

ФГБОУ ВПО

«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Курсовой проект

по дисциплине «Проектирование крупных распределенных программных систем и баз данных»

тема: «Архитектура многоагентных систем»

Студент: Машеров Д.Е.

Группа: А-13-08

Москва, 2012

Оглавление

Введение.....	3
Определение агента.....	6
Подборка определений и высказываний об агентах.....	12
Классификации агентов.....	14
Характеристики.....	19
Когнитивные агенты.....	19
Взаимодействие, коммуникация, кооперация агентов.....	21
Архитектура взаимодействия системы агентов.....	26
1. Одноуровневая архитектура взаимодействия агентов.....	26
2. Иерархическая архитектура взаимодействия агентов.....	28
Архитектура агента.....	30
Общая классификация архитектур.....	30
Архитектуры агентов, основанные на знаниях.....	31
Архитектура на основе планирования (реактивная архитектура).....	31
Многоуровневость.....	32
Примеры архитектур агентов.....	35
Многоуровневая архитектура для автономного агента (“Touring Machine”).....	35
Многоуровневая архитектура для распределенных приложений.....	37
IDS-архитектура.....	40
Организации и организационное моделирование МАС.....	41
Виртуальные организации.....	44
Организационное проектирование: восходящий подход.....	48
Организационное проектирование: нисходящий подход.....	57
ЛИТЕРАТУРА.....	61

Введение

Многоагентная система (МАС, англ. Multi-agent system) — это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами. Многоагентные системы могут быть использованы для решения таких проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного агента или монолитной системы. Примерами таких задач являются онлайн-торговля, ликвидация чрезвычайных ситуаций, и моделирование социальных структур.

Многоагентные системы имеют реальную возможность интегрировать в себе самые передовые достижения перечисленных областей, демонстрируя принципиально новые качества

Первоначально идея интеллектуального посредника ("агента") “возникла в связи с желанием упростить стиль общения конечного пользователя с компьютерными программами, поскольку доминирующий, 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 неискушенного пользователя. Иначе говоря, сначала идея интеллектуального посредника возникла как попытка интеллектуализации пользовательского интерфейса.”

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*" (ПА), который сотрудничает с пользователем в той же рабочей среде.

Главная особенность интерфейса, обеспечиваемого ПА, состоит в том, что этот интерфейс оказывается *персоналицированным*. Последнее достигается за счет того, что ПА наделяется способностью к обучению. В самом простом варианте, ПА получает информацию о привычках пользователя путем, как говорят, "подглядывания из-за плеча" за работой своего пользователя. Обучаясь интересам, привычкам и предпочтениям пользователя, а также окружающего его сообщества пользователей (это те, кто доступен персональному ассистенту через компьютерную сеть), ПА может стать весьма полезным, причем в различных аспектах: выполнять решение задач по поручению пользователя, тренировать его, управлять событиями и процедурами. Заметим, что по существу персонализация пользовательского интерфейса- это новый резерв его интеллектуализации, который удачно дополняет "интеллектуальность интерфейса", которая традиционно ассоциируется только с экранными графическими средствами.

Исследования и экспериментальные программные разработки довольно быстро показали, что множество задач, в которых ПА с большой пользой может ассистировать пользователю, практически неограниченно: отбор информации, просмотр информации, поиск в Internet, управление электронной почтой, календарное планирование встреч, выбор книг, кино, музыки и т.д. Разработки в этой области поддерживались и поддерживаются такими известными фирмами, как Apple, Hewlett Packard, Digital, японскими фирмами. Метафора "персонального ассистента" была заменена метафорой "интеллектуального посредника", или, как стали чаще говорить на русском языке - "*интеллектуального агента*" (ИА).

Постепенно эта идея вышла за рамки интеллектуального пользовательского интерфейса, она все более и более ориентировалась на идеи и методы искусственного интеллекта, на активное использование тех преимуществ, которые дают современные локальные и глобальные компьютерные сети, распределенные базы данных и распределенные

вычисления. Активное развитие методов и технологий распределенного искусственного интеллекта, достижения в области аппаратных и программных средств поддержки концепции распределенности и открытости привели к осознанию того важного факта, что агенты могут интегрироваться в системы, совместно решающие сложные задачи. Это означало появление новой парадигмы распределенных систем искусственного интеллекта. Системы такого рода и получили название *многоагентных систем*. В настоящее время многоагентная система рассматривается как множество интеллектуальных агентов, распределенных по сети, мигрирующих по ней в поисках релевантных данных, знаний и процедур и кооперирующихся в процессе выработки решений. По сути возникла новая парадигма сообщества "*программных роботов*", цель которых - удовлетворение различных информационных и вычислительных потребностей конечных пользователей.

Решение задачи одним агентом на основе инженерии знаний представляет собой точку зрения классического ИИ, согласно которой агент (например, интеллектуальная система), обладая глобальным видением проблемы, имеет все необходимые способности, знания и ресурсы для ее решения. Напротив, в распределенном искусственном интеллекте (РИИ) и, вообще, в области МАС предполагается, что отдельный агент может иметь лишь частичное представление об общей задаче и способен решить лишь некоторую ее подзадачу. Поэтому для решения сколько-нибудь сложной проблемы, как правило, требуется взаимодействие агентов, которое неотделимо от организации МАС. Этот социальный аспект решения задач – одна из фундаментальных характеристик концептуальной новизны передовых компьютерных технологий и искусственных (виртуальных) организаций, строящихся как МАС.

С некоторой долей условности исследования в области многоагентных систем можно разделить на такие основные направления:

-*теория агентов*, в которой рассматриваются формализмы и математические методы для описания рассуждений об агентах и для выражения желаемых свойств агентов;

-*методы кооперации агентов* (организации кооперативного поведения) в процессе совместного решения задач или при каких-либо других вариантах взаимодействия;

-*архитектура агентов и многоагентных систем* - это область исследований, в которой изучается, как построить компьютерную систему, которая удовлетворяет тем или иным свойствам, которые выражены средствами теории агентов;

-*языки программирования агентов*;

-*методы, языки и средства коммуникации агентов*;

-*методы и программные средства поддержки мобильности агентов* (миграции агентов по сети).

Особое место занимают исследования, связанные с разработкой *приложений многоагентных систем* и инструментальных средств поддержки технологии их разработки. Можно еще упомянуть проблемы, связанные с *аутентификацией*(авторизацией) агентов, обеспечением *безопасности* и ряд других.

Определение агента

Общепринятого определения “агента” еще не существует.

Рассматриваемый в какой-либо системе мультиагент – это аппаратная или программная сущность, способная действовать в интересах достижения целей, поставленных перед ним владельцем и/или пользователем. Таким образом, в рамках мультиагентных систем мы рассматриваем агенты, как автономные компоненты, действующие по определенному сценарию.

Классифицируются агенты на четыре основных типа: простые, умные (smart),

интеллектуальные(intelligent) и действительно интеллектуальные(truly intelligent).

Интерес для построения МАС в задачах инженерии знаний представляют в большей степени интеллектуальные и действительно интеллектуальные агенты, которые отличаются тем, что поддерживают помимо автономного выполнения, взаимодействия с другими агентами и слежения за окружением – способность использовать абстракции, адаптивность поведения, обучение на прецедентах и толерантность к ошибкам.

Проблемы в создании МАС на принципах искусственного интеллекта состоит в том, что при проектировании точной и полной модели представления мира, процессов и механизмов рассуждения в нем – очень тяжело создать адекватную и полную картину мира. Несмотря на явные трудности, идея использовать агентов для решения разноплановых задач очень популярна в последнее время. Однако задача проектирования МАС и действительно интеллектуальных агентов требует специальных знаний и является ресурсоемкой задачей.

При определении понятия «агент» удобно опираться на представления об объекте, развитом школой объектно-ориентированного программирования (ООП). Тогда *искусственный агент* может пониматься как *метаобъект*, наделенный некоторой долей *субъектности*, т.е. способный манипулировать другими объектами, создавать и уничтожать их, а также имеющий развитые средства взаимодействия со средой и себе подобными. Иными словами, это «*активный объект*» или «*искусственный деятель*», находящийся на заметно более высоком уровне сложности по отношению к традиционным объектам в ООП и использующий их для достижения своих целей путем управления, изменяющего их состояния. Соответственно минимальный набор базовых характеристик произвольного агента включает такие **свойства** как: а) *активность*, способность к организации и реализации действий; б)

автономность (полуавтономность), относительная независимость от окружающей среды или наличие некоторой «свободы воли», связанное с хорошим ресурсным обеспечением его поведения; в) *общительность*, вытекающая из необходимости решать свои задачи совместно с другими агентами и обеспечиваемая развитыми протоколами коммуникации; г) *целенаправленность*, предполагающая наличие собственных источников *мотивации*, а в более широком плане, специальных интенциональных характеристик.

Принято различать два определения интеллектуального агента - “слабое” и “сильное”.

Под интеллектуальным агентом в *слабом смысле* понимается программно или аппаратно реализованная система, которая обладает такими свойствами:

-*автономность* - способность ИА функционировать без вмешательства человека и при этом осуществлять самоконтроль над своими действиями и внутренним состоянием;

-*общественное поведение* (social ability) - способность функционировать в сообществе с другими агентами, обмениваясь с ними сообщениями с помощью некоторого общепонятного языка коммуникаций;

-*реактивность* (reactivity) - способность воспринимать состояние среды и своевременно отвечать (реагировать) на те изменения, которые в ней происходят;

-*про-активность* (pro-activity) - способность агента брать на себя инициативу, т.е. способность генерировать цели и действовать рационально для их достижения, а не только реагировать на внешние события.

Сильное определение агента подразумевает дополнительно к только что перечисленным свойствам ряда дополнительных. В частности, главным из

них является наличие у агента хотя бы некоторого подмножества так называемых “ментальных свойств”, называемых также *интенциональными понятиями*, к которым относятся следующие:

-*знания* (knowledge) - это постоянная часть знаний агента о себе, среде и других агентах, т.е. та часть, которая не изменяется в процессе его функционирования;

-*убеждения* (beliefs, вера) - знания агента о среде, в частности, о других агентах; это те знания, которые могут изменяться во времени и становиться неверными, однако агент может не иметь об этом информации и продолжать оставаться в убеждении, что на них можно основывать свои выводы;

-*желания* (desires) - это состояния, ситуации, достижение которых по разным причинам является для агента желательным, однако они могут быть противоречивыми и потому агент не ожидает, что все они будут достигнуты;

-*намерения* (intentions) - это то, что агент или обязан сделать в силу своих обязательств по отношению к другим агентам (ему “это” поручено и он взял эту задачу на себя), или то, что вытекает из его желаний (т.е. непротиворечивое подмножество желаний, выбранное по тем или иным причинам, и которое совместимо с принятыми на себя обязательствами);

-*цели* (goals) - конкретное множество конечных и промежуточных состояний, достижение которые агент принял в качестве текущей стратегии поведения;

-*обязательства* по отношению к другим агентам (commitments) - задачи, которые агент берет на себя по просьбе (поручению) других агентов в рамках кооперативных целей или целей отдельных агентов в рамках сотрудничества.

Первые два из перечисленных понятий называют “позицией агента”, его “точкой зрения” (attitudes), остальные характеризуют в англоязычной

литературе общим термином “pro-attitude”, суть которого в том, что они “направляют” поведение агента таким образом, чтобы сделать отвечающие данному термину содержательные и формальные утверждения истинными.

Некоторые авторы считают, что агент должен обладать также рядом других свойств. К ним относятся

-*мобильность* (mobility) - способность агента мигрировать по сети в поисках необходимой информации для решения своих задач, при кооперативном решении задач совместно или с помощью других агентов и т.д.,

-*благожелательность* (benevolence) - готовность агентов помочь другу и готовность агента решать именно те задачи, которые ему поручает пользователь, что предполагает отсутствие у агента конфликтующих целей;

-*правдивость* (veracity) - свойство агента не манипулировать информацией, про которую ему заведомо известно, что она ложна;

-*рациональность* (rationality) - свойство агента действовать так, чтобы достигнуть своих целей, а не избегать их достижения, по крайней мере, в рамках своих знаний и убеждений.

Можно заметить, что исследователи в области многоагентных систем заходят очень далеко в проведении антропоморфного взгляда на интеллектуальных агентов. Это сходно с позицией первых исследователей в области искусственного интеллекта в 50-60-е годы.

Большинство исследователей в области теории и архитектур агентов считают обязательным включение в модель агента некоторого подмножества ментальных свойств, по крайней мере, таких, как знания, убеждения и цели. Таким образом, агентно-ориентированный подход в информатике и ИИ представляет собой развитие известных подходов, основанных на понятиях *объектов* и *акторов*, но в то же время имеет ряд принципиальных отличий.

Понятия объект и актер представляют собой единицы программных систем, задаваемые некоторой структурой и механизмом взаимодействия. Объект (как реализация фрейма по М.Минскому) имеет единое имя и свои собственные данные и процедуры. Объект может состоять из нескольких так же определенных объектов и в свою очередь быть частью более крупного объекта. Объекты содержат слоты, которые в свою очередь могут состоять из фактов. Слот может быть просто атрибутом или отношением. Все действия в ООП выполняются через сообщения (однако сообщения указывают объекту, *что* делать, но не *как* делать). В целом, понятие объекта определяется с помощью 4 признаков: а) *инкапсуляция*; б) *отношение «класс-пример»*; в) свойство *наследования*; г) *прохождение сообщений*, допускающее определение *полиморфных процедур*, т.е. процедур, код которых может различаться в зависимости от приемника сообщения.

Объекты не могут анализировать свое поведение, определять характер своих связей с другими объектами или природу адресованных им сообщений. Их механизм получения сообщений сводится к вызову процедуры. А главное, они не могут самостоятельно формировать цели.

Точно так же и актеры – развитые, интерактивные, параллельно функционирующие объекты, которые взаимодействуют путем посылки асинхронных сообщений, не могут проводить рассуждения о содержании этих сообщений. Сама модель акторов организована, исходя из двух простых принципов: посылки сообщений и локальной обработки. На локальном уровне актер содержит три составляющие: а) знания о своей среде; б) знания о других акторах; в) множество данных и действий. Эти составляющие определяют его локальное поведение в зависимости от поступающего сообщения. Когда актер получает некоторое сообщение, он может передавать его другим актерам. Помимо этого, актер способен создавать новых акторов и изменять свое внутреннее состояние. Это означает, что в ряде случаев актеры могут рассматриваться как своего рода подагенты.

Наличие у агента механизма целеобразования обеспечивает принципиально новый уровень автономии. Это значит, что он необязательно выполняет распоряжения какого-либо другого агента или пользователя, а просто зависит от условий среды, включая цели и намерения других агентов. В отличие от объекта агент может принять на себя определенные обязательства или, наоборот, отказаться от выполнения некоторой работы, мотивируя это отсутствием компетентности, занятостью другой задачей и т.п. В то же время агент может выполнять такие действия как порождение, подавление и замена других агентов, активизация функций (как своих, так и у других агентов), активизация сценария деятельности, запоминание текущего состояния других агентов и пр.

Подборка определений и высказываний об агентах

Концепция агентов подразумевает обращение к ряду новых для специалистов по информатике и ИИ понятий из психологии и социологии, и, в первую очередь, понятий из теории *деятельности* и теории *коммуникации*. При этом деятельность и интеллект понимаются как процессы, рекурсивно зависящие друг от друга, что обеспечивает их порождение и реализацию. Интеллект агента выступает как подсистема управления деятельностью, позволяющая ему организовать и регулировать свои действия или действия другого агента. В то же время, интеллект имеет коммуникативную природу и формируется в процессах взаимодействия (коммуникации) агента с другими агентами, а потребность в коммуникации связана с реализацией целенаправленной деятельности.

Различные определения понятия «агент» подразделяются на «слабые» и «сильные» программистские и антропоморфные. Вначале остановимся на некоторых наиболее слабых определениях, а затем постепенно перейдем к более сильным.

В одном из наиболее капитальных современных учебников по ИИ, изданном С. Расселом и П. Норвигом, под **агентом** понимается «любая

сущность, которая находится в некоторой среде, воспринимает ее посредством сенсоров, получая данные, которые отражают события, происходящие в среде, интерпретирует эти данные и действует на среду посредством эффекторов». Таким образом, здесь вычленяются четыре исходных агентообразующих фактора – *среда, восприятие, интерпретация, действие*.

Согласно П.Маэс , «автономные агенты – это компьютерные системы, функционирующие в сложной, динамической среде, способные ощущать и автономно действовать на эту среду и, таким образом, выполнять множество задач, для которых они предназначены». Здесь предложены два ограничения на среду агентов – «сложная и динамическая».

Подробный анализ возможных типов сред и соответствующих требований к агентам дан Д.А.Поспеловым. У него все среды подразделяются на три больших класса - *замкнутые, открытые и трансформируемые*. Замкнутые среды допускают конечное исчерпывающее описание (детерминированное или вероятностное). При этом агенты могут обладать полным априорным знанием о среде и ее свойствах или получать оперативную информацию в ходе своего взаимодействия с ней (как в моделях коллективного поведения автоматов). Но главная идея – полнота их знаний (в детерминированном или статистическом смысле) остается. Понятие «открытых сред» предполагает отказ от постулата полноты знаний у агента и введение локальных описаний среды. Наконец, трансформируемые среды могут менять свои характеристики в зависимости от действий агентов (например, агенты могут порождать новые объекты в среде и, в частности, новых агентов).

Итак, ключевыми характеристиками любых агентов как «искусственных деятелей» являются *автономность* и *целенаправленность*. Речь идет об *автономном* выполнении некоторых *действий* на основе *целенаправленных* проблемно-ориентированных *рассуждений*. Подчас в качестве главных признаков агента берутся *интеллектуальность* и *автономность*, где

интеллектуальность связывается с восприятием и рассуждениями, а автономность - с принятием решений и действием на среду.

Определение *интеллектуального агента* по К.Сикара и соавторы .

Здесь выделены следующие характеристики:

- *способность решения задач*, поставленных людьми или другими компьютерными агентами;
- *активность*, т.е. способность инициировать решение задачи и предлагать свои услуги пользователю;
- *сетевая «среда обитания»* и способность *самоорганизации* в ней;
- *полуавтономность* (у пользователя есть возможность управлять уровнем автономности агента);
- *антиципация*, т.е. способность предвидеть запросы пользователя;
- *надежность*;
- *способность сотрудничать с людьми или другими компьютерными агентами* в интересах решения задачи;
- *гибкость*, проявляющаяся в способности работать с неоднородными агентами и удаленными информационными ресурсами;
- *адаптивность*, способность оперативно приспосабливаться к изменению потребностей пользователя и факторов среды;
- *настойчивость* в решении задачи.

Классификации агентов

Можно предложить немало различных оснований для построения классификаций агентов. Наиболее очевидными являются критерии классификации, связанные с полярными шкалами «естественное–искусственное» и «материальное–идеальное». По первому критерию, выделяются *натуральные агенты* (животные, люди, группы организмов, коллективы людей) и *искусственные агенты* (роботы, коллективы автоматов, сложные компьютерные программы). В данной работе описываются только

искусственные агенты. По второму критерию, все искусственные агенты подразделяются на: 1) *материальных, физически* существующих и работающих в реальном пространстве, например, интегральные роботы) и 2) *виртуальных*, существующих лишь в программной среде (виртуальном пространстве); нередко такие «программные роботы» (software robots) называют сокращенно софтботами (softbots) .

Еще одна пара взаимосвязанных критериев классификации опирается на дихотомии «*сосредоточенное-распределенное*» и «*неподвижное-подвижное*» . Примером неподвижного агента служит стационарный манипуляционный робот, а примером мобильного– поисковый агент, мигрирующий по сети в целях отыскания нужной информации. Подчас *мобильные софтботы (моботы)* могут трактоваться как *распределенные, чисто коммуникативные* агенты, которые не имеют собственных средств восприятия и действий (поэтому они не манипулируют никакими объектами), а лишь используют располагаемые ресурсы для коммуникации с другими агентами и миграции по сети в поисках релевантных данных и процедур. Наоборот, четко локализованные агенты в определенном смысле противоположны коммуникативным: они не могут двигаться по сети и обычно не обладают способностью к представлению среды, а их общение с другими агентами происходит не напрямую, а косвенно, через механизмы восприятия и действия.

Важным основанием для классификации служит наличие (отсутствие) у агентов характеристик обучаемости или адаптивности. У обучаемых агентов поведение основано на предыдущем опыте.

В свою очередь, Д.А.Поспелов предлагает строить классификацию агентов и выбирать соответствующие формальные средства их описания с помощью тройки критериев: *тип среды, уровень «свободы воли»* (по В.А.Лефевру) и *уровень развития социальных отношений*. Так для простейших замкнутых сред достаточно агентов автоматного уровня сложности (модели коллективного поведения автоматов), а в случае более сложных замкнутых

сред имеем дело с агентами, основанными на конечных наборах правил и сценариев их применения (например, нечеткие регуляторы). Агенты, основанные на правилах, активно используются в компьютерных сетях, действуя в рамках «клиент-серверного» подхода. В целом, когда среда замкнута, пара «среда-агент» может быть в принципе задано формальной системой, т.е. действия агента здесь могут быть описаны в рамках подходящего логического исчисления (например, модальные логики или логики предикатов высокого порядка). Для открытых сред требуется переход к семиотическому моделированию.

В целом, данная типология агентов тесно связана с классической проблемой взаимодействия «*субъект – объект*». Уровень субъектности агента непосредственно зависит от того, наделен ли он символическими представлениями, требующимися для организации рассуждений, или в противоположность этому он работает только на уровне образов (субсимвольном), связанных с сенсомоторной регуляцией. Соответствующую классификацию агентов (рис.2) можно построить по следующим двум признакам: а) степень развития *внутреннего представления внешнего мира* и б) *способ поведения*.

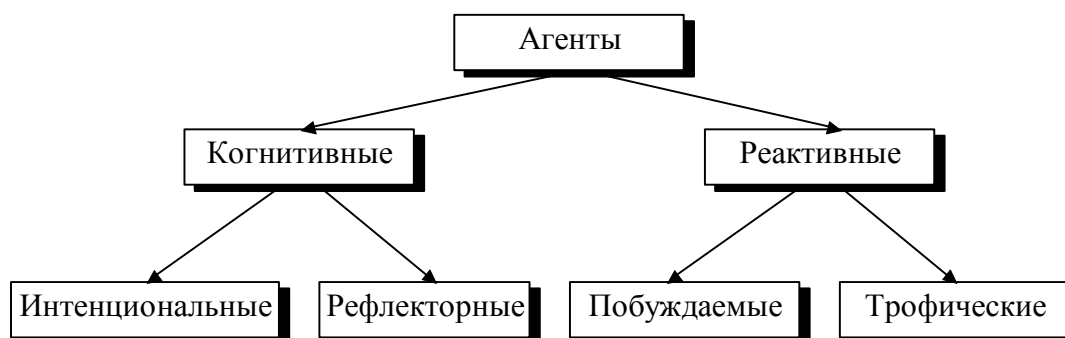


Рис. 2. Классификация агентов

По первому признаку, выделяются интеллектуальные (когнитивные, рассудочные) и реактивные агенты. Когнитивные агенты обладают более богатым представлением внешней среды, чем реактивные. Это достигается за

счет наличия у них базы знаний и механизма решения. Близкий термин «рассудочный (deliberative) агент» служит для обозначения агента, который обладает символьной моделью внешнего мира, а также возможностью принимать решения на основе символьных рассуждений, например, метода сравнения по образцу.

Отсюда вытекает еще одно существенное различие между интеллектуальными и реактивными агентами, связанное с возможностями прогнозирования изменений внешней среды и, как следствие, своего будущего. Реактивные агенты, имеющие довольно бедное внутреннее представление внешней среды (или не имеющие его вовсе), обладают очень ограниченным диапазоном предвидения. Они практически не способны планировать свои действия, поскольку реактивность в чистом виде означает такую структуру обратной связи, которая не содержит механизмов прогноза. В то же время когнитивные агенты, благодаря развитым внутренним представлениям внешней среды и возможностям рассуждений, могут запоминать и анализировать различные ситуации, предвидеть возможные реакции на свои действия, делать из этого выводы, полезные для дальнейших действий и, в результате, планировать свое поведение. Именно интеллектуальные способности позволяют таким агентам строить виртуальные миры, работая в которых они формируют планы действий.

Когнитивные агенты имеют ярче выраженную индивидуальность, будучи гораздо более автономными, чем реактивные, и характеризуются развитым целесообразным поведением в сообществе агентов, достаточно не зависимым от других агентов. С другой стороны, реактивные агенты как это видно из самого их названия, работают в основном на уровне стимульно-реактивных связей, обладая очень бедной индивидуальностью и сильной зависимостью от внешней среды (сообщества агентов). Результаты сравнительного анализа реактивных и когнитивных агентов представлены в табл.1.

По типу поведения интеллектуальные агенты делятся на интенциональных и рефлекторных, а реактивные – на побуждаемых и трофических. Большинство интеллектуальных (когнитивных) агентов можно отнести к числу интенциональных [61,82,114,124]. Подобные агенты наделены собственными механизмами мотивации. Это означает, что в них так или иначе моделируются внутренние убеждения, желания, намерения и мотивы, порождающие цели, которые определяют их действия. В свою очередь, *модульные* или *рефлекторные* агенты не имеют внутренних источников мотивации и собственных целей, а их поведение характеризуется простейшими (одношаговыми) выводами или автоматизмами. Таким образом, они представляют собой граничный случай понятия когнитивного агента и могут использоваться как «*вспомогательные агенты*». Данные агенты близки к акторам: они способны отвечать на вопросы и выполнять задания, которые ставят перед ними другие агенты, но решение этих задач не приводит к появлению у них собственных целей. Типичными примерами таких вырожденных агентов являются системы поиска в базах данных и простейшие логические регуляторы.

В свою очередь, реактивные агенты содержат как бы скомпилированные знания о требуемых действиях: им не надо строить подробное внутреннее представление внешней среды, поскольку вполне достаточными оказываются реакции на набор предъявляемых ситуаций, т.е. характер реакции определяется только текущей информацией. По сложности этих реакций и происхождению источников мотивации реактивные агенты подразделяются на *побуждаемых* и *трофических агентов*. В случае трофических агентов поведение определяется простейшими трофическими связями (типа «кто кого ест»). Фактически оно сводится к ответу на стимулы, поступающие из внешней среды (собственных мотивов и целей нет), т.е. полностью определяется ее локальным состоянием. Типичной моделью подобных агентов являются клеточные автоматы, где основными параметрами выступают: радиус восприятия агента, количество условных единиц питания и энергетическая стоимость единицы. Здесь каждый

трофический (по сути, ситуационный) агент обладает небольшим набором ситуационных правил, задающим его реакции на сигналы из среды типа «если в радиусе восприятия есть единица питания, то направиться к ней» или «если в радиусе восприятия не обнаружена единица питания, то случайным образом выбрать один из свободных соседних квадратов и передвинуться в этот квадрат»

Табл.1. Сравнительный анализ свойств когнитивных и реактивных агентов

Характеристики	Когнитивные агенты	Реактивные агенты
Внутренняя модель внешнего мира	Развитая	Примитивная
Рассуждения	Сложные и рефлексивные рассуждения	Простые одношаговые рассуждения
Мотивация	Развитая система мотивации, включающая убеждения, желания, намерения	Простейшие побуждения, связанные с выживанием
Память	Есть	Нет
Реакция	Медленная	Быстрая

<i>Адаптивность</i>	Малая	Высокая
Модульная архитектура	Есть	Нет
<i>Состав МАС</i>	Небольшое число автономных агентов	Большое число зависимых друг от друга агентов

Многоагентные системы зародились на пересечении теории систем и распределенного искусственного интеллекта. С одной стороны, речь идет об открытых, активных, развивающихся системах, в которых главное внимание уделяется процессам взаимодействия агентов как причинам возникновения системы с новыми качествами. С другой стороны, достаточно часто МАС строятся как объединение отдельных интеллектуальных систем, основанных на знаниях.

Любая МАС состоит из следующих основных компонентов:

- 1) множество *организационных единиц*, в котором выделяются подмножество *агентов 1а)*, манипулирующих подмножеством *объектов 1б)*;
- 2) множество *задач*;
- 3) *среда*, т.е. некоторое пространство, в котором существуют агенты и объекты;
- 4) множество *отношений* между агентами;
- 4) множество *действий* агентов (например, операций над объектами).

В МАС задачи распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его ответственности и требований к опыту.

Взаимодействие, коммуникация, кооперация агентов

Помимо ранее рассмотренных представлений об *агентах, объектах и средах*, при разработке МАС необходимо предварительное определение и моделирование таких базовых теоретических понятий и характеристик, как *взаимодействие, кооперация (сотрудничество), координация, организация, управление*.

Взаимодействие означает установление двусторонних динамических отношений между агентами. При этом оно является одновременно источником и продуктом некоторой организации. Иными словами, взаимодействие представляет собой не только следствие каких-либо действий в МАС, выполняемых агентами в одно и то же время, но и необходимое условие формирования социальных организаций.

Для определения *базовых типов взаимодействия* агентов в МАС можно взять следующие критерии группообразования: а) совместимость целей агентов; б) потребность в чужом опыте (знаниях); в) совместное использование ресурсов. Тогда, если обозначить наличие указанных признаков знаком +, а их отсутствие - знаком -, получаем восемь базовых ситуаций взаимодействия, сведенных в табл.2. Здесь граничный случай *независимости агентов* равносителен отсутствию МАС (полностью автономные агенты). *Простое сотрудничество* предполагает интеграцию опыта отдельных агентов (выражающуюся в распределении задач и обмене знаниями), когда не требуются дополнительные мероприятия по координации их действий. *Непродуктивное сотрудничество* реализует известную ситуацию «лебедя, рака и щуки» из басни И.А.Крылова, когда агенты, не имея потребности в опыте друг друга, но совместно используя ресурсы, мешают друг другу. *Координируемое сотрудничество* означает, что агенты должны согласовать свои действия (возможно, с помощью специального агента-координатора), чтобы продуктивно использовать располагаемые опыт и ресурсы. Это – наиболее сложный случай сотрудничества, когда к проблеме распределения задач добавляется проблема координации действий, обусловленная ограниченностью ресурсов.

В некотором смысле противоположным по отношению к координируемому сотрудничеству является случай *чистого индивидуального соперничества*, когда агенты поставлены в практически одинаковые условия, а доступ к ресурсам не является причиной конфликта. Примером служит участие агентов

Табл.2. Базовые типы взаимодействия агентов

ТИП СИТУАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ	Совместимость целей	Потребность в чужом опыте	Наличие распределенных ресурсов
Координируемое сотрудничество	+	+	+
Простое сотрудничество	+	+	–
Непродуктивное сотрудничество	+	–	+
Безразличие (независимость)	+	–	–
Коллективное соперничество за ресурсы	–	+	+
Чистое коллективное (командное) соперничество	–	+	–
Индивидуальное соперничество за ресурсы	–	–	+
Чистое индивидуальное соперничество	–	–	–

--	--	--	--

в конкурсе на получение некоторого задания. Здесь при несовместимости целей агенты вынуждены вести переговоры друг с другом.

Индивидуальное соперничество за ресурсы представляет собой классический вариант конфликтной ситуации, когда каждый агент хочет монополизировать имеющиеся совместные ресурсы. В случае *чистого коллективного соперничества*, агентам, имеющим различные индивидуальные цели, но недостаточный опыт для их достижения, приходится объединяться в коалиции. При этом вначале происходит формирование групп агентов, а затем начинается соперничество между этими группами. Наконец, *коллективное соперничество за ресурсы*, т.е. ситуация, комбинирующая коллективное соперничество и индивидуальные конфликты за ресурсы, представляет собой наиболее продуктивный случай конфликтной ситуации с точки зрения функционирования МАС, поскольку

конкурирующие группы способствуют ликвидации монополий и расширению рынка услуг.

Диапазон *реального взаимодействия* агентов очень широк: в частности, на полярной шкале «конкуренция – кооперация» он может определяться парой чисел, характеризующих степень соперничества - сотрудничества, например, (1, 0) при полном антагонизме агентов и (0, 1) при полном сотрудничестве. Здесь средняя точка «серой» (по терминологии Д.А.Поспелова) шкалы (0.5, 0.5) есть точка наиболее противоречивого (двусмысленного) взаимодействия, а соответствующая точка разрыва на «черно-белой» шкале дает нам неопределенность (? , ?). Из этих соображений в результате получаем четырехзначную базовую логику взаимодействия . Удачный выбор исходного набора организационных критериев (базиса полярных шкал) и использование признака «*централизация–децентрализация*» позволяет социально структурировать МАС. Здесь исходными критериями могут быть, например, а) тип организации в зависимости от уровня согласования целей агентов (шкала *унитарная - федеральная*); б) тип управления (шкала *иерархия - гетерархия*); в) тип мировосприятия агентов (шкала *эгоцентризм - полицентризм*).

Понятие *кооперации* агентов играет центральную роль в МАС. Кооперация – это основная форма организации взаимодействия между агентами,

характеризующаяся объединением их усилий для достижения совместной цели при одновременном разделении между ними функций, ролей и обязанностей. В общем случае это понятие можно определить формулой: *кооперация* = *сотрудничество* + *координация действий* + *разрешение конфликтов* (см. табл.2). Кооперацию можно рассматривать двояко: а) извне, с точки зрения внешнего для данной МАС наблюдателя; б) изнутри МАС как форму поведения агентов, решивших работать совместно. В первом случае, наблюдатель, начего не знающий о ментальных состояниях или намерениях агентов, стремится установить измеримые, квантифицируемые показатели кооперации. Здесь исходными критериями служат эффективность групповой деятельности агентов в МАС и наличие механизмов разрешения конфликтов.

Более детально, уровень кооперации агентов в МАС можно определить на основе следующих показателей: 1) высокая степень распределения ресурсов (в том числе знаний); 2) избегание (или малая длительность конфликтов; 3) координация действий, включая согласование направления действий агентов в пространстве и во времени; 4) высокая степень запараллеливания (совмещения) задач, решаемых различными агентами; 5) неизбыточность действий, довольно малое число дублирующих, повторяющих друг друга действий; 5) устойчивость, понимаемая как способность МАС пережить отказ или потерю агента.

В свою очередь, примерами типичных ограничений на кооперацию агентов служат: их удаленность друг от друга; повышенный уровень автономии агента по отношению к группе; малая интенсивность коммуникации агентов; сильная взаимозависимость решаемых задач (например, когда один агент не может начать свою задачу без другого).

Во втором случае, когда кооперация как совместная деятельность отождествляется с формой преднамеренного поведения, базовую формулу можно записать в виде: *кооперация* = *общая цель* + *обязательства агентов*. Примерами использования подобной формы могут служить уставы различных ассоциаций, члены которых принимают общую цель и берут на себя обязательства совместно участвовать в некоторой работе. Очевидно, что кооперация зависит не только от установки, намерения сотрудничать, но и от поведения, а главное, от результатов совместной деятельности.

В контексте кооперации остановимся подробнее на вопросах распределения задач между агентами и согласования их действий. Можно указать три типичных **способа централизованного распределения задач**: 1) командное управление или система «господин-раб» (master-slave), когда агент-менеджер

самостоятельно распределяет все задачи между заранее определенными агентами-исполнителями и контролирует их выполнение; 2) распределение по принципу торгов (или «объявление конкурса»), когда агент-менеджер распространяет объявление об общем задании, а потенциальные агенты-исполнители предлагают свои услуги, т.е. исполнители заранее не определены, а отбираются в результате конкурса; однако и распределение отдельных задач, и контроль остаются прерогативой менеджера; 3) распределение путем соревнования, когда агенты-исполнители дают свои предложения уже на уровне отдельных задач, т.е. происходит подбор исполнителя под конкретную задачу, а роль менеджера сводится к контролю и координации их действий.

Под *координацией* обычно понимается управление зависимостями между действиями. Здесь возможны такие случаи как зависимость от общих ресурсов, зависимость из-за требования одновременности действий и пр.

Взаимодействия между агентами могут иметь различную степень сложности. К простейшим видам взаимодействия агентов относится их связь через сообщения от среды, как это делается в моделях коллективного поведения автоматов. Следующими по уровню сложности являются отношения взаимодействия между слабо персонифицированными агентами (например, на основе «доски объявлений»). Сложнее организовать коммуникацию между персонифицированными агентами. Здесь ведущую роль начинают играть отношения кооперации, координации и коалиции. В такие отношения вступают агенты, занятые решением общей задачи или планирующие свою деятельность с учетом деятельности других агентов. И наконец, отношения неоднородности и конфликтности на множестве агентов. Переход от однородных агентов к взаимодействию неоднородных агентов позволяет решать задачи, который однородный коллектив в принципе решить не может, а конфликты в ряде случаев могут рассматриваться как положительное явление при организации коллективного поведения агентов, способствуя достижению общей цели.

Коммуникация между искусственными агентами зависит от выбранного протокола, который представляет собой множество правил, определяющих, как синтезировать значимые и правильные сообщения. Механизмы коммуникации делятся на непосредственные и опосредованные. Непосредственная коммуникация связана с обменом информацией путем передачи сообщений, например, в русле модели акторов. Системы, основанные на посылке сообщений, характеризуются непосредственной коммуникацией,

поскольку различные агенты прямо общаются, образуя децентрализованную систему с локальным управлением взаимодействием.

Механизм посылки сообщений был вначале исследован в рамках модели акторов. Двумя важными преимуществами систем, основанных на акторах, являются модульная структура и локализация знаний (отсутствие глобальной базы знаний, доступной для всех акторов).

Архитектура взаимодействия системы агентов

Основное назначение этой компоненты архитектуры состоит в том, чтобы обеспечить скоординированное поведение агентов при решении общей и/или своих частных задач. Здесь можно выделить два основных варианта архитектур. В одном из них агенты не образуют иерархии и решают общую задачу полностью в распределенном варианте. В другом варианте координация распределенного функционирования агентов в той или иной мере поддерживается специально выделенным агентом, который при этом относится к мета-уровню по отношению к остальным агентам. Существуют и, по-видимому, будут возникать более сложные иерархически организованные схемы взаимодействия агентов, однако мы ограничимся кратким рассмотрением названных двух вариантов.

1. Одноуровневая архитектура взаимодействия агентов

Ярким примером одноуровневой (полностью децентрализованной) архитектуры является архитектура системы для планирования совещаний (встреч). Это приложение является представителем довольно широкого круга задач, которые имеют много общего в формальной постановке. Это те задачи, которые имеют дело с динамическим составлением расписаний выполнения некоторого вида деятельности в условиях ограниченных ресурсов. Представителями задач подобного рода являются, например, задачи составления расписания обслуживания судов в морском порту, задачи диспетчерского обслуживания движения самолетов в аэропорту, планирование работ в гибких автоматизированных производствах и ряд других.

Особенность задачи планирования встреч состоит в том, что расписание всегда составляется в контексте уже существующих назначений каждого из участников планируемой встречи. Использование же этой информации неким централизованным образом в форме базы данных исключается, поскольку, как правило, эта информация носит личный характер и участники предпочитают ее не раскрывать. Они предпочитают

также не раскрывать информацию о своих личных предпочтениях по поводу той или иной встречи. Таким образом, информация, которую нужно использовать в процессе планирования встреч, носит существенно распределенный характер и лишь ограниченно доступна каждому из участников. Наличие какой-либо хотя бы ограниченной централизации здесь исключается. Вообще говоря, подобная ситуация имеет место во многих распределенных задачах.

В такой ситуации каждый участник предстоящей встречи представляется в процессе планирования своим агентом (“электронным секретарем”), который знает все о своем клиенте и совсем немного о других участниках встречи. Стратегия поиска решения в этом случае предполагает использование переговоров для поиска глобально согласованного решения. При этом, хотя агенты остаются равноправными участниками переговоров, каждому из них по специальному алгоритму назначается определенная роль, причем роли агентов могут динамически меняться. Поясним это кратко на примере.

1. Начальный вызов. Агент - инициатор встречи устанавливает контакт с агентами заданных участников потенциальной встречи для выяснения их интереса к ней, при этом он указывает параметры встречи: дату, время, длительность, тему. Каждый секретарь спрашивает своего пользователя о том, проявляет ли он интерес к встрече. Если пользователь отвечает положительно, то его секретарь отвечает инициатору встречи о заинтересованности и указывает при этом “фактор ограничений”, который рассчитывается как сумма весов уже запланированных встреч на тот период, который предлагает инициатор встречи. Веса формируются таким образом:

вес=1, если запланированная встреча может быть передвинута;

вес=2, если такая встреча передвинуты быть не может.

Если агент отказывается от встречи, то он просто удаляется из списка участников и далее не рассматривается в задаче планирования.

2. Схема переговоров. Самый простой случай - когда все согласившиеся встретиться агенты передали суммарный вес - фактор ограничений, равный 0. Это означает, что они принимают время, предложенное инициатором, и переговоры на этом завершаются.

В противном случае агент-организатор вычисляет роли участников в предстоящих переговорах.

Агент, который имеет наибольший фактор ограничений (он имеет меньше всех свободного времени для планируемой встречи и сокращает в наибольшей мере пространство поиска компромисса) получает статус МС (Most Constrained) и далее он берет на себя роль координатора переговоров. Фактически этому агенту назначается *роль лидера* в традиционной терминологии теории распределенных вычислений. Остальные агенты получают статусы МС2, МС3,... в порядке убывания их факторов ограниченности, последний из них - LC (Least Constrained).

Далее процесс переговоров выполняется в соответствии с некоторым алгоритмом (“протоколом”), при этом агенты ищут компромисс за счет сдвигов или отмен уже запланированных встреч с возможностью отказа от встречи, которая является темой переговоров. Роли агентов в зависимости от текущих результатов переговоров могут меняться, но алгоритм действий, отвечающий каждой из ролей, остается фиксированным. Переговоры продолжаются до того момента, когда будет найдено либо согласованное решение, либо встреча будет организована в ограниченном составе, либо она будет вообще отменена.

Описанный вариант взаимодействия агентов в одноуровневой архитектуре типичен в том смысле, что могут быть различные алгоритмы ведения переговоров, но основная суть, в частности, выражаемая назначением *ролей агентов*, в основном, сохраняется.

2. Иерархическая архитектура взаимодействия агентов

Рассмотрим простейший вариант иерархической организации взаимодействия агентов, который предполагает использование одного агента “мета-уровня”, осуществляющего координацию распределенного решения задач(и) агентами.

Агент, осуществляющий координацию, может быть привязан к конкретному серверу, и тогда он называется *“местом встречи агентов”*. Место встречи агентов (AMP - Agent Meeting Place) - это агент, играющий роль брокера между агентами, запрашивающими некоторые ресурсы, которыми обладают другие агенты, и теми агентами, которые эти ресурсы могут предоставить. Архитектура AMP есть архитектура обычного агента (см. далее), дополненная некоторыми вспомогательными компонентами, наличие которых обусловлено ролью этого агента как координатора взаимодействия других агентов. Эти вспомогательные компоненты должны, с одной стороны, содержать унифицированное описание множества доступных через AMP агентов и их возможностей (ресурсов, функций и пр.)

и, с другой, организовать унифицированный доступ к ним. Это обеспечивается такими компонентами АМР .

1. Объекты базовых сервисов, в частности, это могут быть удаленный вызов объектов, упорядочение объектов, дублирование объектов и другие базовые возможности, которые обычно поддерживаются той или иной платформой открытой распределенной обработки, например, OMG/CORBA.

2. Связные порты, ответственные за прием и отправку агентов в АМР с помощью соответствующих протоколов.

3. Компонента установления подлинности агента по имени (опознание агента, “авторизация”).

4. Консьерж, выполняющий функции контроля полномочий поступающего агента, наличия на АМР запрашиваемого сервиса, оказания помощи агенту в выборе дальнейшего маршрута перемещения и др.

5. Поверхностный маршрутизатор, который выполняет функции интерфейса между агентами и компонентами АМР, которые сами по себе регистрируются в этом маршрутизаторе; он поддерживает ограниченный словарь для удовлетворения агентских запросов.

6. Лингвистический журнал, который представляет собой базу данных, помогающую агентам и АМР понимать друг друга в процессе коммуникаций. В нем регистрируются словари и языки, но не описания языков или смысл терминов, а лишь ссылки на них, т.е. журнал предоставляет информацию о том, что может быть понято в АМР.

7. Глубинный маршрутизатор, который ассистирует поверхностному при более специальных и сложных запросах.

8. Менеджер ресурсов; он регистрирует агентов на АМР и ассоциированные с ними ресурсы, а также управляет ресурсами АМР.

9. Среда исполнения агента, которая регистрируется в АМР и управляет доступом к компонентам агента; она интерпретирует сценарии, обеспечивает доступ к базовым возможностям и др.

10. Система доставки событий; источниками событий могут быть локальные средства, резидентные агенты АМР и др.; система регистрирует события и выполняет поиск агентов для соответствующего типа событий, сообщений.

В остальном архитектура координирующего агента аналогична архитектуре обычного агента, варианты которой рассматриваются в следующем подразделе.

Архитектура агента

Общая классификация архитектур

Грубая классификация архитектур агентов основывается на парадигме, лежащей в основе принятой архитектуры. По этому признаку различают два основных класса архитектур:

-архитектура, которая базируется на принципах и методах искусственного интеллекта, т.е. систем основанных на знаниях (*deliberative agent architecture*), “архитектура разумного агента”),

и как альтернатива, так называемая

-архитектура, основанная на поведении (*reactive architecture*) или “реактивная архитектура” (основанная на реакции системы на события внешнего мира).

На самом деле к настоящему времени среди разработанных архитектур не существует таких, о которых можно было бы определенно сказать, что она является чисто поведенческой или основана только на знаниях. Любая из разработанных архитектур является по сути гибридной, имея те или иные черты от архитектур обоих типов.

С другой стороны, независимо от лежащей в основе формализации парадигмы, архитектуры агентов классифицируются в зависимости от вида структуры, наложенной на функциональные компоненты агента и принятых методов организации взаимодействия его компонент в процессе работы. Как правило, архитектура агента организуется в виде нескольких уровней. В соответствии с работой, среди многоуровневых архитектур различают горизонтальную организацию взаимодействия уровней и вертикальную организацию.

Естественно, существуют и другие признаки классификации архитектур агентов, однако мы будем придерживаться отмеченных ввиду того, что они имеют наиболее широкое хождение.

Далее дается краткая характеристика архитектур в соответствии с двумя упомянутыми выше принципами, а затем рассматриваются

конкретные примеры архитектур агентов и многоагентных систем, которые наиболее часто обсуждаются в литературе и в каком-то смысле являются отражением современных тенденций в этой области.

Архитектуры агентов, основанные на знаниях

С классической точки зрения архитектура на основе знаний есть такая архитектура, которая содержит символическую модель мира, представленную в явной форме, и в которой принятие решений о действиях, которые должны быть предприняты агентом, осуществляется на основе рассуждений логического или псевдо-логического типов. Такой агент может рассматриваться как специальный случай системы, основанной на знаниях.

Сначала идея агента, основанного на знаниях, строилась на чисто логической основе и представлялась весьма перспективной. Однако позднее было обнаружено, что лежащее в основе такого подхода исчисление предикатов первого порядка неразрешимо. Более того, такие ментальные свойства агента, как убеждения, желания, намерения, обязательства по отношению к другим агентам и т.д (см. раздел 2), невыразимы в терминах исчисления предикатов первого порядка. Были разработаны некоторые специальные варианты расширений модальных логик и подобных модальным (см. раздел 3), которые оказались с точки зрения реализуемости более удачными. Такие архитектуры были названы Belief-Desire-Intention (BDI) - архитектурами. Однако мы не будем останавливаться на особенностях BDI-архитектур среди архитектур, построенных на основе знаний, так как это больше характеризует язык спецификации, лежащий в основе формализации агента, чем особенности собственно архитектуры. Далее будут даны примеры архитектур агентов на основе знаний.

Заметим, что идея архитектуры агента на основе знаний в настоящее время уже вышла за пределы логической парадигмы представления и обработки знаний. Имеются архитектуры, исповедующие лингвистический подход (на основе формальных грамматик), а также такие, которые пытаются использовать приближенные знания и правдоподобные рассуждения, хотя, как это ни парадоксально, в значительно меньшей степени, чем это сейчас общепринято в искусственном интеллекте при построении систем на основе знаний.

Архитектура на основе планирования (реактивная архитектура)

Архитектура на основе планирования (“планирующий агент”) рассматривается как альтернатива подходу, рассмотренному в предыдущем подразделе. Вообще говоря, этот подход также развивался внутри

сообщества специалистов по искусственному интеллекту еще с начала 1970-х годов, однако той его частью, которая занималась планированием поведения роботов и тому подобными задачами.

В этом подходе планирование рассматривалось как “конструирование последовательности действий, которая, будучи исполненной, приводила бы в результате к достижению желаемой цели”. Простым примером архитектуры подобного рода является архитектура, в которой реакция агента на внешние события генерируется конечным автоматом. В качестве другого примера системы с архитектурой рассматриваемого типа может рассматриваться и широко известная система STRIPS. В этой системе, как известно, использовался чисто логический подход совместно с предусловиями и постусловиями, ассоциированными с каждым из действий. В соответствии с принятой стратегией STRIPS, имея описание мира и желаемой цели, пытается найти последовательность действий, которая в итоге приведет к достижению цели с удовлетворением постусловий. Как известно, система оказалась крайне неэффективной. Позже были разработаны и другие подобные подходы, однако они не могли работать с задачами, в которых имелись темпоральные ограничения и ограничения реального времени, весьма существенные для приложений интеллектуальных агентов.

Многоуровневость

Только самые простые приложения агентов могут быть реализованы по одноуровневой схеме. Как правило, функциональные модули агента структурируются в несколько уровней, однако по различным принципам. Как правило, уровни представляют различные функциональности, такие, как восприятие внешних событий и простые реакции на них; поведение, управляемое целями; координация поведения с другими агентами; обновление внутреннего состояния агента, т.е. убеждений о внешнем мире; прогнозирование состояний внешнего мира; определение своих действий на очередном шаге и др. Наиболее часто в архитектуре агента присутствуют уровни, ответственные за

- восприятие и исполнение действий,
- реактивное поведение,
- локальное планирование,
- кооперативное поведение,
- моделирование,

- формирование намерений, и
- обучение агента.

Существует два основных класса многоуровневых архитектур в зависимости от того, как организуется взаимодействие уровней:

- горизонтально организованная архитектура и
- вертикально организованная архитектура.

В первой из них - в горизонтально организованной архитектуре, все уровни агента имеют доступ к уровню восприятия и действий (в общем случае- все уровни могут общаться между собой в стиле “бродкастинга”). Вариант такой архитектуры приведен на рис.7а. Напротив, в вертикально организованной архитектуре только один из уровней имеет доступ к уровню восприятия и действий, а каждый из остальных уровней общается только с парой непосредственно смежных с ним уровней. Примеры таких архитектур приведены на рис.7.б и 7.в.

Примерами горизонтально организованной архитектуры являются рассматриваемые далее архитектуры Touring Machine и Will-architecture [33] (D.Moffat and N.H.Frijda).

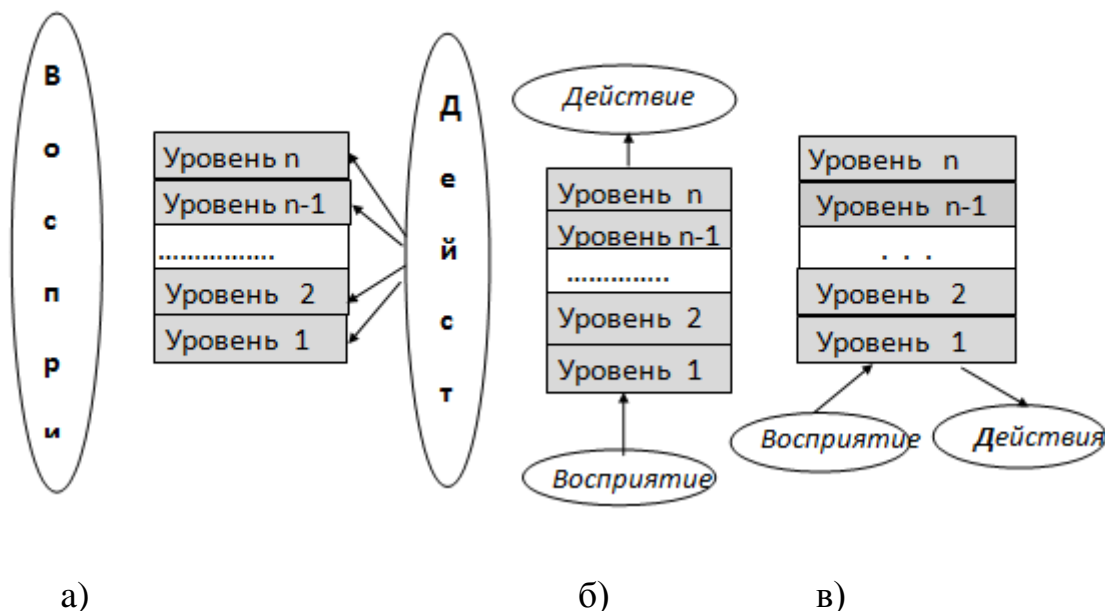


Рис.7 Организация взаимодействия уровней в многоуровневой архитектуре агента

Основные проблемы реализации горизонтально организованной архитектуры обусловлены сложностью организации согласованной работы всех уровней. В архитектуре Touring Machine (см. далее п.5.3.2) эта проблема решается с помощью специального алгоритма, который подавляет входы некоторых уровней, если соответствующая информация не имеет к ним отношения, и осуществляет цензурирование выходов. Это выполняется с помощью специального набора правил. Во второй из горизонтально организованных архитектур - архитектуре Will, задача управления согласованной работой уровней выполняется с помощью введения специальных функций совместимости входных событий с “интересами” (concerns) уровней. Здесь делается попытка ввести некоторую самоорганизацию, однако из имеющихся работ не вполне понятно, как это может быть реализовано в различных приложениях.

Напротив, в вертикально организованной архитектуре проблема управления взаимодействием уровней не является столь сложной, поскольку выходная информация каждого из уровней всегда имеет адресата. В известных вертикально организованных архитектурах распределение функциональных модулей по уровням выполняется по одному из двух принципов. Согласно одному из них, различные уровни отвечают различному уровню абстракции, в основном, одного и того же набора функциональностей (такой принцип используется в уже упоминавшейся InteRRaP-архитектуре). Согласно другому принципу каждый уровень отвечает некоторой функциональности или их набору. По такому принципу построена МЕССА-архитектура, в которой цикл функционирования агента состоит из четырех фаз: активация цели, планирование, конкретизация плана в набор действий и исполнение. В соответствии с этими фазами архитектура агента состоит из четырех уровней.

Недостатком вертикально организованной архитектуры считается то ее свойство, что оказывается перегруженным уровень исполнения (действий). Например, в IntRRaP- архитектуре нижний уровень должен реагировать на непредвиденные события, отслеживать исполнение команд, полученных с уровня локального планирования, следить за выполнением ограничений, наложенных контекстом локального планирования (временных, ресурсных) и, наконец, он должен функционировать в соответствии с дополнительными кооперативными обязанностями (обязательствами), которые возложены на агента другими агентами многоагентной системы.

Примеры архитектур агентов

Многоуровневая архитектура для автономного агента (“Touring Machine”)

Эта архитектура разработана для специального приложения автономного агента-подвижного робота. В отличие от большинства других разработок, она рассчитана на реальное приложение, а не на демонстрационный вариант только. В реальном приложении агент имеет дело с непредвиденными событиями внешнего мира как в пространстве, так и во времени и в присутствии других агентов. При этом он должен сохранять способность адекватно реагировать на них и принимать решения. Но внешний мир невозможно моделировать в деталях. По этой причине архитектура агента и является, как правило, гибридной. Агент должен иметь архитектуру, которая позволит ему справляться с неопределенностью и неполнотой информации, реагировать на непредвиденные события, пользуясь относительно простыми правилами. Это - исходная позиция авторов данной архитектуры.

Данная архитектура представлена на рис.9. По утверждению автора, эта архитектура демонстрирует хорошее поведение в соответствии с контекстом-состоянием внешней среды. Она включает в себя три уровня, каждый из которых соответствует различным типам способностей агента.

-уровень *реакции* на события **R** поддерживает способность агента быстро реагировать на события, выдаваемые вышележащим уровнем, даже если они ранее не планировались;

-уровень *планирования* **P** генерирует, исполняет и динамически реконструирует частичные планы, например, для выбора маршрута подвижного робота;

-уровень *предсказания*, или моделирования **M** моделирует поведение сущностей внешней среды и самого агента, что может использоваться для объяснения наблюдаемого поведения и предсказания возможного их поведения в будущем.

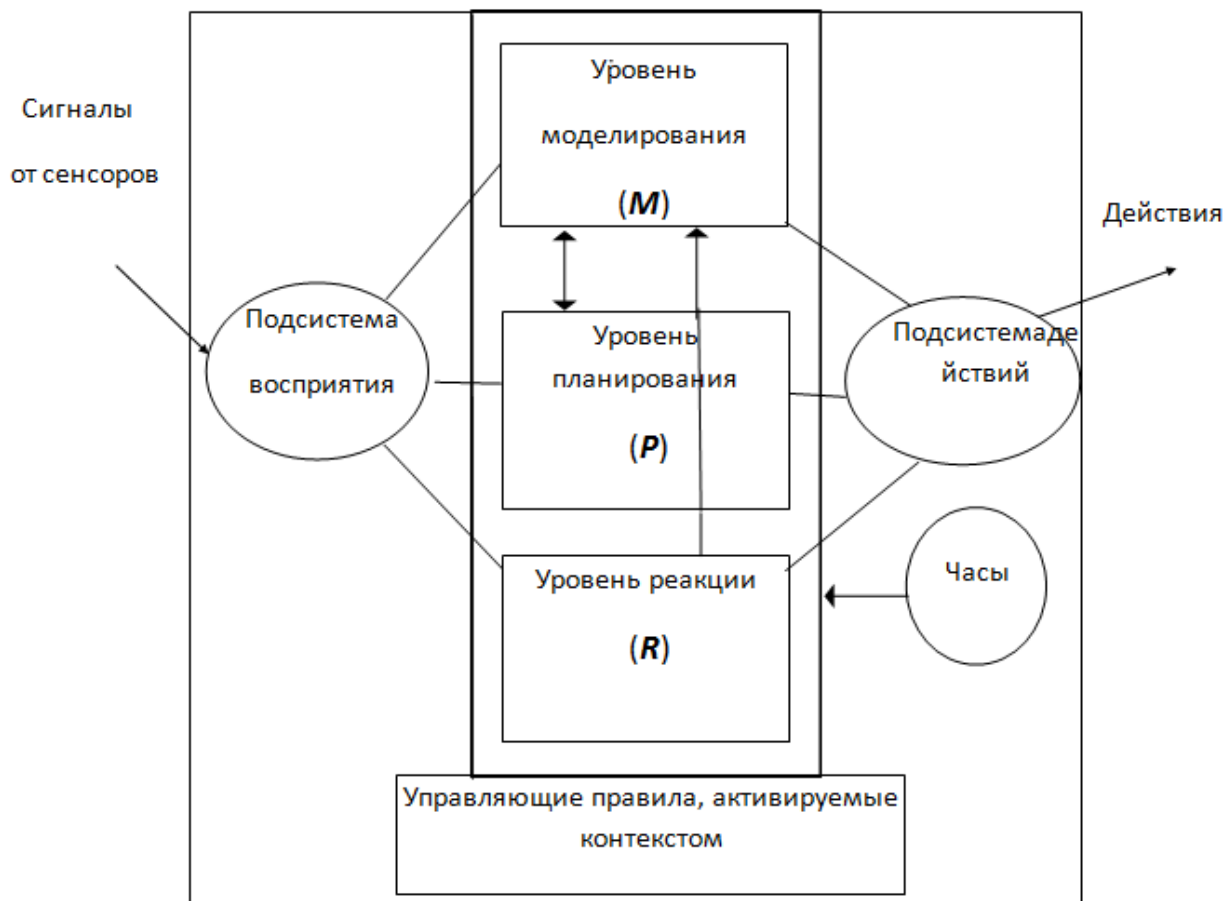


Рис.9. Многоуровневая архитектура для автономного агента
 (“Touring Machine”)

Каждый из этих уровней имеет модель мира агента на соответствующем уровне абстракции и содержит возможности, соответствующие уровню. Каждый из уровней напрямую связан с компонентой восприятия и действия и в состоянии независимо от других уровней решать, реагировать или не реагировать в текущем состоянии мира. В архитектуру включена *Подсистема управления* на основе правил, активируемая контекстом с задачей обеспечить подходящее поведение агента в случае конфликта вариантов поведения, инициируемого различными уровнями. Система реализована как комбинация технологии обмена сообщениями и контекстной активации управляющих правил (в соответствии со спецификой предметной области), выступающей в роли посредника, который исследует данные разных уровней (воспринимаемый вход и выходы разных уровней), вводит на различные уровни новые данные и удаляет некоторые данные.

Синхронизация входов и выходов уровней также обеспечивается этой подсистемой. Фактически правила подсистемы выступают в роли фильтра

между сенсорами агента и внутренними уровнями агента (“supressors”) и между уровнями и их исполнительными элементами (“censors”). Посредничество это остается активным все время работы агента, однако оно “прозрачно” для уровней, каждый из которых продолжает действовать так, как если бы он был единственным при управлении агентом, не заботясь о возможном конфликте.

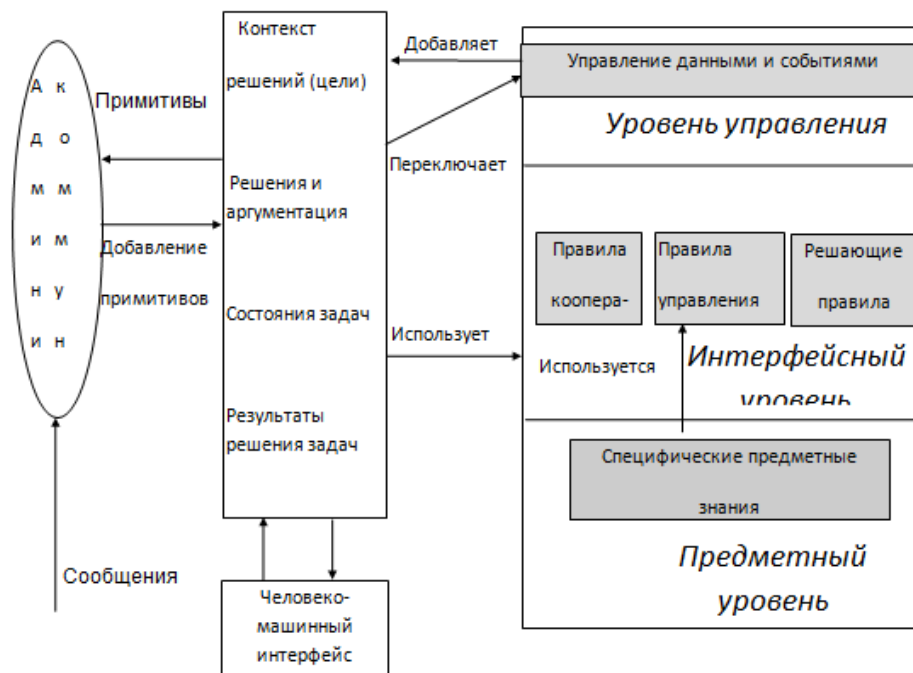
Данная архитектура имеет реализацию и по мнению авторов вполне работоспособна. Она интегрирует в себе ряд традиционных механизмов рассуждений на основе знаний и механизмов чисто поведенческого, “реактивного” характера. Она является весьма характерным представителем горизонтально организованной многоуровневой архитектуры.

Многоуровневая архитектура для распределенных приложений

Эта архитектура была разработана специально для системы здравоохранения. Она включает в себя многоуровневую структуру знаний, рабочую память, менеджера коммуникаций и человеко-машинный интерфейс (см. рис.10)

Поскольку данная архитектура должна быть релевантной медицинским приложениям, агент должен обладать обоими типами поведения - как поведением на основе знаний (например, для выбора планов, декомпозиции задач, размещения задач), так и поведением на основе быстрой реакции на события (например, для формирования ответов в реальном времени на поступающие новые данные, изменение имеющихся данных, на изменение текущих соглашений с другими агентами).

В этой архитектуре интеллектуальное поведение поддерживается совместной работой таких компонент, как блок решающих правил для вычисления плана, блок правил для управления задачами, их декомпозицией и размещением, а также блок правил для поддержки соглашений с другими агентами при кооперативном решении задач. Реактивное поведение реализуется с помощью управляющего уровня, который реагирует на изменение состояния рабочей памяти (например, при поступлении новых результатов решения задачи, целей или сообщений, а также при изменении имеющихся данных, целей, межагентских соглашений или состояний задач). Ключевым моментом данной архитектуры является трехуровневая организация знаний, при этом выделяются следующие уровни:



1. *Уровень специфических предметных знаний*, в котором содержатся медицинские знания о болезнях, знания о планах управления лечением болезней (“протоколы”), база данных о пациентах (истории болезней) и база данных о доступных ресурсах. Однако предметные знания не содержат какой-либо информации о том, как их следует использовать, здесь представлены только свойства предметной области.

2. *Уровень знаний о процедурах вывода*; он содержит декларативные правила вывода, которые должны применяться к предметным знаниям о конкретном пациенте, чтобы вывести новые данные. Этот уровень - основной в архитектуре. В свою очередь он подразделяется на компоненты принятия решений в условиях неопределенности, управления задачами и управления кооперацией агентов. Например, модуль управления задачами содержит декларативную схему вывода для управления переходами состояний задачи. Особенности системы вывода решений состоят в том, что она не использует понятия ментального состояния агента (убеждения, желания, намерения) и не использует какой-либо логический язык для вывода, для этого она использует стратегии аргументации в условиях неопределенности. Это означает, что эта архитектура не является BDI-архитектурой.

3. *Менеджер задач* ответственен за декомпозицию задач на подзадачи и их распределение по соответствующим агентам, а также за управления переходами состояний задач. Управление кооперацией агентов использует механизм, основанный на взаимных обязательствах агентов (“любой агент согласен предпринимать схему действий, которая имеет целью исполнить задачу за подходящее время”), и соглашениях о том, при каких условиях

агент вправе отказаться от своих обязательств и как он должен себя вести по отношению к другим агентам, когда такие обстоятельства возникнут.

4. *Уровень управляющих знаний*, который применяет знания о процессе вывода к предметным знаниям, чтобы генерировать схему вывода, если в рабочую память добавляются новые знания.

Авторы убеждены, что такое функциональное разделение знаний на предметные знания, знания о процедурах вывода и управляющие знания существенно упрощает их представление, повторное использование и эксплуатацию, поскольку эти компоненты могут создаваться и поддерживаться независимо. Кроме того, эта архитектура позволяет просто встраивать программы извлечения знаний, каждая из компонент которых может получаться и модифицироваться независимо друг от друга.

Другие три компоненты рассматриваемой архитектуры - это *рабочая память, менеджер коммуникаций* и *человеко-машинный интерфейс*.

Рабочая память служит для запоминания текущих данных, генерируемых уровнем управления, пользователя и менеджера коммуникаций. Типы информации, которая хранится в рабочей памяти, таковы: цели, которые должны быть достигнуты; состояния задач, которые находятся в текущем состоянии процесса выполнения соглашений с другими агентами. Фактически, в привычной нам терминологии, рабочая память есть ни что иное, как доска объявлений.

Менеджер коммуникаций содержит в себе сообщения, которые должны быть посланы другим агентам, представленные на языке коммуникаций с примитивами типа примитивов языка KQML: *обратиться с просьбой, принять, отвергнуть, изменить, предложить, проинформировать, запросить данные, отказаться и подтвердить*.

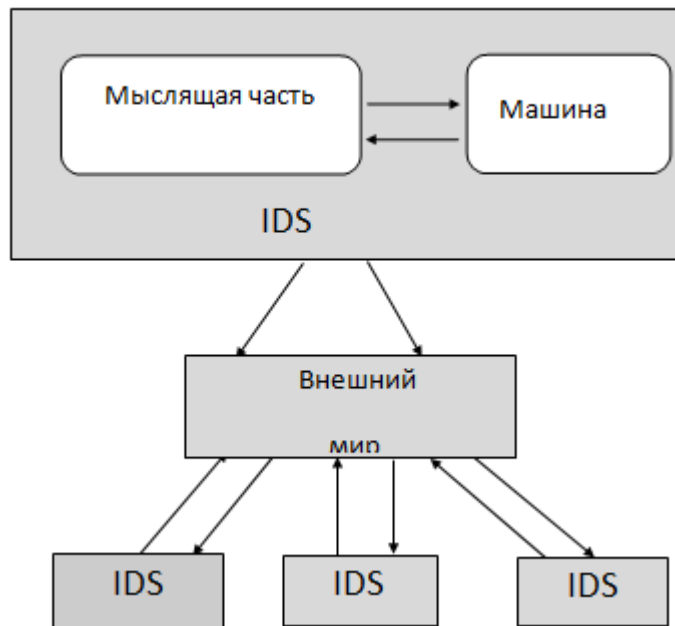
Человеко-машинный интерфейс определяет схему взаимодействия между системой и пользователем, поскольку данная многоагентная система не является автономной, что связано с личной ответственностью пользователя за здоровье пациента.

Эта архитектура основана на знаниях, имеет горизонтальную схему взаимодействия уровней. Главная ее особенность в том, что она достаточно сильно ориентирована на приложение.

IDS-архитектура

Архитектура имеет трехуровневую структуру и является гибридной. Полагается, что IDS - система размещается в некотором мире (среде) и состоит из двух базовых частей - “Мыслящей части” (“Я”, “Ego”) и “Машины” (“Подвижной части объекта”, “тела”, “vehicle”). Автор интерпретирует понятие “Мыслящая часть” как интеллектуальную, основанную на знаниях часть автономного агента, его “мозг”, в то время как “машина” - это тело агента, т.е. его бессознательная часть, которая в порядке реакции на восприятие и приказы на исполнение что-то делает. IDS воспринимает внешнюю среду. Используя процесс восприятия, она редуцирует и существенно обобщает воспринимаемую информацию, и посылает выход в “Мыслящую часть”. В свою очередь, “Мыслящая часть” посылает команды на свою подвижную часть, которая их обрабатывает без какого-либо дополнительного управления или изменения, вызывая соответствующие изменения во внешнем мире (см. Рис.11).

Эта идея реализуется в виде трехуровневой архитектуры, представленной на рис.12. Разделение по уровням производится в соответствии с характером тех вычислений, которые на них выполняются. Первый уровень - это уровень процессов, на котором периодически выполняются с заданной частотой некоторые вычисления, а также осуществляется управление процессами восприятия и исполнения. Второй уровень, называемый уровнем ответной реакции, вычисляет ответную реакцию на асинхронные события, которые либо воспринимаются уровнем процессов, либо им генерируются. Уровень анализа выполняет символические рассуждения, такие, как предсказание, планирование и перепланирование, а также является тем местом, где располагается компонента обучения агента. Данная архитектура является типичным представителем многоуровневой архитектуры, которая относительно близка к архитектуре “Touring Machine” и отличается от нее вариантом распределения задач по уровням. Достоинства архитектуры, по мнению автора, следует рассматривать в трех аспектах:



-в ней имеет место явное разделение задач, которые требуют различных концептуальных и вычислительных рамок;

-она позволяет при проектировании использовать различные инструментальные средства (языки, алгоритмы) для упрощения разработки;

-она позволяет поддерживать процесс проектирования простыми программными инструментальными средствами, обеспечивая простоту процесса прототипирования, которыми автор располагает.

Организации и организационное моделирование МАС

Организация наряду с взаимодействием – одно из ключевых понятий в теории и проектировании МАС. Организация часто выступает как механизм разрешения или запрещения взаимодействий между агентами. В МАС задачи распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его ответственности и требований к опыту.

Сам термин «организация» многозначен: он выражает одновременно действие по организации чего-либо и результат этого действия. Иными словами, ОРГАНИЗАЦИЯ может рассматриваться двояко – как: 1) способ структурирования МАС; 2) действие по организации. Известный французский философ и поэт П.Валери предложил толкование организации как неразрывного триединства некой организованной структуры, продукта этой организации и организующей системы.

Из многозначности понятия «организация» вытекает тот факт, что МАС, как правило, носит динамический характер; это предполагает более или менее оперативную перестройку множества агентов и множества связей между этими агентами.

Важность рассмотрения понятия организации в русле агентно-ориентированного связана с возможностью изучения с единых позиций агента и МАС. Так агенты могут рассматриваться как индивидуальные организационные единицы, а МАС – как коллективные. Различие между этими двумя видами единиц состоит в наличии у первых своего рода мембраны: индивидуальная единица отграничивает свое внутреннее пространство от внешнего таким образом, что взаимодействия со средой (обмены) могут происходить в более узких границах. У коллективных единиц механизм типа мембраны отсутствует.

В свою очередь, и МАС, и виртуальные организации могут также рассматриваться как системы, основанные на индивидуальных и коллективных агентах соответственно.

Итак, когда говорят об организации, то предполагают, что существует множество единиц, образующих некоторую целостность. Иными словами, организация предполагает наличие отношений между неоднородными единицами, обеспечивающих их совместимость. Организация одновременно воздействует на среду и на саму себя. С одной стороны, она сама определяет свои цели и организует свои внешние связи (обмены). С другой стороны, организация устанавливает свои нормы и поддерживает свое равновесие, т.е. отношение со своими частями .

Соответственно, *организация МАС* определяется ее *структурой*, включающий связи коммуникации и управления между агентами, а также *действиями* по формированию этой структуры. В то же время, она выражает *схему деятельности* и *взаимодействия* агентов, задавая проблемную область, характер задач, полномочий и обязательств агентов, способы координации и синхронизации действий, а также определяет продолжительность жизни МАС, включая условия ее сохранения и устойчивости, несмотря на случайные возмущения. Таким образом, организация составляет и основу, и способ существования взаимоотношений между агентами.

По мнению Э.Вернера [132], фундаментальными особенностями *группы*, составленной из виртуальных агентов, сотрудничающих во имя достижения общей цели, являются *социальная структура* и *распределение ролей* между

агентами. При этом социальная структура образуется в результате назначения социальных ролей. Когда агент получает свою роль, на его деятельность накладываются ограничения типа «разрешения» и «ответственности». В соответствии с таким подходом, искусственная организация исследуется и создается «изнутри» системы. Виртуальное сообщество с его социальной структурой функционирует потому, что агенты играют определенные **социальные роли**, что приводит к достижению соответствующих социальных целей.

Понятие социальной роли первично также в методе организационного моделирования, предложенном Г.Паттисоном. Этот метод интересен тем, что организация описывается аналитически, от общего к частному. Организация определяется множеством своих составляющих и набором отношений между ними. Любая *составляющая* характеризуется своим *типом* (индивидуальная или коллективная), видами *ответственности, ресурсами, знаниями и индивидуальными характеристиками*. Организационные отношения описывают на абстрактном уровне формы взаимодействия между функциональными классами агентов, т.е. между ролями. Выделяются два **типа организационных отношений**: *статические отношения*, образующие «скелет» организации, характеризуют априорную организационную структуру, существующую до и независимо от процессов функционирования, а *динамические отношения*, формирующие «плоть» организации, определяют взаимосвязи, изменяемые при взаимодействии.

В контексте искусственных организаций наиболее важными отношениями являются *отношения коммуникации и управления*, но следует учитывать и ряд других, например, отношение функциональной близости агентов. О необходимости моделирования властных функций в МАС говорилось многими авторами, в частности К.Кастельфранши.

В организации с жестко фиксированными связями, каждый агент играет одну или несколько ролей, которые никак не меняются и не передаются от одного агента к другим. Отношения между агентами жестко регламентированы, и практически никакая реорганизация невозможна.

Переменные (вариабельные) связи соответствуют стабильным организационным структурам с вариабельными параметрами. Здесь отношения между агентами могут изменяться, но эти изменения определяются заранее и характеризуются точно заданными механизмами. Такой тип связей чрезвычайно распространен в МАС.

Эволюционные связи характеризуют развивающиеся организационные структуры, когда сама структура также вариабельна. Тогда и абстрактные

отношения между агентами могут меняться в зависимости от критериев эффективности организации.

Соответственно, организационные структуры могут формироваться двояким образом: либо проектироваться разработчиками, либо возникать спонтанно. В первом случае их называют предварительно заданными. Это означает, что абстрактные отношения, неважно – статические или динамические, – определены заранее. Во втором случае, когда организационные структуры определяются апостериори, соответствующие организации называют *эмергентными* («возникающими спонтанно»). Подобные организации обычно состоят из реактивных агентов и характеризуются отсутствием заранее спроектированной структуры, которая возникает именно в процессах взаимодействия между агентами. В этом случае положение и роли агентов не определены заранее, а формируются как продукты поведения этих агентов. Точнее говоря, распределение функций и задач происходит в процессе *самоорганизации*, позволяющем организации своевременно эволюционировать и легче адаптироваться к изменениям среды или потребностей группы агентов.

Таким образом, организации с фиксированной структурой в основном характерны для когнитивных агентов, а организации с возникающей структурой (эмергентного типа) обычно объединяют реактивных агентов.

Виртуальные организации

Задача разработки *искусственных организаций и сообществ*, состоящих из *виртуальных агентов*, является естественным развитием проблематики МАС. В *виртуальных организациях* (ВО) размываются границы между социальными и техническими системами. В общем случае, **ВО можно рассматривать как сложную социотехническую систему, образованную из удаленных друг от друга групп людей (виртуальных коллективов), объединяемых на основе симбиоза ведущих сетевых и интеллектуальных технологий, например, сети Интернет и средств управления знаниями.** В частном случае, ВО может фигурировать как искусственная организация, состоящая исключительно из искусственных агентов. При этом одни и те же агенты могут одновременно входить в состав нескольких ВО.

Виртуальная организация может рассматриваться как своего рода *метаорганизация*, объединяющая цели, ресурсы, традиции и опыт ряда организаций-партнеров, а также управляющая их развитием. В рамках агентно-ориентированного подхода *виртуальную (искусственную) организацию* можно трактовать как *сообщество (группу) МАС*, которое сформировано электронным путем и функционирует в *виртуальном пространстве*. Это – *сетевая* (или, даже, *межсетевая*), *компьютерно интегрированная организация*, состоящая из *неоднородных, свободно взаимодействующих коллективных агентов* (т.е.

агентов, которые сами представляют собой многоагентные системы), *находящихся в различных местах* .

Здесь, очевидно, происходит слияние сетевых и интеллектуальных технологий, поскольку сеть, будучи одной из важнейших форм коллективного интеллекта, тесно связанная с процессами самоорганизации, спонтанного возникновения новых структур при достижении особых состояний агентов (свойство эмергентности). Следует ожидать, что XXI-м веке наступит эра сетевого интеллекта (*networked intelligence*).

В то же время, в русле виртуальных организаций объединяются передовые информационные и коммуникационные технологии. В частности, для эффективного функционирования ВО необходимо построение *инфомагистралей* – коммуникационных суперсетей с высокой пропускной способностью, через которую должны перекачиваться большие объемы текстовой, графической, звуковой и видеоинформации. Применение НИКТ в ВО позволяет накапливать безграничные по своей природе информационные ресурсы и расширять когнитивные возможности интеллектуальных агентов.

Центральная идея сети МАС заключается в организации различных взаимосвязей между интеллектуальными коллективными агентами, которые, вообще говоря, не являются постоянными и регулярными, а образуются, развиваются и трансформируются в зависимости от целей отдельных МАС.

Основные характеристики ВО как открытой, развивающейся сети неоднородных коллективных агентов таковы.

1. Наличие у агентов общих (совместимых) целей, интересов и ценностей, определяющих необходимые условия формирования ВО и правила принадлежности к ней.
2. Наличие у агентов потребности в дополнительных ресурсах для достижения целей, что приводит к установлению партнерских отношений между ними, в рамках которых осуществляется совместное использование географически распределенных средств и опыта (знаний), а также их быстрое приумножение.
3. Интенсивное использование средств телекоммуникации ввиду пространственной удаленности агентов, эффективное проведение совместной, компьютерно опосредованной, работы партнеров, включающей процессы кооперации и координации, на расстоянии.
4. Семиотическая природа коммуникации агентов, ведущая роль эволюционного семиозиса (включая семантические и прагматические аспекты циркуляции знаний) в ВО.

5. Формирование автономных виртуальных рабочих групп с гибким распределением и перераспределением функций и ролей агентов, взаимодействующих на расстоянии.
6. «Плоская структура», предполагающая максимизацию числа горизонтальных связей между агентами в рабочих группах.
7. Максимально широкое распределение полномочий управления, наличие многих центров принятия решений (сотовая сеть).
8. Временный характер, возможность быстрого образования, реструктурирования и расформирования, что обеспечивает реактивность и адаптивность к изменениям среды.

Сравнительный анализ особенностей классической (тейлоровской) и виртуальной организаций дан в табл.3.

В разработке технологии и инфраструктуры ВО первостепенную роль играют стандарты в области вычислительных сетей (сетевых коммуникаций), взаимодействия программных средств, инженерии знаний, моделирования разрабатываемых объектов и пр. Типичная инфраструктура ВО объединяет следующие компоненты.

- (1) *Сеть Интернет*
- (2) Средства быстрого построения *распределенных приложений в неоднородных средах*. Здесь наиболее популярной является *CORBA-технология*, основанная на архитектуре управления объектами ОМА (Object Management Architecture). Данная архитектура следующие основные компоненты: а) собственно общую архитектуру брокера запросов объектов CORBA (Common Object Request Broker Architecture); б) объектные сервисы (Object Services); в) универсальные средства (Common Facilities); г) объекты приложений (Application Objects).
- (3) Программные средства *поддержки групповой деятельности (groupware)*, в частности, обеспечения процессов сотрудничества (collaboration software) и координации (coordination software)
- (4) Системы управления знаниями

Табл.3. Сравнительный анализ характеристик тейлоровской и виртуальной организаций

КРИТЕРИИ	ТЕЙЛОРОВСКАЯ ОРГАНИЗАЦИИ	ВИРТУАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИИ
----------	-----------------------------	----------------------------

СРЕДА (ПРОСТРАНСТВО)	ФИЗИЧЕСКАЯ	ВИРТУАЛЬНАЯ
КОММУНИКАЦИЯ	НЕПОСРЕДСТВЕННАЯ	ДИСТАНЦИОННАЯ
ЕДИНИЦА	ОДНОРОДНАЯ	НЕОДНОРОДНАЯ, АВТОНОМНАЯ
ВИД ОРГАНИЗАЦИИ	МОНОЛИТНАЯ, ЗАМКНУТАЯ	РАСПРЕДЕЛЕННАЯ, ОТКРЫТАЯ, СЕТЕВАЯ
СТРУКТУРА	ИЕРАРХИЯ (ДЕРЕВО)	ГЕТЕРАРХИЯ (НЕОДНОРОДНАЯ СЕТЬ)
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	ВЕРТИКАЛЬНЫЕ (СУБОРДИНАЦИЯ)	ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ (КООРДИНАЦИЯ)

КООПЕРАЦИЯ	ОГРАНИЧЕННАЯ	ИНТЕНСИВНАЯ
УПРАВЛЕНИЕ	ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ	ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ
СВЯЗИ	ПОСТОЯННЫЕ	ГИБКИЕ, ПЕРЕМЕННЫЕ
РАЗВИТИЕ	ЖЕСТКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ	САМОРЕОРГАНИЗАЦИЯ

Перечислим теперь основные школы, тяготеющие к методологии РИИ. Это:

- 1) школа организационного моделирования и проектирования МАС, опирающаяся на современные подходы общей теории систем и организаций, включая функционально-структурный и эволюционно-органический подходы, а также использующая социо-психологические методы.
- 2) логическая школа моделирования убеждений, намерений, желаний и склонностей агентов на основе неклассических логик (BDI-модели);
- 3) лингвистическая школа моделирования речевых актов, используемых при построении протоколов коммуникации и описании взаимодействия агентов на основе потоков работ (workflows);
- 4) математическая школа теории игр и конфликтов;
- 5) школа рефлексивных моделей;
- 6) математическая школа сетей Петри;
- 7) программистская школа, использующая языки акторов и идеи агентно-ориентированного программирования.

Ниже подробнее опишем идеи и результаты, относящиеся к первым трем школам РИИ.

Организационное проектирование: восходящий подход

В русле организационного моделирования и проектирования выделяются следующие базовые процессы:

1) *функциональный анализ* и моделирование, направленные на спецификацию функций организации во всех ее измерениях;

2) *структурный анализ* и моделирование – определение возможных форм организаций и ряда основных параметров структуры.

3) *эволюционное проектирование*, включающее *функционально-структурный синтез* и *структурно-функциональный анализ*

4) задание *параметров конкретизации*, определяющих переход от некоторой исходной организационной структуры к конкретной организации, т.е. эффективную реализацию МАС.

Функциональный анализ МАС предполагает определение главных функций, возложенных на агентов. При этом организация может рассматриваться как система ролей, где каждая роль определяет множество характеристик агента в организации. Функции организации могут рассматриваться в различных измерениях, соответствующих точкам зрения наблюдателей.

Структурный анализ МАС направлен на упорядочение множества возможных взаимодействий между агентами путем выделения связывающих их абстрактных отношений и анализа их изменений во времени.

Эволюционное моделирование МАС означает порождение и трансформацию ее функционально-структурной организации. Элементарный шаг процесса эволюционного проектирования включает две неразрывно связанные фазы: а) *функционально-структурный синтез* (ФСС); б) *структурно-функциональный анализ* (СФА). При рассмотрении их как «черных ящиков» в случае ФСС на входе имеем набор функций, а на выходе – совокупность структур. Иными словами, функционально-структурный синтез МАС представляет собой построение структур, компонентами которых являются функции агентов, а также установление соответствия между видами функций и структур. Наоборот, фаза СФА начинается с рассмотрения ранее полученных структур, а завершается определением последующих функций.

При изменении условий существования МАС, росте сложности и неопределенности внешней среды, ее жизнеспособность может быть обеспечена лишь путем модификации (чаще всего, расширения) совокупности реализуемых ею функций, что обычно влечет за собой изменение структуры МАС. Здесь важную роль играет стратегия адаптации к внешней среде, которая связана с обеспечением оптимального соотношения устойчивости и

изменчивости как выходных характеристик МАС, так и самой ее функциональной структуры.

Тогда общая методология восходящего эволюционного проектирования МАС может быть представлена рекурсивной цепочкой: «среда – функции МАС – роли агентов – агенты отношения между агентами – базовые структуры МАС – модификации (...)...», где (...) означает возможность изменения любого из звеньев указанной цепочки. Так модификации среды (внешних условий) приводят к изменениям функций МАС, которые влекут за собой порождение новых и замену ненужных агентов. Все это сопровождается сменой отношений между агентами и эволюцией исходных структур в интересах самосохранения системы путем ее приспособления к изменениям среды. Иными словами, коэволюция МАС со средой (или с другими МАС) предполагает и сохранение индивидуальности, и взаимную адаптацию.

Общая методика восходящего проектирования МАС включает следующие этапы.

- 1) Формулирование назначения (цели разработки) МАС
- 2) Определение типа и основных свойств среды МАС
- 3) Определение основных и вспомогательных функций агентов в МАС
- 4) Уточнение состава агентов и распределение функций между агентами.
Выбор архитектур агентов
- 5) Выделение базовых взаимосвязей (отношений) между агентами в МАС
- 6) Определение возможных действий (операций) агентов
- 7) Построение базовой архитектуры (функционально-структурной единицы) МАС, анализ ее возможных состояний (нормальное, вырожденное, критическое и пр.).
- 8) Анализ реальных текущих или предполагаемых изменений внешней среды (условий функционирования) или внутренних противоречий МАС
- 9) Определение соответствующих изменений функций агентов и формулирование стратегии эволюции МАС
- 10) Построение общей архитектуры МАС, инвариантной к рассмотренной области изменений среды (или самовоспроизведение функционально-структурной единицы МАС)

Техническое задание (спецификация) на проектирование МАС должно наряду с ее назначением **содержать описание типа среды**, в которой будет функционировать МАС. Следуя Д.А.Поспелову, можно выделить замкнутые и открытые, детерминированные и стохастические, нетрансформируемые и трансформируемые среды. Затем необходимо определить главные функции, возложенные на агентов. При этом организация может рассматриваться как система ролей, где каждая роль определяет множество функций агента в МАС.

Роли могут быть сосредоточены или, наоборот, широко распределены между агентами.

Функции МАС могут рассматриваться в различных измерениях, соответствующих точкам зрения наблюдателей.

Для любой открытой системы легко выделить следующие важнейшие функции.

1. Функция *отражения* или *представления внешнего мира* (связь от среды к системе) охватывает совокупность функций моделирования среды и других систем, а также представление событий, которые могут повлиять на жизнедеятельность системы.

2. Функция *регуляции деятельности* системы (связь от системы к среде) обычно характеризует результаты работы системы, производимые ею продукты или услуги. Иными словами, она часто сводится к продуктивной, операционной или исполнительной функции, которая включает множество действий и операций, необходимых для решения задачи или выполнения заказа.

3. Для установления и поддержания указанных связей между системой и средой служит специальная *коммуникативная функция*. Она обеспечивает функционирование всех входов и выходов, а также интерфейсы системы. Этой функции соответствует *интерфейсный агент*.

4. Функция *самоуправления* в системе определяет источники, границы и выбор видов ее деятельности. Соответственно, в МАС вычленяются три подфункции: а) *интенциональная* функция (функция мотивации), характеризующая формирование целей, исходя из потребностей и интересов системы; б) *законодательная* функция, т.е. функция выработки ограничений (норм, принципов, запретов) на поведение агентов в МАС; в) *решающая* функция, связанная с оценкой степени достижения цели и выбором задач.

5. *Ресурсная* или *консервативная* функция отвечает за сохранение структуры системы и агентов, приобретение и обслуживание ресурсов, – словом, за все, что нужно для поддержания и воспроизведения системы.

Роли характеризуют функции агентов независимо от их внутренней структуры. По ролевому признаку можно вычленить следующие основные виды агентов в МАС

1. *Агент-заказчик*, рассылающий заявки на выполнение некоторого задания другим агентам

2. *Агент-координатор* (посредник), который принимает заказы и распределяет их между другими (компетентными) агентами.

3. *Агент-исполнитель*

4. *Агент-субординатор* (супервизор), который организует и контролирует работу вышеуказанных трех агентов и наделен правом экстренного вмешательства и перераспределения ресурсов в критических (нештатных) ситуациях.

Эти роли соответствуют минимальному набору функций, необходимых для функционирования организации как целенаправленной системы, т.е. достижения целей в условиях адаптации к изменениям среды. Роли не обязательно являются жестко фиксированными и могут изменяться с развитием организации. Например, исполнитель в результате эволюции организации может стать посредником или клиентом. Точно так же, агент-заказчик в одних случаях может рассматриваться как поставщик в других. Таким образом, каждый агент играет ряд ролей, характеризующих различные услуги, которые он может оказать в данной организации.

Конечно, можно указать и другие варианты специализации агентов. Так применительно к задачам децентрализованного управления производственными системами выделяются Агент-пользователь, Канальный агент, обеспечивающий обмен информацией в системе, Сервисный агент, принимающий заявки на транспортировку, выдачу или хранение ресурсов, Интерфейсный агент, служащий для связи с внешней средой, Координатор, ответственный за организацию взаимодействия вышеуказанных агентов и разрешение конфликтов.

В случае *мигрирующих сетевых агентов* и *динамических организаций* на базе Интернет могут также выделяться другие роли сервисных агентов, например, агент-регистратор, агент-архиватор, агент-хранитель узла и т.п.

Понятие *роли* нередко определяется с помощью трёх атрибутов: *ответственности, разрешения, и протоколов*. Здесь ключевым атрибутом является ответственность, которая тесно связана с функциональными характеристиками. Реализация ответственности неотделима от множества разрешений, которые определяют «права», связанные с ролью, а, следовательно, и набор располагаемых ресурсов для реализации ответственности. Наконец, роль описывается с помощью набора протоколов, которые определяют способ взаимодействия с другими ролями в системе.

При проектировании организацию можно рассматривать как набор ролей, находящихся между собой в определенном отношении, и взаимодействующих друг с другом. Исходя из этого, организационная модель дальше распадается

на две части: *модель ролей и модель взаимодействий* (рис.5). На стадии анализа происходит предварительная идентификация ролей, затем определяются и документируются соответствующие протоколы и, наконец, строится окончательная модель ролей. Собственно в процессе проектирования создается модель агента, т.е. роли агрегируются в типы агентов, формируется иерархия типов и документируются примеры каждого типа. Далее разрабатываются модель услуг и модель наиболее тесных контактов.

Итак, методология *восходящего проектирования* МАС требует предварительного задания исходных функций (ролей агентов), определения круга их обязательств по отношению друг к другу, формирования исходных и развивающихся структур на основе выделенных функций и исследования адекватности этих структур характеру решаемых задач в данных проблемных областях. В отличие от этого, главная идея *нисходящего проектирования* состоит в определении общих социальных характеристик МАС по некоторому набору критериев, построении базовых типов их организаций с последующим определением требований к архитектуре агентов.

В качестве примеров параметров конкретизации, определяющих переход от некоторого класса МАС к конкретному экземпляру, рассмотрим пару параметров, задаваемых на полярных шкалах: а) *«специализация - универсальность»*; б) *«достаточность – избыточность»*. Степень специализации s (пригодности) агента a для решения проблемы P есть показатель его компетентности, который характеризует наличие и объем специальных знаний по отношению к требуемому объему знаний для решения задачи. Когда $s = 0$, агент универсален (всеведущ), а когда $s = 1$, агент предельно специализирован. В свою очередь, степень избыточности r характеризует число агентов, обладающих одними и теми же знаниями. Когда $r = 0$, имеется только один агент, способный выполнить данную задачу. Например, в МАС, основанной на кооперации специалистов, когда агенты не являются взаимозаменяемыми, $s \rightarrow 1$, а $r \rightarrow 0$.

Можно выделить **четыре граничных варианта организации МАС в зависимости от двух рассмотренных параметров.**

1) *Гиперспециализированная неизбыточная организация* ($s = 1$, $r = 0$): каждый агент специализируется в решении только одной задачи, и более того, каждая задача может быть выполнена только одним из агентов. Этот тип организации отражает чисто функциональный подход (тейлоровскую организацию), когда каждая функция представлена в виде агента; для него характерна минимальная надежность и отказоустойчивость.

2) *Специализированная избыточная организация* ($s = 1, r = 1$). Каждый агент способен выполнять только одну задачу, которую могут выполнить и все другие агенты. Здесь речь идет о крайнем случае, когда все агенты имеют одни и те же знания. Иногда этот тип классической, функционально однородной организации используется локально для увеличения надежности системы.

3) *Универсальная избыточная организация* ($s = 0, r = 1$). Каждый агент может выполнять множество различных задач, и каждая задача выполняется большим числом агентов. Когда же

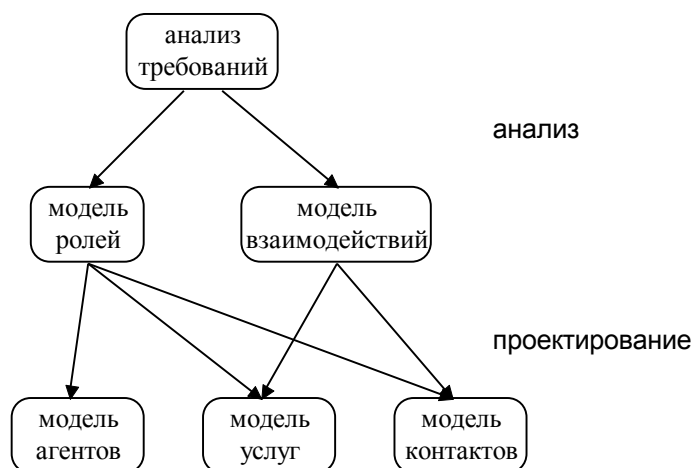


Рис. 5. Связь между моделями в методологии разработки МАС

избыточность равна числу задач, каждый агент является универсалом. Здесь основная проблема состоит в распределении задач между агентами.

4) *Универсальная неизбыточная организация* ($s = 0, r = 0$). Здесь каждый агент может выполнять несколько задач, но каждая задача выполняется лишь одним агентом.

Для формального определения МАС в русле восходящего подхода можно взять за основу понятие *алгебраической системы* по А.И.Мальцеву, которая выражается в виде тройки

$$S = (X, \Pi, \Omega),$$

где X – непустое множество, называемое носителем или основой системы, Π – множество предикатов, Ω – множество операций. Очевидно, что система может быть многоосновой, и в этом случае $X = (X_1, \dots, X_n)$. Многоагентная система обычно включает как множество *агентов*, так и множество *манипулируемых ими объектов*, что может быть записано в виде $X = A \times O$.

В случае, когда $X=A$, **эволюционная многоагентная система** определяется шестеркой [30]:

$$\text{MAS} = (\text{X}, \text{E}, \text{R}, \text{AC}, \text{P}, \text{ST}, \text{EV}),$$

где $\text{X} = \text{A} = \{1, \dots, n\}$ – множество неоднородных агентов; E – множество сред, в которых может функционировать данная МАС; R – семейство базовых отношений между агентами, причем это семейство отношений включает по крайней мере три типа отношений и может быть представлено разбиением

$$\text{R} = \text{R}_1 \cup \text{R}_2 \cup \text{R}_3,$$

R_1 –множество горизонтальных (симметричных) отношений, R_2 –множество асимметричных отношений, направленных «сверху вниз», R_3 –множество нечетких асимметричных отношений, направленных «снизу вверх»; AC –множество действий агентов; P –множество коммуникативных актов, образующих протокол коммуникации в МАС; ST –множество состояний МАС; EV – множество эволюционных стратегий. Общий вид базовой структуры такой МАС представлен на рис.6.

Итак, эволюционный синтез МАС предполагает анализ потребностей системы и определение факторов адаптации к динамической среде. Это обычно приводит к усложнению МАС или ее переходу в более упорядоченное состояние. Усложнение МАС обычно начинается с усложнения (расширения спектра) функций ее агентов, а также может выражаться в периодической замене («перетасовке») агентов ради поддержания требуемой эффективности системы. Основными видами **изменений функций агентов** в процессе эволюции МАС являются: интенсификация и ослабление, мобилизация и иммобилизация, расширение или уменьшение числа функций, замещение или компенсация функций.

Изменения функций агентов и соответствующих отношений в МАС приводят к структурным преобразованиям. Например, делегирование функций управления приводит к вертикальному росту базовой структуры МАС, а **расширение числа ролей** агентов – к переходу от иерархических к гетерархическим структурам.

В свою очередь, социальный (коллективный) агент определяется в [125] пятеркой

$$\text{SA} = (\text{ST}, \text{L}, \text{AC}, \text{SL}, \text{T}),$$

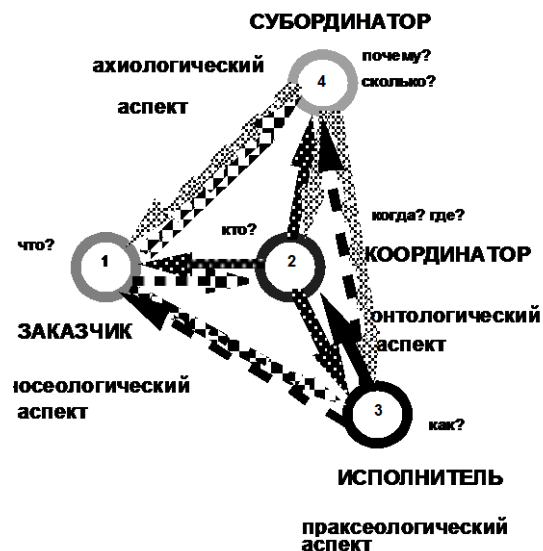


Рис.6. Представление базовой структуры (единицы) многоагентной системы

где ST – множество состояний; L – множество языков; AC – множество действий; SL – множество социальных законов, причем ограничение задается парой (ac, φ) , а социальный закон sl есть множество ограничений (ac_i, φ_i) , $\forall ac_i \in AC, \varphi \in L, st \models \varphi$; T – обобщенная функция переходов, $T: ST \times AC \times SL \rightarrow 2^{ST}$, удовлетворяющая следующим условиям: а) для любых $st \in ST, ac \in AC, sl \in SL$, если состояние st удовлетворяет ограничению φ , $st \models \varphi$, и пара $(ac, \varphi) \in sl$, то $T(st, ac, sl) = \varphi$; б) для любых $st \in ST, ac \in AC, sl_1 \in SL, sl_2 \in SL$, если $sl_1 > sl_2$, то $T(st, ac, sl_1) \subseteq T(st, ac, sl_2)$. Тогда виртуальная организация определяется как МАС, состоящая из социальных агентов, подчиняющихся множеству социальных законов и имеющих общие состояния, единый язык для описания состояний, согласованное множество действий и функцию переходов.

Другой возможный вариант описания агентов и МАС предложен в работе [52]. Он опирается на идею **трехступенчатого определения основных понятий**, например, a – агент, A – множество (конфигурация) агентов, $a \in A, \alpha$ – множество всех конфигураций агентов, $A \in \alpha$. Далее вводятся g – тип агентов, G – множество возможных типов агентов, $g \in G, E$ – пространство системы, ε – множество всех пространств МАС, $E \in \varepsilon$. Затем исходная МАС задается парой $MAS = (\alpha, \varepsilon)$, а соответствующая среда – тройкой $W = (E, A, C)$, где C – взаимосвязь между агентами A и пространством E . При этом еще рассматриваются понятия ресурса МАС r , множества (конфигурации) ресурсов R и множества всех возможных конфигураций ресурсов в МАС ρ , а также

топологии жизненного пространства T (множества мест $t \in T$, где агенты могут жить и работать) и множества всех возможных топологий τ .

Тогда общая структура жизненного пространства агентов E характеризуется парой $E=(R,T)$. В результате агент a типа g определяется девяткой

$$a = (M, Q, STR, I, X, L, m, q, str),$$

где m —модель среды агента; M —множество моделей среды, $m \in M$; q —цель агента, определенная как отображение $q: M \times M \rightarrow \mathfrak{R}$, \mathfrak{R} —множество действительных чисел; Q —множество (конфигурация) целей агента, $q \in Q$; str —стратегия агента, $str: M \rightarrow M$; STR —множество (конфигурация) стратегий, $str \in STR$; I —наблюдения агента; X —операция выполнения стратегии агента; L —операция адаптации (обучения) агента.

Наконец, в [1] понятие *искусственного роя (swarm)* [42,62] как МАС, построенной из мобильных, реактивных агентов, способных локально взаимодействовать друг с другом и коллективно решать различные задачи, действуя параллельно, определяется набором

$$\mathfrak{R} = (A, ST, V, X, u, f, g, \mu),$$

где: A — множество агентов; ST — множество состояний агентов; V — множество векторов скорости перемещения агентов; $X \subset Z^d$; f — переходная функция состояний агента, $f: ST^k \times V^k \rightarrow ST$; g — функция векторов скорости, $g: ST^k \times V^k \rightarrow V$; μ — функция перемещения, $\mu: X \times V \rightarrow X$; u — функция соседства, $u: A \rightarrow A^k$; $|A| = m$, $|ST| = q$, $|V| = k$, $|X| = n$.

Организационное проектирование: нисходящий подход

Когда речь идет о «выращивании» искусственных социальных систем и сообществ [68,79,125], на первый план выдвигается нисходящий подход к организационному проектированию. В русле концепции нисходящего проектирования, индивидуальные свойства и поведение агентов в МАС определяются на основе типа социальной организации и множества соответствующих взаимоотношений между агентами. Здесь проектирование предполагает движение от целого к частям, когда свойства агентов в МАС определяются свойствами сообщества МАС. Здесь удачный выбор исходного набора организационных критериев (системного базиса полярных шкал) и

использование признака «централизация–децентрализация» позволяют социально структурировать МАС.

Общую идею нисходящего проектирования МАС можно выразить в виде следующей цепочки: «выбор социальных критериев для характеристики сообщества МАС – определение типа искусственного сообщества – синтез структуры МАС – выбор типов агентов – проектирование архитектуры агента».

Более детально, методика нисходящего проектирования МАС включает следующие шаги.

1. Выбор представительного набора критериев для определения социального типа искусственного сообщества. В качестве подобных критериев могут выступать: тип внешней среды (статическая или динамическая, стабильная или быстро меняющаяся), взаимодействия искусственного сообщества со средой (эпизодические или периодические), морфология искусственного сообщества (моноклеточное замкнутое или распределенное сетевое сообщество), взаимоотношения внутри искусственного сообщества (преобладание субординационных или координационных отношений), характер связей в сообществе (постоянные или гибкие переменные), структура искусственного сообщества (иерархия или гетерархия), стратегии организационного развития сообщества (жесткое планирование или самореорганизация), стратегии адаптации к среде (телогенез или арогенез), и т.д.

Здесь задание на проектирование может быть связано с указанием эталонного набора значений критериев, определяющих желаемый тип искусственного сообщества.

2. Конструирование полярных шкал критериев и определение допустимых типов оценок по критериям. Эта процедура может быть описана в виде

$$\Delta = (M; D, \bar{}, \&, \vee, \rightarrow),$$

где: M – непустое множество (область значений оценок); $D \subset M$ – выделенное значение области оценок (эталон); $\bar{}$ – одноместная операция на M , $\&$, \vee , \rightarrow – двухместные (а в общем случае, n -местные) операции над оценками. При этом возможны различные сценарии проведения экспертизы по выбранным критериям на полярных шкалах: а) назначение пар точечных полярных оценок (область оценок – двухточечное множество $M_2 = \{-1, +1\}$); б) учет срединных значений (допущение противоречивых оценок) на «серых» (по терминологии Д.А.Поспелова) шкалах, когда положительная оценка по критерию равна отрицательной: $a = \bar{a}$, т.е. здесь область оценок есть трехточечное множество $M_3 = \{-1, 0, +1\}$; в) учет возможного явления несовместимости оценки со шкалой, когда нет ни a , ни \bar{a} (точка разрыва полярной шкалы ?,

характеризующая переход к «черно-белым» шкалам; в этом случае получаем четырех- элементное множество оценок $M_4 = \{-1, 0, ?, +1\}$, соответствующее круговой шкале; г) допущение промежуточных оценок по шкалам типа «скорее а, чем \bar{a} » или «скорее \bar{a} , чем а», выражаемых значениями $+0.5$ и -0.5 соответственно; тогда получаем множество оценок $M_6 = \{-1, -0.5, 0, ?, +0.5, +1\}$. Таким образом, в рассмотренных выше случаях усложнение сценариев экспертного оценивания выражается в переходе от двузначной логики оценок к многозначной (см. например логику аргументации В.К.Финна в приложении к МАС в работе [25]).

В более общем случае, когда допустимы интервальные и лингвистические оценки по критериям, описываемые нечеткими переменными, приходим к интервалу возможных оценок $M_{\bar{z}} = [-1, +1]$. Здесь экспертные оценки по критериям могут задаваться попарно пересекающимися треугольными функциями принадлежности, характеризующими совместимость взятых лингвистических меток с отмеченными (для «серой» шкалы) семью числовыми значениями $\{-1, -0.75, -0.5, -0.25, 0, +0.25, +0.5, +0.75, +1\}$. Соответствующие лингвистические метки могут иметь вид: NB – «большое отрицательное значение по критерию», NM – «среднее отрицательное значение», NS – «малое отрицательное значение», ZO – «приблизительно нулевое значение», PS – «малое положительное значение», PM – «среднее положительное значение», PB – «большое положительное значение по критерию». Например, у общего для различных рассматриваемых проектных критериев признака «централизация–децентрализация» можно выделить следующий набор лингвистических значений, образующих линейно упорядоченное множество: полная централизация, сильная централизация, преимущественная (слабая) централизация, равномерная централизация-децентрализация, преимущественная (слабая) децентрализация, сильная децентрализация, полная децентрализация}.

3. Заполнение таблицы, состоящей из оценок по различным выбранным критериям, и определение типа искусственного сообщества. Здесь возможны два случая: а) определение профиля сообщества через совокупность оценок по шкалам и построение меры различия (расстояния) между эталонным и текущим профилями; б) установление связи между шкалами, например с помощью таких операций как прямая (сохраняющая порядок) и обратная (инвертирующая порядок) проекции, свертывание оценок по различным шкалам на основе конъюнктивной и дизъюнктивной проекций, а также их комбинаций. Так в простейшем случае при использовании трех организационных критериев для искусственных сообществ, например, триады

Ресурс – Структура – Отношения со Средой (другими сообществами) и области оценок M_2 , получаем восемь лингвистических меток на обобщенной шкале типов искусственного сообщества «Диктаторские –Демократические» (по аналогии с табл.2).

4. Синтез структуры МАС, соответствующей установленному типу сообщества. Например, построение гетерархической структуры виртуальной организации для демократического искусственного сообщества.

5. Последние шаги в процедуре нисходящего проектирования искусственных сообществ состоит в подборе типов виртуальных агентов, соответствующих построенной искусственной организации, и синтезе их архитектуры. Например, в случае МАС с гетерархической структурой приоритет следует отдать автономным, когнитивным, интенциональным агентам с многоуровневой архитектурой.

Заключение

В этой статье представлены понятия агентов, многоагентных систем, представлены архитектуры МАС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2003, — 432 с.
2. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002
3. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов. А.В. Многоагентные системы(обзор)
4. Городецкий В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения// Новости искусственного интеллекта. – 1996. – №1. – С.44-59.
5. Городецкий В.И. Многоагентные системы: основные свойства и модели координации поведения// Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – №1. – С.22-34.
6. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор)// Новости искусственного интеллекта. –1998. – №2. –
7. Горский Ю.М. Гомеостатика: модели, свойства, патологии// Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем. – Новосибирск: Наука (Сибирское отд.), 1990. – С.20-67.
8. Тарасов В.Б. От искусственного интеллекта к искусственной жизни: новые направления в науках об искусственном// Новости искусственного интеллекта. – 1995. – №4. – С.93-117.
9. Тарасов В.Б. Новые стратегии реорганизации и автоматизации предприятий: на пути к интеллектуальным предприятиям // Новости искусственного интеллекта. – 1996. – №4. – С.40- 84.
- 10.Тарасов В.Б. Системно-организационный подход в искусственном интеллекте// Программные продукты и системы. – 1997. – №3. – С.6-13.
- 11.Тарасов В.Б. Эволюционная семиотика – новое синергетическое направление в искусственном интеллекте// Искусственный интеллект (Донецк, Украина). – 1997. – №1-2. – С.9-20.
- 12.V. A. Vittikh Multi-agent systems for modeling of self-organization and cooperation processes // <http://www.cs.brandeis.edu/dept/faculty/mataric>
- 13.Project of multi-agent technology in difficult systems // Open University of the Netherlands <http://www.ouh.nl/>
- 14.H. S. Nwana. "Software Agents: An Overview", Knowledge Engineering Review, Vol. 11, No. 3, 1996, 40 pages
- 15.Wooldridge, M., Introduction to MultiAgent Systems. John Wiley and Sons, 2002
- 16.E. Evans, Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software. Addison-Wesley Professional, 2003. (о модели предметной области)
- 17.v M. Wooldridge. Introduction to MultiAgent Systems. Wiley, 2002.
- 18.С. Рассел, П. Норвиг. Искусственный интеллект. Современный подход. Вильямс, 2007.

19. Agent Technology: Computing as Interaction. A Roadmap for Agent Based Computing. AgentLink, 2005
20. Y. Shoham, K. Leyton-Brown. Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. – London: Cambridge University Press, 2009