационального выбора формализма в рамках согласованной семантической среды, основанного на объектно-ориентированном подходе, была обоснована целесообразность представления исходных данных для принятия решения в виде гиперпространственной модели и показан способ реализации выбора, используя нейро-фаззи технологии, примененные и реализованные в разработанном авторами программном комплексе “Нейро-фаззи конструкторе”.

### **Литература**

1. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети, ФИЗМАТЛИТ, 2001г, 221 с.
2. Лісовиченко О.І., Ямпольський Л.С. Семантично-узгоджене середовище гіперпросторових моделей складальних комп'ютерно-інтегрованих систем. 2000-Вип. 3'(23).- С.137-147.
3. Ямпольский Л., Лавров А., Дубина Д., Лисовиченко О., Швачко В. Семантическое согласование описания процессов гибких производственных систем при композиционном моделировании // TECHNIKA I TECHNOLOGIA MONTAZU MASZYN IV Mizdzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna 22-25.05.2001 r. Pieszów – Bystre Specjalny Dodatek do Kwartalnika Naukowo-Technicznego TECHNOLOGIA I AUTOMATYZACJA MONTAZU.- nr 2(32) 2001.- pp. 61-65