

МНОГОАГЕНТНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ В В2В СЕТЯХ

В.И. Городецкий

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия, 30
E-mail: gor@iias.spb.su

Ключевые слова: В2В сети, самоорганизация, распределенная координация, аукцион, P2P платформа, многоагентные системы

Аннотация: В2В–сетями называют вид экономического и информационного взаимодействия множества предприятий, или организаций иного типа, имеющий целью координацию выполнения распределенных бизнес-процессов *в интересах самого бизнеса*. В работе предлагается концепция и многоагентная архитектура самоорганизующихся В2В–сетей, описываются базовые задачи и предлагаются модели управления в В2В сетях на основе самоорганизации и распределенной координации. В частности, дается краткий обзор работ по В2В сетям, описывается P2P агентская платформа, обеспечивающая открытость сети, интероперабельность программного обеспечения ее узлов, а также кооперацию узлов сети в различных сценариях. Описываются принципы планирования и распределенный алгоритм координации локальных расписаний работы узлов на основе самоорганизации. Приводится пример, доказывающий реализуемость такой концепции В2В сети.

1. Введение

В2В–сетями принято называть вид экономического и информационного взаимодействия множества предприятий, компаний или организаций иного типа, имеющий целью координацию планирования и исполнения распределенных бизнес-процессов *в интересах самого бизнеса*. Это означает, что потребитель конечного продукта, производимого в результате этого бизнес-процесса, в этой сети отсутствует, что отличает В2В–сети от сетей поставок. Отметим, что если модели и методы управления сетями поставок получили большое теоретическое развитие и практическое применение, то В2В-сети находятся пока на раннем этапе развития.

Сетевая организация бизнеса, реализуемая в модели В2В–сети, есть относительно недавнее явление. К настоящему времени ведение бизнеса в соответствии с такой моделью становится объективной необходимостью в связи глобализацией рынка рабочей силы, специализацией предприятий и разделением труда, а также в связи с активным развитием облачных сервисов и *SaaS* моделей маркетинга. Организация бизнеса на основе В2В–сетей обеспечивает принципиально новые возможности для выбора бизнес-партнеров в интересах совместного производства сложного продукта или обеспечения некоторого сложного сервиса. Типичными примерами такого рода являются производственные В2В–сети, сети транспортных компаний, выполняющих интермодальную доставку грузов и другие. Эта модель оказывается экономически выгодной за счет того, что она позволяет значительно лучше использовать специализацию компаний и их ресурсы, сократить накладные расходы, снизить стоимость бизнес-процессов за счет использования облачных сервисов, и в итоге усилить конкурентные преимущества компаний.

В работе предлагается новая концепция построения и многоагентная архитектура самоорганизующихся В2В–сетей, описываются базовые задачи и предлагаются модели управления в В2В сетях на основе самоорганизации и распределенной координации. Работа построена таким образом. В разделе 2 дается краткий обзор состояния исследований по тематике управления бизнес-процессами в В2В–сетях. В разделе 3 приводится описание концепции построения, инфраструктурная компонента, поддерживающая работу В2В сети, а также перечисляются базовые алгоритмы сети, поддерживающие самоорганизующийся стиль ее работы. В разделе 4 кратко описывается Р2Р агентская платформа, которая рассматривается как инфраструктурная компонента В2В–сети, обеспечивающая ее открытость, интероперабельность программных компонент, а также кооперацию различных узлов сети в процессах координации планов и расписаний исполнения заказов. В разделе 5 дается описание принципов планирования исполнения заказов на основе рыночного механизма самоорганизации, реализуемого в форме аукциона. В разделе 6 описывается распределенный механизм координации локальных расписаний работы узлов сети, а также некоторые результаты его тестирования, показывающие работоспособность разработанной модели. В заключении резюмируются результаты и намечаются направления дальнейших исследований.

2 Краткий обзор результатов в области В2В сетей

Интерес к В2В–сетям возник еще в конце 1990-х годов, хотя реальные исследования и разработки этой проблемы были начаты относительно недавно. Публикации на эту тему появились в литературе в начале 2000-х годов, однако современная направленность в них появилась только после 2005 года. В первых работах использовался более ранний термин для В2В–сетей, а именно *С-бизнес* как сокращение от названия *Collaborative Business*. Но уже в них отмечалась необходимость глубокой интеграции предприятий с акцентом на совместимость их программного обеспечения и данных и координацию процессов их работы.

В работе [1] рассматриваются два ключевых вопроса:

- 1) В чем состоят особенности управления распределенными бизнес-процессами, по сравнению с реализацией их внутри одной компании?
- 2) Как влияют особенности меж–организационных отношений на модель внутренних процессов компании?

На основе анализа теоретических разработок по организации распределенных бизнес–процессов в В2В–сетях в ней формируются требования к сетям и предлагается программа актуальных исследований, акцентирующая внимание на таких задачах как

- 1) Расширение модели бизнес-процессов путем создания общей мета–модели на базе языка, управляемого моделью (*model-driven*), типа языка РОР предложенного в проекте ATHENA [2] в 2006 г., или иного языка на основе стандарта XML типа *EPML Markup Language (EPML)*, предложенного в работе [3].
- 2) Обеспечение общей семантической базы для описания бизнес-процессов. В настоящее время основу такого семантического единства составляют онтологии, но проблема создания онтологий и средств семантического доступа к ее содержанию остаются пока и сейчас решенными больше в теоретическом плане и реализованными на уровне программных прототипов.

В работе [4] также отмечается ключевая роль проблем, которые возникают на уровне кросс–организационных бизнес–отношений. Авторы акцентируют внимание на стандартизации управления бизнес–процессами в В2В–сетях и вопросах согласования онтологий. Эта работа базируется на анализе опыта одной из крупнейших (на 2006 год)

В2В производственной сети *RosettaNet* [5], включающей в себя около 500 компаний из области высоких технологий и электроники. Авторы указывают на *RosettaNet*-стандарт, который составляет основу моделирования бизнес-процессов в компаниях этой сети.

Начиная примерно с 2004 года, проблема создания и стандартизации В2В-сетей стала рассматриваться как одна из ключевых проблем европейских, азиатских [6, 7] и американских программ исследований и разработок. Например, в программе FP6 Европейской комиссии было не менее 10 проектов, которые напрямую посвящены различным аспектам построения В2В-сетей и анализу состояния исследований в этой области исследований и разработок. Один их наиболее интересных проектов, проект ATHENA IP [2], который выполнялся как развитие проекта программы FP5 с акронимом IDEA, был посвящен различным аспектам создания *инфраструктуры* и средств поддержки процессов функционирования производственных В2В-сетей с акцентом на *совместимость* данных компаний сети, что понимается в проекте как способность двух узлов сети или их подсистем обмениваться информацией и использовать эту информацию в своих целях. В нем были определены базовые требования к модели инфраструктуры и сформулированы базовые проблемы исследований в этом направлении. В самом проекте ATHENA решались три задачи:

- 1) Создание формальной модели отдельного предприятия сети, которая удовлетворяет требованиям совместимости по процессам обмена информации
- 2) Разработка архитектуры и модели платформы, которые обеспечивают программную реализацию модели совместимости, и
- 3) Разработка онтологии, используемой для обеспечения совместимости семантики данных, которыми обмениваются предприятия сети.

Еще одна большая задача проекта – это создание типовой программной инфраструктуры, в рамках которой обеспечивается интеграция решений трех названных выше задач при различных возможных сценариях функционирования сети. В остальном проект базируется на типовых информационных и программных решениях и технологиях типа программирования на основе моделей.

Однако в этом проекте лишь слегка затронуты теоретические и программные аспекты обеспечения кооперации предприятий сети. С современной точки зрения результаты этого проекта не удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляются к процессам кооперации предприятий В2В-сетей. Например, в проекте не затронуты вопросы обеспечения открытости В2В-сети, полностью проигнорированы вопросы адаптивного планирования и синхронизации расписаний работы узлов сети при одновременном выполнении ими множества различных заказов и др. Это относится и к задачам кооперации узлов сети, которые в проекте оставлены без внимания.

С другими проектами программы FP6 по этой тематике (FLUID-WIN, INTEROP, ABILITIES, SATINE, TRUSTCOM, ECOLEAD, DBE, E4, ECOSPACE можно познакомиться на веб-сайте программы FP6 (<http://cordis.europa.eu/fp6>).

Самым важным результатом выполнения этих проектов стало создание европейского консорциума “*Future Internet Enterprise Systems (FInES) Cluster*”. Этот консорциум объединил участников названных выше проектов в рамках нового проекта программы FP7 – проекта COIN– “*COllaboration and INteroperability for networked enterprises*” [8]. Он рассматривается как важный шаг по реализации программы развития европейской производственной сети, предусматриваемой новой Европейской программой Horizon 2020, цели которой формулируются следующим образом:

«Благодаря программе 2020, сервисы, поддерживающие кооперацию и интероперабельность, станут «невидимыми», всюду доступными и самоорганизующимися знаниями и бизнес-преимуществами для всей европейской сети предприятий из всех секторов индустрии и направлений, обеспечивая быстрое развертывание, быстрое

и эффективное управление различными формами бизнес–сотрудничества от наиболее традиционных цепочек поставок до наиболее передовых и динамически развивающихся бизнес–экосистем» [8].

Эта формулировка наилучшим образом характеризует те цели, формы и те возможности, которые, по мнению европейских экспертов в области В2В–модели управления предприятиями, должны быть достигнуты европейской промышленностью и другими видами экономической деятельности к 2020-му году. Ныне выполняющийся проект COIN ставит перед собой именно такие задачи, в частности: изучить, спроектировать, разработать и создать прототип открытой самоорганизующейся типовой информационно-коммуникационной среды, интегрирующей решения, поддерживающие представленное видение европейской программы 2020, опираясь на наиболее существенные результаты в области интероперабельности и кооперации предприятий, достигнутых в рамках упомянутых выше проектов.

В июне 2012 года консорциум *FInES* выпустил важный документ под названием "*Future Internet Enterprise Systems (FInES): Research Roadmap 2025*" [9] («Будущие веб–системы управления предприятиями: Дорожная карта исследований до 2025 года»). Этот документ рассматривает уже больший горизонт исследований и, формулируя, в основном, те же цели и задачи, что и проект COIN, уточняет проблемы развития информационно–коммуникационных систем поддержки сетевой организации бизнеса в модели В2В–сети предприятий в рамках программы 2020.

Данная работа опирается на концепцию развития В2В–сети, сформулированную в [9]. Однако она рассматривает и предлагает конкретные концептуальные и архитектурные решения, которые реализуют базовые принципы программы, [9], и которые уже частично верифицированы на уровне программных прототипов отдельных компонент самоорганизующейся В2В–сети. К ним относятся следующие решения:

1. Модель *открытой* В2В–сети на основе парных взаимодействий, которая реализуется в архитектуре и технологии многоагентных систем.
2. Распределенное планирование, использующее рыночный механизм самоорганизации, который реализуется с помощью модели аукциона.
3. Распределенная координация расписаний работы узлов В2В–сети, совместно выполняющих общее множество заказов, которые поступают динамически в различные узлы сети. Это решение также построено на принципе самоорганизации.

3. Архитектура и взаимодействие компонент В2В сети

В2В–сеть содержит в качестве узлов предприятия, компании и /или организации другого типа, которые на долгосрочной основе кооперируются в выполнении некоторого множества заказов, поступающих в произвольные узлы сети в режиме реального времени. Полагается, что В2В сеть является открытой, т.е. к ней могут присоединяться новые узлы, некоторые узлы могут выходить из сети навсегда или возвращаться в нее через некоторое время. Такая сеть является сетью парных взаимодействий (*peer-to-peer*, *p2p*–сетью), в которой не могут использоваться традиционные маршрутизаторы, и в которой как коммуникации, так и содержательные взаимодействия поддерживаются с помощью P2P протоколов. Среди них наиболее распространенными и простыми являются протоколы типа *gossiping* [10]. Особенностью и, в то же время, достоинством таких сетей является то, что запросы в них адресуются, как правило, не по имени конкретного узла, которому какой-то другой узел сети хочет передать сообщение, а по сервису, который необходим узлу, посылающему запрос. На рис. 1 приведен абстрактный пример такой сети. В ней каждый узел «знает» только о своих соседях. Это означает,

что коммуникации и взаимодействие узлов в такой сети должны поддерживаться специальной программно-коммуникационной инфраструктурой, реализующей все коммуникационные потребности сети, а также функции содержательного взаимодействия ее узлов, поддерживающие их кооперацию и координацию планов и расписаний выполнения заказов сети. Платформа именно такого типа упоминалась в разделе 2, когда речь шла об обеспечении интероперабельности узлов B2B сети и поддержке ее кооперативных возможностей. На рис. 2 представлена информация об инфраструктурных компонентах, поддерживающих интероперабельность узлов, а также кооперативное поведение и координацию распределенного выполнения бизнес-процессов B2B сети. Эта компонента представлена p2p агентской платформой, т.к. в работе используется *много-агентная* архитектура и технология программной реализации B2B сети.

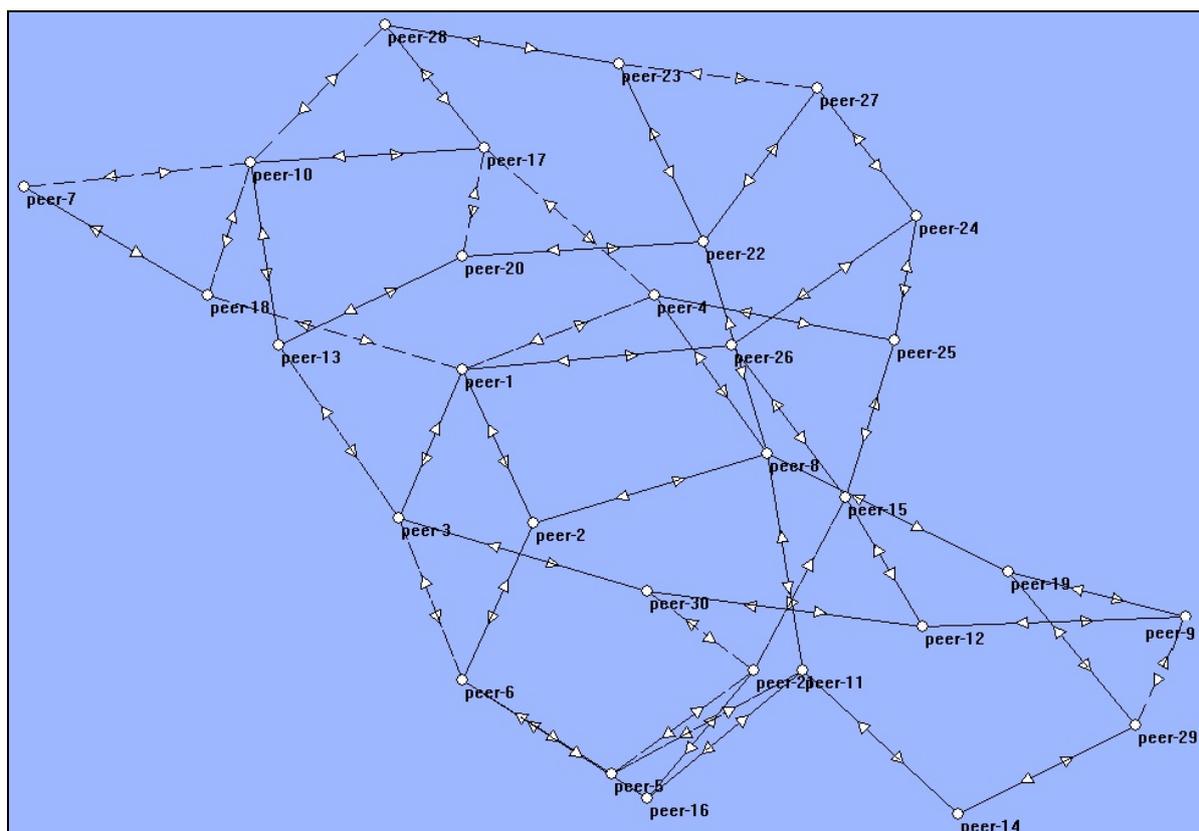


Рис. 1. Пример топологии B2B-сети, построенной на принципах парных (p2p)-взаимодействий.

В общем случае полагается, что заказы могут поступать в сеть через произвольные ее узлы в режиме реального времени. Любой заказ может состоять из сложно структурированного множества подзаказов, которые по тем или иным причинам не могут быть выполнены одним узлом сети. Причины могут быть технологическими (предприятие не может выполнить все компоненты заказа), или ресурсными (предприятия перегружено уже принятыми заказами и может выделить на новый заказ лишь ограниченные ресурсы), или экономические (распределенный процесс выполнения конкретного заказа обходится дешевле) и др.



Рис. 2. Инфраструктурные компоненты B2B сети.

Перед тем, как начать выполнение заказа в сети, для него необходимо решить несколько задач. *Первая* из них состоит в том, чтобы принять решение о декомпозиции заказа на множество частично упорядоченных подзаказов. *Вторая* задача—это задача планирования, в которой каждому подзаказу частично упорядоченного множества заказов необходимо назначит исполнителя, т.е. конкретный узел B2B сети, в котором соответствующий подзаказ будет выполняться. Наконец, *третья* задача состоит в составлении скоординированного расписания выполнения подзаказов множеством ответственных узлов сети.

Первая задача в данной работе не рассматривается. В постановке задачи здесь предполагается, что она решается в том узле сети, в который поступил заказ. Существующая теория и практика пока относят эту задачу к ответственности коллектива экспертов—технологов, которые решают подобные задачи на основе собственного опыта с использованием специальных программных инструментов. По-видимому, современный уровень развития интеллектуальных технологий пока еще не готов предложить здесь адекватный вариант без использования человека в контуре, хотя отдельные исследования на эту тему имеются [11].

Для *второй задачи* в работе кратко описывается рыночная модель самоорганизации на основе аукциона. Эта модель хорошо разработана теоретически и широко исследуется на практике. Более того, для нее имеются стандартные протоколы типа CNP – протокола [12] и другие [13]. Поэтому в данной работе дается только описание идеи самоорганизации процессов планирования в B2B сетях на основе рыночной модели аукциона. Заметим, что для рассматриваемого класса задач детальная алгоритмизация и программная поддержка этой модели пока не выполнены.

На рис. 2 алгоритмическая и программная поддержка решения второй и третьей задач представлена средствами планирования выполнения заказов и координации расписаний выполнения подпроцессов общих бизнес-процессов различными узлами сети в условиях ограниченных ресурсов узлов B2B сети

Основное внимание далее уделяется третьей задаче, цель которой—это составление скоординированного расписания выполнения сложно структурированного заказа множеством узлов B2B сети. Важно отметить, что при составлении такого расписания каждый узел должен принимать в внимание ранее принятых на себя обязательства по выполнению в срок других заказов. Это означает, что задача составления расписаний в

данной постановке требует не только разработки каждым узлом своего локального расписания с учетом занятости своих ресурсов, но также и координации локальных расписаний с расписаниями других узлов сети, вовлеченных в исполнение тех же заказов. Эта задача успешно решается алгоритмом распределенной координации локальных расписаний с самоорганизацией, предложенным в [14.].

4. Функциональная архитектура р2р агентской платформы – инфраструктурной компоненты В2В –сети

В качестве программно–коммуникационной платформы В2В сети в данной разработке используется р2р агентская платформа (р2р АП), разработанная ранее с участием автора данной работы [15, 16]. Ее функциональная архитектура представлена на рис. 3. Она, в основных чертах, следует архитектуре, предложенной FIPA NA WG [17], в частности, она реализует все ее обязательные компоненты.

Как и в абстрактной архитектуре FIPA, программные компоненты разработанной р2р платформы построены по трехуровневой схеме (рис. 3). На *нижнем* ее уровне (на коммуникационном уровне) функционирует программная компонента, называемая пиром, который предоставляет коммуникационные сервисы по отправке сообщений как агентам, установленным на платформе, так и другим пирам сети, для которых текущий узел является либо адресатом сообщения, либо промежуточным узлом для поиска нужного адресата с помощью протокола типа gossiping. Своим клиентам пир предоставляет р2р каналы связи с другими пирами¹, а также реализует механизм управления списком своих контактов. Напомним, что список контактов содержит имена соседних пиров и их адреса, т.е. те список узлов р2р сети, с которыми данный пир имеет прямые коммуникационные каналы.



Рис. 3. Функциональная архитектура P2P агентской платформы и P2P провайдера.

¹ На нижнем уровне можно использовать существующие реализации P2P провайдера, например JXTA или WiFi OВEX. В описываемой реализации используется P2P реализация, разработанная С.В.Серебряковым [р2р peer].

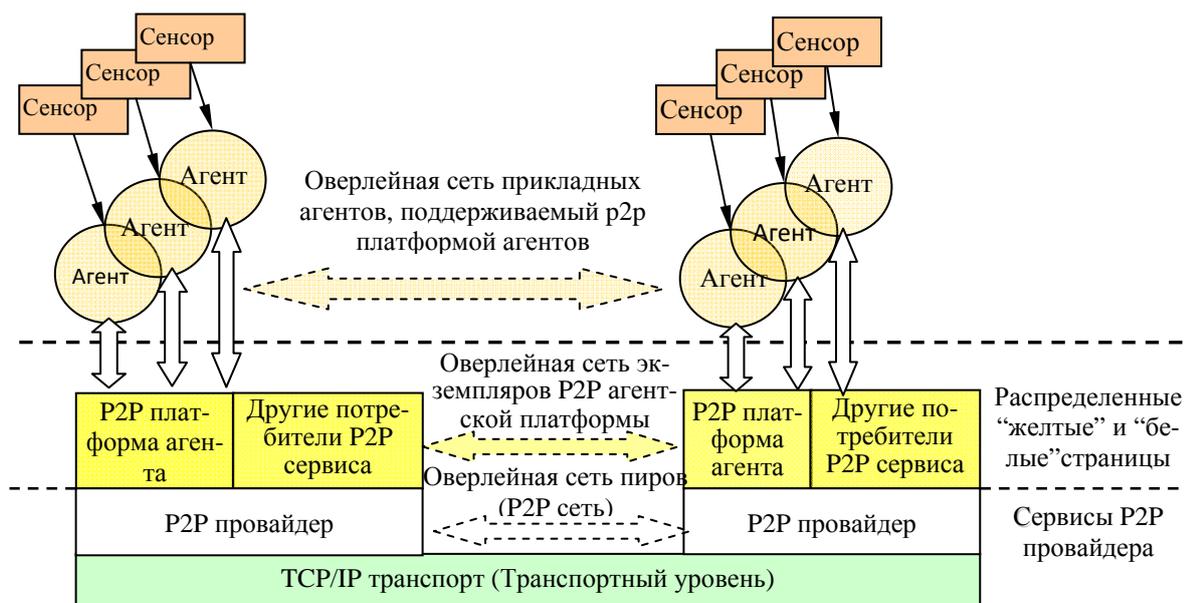


Рис. 4. Оверлейные сети, построенные над ТСР/ІР, обеспечивающие «прозрачность» взаимодействия прикладных агентов В2В сети.

Средний уровень реализует р2р агентская платформа, которая предоставляет сервисы белых и желтых страниц агентам, зарегистрированным на платформе. В текущей реализации, агентская платформа поддерживает поиск агентов в р2р сети и сервисов. Поиск реализуется как распределённый поиск, который использует протокол, известный под названием *gossiping* [gossiping], поддерживающий р2р маршрутизацию сообщений.

На *верхнем уровне* располагаются агенты прикладной системы, зарегистрированные на р2р АП.

Точно так же, как р2р сеть образует «оверлейную сеть», установленную поверх ТСР/ІР сети, множество экземпляров р2р агентской платформы образует «оверлейную сеть» установленную поверх р2р сети (см. рис. 4). В этой сети множество экземпляров р2р АП играет роль распределенной базы знаний. Каждый экземпляр платформы содержит знания об агентах, которые на ней установлены, и о сервисах, предоставляемых этими агентами. В частности, желтые страницы содержат информацию о сервисах агентов экземпляра платформы, представленную в стандартной форме в терминах общей онтологии сети агентов, и об именах агентов, которые соответствующие сервисы предоставляют. Экземпляр агентской платформы может также содержать знания о некоторых других экземплярах платформы. Белые страницы содержат информацию об адресах агентов, способных предоставлять сервисы, перечисленные на желтых страницах. Аналогично, множество агентов, установленных на экземплярах агентской платформы, образуют «оверлейную сеть» третьего уровня, которая установлена поверх сети экземпляров агентской платформы. Трехслойная архитектура открытой сети агентов демонстрируется на рис. 4.

Важно, что в начальном состоянии желтые и белые страницы могут быть вообще пустыми, а их заполнение может происходить уже в процессе функционирования сети, когда новые узлы сети входят в сеть, объявляют о своих сервисах, запрашивают тот или иной сервис или получают ответы на свои запросы о сервисах. Таким образом, содер-

жание желтых и белых страниц может постоянно обновляться в процессе работы сети. При этом агентская платформа может быть дополнительно снабжена компонентой, которая отслеживает потребности установленных на ней агентов, накапливает соответствующую информацию и, привлекая алгоритмы обучения, оптимизирует содержание желтых и белых страниц экземпляра платформы в соответствии с предметно-ориентированными показателями качества работы системы [18]. Параметрами платформы, определяющими конфигурацию связей между агентами сети в целом, могут быть объем желтых и белых страниц, порядок хранения записей в ней, предпочтения по выбору сходных сервисов, которые используются агентами, установленными на платформе, и другие. По сути? эта компонента может использоваться для динамического формирования профилей агентов, установленных на ней, и для адаптации атрибутов самой платформы с целью оптимизации ее функционирования в интересах собственных агентов и, возможно, в интересах сети в целом. Возможность динамического формирования содержания белых и желтых страниц становится важным свойством в случае *открытой сети агентов*, в которой агенты и узлы сети могут появляться в ней и уходить из нее в любой момент времени.

Более детальное описание архитектуры экземпляра p2p агентской платформы, включая форматы сообщений агентов, и т.д., могут быть найдено в работе [16].

5. Планирование выполнения заказов

Напомним, что в данной работе под планированием понимается задача распределения компонент частично упорядоченного множества подзаказов, формирующих заказ, на множестве узлов сети. Полагается, что этим процессом управляет тот узел сети, в который заказ поступил (или узел, который этот заказ «породил»). Дополнительное условие, которое принято на данном этапе разработки проблемы, состоит в том, что подзаказы каждого заказа распределяются с помощью аукциона, проводимого, прежде всего, на множестве непосредственных соседей планирующего узла (см. рис. 1). Естественно, что если среди этих соседей не находится ни одного потенциального исполнителя, то агент планирующего узла должен послать запрос на поиск необходимого сервиса уже в масштабе всей сети.

Поясним такой выбор ограничения в постановке задаче. Обычно предприятия получают более или менее похожие заказы, и у них постепенно складывается потенциальное множество «соисполнителей», которые хорошо зарекомендовали себя по предыдущему опыту сотрудничества. Понятно, что доверие к потенциальному соисполнителю заказа для планирующего узла играет первостепенную роль. Естественно также, что программная платформа, поддерживающая коммуникации и взаимодействие узлов сети, должна предоставлять возможность адаптации структуру сети по мере накопления опыта сотрудничества. В рассматриваемом контексте эта адаптационная способность состоит в том, чтобы те узлы сети, которые часто выступают в роли соисполнителей заказов, планируемых некоторым узлом, переводились в разряд его непосредственных соседей, в то время как редко «используемые» соседи удалялись из списка непосредственных соседей узла. Соответствующие алгоритмы адаптации структуры, использующие механизмы распределенного обучения по предыстории работы сети, в литературе известны [18].

Таким образом, общая идея самоорганизации процессов планирования исполнения заказа сводится к проведению аукциона по каждому из подзаказов на динамически формируемом множестве узлов сети, которые рассматриваются как потенциальные исполнители соответствующих подзаказов. Такая постановка задачи хорошо известна в теории многоагентных систем и имеет значительное число вариантов алгоритмической реализации, как по типу используемого аукциона, так и по назначению конкретных атрибутов выбранного типа аукциона. Детализация модели аукциона и его алгоритмической реализации зависит от особенностей конкретной B2B сети. Можно, однако, утверждать, что технология программной реализации этапа планирования в B2B сети может быть поддержана программным инструментарием., поскольку технология планирования на основе модели аукциона к настоящему моменту хорошо развита теоретически, и широко используется на практике, в том числе и особенно, при решении задач логистики [13, 19]

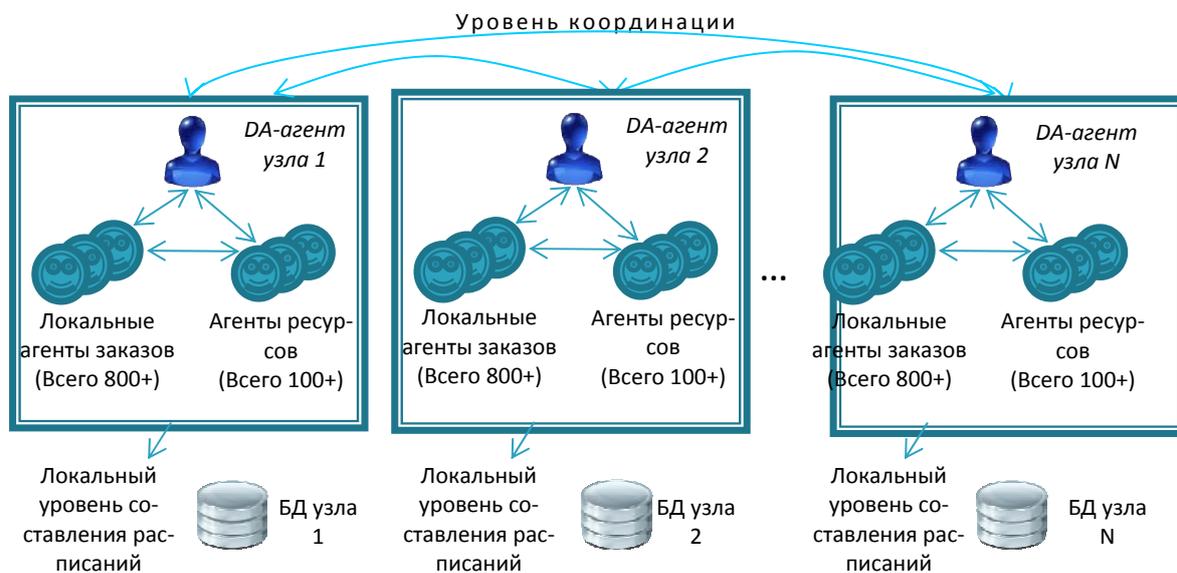


Рис. 5. Архитектура многоагентной системы распределенного составления расписаний выполнения взаимосвязанных заказов в производственной B2B-сети.

6. Распределенная координация расписаний

Алгоритм распределенной координации локальных расписаний узлов B2B-сети строится на основе обмена метаданными между ее узлами в процессе составления ими локальных расписаний. В MAC-архитектуре его программной реализации задействованы следующие агенты локального уровня и агенты метауровня, ответственные за координацию (рис. 5):

- *Агент узла (Department Agent, DA)*: ответственен за составления локальных расписаний узла и взаимодействует с аналогичными агентами других узлов, решая совместно с ними задачу координации, т.е. выполняет также отдельные функции метауровня.
- *Агент ресурса (Resource Agent, RA)*: участвует в выполнении CNP-протокола при составлении локального расписания [19].
- *Локальный агент заказа (Local order agents, LOA)*: участвует в составлении локального расписания узла, отвечая за соблюдение технологии локальной части подзаказа.

- *Агент заказа (Order-agent, OA)*. Он владеет информацией о заказе в целом: о самом раннем допустимом времени начала его исполнения и о самом позднем времени его завершения. Этот агент является агентом метауровня.

Таким образом, в этой архитектуре, дополнительно к локальным агентам составления локального расписания, введены еще а *OA*-агенты заказов (по числу заказов), которые относятся к метауровню, а *DA*-агенты узлов выполняют как функции составления локальных расписаний, так и функции их координации на метауровне. Важно отметить, что в этой архитектуре информация о ресурсах и технологиях узлов доступна только агентам соответствующих узлов, что решает задачу конфиденциальности.

Итак, в алгоритме распределенной координации участвуют *DA*-агенты и *OA*-агенты. Запуск алгоритма распределенной координации (иначе-протокола координации) осуществляется так называемыми *смежными событиями*. Каждое такое событие генерируется тогда, когда заканчивается составление расписания исполнения части заказа, выполняемой в некотором узле, а продолжение выполнения этого заказа предполагается в другом узле (или узлах), который в соответствии с планом выполнения заказа является смежным (непосредственно следующим) для узла, генерирующего смежное событие.

Понятие смежного события используется для обнаружения моментов, когда необходимо инициировать алгоритм координации. Оно является базовым понятием алгоритма распределенной координации, поскольку реализует его операционную семантику. Каждый раз, когда генерируется смежное событие, управление процессом координации передается агенту соответствующего заказа, который выполняет свою часть алгоритма координации расписаний.

Базовая идея алгоритма распределенной координации состоит в следующем. Координация выполняется путем переговоров *двух DA-агентов*: *DA*-агента узла сети, в котором завершилось выполнение порученной ему части заказа, и *DA*-агента узла, в котором выполнение заказа должно быть продолжено. Обозначим *DA*-агента первого узла символом DA^- , а *DA*-агента второго узла символом DA^+ . В момент начала координации операции узла-последователя, продолжающего выполнение заказа, должны быть включены во фронт планирования узла, когда DA^+ -агент получил смежное событие от DA^- -агента [14]. Получив это событие, DA^+ -агент приостанавливает процесс составления локального расписания до тех пор, пока не закончится его взаимодействие с агентом DA^- .

Иначе говоря, алгоритм организован так, что глобальный фронт планирования (объединение таких фронтов по множеству узлов) продвигается в нем и по временной шкале, и по структурированному множеству операций заказов, исполняемых сетью. Когда заканчивается планирование некоторого заказа, то в конечном узле выполняются некоторые заключительные операции.

Псевдокод алгоритма распределенной координации локальных расписаний узлов можно найти по адресу <http://ips-logistic.com/pub/inter-dep-coordination.pdf>.

Программная реализация алгоритма¹ выполнена для приложения, которое решает задачу межцеховой координации расписаний выполнения заказов. Это приложение по своему масштабу соответствует индустриальному уровню. Для тестирования программы и оценки качества работы алгоритма использовались реальные данные Ижевского мотозавода «Аксион Холдинг». Экспериментальное исследование алгоритма распределенной координации работы узлов В2В-сети с целью проверки его работоспособности выполнялась путем сравнения результатов централизованного и распределенного составления расписаний на одних и тех же данных по заказам, ресурсам и технологии

¹ Программный код был написан аспирантом СПИИРАН Бухваловым О.Л.

выполнения заказов. При этом для моделирования агентов использовалась квази–агентская библиотека *Scala Actors* [20]. Для программной реализации процесса тестирования использовались также дополнительные программные компоненты, специально разработанные для этой цели. Технология, поддерживаемая библиотекой *Scala Actors library*, которая использует понятие *акторов*, использовалась, в основном, для разработки многопоточных компонент приложения. Эта технология реализует приложение как множество программных сущностей, исполняемых в различных потоках и взаимодействующих, как и агенты, путем обмена сообщениями. Акторы моделируют агентов в МАС–приложениях. Выбор *Scala Actors*–библиотеки обусловлен тем, что она дает возможность построить простое и масштабируемое программное решение, что удобно для процесса тестирования. Например, эксперименты показали, что технология акторов способна обрабатывать до 5000 сообщений в секунду независимо от числа акторов в системе. Язык программирования акторов имеет простой синтаксис и ряд удобных механизмов [20].

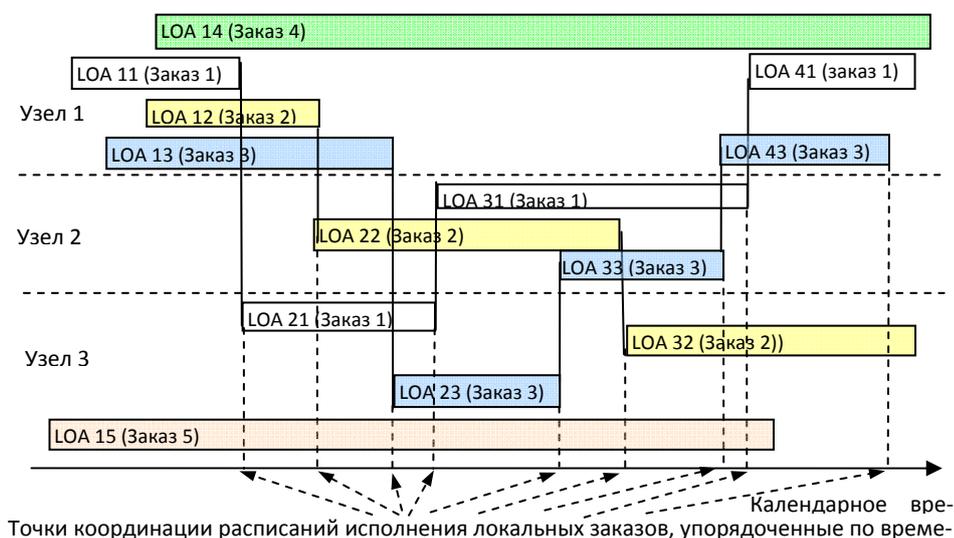


Рис. 6. Пояснение базовой идеи алгоритма распределенной координации (в примере общее число заказов – 5, число узлов – 3).

Механизм распределенной координации процессов составления расписаний агентами тестировался на реальных данных инструментального цеха «Ижевского мотозавода «Аксион Холдинг». Описание особенностей процесса тестирования, архитектуры тестового варианта программы, а также результаты тестирования описаны в [14]. Эксперименты показали, что решения, получаемые с помощью этих алгоритмов, удовлетворительны.

7. Заключение

В работе предложена новая концепция построения и многоагентная архитектура самоорганизующихся В2В–сетей. В ней описаны базовые задачи и предложены новые модели управления в В2В сетях на основе самоорганизации и распределенной координации. Сама работа мотивирована новыми тенденциями в области распределенного управления бизнес – процессами, в частности, в концепции В2В сетей, которые в на-

стоящее время постулируются как цель развития инфраструктуры для поддержки и развития будущего бизнеса до 2025 года.

Данная работа использует и обобщает опыт разработок в области распределенного управления множеством бизнес-процессов, которые были ранее проведены при участии автора. Это обобщение приводит к новому взгляду на концепцию В2В сети как на самоорганизующуюся открытую сеть взаимодействующих компаний/организаций, совместно участвующих в выполнении множества распределенных бизнес-процессов и получающих выгоду от такой модели взаимодействия в бизнесе.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 14-07-00493.

Список литературы

1. Legner C. et al. The Challenges of Inter-Organizational Business Process Design – A Research Agenda // European Conference on Information Systems ECIS '2007. St.Gallen, June 7-9 2007. Ed. H. Österle, J. Schelp, R. Winter. P 1643-1654. Доступно по адресу: http://works.bepress.com/hubert_oesterle/172
2. ATHENAP. “Advanced Technologies for interoperability of Enterprise Networks”. <http://www.athenaip.org/>
3. Mendling J., Nüttgens M. XML-based Reference Modeling: Foundations of an EPC Markup Language // In: Proc. of the 8th GI Workshop Referenzmodellierung 2004 at MKWI / Becker J. et al. eds. P. 51-72.
4. Zanet M. et al. Platform Design for the B2(B2B) Approach // Enterprise Interoperability III. Eds. K. Mertins, R. Ruggaber, K. Popplewell, X. Xu. Springer, 2008. P. 25-133.
5. RosettaNet. <http://www.rosettanet.org>
6. Viswanadham N., Gaonkar R. E-Logistics – Trends and Opportunities. The Logistic Institute – Asia Pacific. <http://drona.csa.iisc.ernet.in/~nv/Download/Vis.WP4.pdf>
7. JCTrans.net—Its Functions & Services. <http://cms.jctrans.com/jcnet/reports/2007530461064.shtml>
8. COIN – “COLlaboration and INteroperability for networked enterprises”. <http://www.coin-ip.eu/>
9. Future Internet Enterprise Systems (FInES): Research Roadmap 2025. http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/documents/fines-research-roadmap-v30_en.pdf
10. Lin N., Marzullo K., Masini S. Gossip versus deterministic flooding: low message overhead and high reliability for broadcasting on small networks. <http://citeseer.ist.psu.edu/563854.html>
11. Gorodetsky V., Ermolaev V., Matzke W.-E., Jentzsch E., Karsaev O., Keberle N., Samoilo V. Agent-based Framework for Simulation and Support of Dynamic Engineering Design Processes in PSI // In: M. Pechoucek, P. Petta, L. Varga (eds.) Multi-Agent Systems and Applications IV. Springer, 2005, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Vvol. 3690. P. 511-520.
12. Smith R. The contract net protocol: high-level communication and control in distributed problem solver // IEEE Transactions on Computers. 1980. Vol. 29. P. 1104-1113.
13. Multi-agent Systems. 2nd edition. Edited by Gerhard Weiss. MIT Press, 2013.
14. Бухвалов О.Л., Городецкий В.И., Карсаев О.В., Кудрявцев Г.И., Самойлов В.В. Распределенная координация в В2В производственных сетях // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. № 3. С. 193-203.
15. Vladimir Gorodetsky, Oleg Karsaev, Vladimir Samoylov, Sergey Serebryakov. P2P Agent Platform: Implementation and Testing // Springer, 2009. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Vol. 5319. P. 41-54.
16. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Инструментальные средства для открытых сетей агентов // Известия РАН. Теория и Системы Управления. 2008. № 3. С. 106-124.
17. FIPA P2P NA WG6. Functional Architecture Specification Draft 0.12. <http://www.fipa.org/subgroups/P2PNA-WG-docs/P2PNA-Spec-Draft0.12.doc>
18. Gorodetskiy V., Karsaev O., Samoilo V., Serebryakov S.V. Interaction of Agents and Data Mining in Ubiquitous Environment. International Workshop on Agents and Data Mining Interactions ADMI-2008. Sydney, Australia, December 9-12, 2008.
19. Бухвалов О.Л., Городецкий В.И., Карсаев О.В., Кудрявцев Г.И., Самойлов В.В. Производственная логистика: Стратегическое планирование, прогнозирование и управление конфликтами // Известия ЮФУ. 2012. № 3. С. 209-218.
20. Scala language. Official site: <http://www.scala-lang.org/>