

Концепция моделирования системы аккумуляции знаний в экономическом пространстве региона на основе мультиагентного подхода

© 2010 В.П. Ковалевский, О.В. Буреш, М.А. Жук
E-mail: OET2004@yandex.ru

Ядром интеллектуальных информационных систем является база знаний, от полноты и актуальности знаний зависит качество принимаемых решений. Авторами предлагается концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) регионального уровня с механизмом автоматической актуализации распределенной базы знаний о региональных экономических процессах.

Ключевые слова: аккумуляция знаний, экономическое пространство региона, мультиагентный подход.

В настоящее время определяющей моделью развития экономики России должна стать *инновационная модель*, которая позволит обеспечить устойчивые темпы роста. Внедрение этой модели должно идти в соответствии с формирующимися траекториями развития российской экономики.

Для сбалансированного развития местных производственных систем региональным органам власти требуется принимать управленческие решения в условиях полного и актуального обеспечения маркетинговой информацией о состоянии рынка и хозяйствующих субъектов. При решении проблемных ситуаций управления, возникающих в процессе формирования региональной экономической политики и стратегии развития региона, необходимо учитывать большое количество факторов, так как регион представляет собой сложную эколого-социально-экономическую систему.

Информация, характеризующая состояние элементов каждой из подсистем региона, часто является неполной, в большинстве случаев значения основных показателей могут быть определены лишь качественно, а не количественно. Можно говорить о том, что подобные проблемные ситуации управления относятся к слабо структурированным. Такие задачи, как правило, не могут быть выполнены с помощью точных математических методов принятия решения. В настоящее время для реализации подобных задач используется новая информационная технология решения задач управления, основанная на интеллектуальных технологиях и теории искусственного интеллекта¹. Ядром интеллектуальных информационных систем является база знаний, от полноты и актуальности знаний зависит качество принимаемых решений. Нами предлагается концепция интеллектуальной системы под-

держки принятия решений (СППР) регионального уровня с механизмом автоматической актуализации распределенной базы знаний о региональных экономических процессах.

В последнее десятилетие широко используется термин *“аккумуляция знаний”* (лат. *accumulatio* - накопление). Под этим термином понимается не только накопление знаний, но и их структурирование и формализация, так как аккумулировать можно только формализованные знания (неформализованные знания можно аккумулировать только в человеческом сознании). Аккумуляция знаний связана с их сохранением, для накопления знаний их необходимо записать на *информационный носитель*. Таким образом, под *“аккумуляцией знаний”* понимается процесс накопления формализованных знаний на информационных носителях.

Информация и знания, обрабатываемые в СППР регионального уровня, представлены сложной совокупностью информационных потоков, циркулирующих в информационном поле региона. Чтобы обеспечить интеграцию информационных ресурсов, возможность проведения анализа текущего состояния рынка и выработки стратегических решений на уровне региональных властей, необходимо создание *единого информационного пространства экономических субъектов региона*.

В настоящее время образование единого информационного пространства, как на уровне Российской Федерации, так и на уровне ее регионов является одной из приоритетных стратегических и политических государственных задач. Более подробно рассмотрим экономические аспекты. Понятие единого информационного пространства экономических субъектов региона тесно связано с понятием единого экономического пространства региона. Теория *экономического простран-*

ства на сегодняшний день недостаточно развита. Подавляющим большинством ученых понятие “экономическое пространство” воспринимается как устойчивый, априорно существующий термин. При этом мало внимания уделяется изучению его свойств, функций, сущности, а главное, поведению в нем экономических субъектов. Одним из наиболее существенных исследований в теории экономического пространства стала работа О. Биякова², в которой сущность экономического пространства региона раскрывается с помощью исследования совокупности региональных экономических процессов.

В настоящее время существует три подхода к определению сущности экономического пространства: территориальный, ресурсный и информационный. Территориальный подход (А. Гранберг³, Е. Лейзерович⁴) трактует экономическое пространство как насыщенную территорию, вмещающую множество объектов и связей между ними: населенные пункты, промышленные предприятия, хозяйственно-освоенные и рекреационные площади, транспортные и инженерные сети и т.д. Очевидно, что географическая среда в значительной степени определяет развитие региональных экономических процессов (это обусловлено относительно низким уровнем издержек, которые несут субъекты хозяйствования при установлении взаимосвязей на ограниченной территории), сложившиеся территориальные связи формируют экономическое пространство в некоторых территориальных границах. Однако переход общества в постиндустриальную стадию развития все более обуславливает относительную независимость устанавливаемых экономических взаимосвязей от фактора территориального расположения субъектов хозяйствования.

В ресурсном подходе (В. Радаев⁵, И. Кучин⁶) экономическое пространство трактуется как дискретное распределение источников сырья, предприятий по его переработке и рынков реализации продукции. О. Бияков считает ресурсный подход методологически ошибочным, поскольку по своей сути он содержит установку на перераспределение ресурсов, к которым имеют доступ субъекты хозяйствования. В экономике индустриального типа ключевым условием развития действительно был наиболее эффективный способ преобразования имеющихся ресурсов, в современных реалиях постиндустриального общества таким условием выступает эффективное использование человеческого капитала, накопленных знаний. Эта смена характеризуется переходом к другой парадигме развития, которая базируется не на энергии, а на информации.

Информационный подход к определению экономического пространства получил развитие только в последнее десятилетие, что и объясняет отсутствие достаточно четких альтернативных позиций внутри этого направления (С. Паринов⁷, Е. Иванов⁸). В рамках данного подхода считается, что экономическое пространство создается информационными потоками, циркулирующими между хозяйствующими субъектами, и именно они определяют структуру этого пространства. Хозяйствующие субъекты интерпретируются как *экономические агенты*, которые в процессе осуществления своей хозяйственной деятельности обмениваются информационными сигналами и формируют этим экономическое пространство. Г. Шибусава⁹ интерпретирует экономическое пространство как некоторую коммерческую часть Интернета, посредством которой осуществляется управление потоками произведенных товаров. На фоне вышерассмотренных двух подходов к определению экономического пространства информационный подход представляется наиболее адекватным, поскольку на уровне субъекта хозяйствования его взаимодействие с экономическим пространством осуществляется через внешние (относительно субъекта) транзакции в форме обмена информацией и вхождения в общий информационный поток.

В работе А. Калининой отмечается, что “обмен информацией и другие виды информационной активности являются основой реализации экономических процессов. Более совершенная среда информационной активности, снижая неопределенность хозяйственной деятельности субъектов, позволяет им достигать более высокого уровня возможной эффективности использования ресурсов”¹⁰. В результате анализа современных условий развития информационно-коммуникационных технологий автор отмечает наличие технических возможностей (сеть Интернет) вовлечения в этот обмен стремительно растающего объема информационных ресурсов. Данный факт обуславливает потребность перехода к новому типу технологической составляющей экономического процесса. Кроме этого, в условиях нарастающего доминирования сетевой экономики и (как следствие) возрастающих требований к скорости обмена информацией наличие информационного пространства для взаимодействия региональных хозяйствующих субъектов становится объективной необходимостью.

Таким образом, в современных технологических и экономических условиях можно говорить о проекции экономического пространства региона в единое информационное пространство

региональных экономических субъектов, при этом каждый экономический субъект образует свое информационное подпространство. На настоящем уровне развития региональной информатизации такое подпространство может быть представлено совокупностью разрозненных информационных ресурсов, распределенных в региональных порталах внутри глобальной информационной инфраструктуры.

Как было отмечено выше, в работах С. Парина¹¹ каждый субъект хозяйствования интерпретируется как экономический агент, осуществляющий взаимодействие с другими экономическими агентами. Подобный агент может быть рассмотрен как субъект информационного пространства. В процессе преобразования информации субъекты информационного пространства воспринимают окружающую среду путем фильтрации и обработки информации с помощью ментальных моделей, обеспечивающих понимание окружающей среды и решение возникающих проблем. Концептуальная модель информационного пространства представлена в работе А. Калининой следующим образом¹²:

$$IS = \langle A_i, M_i, B_{ij} \rangle,$$

где IS - информационное пространство;

A_i - i -й агент информационного пространства (т.е. информационная система);

M_i - ментальная модель A_i -го агента об окружающей среде и самом себе, зафиксированная в форме информационного ресурса;

B_{ij} - характер информационного взаимодействия A_i и A_j -го агентов;

$i = 1...N$, здесь N - количество агентов в информационном пространстве.

Таким образом, СППР регионального уровня, аккумулирующая знания в едином информационном пространстве региональных экономических субъектов, может быть представлена как распределенная интеллектуальная система, архитектура которой должна отражать информационные взаимодействия агентов в экономическом пространстве. В этом случае *субъектами аккумуляции знаний* выступают *интеллектуальные агенты*, представляющие собой информационные проекции региональных экономических агентов. Построение интеллектуальных систем с подобной архитектурой основано на *мультиагентном подходе*.

Фундаментальным базисом для формирования агентно-ориентированных представлений послужили труды: А. Колмогорова по теории информации и алгоритмической сложности объектов; И. Пригожина, И. Стенгерс, Г. Хакена по теории самоорганизации и эволюции открытых систем; У. Р. Эшби по моделям гомеостазиса и

разнообразию систем; А. Беркса по клеточным автоматам и моделированию эволюционных систем; Дж. Холланда и Д. Гольдберга по генетическим алгоритмам. Технология мультиагентных систем - это новая парадигма информационной технологии, ориентированной на совместное использование научных и технических достижений и преимущества, которые дают идеи и методы искусственного интеллекта, современные локальные и глобальные компьютерные сети, распределенные базы данных и распределенные вычисления, аппаратные и программные средства поддержки теории распределенности и открытости.

В концепции мультиагентных интеллектуальных систем агент - это развитие известного понятия "объект", представляющего абстракцию множества экземпляров предметов реального мира, имеющих одни и те же свойства и правила поведения. Точное определение агента на сегодняшний день отсутствует. В данной работе под агентом понимается некая информационная подсистема, порожденная посредством развития агента прототипа, при этом в мультиагентной системе изначально заложено несколько прототипов, соответствующих основным видам региональных экономических агентов ("предприятие-производитель", "предприятие-поставщик", "инвестор", "региональный маркетинг" и т.п.).

Агенты функционируют в виртуальном мире мультиагентной среде (МАС), в которой инициируется та или иная проблема. В процессе решения проблемы агенты взаимодействуют между собой путем посылки сообщений. Результатом деятельности агентов является текущее решение проблемы, которое гибко меняется в соответствии с динамикой среды. Часто агентов определяют через те свойства, которыми они должны обладать. Агентам присущи следующие основные свойства:

- автономность - способность действовать без внешнего управляющего воздействия и осуществлять контроль собственных действий и внутреннего состояния;
- активность - способность ставить цели и выполнять заданные действия для их достижения;
- реактивность - адекватное восприятие состояния среды и реакция на его изменение;
- коммуникативность - взаимодействие с другими агентами;
- целенаправленность - наличие собственных источников мотивации;
- открытость - любой агент представляет собой открытую систему;
- базовые знания - знания агента о себе, других агентах, окружающей среде.

В задачи программного агента входят:

- самостоятельная работа и контроль своих действий;
- взаимодействие с другими агентами;
- изменение поведения в зависимости от состояния внешней среды;
- выдача достоверной информации о выполнении заданной функции и т.п.

Агенты функционируют в среде и избирают те действия, которые они могут выполнить. Модель этой среды состоит из модели информационных ресурсов, их свойств, правил работы с ними и средств задания сообщений. В результате выполнения функций агенты создают некое поведение среды, которое в любой момент времени находится в некоем состоянии, а агент, выполняя заданные действия, изменяет его в целевое состояние и учитывает возможность возникновения нерегулярных состояний (тупиков, отсутствие ресурсов и др.).

В общем случае среда, в которой действует агент, имеет определенное поведение, которое может быть известно полностью или частично. Состояние среды зависит от таких ее свойств, как: дискретность состояния, детерминированность действий, динамичность или статичность, синхронное или асинхронное изменение состояния и т.п. Кроме этого, состояние среды зависит от информации, имеющейся у агента. В. Тарасовым дается следующее формализованное определение MAC¹³

$$MAS=(A,E,R,ORG,ACT,COM,EV),$$

где A - множество агентов;

E - множество сред, находящихся в определенных отношениях R и взаимодействующих друг с другом;

ORG - некая организация, формирующаяся в процессе взаимодействия сред;

ACT - набор индивидуальных и совместимых действий (стратегия поведения и поступков), включая возможные коммуникативные действия COM и возможность эволюции EV .

Для достижения целей интеллектуальные агенты взаимодействуют друг с другом, устанавливают связь между собой через сообщения или запросы и выполняют заданные действия или операции в соответствии с имеющимися знаниями. В процессе взаимодействия агенты аккумулируют знания в своих базах знаний, за счет этого происходит процесс адаптации к изменениям среды и эволюционирование агентов. Как было отмечено выше, аккумуляция знаний невозможна без процесса формализации. В настоящее время существует широкий спектр способов формализации знаний - моделей представления знаний. Одной из наиболее перспективных и успешно применяемых в мультиагентных интел-

лектуальных системах моделей является гибридная фреймово-продукционная модель, позволяющая формализовать не только статические, но и динамические знания.

Д. Сошниковым фрейм определяется как структура, состоящая из набора слотов¹⁴. Каждый слот представляет собой шаблон для хранения значения или набора значений определенного типа и обычно содержит следующие элементы: текущее значение слота - значение/список значений слота, или неопределенность; значение слота по умолчанию; присоединенная процедура для определения значения слота (процедура-запрос); присоединенная процедура (набор процедур), срабатывающая при присваивании или изменении значения слота (процедура-демон).

Предметная область при фреймовом представлении подвергается таксономической декомпозиции на множество представляемых фреймами концептов F при помощи отношения наследования. Эта декомпозиция предметной области может быть отнесена к статическим знаниям и в зависимости от сложности вводимой семантики может меняться либо оставаться постоянной в процессе логического вывода. Таким образом, база знаний (изначально разработанная для конкретного прототипа агента) состоит из структурной K_s и процедурной (динамической) K_d составляющих.

Статические знания во фреймовой системе, представленные в основном составляющей K_s , образованы множеством значений слотов всех фреймов. Предположим, что слоты могут принимать значения из некоего множества T , определяемого в соответствии с некоей системой типов. Для описания фреймовой структуры вводится функция состояния $W: I \rightarrow F$, которая отображает множество идентификаторов I в множество фреймов F . Каждый фрейм $j \in F$ представляет собой функцию $f: I_j \rightarrow S$, отображающую множество идентификаторов слотов данного фрейма в множество слотов, где I_j - идентификатор фрейма, S - множество слотов. Структура слотов может быть различной в зависимости от сложности рассматриваемой модели.

В более сложном случае имеет смысл рассматривать слот как кортеж, состоящий из нескольких компонент, представляющих собой текущее значение слота и значение по умолчанию, процедуры-демоны и процедуры-запросы, ограничения и т.д. Таким образом, можно будет вмещать в рамках одной функции W как собственно состояние системы, характеризуемое множеством значений слотов, так и правила, управляющие процессом смены состояний. Это

позволит, в принципе, определять семантику с динамической модификацией множества правил и (или) других характеристик логического вывода в процессе вывода.

Семиотическое согласование в мультиагентной системе достигается использованием всеми агентами единой системы понятий и одинаковой их интерпретацией и (или) аксиоматизацией. Это достигается за счет разработки единого формального описания - онтологии - предметной области. Таким образом, одним из ключевых моментов при построении мультиагентных систем является онтологическая совместимость семейства агентов, т.е. семиотически согласованное использование ими единой онтологии предметной области.

Онтологию в инженерии знаний обычно определяют как *эксплицитную спецификацию концептуализации* предметной области, т.е. некое формальное описание основных понятий и аксиоматизированных взаимосвязей между ними, а также правил интерпретации этих понятий и взаимосвязей. Формальная модель онтологии определяется как набор $O = \langle X, R, \Phi \rangle$, состоящий из множества концептов X , множества отношений между концептами $R = \{f: f \subseteq X \times X\}$ и множества функций интерпретации Φ , которые в частном случае могут быть заданы на подмножестве концептов $X_1 \subseteq X$, определяя другую часть концептов $X_2 \subseteq X: X_1 \cap X_2 = \emptyset$ через это множество ($\Phi = \{\varphi: X_1^n \rightarrow X_2\}$).

Онтологии являются новыми интеллектуальными средствами для поиска ресурсов в сети Интернет, новыми методами представления и обработки знаний и запросов. Они способны точно и эффективно описывать семантику данных для некоторой предметной области и решать проблему несовместимости и противоречивости понятий. Онтологии обладают собственными средствами обработки (логического вывода), соответствующими задачам семантической обработки информации. Онтологии позволяют соответствующим программным средствам (интеллектуальным агентам) автоматически (без участия человека) определять смысл терминов, использованных при описании ресурсов, и сопоставлять его со смыслом поставленной задачи. Таким образом, возможно с помощью организации единой

онтологической совместимости фреймово-продукционных интеллектуальных агентов организовать процесс аккумуляции новых знаний в ходе информационного взаимодействия агентов и реализации поисковых функций агента.

Представленная концепция интеллектуальной СППР регионального уровня на основе мультиагентного подхода может служить инструментом комплексного анализа и прогноза экономического развития ситуации региона. В свою очередь знания, аккумулируемые региональными экономическими субъектами (агентами), позволяют генерировать и выбирать наилучшие стратегии экономического развития региона.

¹ Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стереотип. 2007.

² Бияков О.А. Теория экономического пространства: методологический и региональный аспекты. Томск, 2004.

³ Гранберг А.Г. Основы региональной экономики: учеб. для вузов. М., 2005.

⁴ Лейзерович Е.Е. Уровни организации пространства: экономико-географический анализ // Изв. РАН Сер. "Геогр". 1995. □2. С. 61-75.

⁵ Радаев В.В. Что такое "экономическое действие" // Экон. социология. 2002. Т. 3. □5. С. 18-27.

⁶ Кучин И.А. Фракталы и циклы социальных процессов // Фракталы и циклы развития систем. Томск, 2006. С. 20-32.

⁷ Паринов С. К теории сетевой экономики // Проблемы новой политэкономии. 2001. □ 1. С. 17-38.

⁸ Иванов Е. Информация как категория экономической теории. URL: <http://rvles.ieie.nsc.ru:8101/parinov/ivanov/ivanov.htm>.

⁹ Shibusawa H. Cyberspace and physical space in an urban economy // Papers in Regional Science. 2000. P. 79 - 98.

¹⁰ Калинина А.Э. Основные теоретические положения развития информационного пространства хозяйственной системы / Волгоградский государственный университет. URL: http://www.volSU.ru/s_conf/tez_htm/062.htm.

¹¹ Паринов С. Указ. соч.

¹² Калинина А.Э. Указ. соч.

¹³ Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М., 2002.

¹⁴ Сошников Д.В. Логический вывод на основе удаленного вызова и включения в системах с распределенной фреймовой иерархией. М., 2002.

Поступила в редакцию 07.08.2010 г.