

УДК 658.01

МЕТОД СОПРЯЖЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ РЕСУРСОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

В. А. Виттих, П. О. Скобелев

*Институт проблем управления сложными системами РАН,
443020, г. Самара, ул. Садовая, 61
E-mail: vittikh@iccs.ru*

Для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени предлагается метод сопряженных взаимодействий, отличительной особенностью которого является замена перебора вариантов решений, требующего больших вычислительных затрат, двусторонними переговорами, направленными на выявление конфликтов и достижение компромиссов между поступающими заказами и функционирующими ресурсами при построении сложных расписаний. Эта особенность обеспечивает важные преимущества при решении сложных задач распределения ресурсов в реальном времени, что может быть актуально для систем корпоративного и государственного управления.

Ключевые слова: сопряженные взаимодействия, сети потребностей и возможностей, распределение ресурсов, реальный масштаб времени, инструментальные средства программирования.

Введение. Управление распределением ресурсов в реальном масштабе времени означает, что принятие и реализация управленческих решений происходит в темпе, соответствующем скорости протекания процессов производства товаров и оказания услуг.

К числу таких задач относится, например, распределение производственных ресурсов при выпуске автомобилей по индивидуальным спецификациям заказчиков, которым в современном производстве разрешается изменять свои требования даже на стадии сборки. Не меньшая степень неопределенности возникает при управлении распределением ресурсов таксопарка, поскольку случайный характер поступления заказов от клиентов приводит к необходимости регулярного оперативного перепланирования расписания перевозок. Подобные проблемы возникают не только в корпоративном, но и в государственном и муниципальном управлении, к примеру, когда необходимо обеспечить оперативное управление финансовыми потоками в зависимости от текущих потребностей, появляющихся при оказании услуг населению в сферах образования, здравоохранения, социальной защиты и т. п.

Требование «реального времени» здесь является принципиальным и напрямую связано с обеспечением эффективного использования ресурсов, поскольку появление задержек в принятии решений о распределении ресурсов может привести к потере качества оказания услуги, а также к срыву сроков выпуска продукции (либо, что не менее вероятно, она никогда не будет произведена). В таких условиях применение классических методов оптимизации чаще всего оказывается неприемлемым на практике, так как изменение условий задачи может произойти до того, как будет найден сам оптимум (по причине сложности алгоритмов и трудоемкости вычислений, особенно при распределении неоднородных ресурсов). Поэтому на передний план выдвигается проблема нахождения рациональных методов, обеспечивающих допустимое (т. е. устраивающее всех) распределение ресурсов, когда фактор времени становится первостепенным, а скорость получения решения слабо зависит от размерности задачи.

Для достижения этой цели в данной работе предлагается метод сопряженных взаимодействий, который позволяет решать задачи управления распределением неоднородных ресурсов большой размерности в реальном масштабе времени.

Основы метода сопряженных взаимодействий. Распределение ресурсов осуществляется в рамках некоторой системы, характеризующейся как категория, обозначающая объект, который организован в качестве целостности, где энергия связей между элементами системы превышает энергию их связей с элементами других систем [1].

В этом определении заложена открытость систем, предполагающая, что любые элементы могут взаимодействовать между собой; различается только энергия связей. Таким образом, управление распределением ресурсов осуществляется в условиях, когда состояние ресурсов системы и потребность в них могут измениться в любой момент времени.

Каждый элемент системы располагает ресурсами, которые определяют его возможности, и имеет потребность в других ресурсах, поэтому речь идет о распределении неоднородных ресурсов. Например, для производства некоторого изделия нужны станки, рабочие, заготовки и т. д. Для подготовки к работе одного станка требуется переналадка, а для этого — мастер соответствующей квалификации и т. п. Элемент, имеющий потребность в определенном ресурсе, и элемент, располагающий этим ресурсом и предлагающий его для использования, будем называть сопряженными элементами. Поиск сопряженного элемента и принятие решения о выделении необходимого ресурса осуществляются в системе в процессе сопряженных взаимодействий, который завершается построением сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) [2], что свидетельствует о решении задачи распределения ресурсов.

Однако такое непосредственное распределение ресурсов между элементами, когда они попарно договариваются между собой (назовем это горизонтальными взаимодействиями), представляет собой частный случай более общей задачи. Во-первых, элемент, располагающий определенным ресурсом, может быть занят выполнением другого заказа. Самое простое в этой ситуации — отказать новому заказу в использовании данного ресурса. Но на практике можно найти и более разумные решения, если попытаться достичь компромисса, пересмотрев договоренности с другими заказчиками, что в общем случае может повлечь за собой дополнительную цепочку переговорных процессов. Во-вторых, элементы могут объединяться в холоны (не просто в иерархические, а в сетевые структуры) [3], интегрируя в них свои ресурсы. Тогда принятие решения о выделении ресурсов будет зависеть не только от индивидуальных позиций элемента, который ими обладает, но и от групповых интересов холона в целом. Кроме того, холоны могут быть частями большего, составного холона, что еще более усложняет процедуру распределения ресурсов, порождая многоуровневые вертикальные взаимодействия между элементами.

Итак, суть метода сопряженных взаимодействий заключается в следующем.

1. Фиксируется множество сопряженных (в общем случае неоднородных) элементов системы, каждый из которых обладает определенными ресурсами и потребностями в других ресурсах.

2. Описываются индивидуальные цели и критерии принятия решения всеми элементами системы, а также их предпочтения и ограничения.

3. Определяются правила и протоколы (регламенты) сопряженных взаимодействий между элементами, позволяющие выявлять конфликты и находить компромиссы.

4. Разрабатывается программа моделирования сопряженных взаимодействий с использованием специальных инструментальных средств программирования.

5. С помощью этой программы строится первоначальная ПВ-сеть, определяющая соответствующее распределение ресурсов.

6. Если состояние ресурсов или потребности в них изменяются с приходом новых событий, то ПВ-сеть перестраивается с целью разрешения конфликтов, причем только в той части, которая непосредственно связана с изменениями.

7. Решение задачи распределения ресурсов считается найденным, когда ни один элемент ПВ-сети не может улучшить свое состояние в сети.

Таким образом, ПВ-сеть представляет собой наглядный пример самоорганизующейся системы, адаптирующей свое поведение под действием событий, происходящих в реальном времени.

Инструментальные средства программирования. Для программной реализации метода сопряженных взаимодействий используется мультиагентный подход, изначально разрабатывавшийся для создания открытых и распределенных программных систем, построенных на принципе сетевых взаимодействий [4–6]. Мультиагентный подход развивается с начала 90-х годов 20 века на стыке направлений по искусственному интеллекту, объектно-ориентированному и параллельному программированию, а также телекоммуникациям и уже не является новым [7–11].

Для решения рассмотренных выше задач любой организации (компании) предлагается инструментальная платформа [12], которая состоит из модулей, представленных на рис. 1.

Детектор образов распознает типовые ситуации, возникающие в ходе поступления заявок (паттернов событий), и вырабатывает их прогноз и рекомендации по планированию с учетом предыстории. Данный модуль позволяет включить в контур работы системы автоматическое обучение и использовать результаты обучения системы для улучшения качества и эффективности планирования.

Кроме того, этот модуль может распознать факт поступления некоторой заявки в систему с определенной периодичностью, что дает возможность заранее запланировать ресурсы для ее выполнения. В случае, если в ожидаемое время заявка не поступила, система может сгенерировать соответствующее предупреждение менеджеру, взаимодействующему с клиентом, уточнить ситуацию и освободить предварительно зарезервированные ресурсы.

В этом модуле может применяться технология кластеризации, относящаяся к обла-

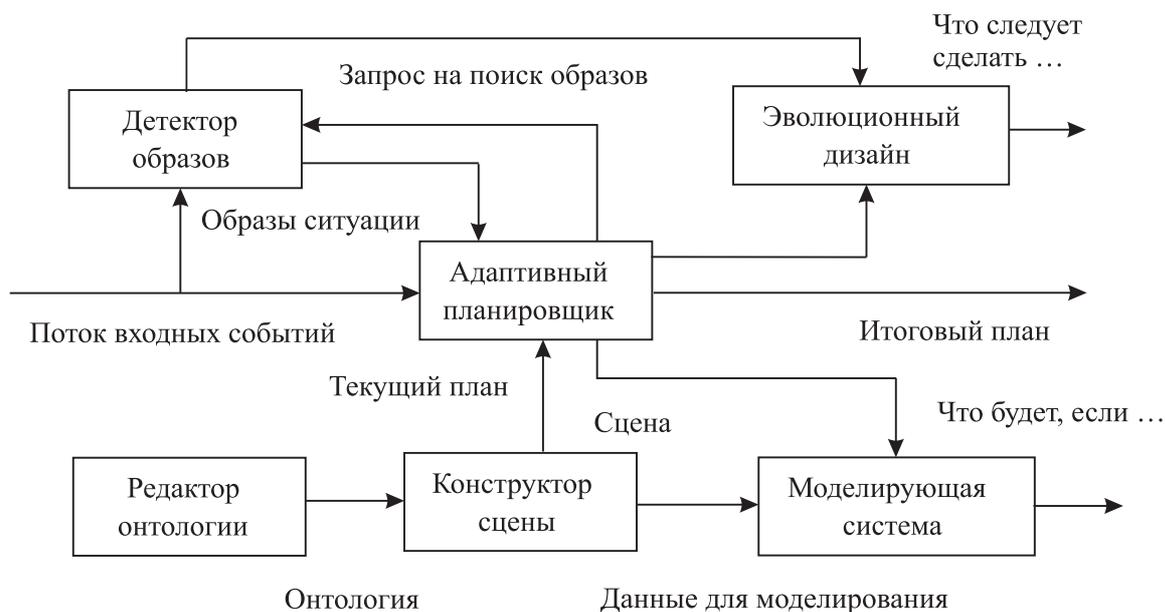


Рис. 1

сти извлечения знаний, связанных с обнаружением знаний в потоках данных. Кластерный анализ позволяет обнаруживать в данных о заявках скрытые закономерности, которые практически невозможно найти другим способом и представить их в удобной форме, помогающей принимать наилучшие решения.

Адаптивный планировщик обрабатывает поток входящих событий: поступления заявок, ввод новых ресурсов, выход из строя ресурсов и т. п. В результате формируется план распределения и работы ресурсов, а также по мере необходимости осуществляется динамическое изменение плана событий, происходящих в реальном времени. Адаптивный планировщик одного подразделения организации может взаимодействовать с планировщиками других подразделений, согласовывая с ними принимаемые решения. Таким образом, для обеспечения масштабируемости и производительности предлагаемой системы один планировщик может превращаться в целую сеть взаимодействующих планировщиков, функционирующих на отдельных серверах.

Конструктор сцены позволяет редактировать начальную конфигурацию сети и определять все параметры ресурсов компании. При этом возможно вручную или автоматически импортировать данные из различных источников (существующих баз данных, файлов Excel и т. д.). Он основывается на описывающей деятельность компании общей базе знаний (онтологии), в которой присутствуют базовые понятия и отношения между ними и которая при развитии бизнеса может расширяться с использованием редактора онтологии.

Редактор онтологии дает возможность вести и изменять общую онтологию компании, описывающую модель знаний предметной области, которая затем применяется в редакторе сети для представления конфигурации бизнеса. Онтология содержит базовые понятия и отношения между ними, представляемые в форме семантической сети.

Онтология компании при решении задач распределения ресурсов может содержать описание:

- классов объектов и отношений компании, включая типы заказов, классы ресурсов и т. д.;
- классов отношений (ресурс зарезервирован для заявки, заявка выполняется ресурсом и др.);
- классов операций бизнес-процесса компании, представляющих жизненный цикл заявки;
- классов атрибутов объектов и отношений.

Онтология дает возможность отделить знания предметной области компании от текста программы, что также создает основу для дальнейшего развития системы и наращивания ее функций без репрограммирования.

Моделирующая система — программный модуль, позволяющий осуществлять моделирование ситуаций по принципу «Что, если?». В любой момент текущее состояние компании и план работы на ближайший период времени могут быть загружены в эту систему, чтобы затем промоделировать, что произойдет в случае того или иного события (например, заключения крупного договора с новым клиентом или субподрядчиком, расширения парка ресурсов, продажи или изменения параметров части ресурсов и т. п.).

Эволюционный дизайн — модуль, вырабатывающий предложения по улучшению конфигурации сети в части увеличения или уменьшения определенного числа ресурсов, изменению географии ресурсов и т. д.

Рассмотрим теперь более подробно устройство и основные компоненты центрального модуля — адаптивного планировщика (рис. 2).

Как уже было отмечено, новизна предлагаемого метода состоит в моделировании решений сложных задач, в данном случае — распределении ресурсов и построении сложных расписаний через сопряженное взаимодействие элементов организации. При этом каждому элементу в соответствие ставится его программный агент, способный действовать от его

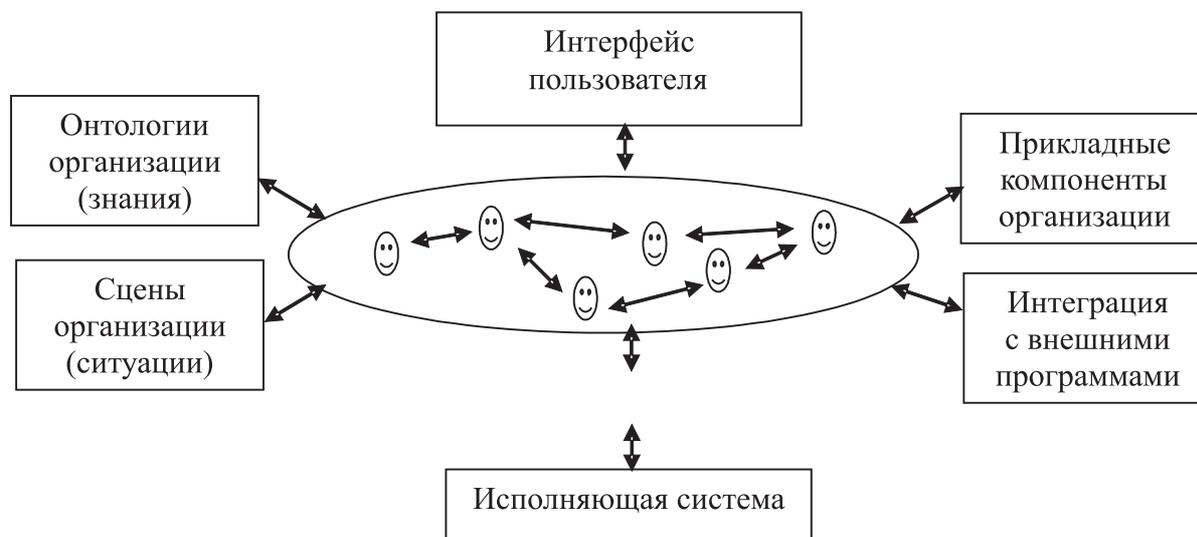


Рис. 2

имени и по его поручениям. В отличие от традиционно-пассивных программных объектов, агент есть постоянно активный объект, обладающий высокой степенью автономности, у которого есть свои сенсоры для восприятия событий, цели, предпочтения и ограничения, текущее состояние, а также сценарии принятия решений и коммуникации с другими агентами [8]. Агента нельзя просто «вызвать», как обычную подпрограмму (метод), но можно попросить выполнить ту или иную задачу.

Основные компоненты конструкции агентов и базовые протоколы их взаимодействия представлены на уровне исполняющей системы, являющейся диспетчером, по очереди передающим управление разным агентам и обеспечивающим их реакцию на события, передачу сообщений и т. д.

Таким образом, ПВ-сеть может быть образована программными агентами потребностей и возможностей образующих ее элементов, в частности заказов и ресурсов, постоянно стремящихся найти друг друга и установить связи. Например, для компании грузовых перевозок модель ПВ-сети может включать агентов клиента и заказа, грузовика и груза, маршрута поездки, магазина и склада, водителя и т. д. При этом заказ постоянно ищет себе лучший грузовик, грузовик встречно — заказ, а также маршрут, водителя и т. п. Сложность модели ПВ-сети и точность моделирования реальной транспортной сети увеличиваются как с ростом числа программных агентов, представляющих интересы различных физических и абстрактных существностей, необходимых для работы каждой сети, так и с ростом типов и вариантов взаимодействий между агентами разных типов.

Основой взаимодействия всех указанных агентов становится их общий виртуальный мир, представляющий в данном случае виртуальный рынок, где агенты могут покупать или продавать свои сервисы исходя из экономической целесообразности. Правила принятия решений агентами задаются моделью микроэкономики ПВ-сети, определяющей стоимость таких сервисов, систему штрафов и бонусов, как агенты делят прибыль, какие налоги и при каких действиях должны платить и т. п. Все это призвано дать агентам возможность накапливать виртуальные деньги, играющие роль энергии в системе, и использовать их для формирования новых или поддержания существующих связей. При этом принятие решений несколькими агентами и установление связей между ними для решения задач, непрерывно возникающих при поступлении каждого нового события, вызывают из-

менения условий функционирования для других агентов и тем самым определяют процесс самоорганизации системы, приводящей к перестройке расписания в ответ на событие.

В ПВ-сети агенты могут получать и применять роли потребностей (заказов) и возможностей (ресурсов). Роль потребности несет в себе знание идеала (будущего), а роль возможности — знание реальности (прошлого). Так, каждый грузовик «знает» наверняка, каков был его маршрут, где сейчас он находится, каким грузом загружен и т. д. Получая предложения от разных грузовиков (возможностей), заказ (потребность) может решить, какой из них ему лучше всего подходит. Однако и сам грузовик может породить новую потребность, специфицируя, какие именно заказы ему нужны в текущий момент времени, чтобы быть полностью загруженным.

Знания, на основе которых агенты принимают решения, как уже указывалось, отделены от программного кода и хранятся в онтологии системы, что обеспечивается с помощью специального инструментария поддержки онтологий и сцен. Конкретная ситуация, складывающаяся с ресурсами, описывается в виде сцены, связывающей конкретные экземпляры объектов (название компании клиента, имя водителя грузовика, номер транспортного средства и т. д.).

Постоянная активность всех агентов сети, причем как со стороны потребностей, так и со стороны возможностей, вызывает многосторонние переговоры на виртуальном рынке, идущие квазипараллельно. При этом особенностью подхода является тот факт, что каждый агент рассматривается как машина состояний, возвращающая управление диспетчеру после каждого такта переговоров. Каждый агент постоянно старается добиться своей цели и для этого вступает с другими агентами (заказ с грузовиком, грузовик с водителем и т. д.) в отношения (связи), которые могут пересматриваться в результате выявления и разрешения конфликтов под действием приходящих извне или генерируемых внутри системы событий.

Конфликты, порождаемые событиями (например, отказ грузовика), могут разрешаться агентами заказов и ресурсов путем переговоров и взаимных уступок, направленных на достижение приемлемых для всех компромиссов. Компромисс достигается тогда, когда один агент уступает свое место другому, причем с ухудшением своего положения (что сопровождается выигрышем для всей системы или второго агента) и соответствующей компенсацией из запаса виртуальных денег. Разрешение конфликта может вызывать целую цепочку операций перепланирования (включая переход заказов на другой ресурс, сдвигку заказов вправо или влево по шкале времени на ресурсе, обмен заказами между ресурсами и т. д.), глубина которой может быть ограничена допустимым временем ответа или другими факторами. Если имеется запас времени, то решение о выделении ресурса или сформированное расписание использования ресурса может подвергаться непрерывной оптимизации, в том числе и классической, или в общем случае балансировке интересов всех участников, поскольку каждый заказ или ресурс может иметь собственную специфическую систему критериев, предпочтений и ограничений.

При поступлении нового заказа в систему создается его агент, который от лица этого заказа вступает во взаимодействие с агентами ресурсов для поиска лучшего своего размещения. Если наиболее подходящие ресурсы уже заняты, они могут начать предлагать размещенным на них ранее заказам поискать себе новые размещения. Этот процесс, как цепная реакция, может захватывать все новые заказы и ресурсы, формируя расходящуюся волну изменений.

Если же по каким-то причинам выбранный грузовик позже становится недоступен (поломка, авария и т. д.), то его агент должен найти все заказы, которые сейчас планируются на размещение в этом грузовике, и сообщить им о недоступности ресурса. Эти заказы активизируются и начинают искать себе другие грузовики, что позволяет оперативно, гибко и

надежно перепланировать маршруты поездок. Результат считается достигнутым и система завершает свою работу в том случае, если ни у одного агента нет больше возможностей улучшить свое состояние.

Итак, решение задачи при данном подходе формируется эволюционным образом, т. е. при отработке каждого нового события, и потому является необратимым (для обратимости необходимо воспроизведение условий, при которых решение принималось). Формирующееся расписание рассматривается при этом не как статическая структура данных, полученная в результате однократного применения некоторого монолитного алгоритма и имеющая жестко фиксированные связи, а как неустойчивое динамическое равновесие, получаемое и поддерживаемое путем взаимодействия двух противоположных сущностей — потребностей и возможностей.

Следует отметить, что чем выше удовлетворенность потребностью или возможностью, тем сильнее связи между элементами расписания (порядок в системе) и тем труднее его будет изменить в будущем. И наоборот, чем менее удовлетворены агенты своими состояниями и чем активнее они продолжают искать альтернативные варианты, тем ближе система к состоянию хаоса и тем более гибко может перестраиваться расписание. Даже самый небольшой заказ при определенных условиях может повлечь за собой кардинальную структурную перестройку всего расписания, когда малые изменения на входе системы породят непредсказуемо большие изменения на выходе. Такие процессы самоорганизации дают возможность наблюдать ряд других феноменов сложных динамических систем, например осцилляции, катастрофы и пр. На рис. 2 представлены также и некоторые другие компоненты инструментальной системы, позволяющие обеспечить интеграцию с другими подсистемами, построить интерфейс пользователя, обеспечить визуализацию получаемых результатов.

Разработанный подход интегрирует многие современные идеи оптимального планирования, реализуемого в метаэвристиках, создавая среду конкурирующих и кооперирующих алгоритмов (агентов). Так, агенты могут запоминать и избегать плохих решений за счет использования своей памяти, информировать друг друга о промежуточных опциях, при близости опций принимать решения случайно, прекращать поиск при наличии ограничений по времени принятия решений и т. д.

За счет представления задачи в форме, близкой к естественной, логика принятия решений системы становится более прозрачной как для программистов, так и для операторов, что позволяет встраивать большее число эвристик без увеличения сложности кода, уменьшать общее время разработки системы, а также делать результаты системы доступными для понимания пользователя.

Результаты применения метода сопряженных взаимодействий. Применение предложенного метода сопряженных взаимодействий и разработанных мультиагентных инструментальных средств программирования позволило решить целый ряд сложных задач производственной и транспортной логистики. В ходе промышленного внедрения были экспериментально доказаны важные преимущества разработанных систем при решении задач распределения ресурсов в реальном времени [13–16].

Например, одной из крупнейших в мире компаний корпоративного такси «Аддисон Ли» (Лондон) [16] разработанная система позволила распределять и планировать примерно 13 тысяч заказов в день при наличии нескольких тысяч собственных машин (из них до 800 постоянно находится на линии), оснащенных средствами GPS-навигации. Компания обслуживает в основном заказы корпоративных клиентов, но и каждый желающий может заказать такси по телефону через центр приема заказов, в котором одновременно принимают звонки 130 операторов, или через систему приема заказов в сети Интернет.

Компания старается обеспечить индивидуальный подход к каждому клиенту, выделяя машины нужного класса или классом выше, с зарекомендовавшим себя водителем, с учетом требования подачи машин для инвалидов, для перевозки детей или животных, с прицепом, для курящих пассажиров и т. д.

При появлении нового заказа система автоматически находит наилучшую машину, получая сведения о координатах ближайших машин на электронной карте Лондона, и предварительно бронирует заказ. Если эта машина уже занята, то начинается цепочка переговоров, направленных на разрешение возникшего конфликта и достижение компромисса, что позволит перебросить старый заказ на другую машину, если это выгодно для всех. Но и после этого работа системы с новым заказом не останавливается. В среднем на подачу машины требуется около 15 мин. Примерно половину этого времени система продолжает непрерывно искать возможности для улучшения перевозки с учетом поступающих новых заказов и появляющихся новых ресурсов, не принимая окончательного решения до самого последнего момента, когда необходимо отправить машину уже с учетом времени нахождения в пути. За это время система может несколько десятков раз менять решение о распределении данного заказа по машинам. Когда необходимо отправлять машину для выполнения заказа, система принимает окончательное решение, посылает водителю сообщение с параметрами заказа и ждет подтверждения о приеме заказа. Водителю также показывается карта города с маршрутом подъезда к клиенту с учетом знаков дорожного движения, пропускной способности дороги в данное время и наличия пробок. При этом водители работают в компании сдельно (любое число дней и часов в неделю), арендуя машины у компании.

При включении наладонного компьютера информация о водителе появляется на радаре системы, что позволяет ей сразу реагировать на событие появления нового ресурса, подыскивать наилучший заказ в ближайшей окрестности, рассчитывать дистанцию по карте, строить расписание выполнения заказа, далее сопоставлять план и реальность, отслеживая возможные риски опоздания. Кроме того, эти устройства дают возможность интерактивно взаимодействовать с центром управления или другими водителями, получая и выбирая нужные опции, отмечая начало и завершение заказов, сообщая о непредвиденных событиях, запрашивая информацию о ближайших закусочных или заправочных станциях и т. п.

Важно отметить, что система в первую очередь пытается максимизировать прибыль компании. При этом также учитываются время подачи машины и ряд других критериев, важных для бизнеса. Выбирая одну из двух опций, примерно равных по прибыли, система отдает заказ тому водителю, который давно не получал заказов, тем самым обеспечивая относительно справедливое распределение заказов между водителями, работающими сдельно. Кроме того, когда водитель сообщает об окончании работы, система подбирает ему заказы по дороге домой, что повышает как прибыль компании, так и заработок водителей.

В результате внедрения разработанной системы 97 % всех заказов такси назначались автоматически (без участия диспетчеров); в 3,5 раза (до 2 %) снизилась доля заказов, выполненных не вовремя; на 22,5 % уменьшился холостой пробег такси, каждое такси выполняло по две дополнительные поездки в неделю при тех же затратах времени и горючего, что отразилось на повышении доходности от каждой машины на 5 %; заказ такси происходил на 40 % быстрее; время подготовки новых операторов снизилось в 4 раза; заработал новый веб-сайт, через который сейчас проходит уже около 16 % заказов компании.

Кроме того, разработанный подход был успешно апробирован при решении задач распределения и планирования таких различных ресурсов, как крупнотоннажные танкеры и грузовики, сдача машин в аренду, рекламные кампании в сети Интернет и ряда других [13, 14, 17, 18].

Заключение. Отличительной особенностью предложенного в данной работе метода сопряженных взаимодействий является возможность принятия решений в реальном времени, что достигается благодаря замене перебора вариантов решений, требующего больших вычислительных затрат, двусторонними переговорами, направленными на выявление конфликтов и достижение компромиссов между поступающими заказами и функционирующими ресурсами при построении сложных расписаний.

Эта особенность обеспечивает важные преимущества при решении сложных задач распределения ресурсов в реальном времени, что может быть актуально для систем корпоративного и государственного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Всемирная** энциклопедия: Философия. М.: АСТ, 2001.
2. **Виттих В. А., Скобелев П. О.** Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // *АиТ*. 2003. № 1. С. 177.
3. **Виттих В. А.** Целостность сложных систем // *Проблемы управления и моделирования в сложных системах*: Тр. IV Междунар. конф. Самара: СамНЦ РАН, 2002. С. 48.
4. **Скобелев П. О.** Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // *Автометрия*. 2002. № 6. С. 45.
5. **Андреев В., Виттих В., Батищев С. и др.** Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // *Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления*. 2003. № 1. С. 126.
6. **Rzevski G., Skobelev P., Andreev V.** MagentaToolkit: A set of multi-agent tools for developing adaptive real-time applications // *Proc. of 4th Intern. Conf. on Holonic Approach and Multi Agent Systems (HoloMAS 2007)*. Germany, 2007.
7. **Wooldridge M.** *An Introduction to Multiagent Systems*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 2002. P. 340.
8. **Городецкий В. И., Грушинский М. С., Хабалов А. В.** Многоагентные системы // *Новости искусств. интеллекта*. 1998. № 2. С. 64.
9. **Хорошевский В. Ф.** Методы и средства проектирования и реализации мультиагентных систем // *Матер. сем. «Проблемы искусственного интеллекта»*. М.: ИПУ РАН, 1999.
10. **Тарасов В. Б.** Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // *Новости искусств. интеллекта*. 1998. № 2. С. 5.
11. **Agent Technology: Computing as Interaction. A Roadmap for Agent-Based Computing** // <http://www.agentlink.org/roadmap/index.html>
12. **Andreev M., Rzevski G., Skobelev P. et al.** Adaptive planning for supply chain networks // *Proc. of 4th Intern. Conf. on Holonic Approach and Multi Agent Systems (HoloMAS 2007)*. Germany, 2007.
13. **Himoff J., Skobelev P., Wooldridge M.** Magenta technology: Multi-agent systems for ocean logistics // *Proc. of 4th Intern. Conf. on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS 2005)*. Holland, 2005.
14. **Himoff J., Rzevski G., Skobelev P.** Magenta technology: Multi-agent logistics i-scheduler for road transportation // *Proc. of 5th Intern. Conf. on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS 2006)*. Japan, 2006.
15. **Rzevski G., Himoff J., Skobelev P.** Magenta technology: A family of multi-agent intelligent schedulers // *Proc. of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications (SAISIA)*. Germany: Fraunhofer IITB, 2006.

-
16. **Addison Lee** is delighted to have won the “The Orange Best Use of Technology in Business Award”. South East of England Region // <http://www.addisonlee.com/>
 17. **Андреев В. В., Глащенко А. В., Иващенко А. В. и др.** Мультиагентные системы адаптивного планирования мобильных ресурсов // Тр. IV Междунар. конф. по проблемам управления (МКПУ-IV). Самара: ИПУ РАН, 2009. С. 1534.
 18. **Вольман С. И., Минаков И. А., Скобелев П. О., Якушин А. В.** Разработка мультиагентной системы поддержки принятия решений при оптимизации хода рекламных кампаний в сети Интернет // Там же. С. 1628.

Поступила в редакцию 24 сентября 2008 г.
