



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.94

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

¹ Бодренков Г. А., ^{1,2} Чернышёв С. А.

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Россия (191023, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21), e-mail: ¹ smart7even@yandex.ru, ² chernyshev.s.a@bk.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия (191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18), e-mail: chernyshev.s.a@bk.ru

В статье исследовано применение мультиагентных систем для задач распределения ресурсов. Рассмотрены основные аспекты структуры мультиагентных систем и реализации распределения ресурсов в различных сферах с помощью мультиагентных систем, проанализированы их ключевые особенности при выполнении подобных задач и доказана востребованность реализации распределения ресурсов при помощи МАС.

Ключевые слова: мультиагентные системы, распределение ресурсов, агент, ресурс.

APPLICATION ANALYSIS OF MULTIAGENT SYSTEMS FOR RESOURCE ALLOCATION TASKS

¹ Bodrenkov G. A., ^{1,2} Chernyshev S.A.

¹ Saint Petersburg state university of economics, Russian Federation, (191023, Saint-Petersburg, Sadovaya str. 21), e-mail: ¹ smart7even@yandex.ru, ² chernyshev.s.a@bk.ru.

² Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Russian Federation (191186, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str. 18), e-mail: chernyshev.s.a@bk.ru.

The article explores usage of multiagent systems for resource allocation tasks. Main aspects of multiagent systems' structure and implementations of resource allocation in different areas using multiagent systems were investigated, key features of multiagent systems in corresponding tasks are analyzed and demand for the implementation of resource allocation using MAS is proved.

Keywords: multiagent systems, resource allocation, agent, resource.

Введение

Мультиагентные системы – это системы, состоящие из множества взаимодействующих друг с другом вычислительных элементов, называемых агентами [1]. Такие системы в настоящий момент набирают все большую популярность в различных сферах деятельности, от тяжелого машиностроения до обработки заказов, за счёт сокращения времени работы программы и возможности её упрощения. Рассматривая задачи распределения ресурсов в

различных сферах деятельности, невольно видна параллель между основным принципом мультиагентных систем и поставленной задачей распределения ресурсов, поэтому логично предположить, что такие системы будут подходить для её решения.

Структура мультиагентных систем.

Прежде чем посмотреть на применение мультиагентных систем для распределения ресурсов, стоит более подробно разобраться в их структуре. Основной ее элемент – агент. Агентом называют компьютерную систему, находящуюся в некоторой среде и способную к автономной работе в этой среде для достижения поставленных целей [2]. На рисунке 1 представлена схема взаимодействия агента с его средой. Агент берет сенсорные данные от среды, а затем действует в зависимости от них. Это взаимодействие обычно довольно длительное и непрерывающееся. В большинстве случаев агент не имеет контроля над средой и в лучшем случае может частично ею управлять, влияя на неё своими действиями.

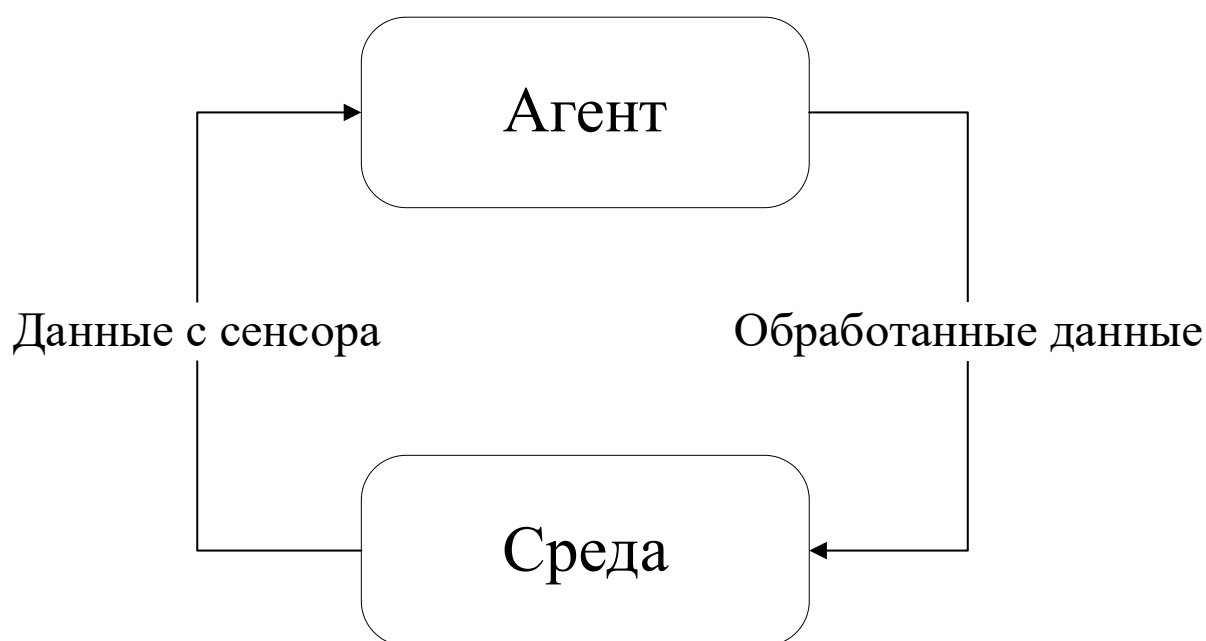


Рисунок 1 – Агент в своей среде

Говоря о разработке систем с хотя бы одним агентом, основной проблемой является его ход действий – выбор того, что ему нужно сделать в зависимости от данных из среды. Существуют две агентных архитектуры:

- операционная, где агенты и мультиагентные системы – системы со своей конкретной характеристиками, структурой и поведением;
- базирующаяся на системных уровнях агенты и мультиагентные системы являются элементами находятся на отдельных уровнях [3].

Этим архитектурам соответствуют различные методологии их построения, предлагающие реализацию рационального принятия решений, такие как MAS-CommonKADS, MaSE, Adelfe, Zeus, INGENIAS и т. д. [4]. Данные архитектуры предполагают то, что агент является «разумным», то есть обладает следующими свойствами [1]:

- реактивность – способность воспринимать свою среду и своевременно отвечать на её изменения в соответствии с заданной целью;

- инициативность – способность к достижению заданной цели путем проявления инициативы;
- социальность – способность к взаимодействию с другими агентами и человеком для достижения заданной цели.

Общая математическая модель реализации задачи распределения ресурсов мультиагентной системой

Разобрав структуру и работу мультиагентных систем, можно перейти к общему принципу реализации задачи распределения ресурсов с их помощью. Для этого необходимо постановка конкретной задачи – задачи о распределении ресурсов между заказами для получения максимальной прибыли. По [5], в общем виде её можно представить следующим образом. Пусть есть n заказов и m типов ресурсов. Обозначим r_j — объем j -го ресурса ($j = 1, 2, \dots, m$). Будем считать, что для каждого заказа i ($i = 1, 2, \dots, n$), задана функция $c_i: R_+^m \rightarrow R$, задающая возможную прибыль при использовании $x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m}$ ресурсов соответствующего типа. Тогда задача распределения ресурсов сводится к нахождению матрицы ресурсов $X \in R^{nm}$, которая максимизирует функционал

$$C(X) = \sum_{i=1}^n c_i(x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m}) \rightarrow \max$$

при условии выполнения ограничений на общее количество ресурсов

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} \leq r_j, j = 1, 2, \dots, m,$$

и их неотрицательности

$$x_{i,j} \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m.$$

Для решения этой задачи при помощи мультиагентных системах надо учитывать их децентрализованность: не каждый агент такой системы может взаимодействовать с другими. Следовательно, не каждому заказу может быть доступен каждый из ресурсов, что по [5] задается следующим ограничением: пусть $D \in M(n, m)$ — матрица смежности графа связей, $D_{ij} \in \{0, 1\}$, тогда к ограничениям добавляется

$$x_{i,j} \leq D_{ij}r_j$$

и решением задачи будет являться нахождение максимума функционала

$$C(X) \rightarrow \max, C: R^n \rightarrow R.$$

Далее будут рассмотрены примеры реализации решения задачи распределения ресурсов в различных сферах деятельности.

Распределение производственных ресурсов на предприятии тяжелого машиностроения с помощью МАС «Оптимизатор».

Современное предприятие тяжелого машиностроения является сложным в управлении, ибо необходимо обеспечить требуемого уровня качества как выпускаемой продукции, так и производства в целом, постоянно совершенствуя производство различными средствами. Решение такой задачи может быть мультиагентными.

Для начала следует выделить особенности задачи планирования такого производства [6]:

- сложная структура графиков (множество этапов связаны между собой и должны/могут выполняться параллельно, а также возможное наличие нескольких начал и концов);
- наличие особенного графика работы для каждого ресурса;
- у каждого этапа есть предпочтительный ресурс, в качестве которого используется конкретный рабочий центр;
- при планировании необходимо учитывать загрузку каждого ресурса;
- некоторые этапы не требуют ресурсов (загрузка равна нулю);
- перераспределение этапов может быть как разрешено, так и запрещено.

Такие особенности способна учесть мультиагентная система «Оптимизатор». Эта МАС работает по следующему принципу: всем рабочим центрам (ресурсам) и графикам/этапам (заказам) ставятся в соответствие агенты, действующие в интересах этих заказов и ресурсов. В ходе взаимодействия агентов с ресурсами и другими агентами строится сбалансированный по многим критериям план производства с учетом всех ограничений и предпочтений.

Архитектура данной системы состоит из следующих компонентов:

- модуль Engine, в котором находятся агенты Agents, их свормы (группы, в которых они работают) Swarms, активности (логика и взаимодействия агентов) Activities, события (конкретные действия агентов) Events и средства коммуникации Messaging;
- модуль Domain, который отвечает за связь с другими элементами информационного пространства производства (экспорт результатов работы, загрузка данных в систему и т. д.);
- модуль Scheduler, который реализует логику планирования (изменение времени выполнения этапов, добавление новых, проактивность агентов (возможность принимать решения по планированию самостоятельно, например, передвинуться на более раннее время или ближе к завершению процесса) автоматическое тестирование плана и т. д.);
- модуль Integration, который физически реализует планирование (веб-сервисы, визуальные компоненты, диаграмма Гантта и т. д.);
- модуль визуализации плана в виде линейного графика единого процесса.

Алгоритм выполнения задачи планирования может быть следующим:

- при поступлении заказа создается событие на его планирование и заказ передается агенту;
- агент, получив описание этапов выполнения заказа, создает новых агентов для каждого из этапов;
- агент заказа отправляет последнему агенту этапа сообщение о начале планирования;
- агент этапа, получив сообщение, отправляет агенту соответствующего ресурса запрос на использование ресурсов;
- агент ресурса проверяет свои предпочтения и возможности, и действует в соответствии с ними: если они позволяют, то агент ресурса отправляет сообщение агенту этапа о том, что ресурсами можно воспользоваться, а если не позволяют, то отправляет сообщение с контрпредложением;
- в случае успеха агента этапа сообщает агенту заказа о успешном планировании;
- агент заказа определяет следующий этап по ранее сформированному плану и алгоритм повторяется;

- после формирования всех этапов их агенты могут проактивно улучшить свое состояние по своим предпочтениям.

Распределение трудовых ресурсов в проекте

Современные системы управления трудовыми ресурсами поддерживают функцию распределения трудовых ресурсов с позиции их загруженности, но выбор, кому из работников дать определенное поручение в большинстве случаев стоит за менеджером проекта, что порой бывает ненадежно, особенно если менеджер неопытен. Поэтому нужно улучшить систему управления трудовыми ресурсами с учетом последовательности выполнения работы, характеристиками работника и его нагрузкой при помощи внедрения мультиагентных систем [7].

Суть работы мультиагентной системы заключается в следующем: все задачи и сотрудники представляются отдельными агентами, а для обеспечения их взаимодействия определяются целевые функции, последовательность переговоров и тип взаимодействий. Также мультиагентное решение включает в себя:

- метод распределения трудовых ресурсов, который разрешает распределять ресурсы соответственно сетевому графику и одновременно учитывать пси-характеристики труда работника, такие как быстродействие, уровень знаний, ответственность, надежность и его нагрузку, за счет чего повышается оптимальность распределения трудовых ресурсов и точность оценивания эффективности работы работника;
- математическую модель взаимодействия агентов системы, которая разрешает прогнозировать следствия действия на общее распределение ресурсов;
- математическую модель системы управления и контроля за распределением трудовых ресурсов, которая разрешает учесть особенности трудовых ресурсов и дает возможность автоматизировать процесс контроля и распределения трудовых ресурсов.

С описанием математической модели данной МАС можно ознакомиться в [7].

Smart Grid (умные сети электроснабжения).

С растущей интеграцией распределенных энергетических ресурсов в энергосистему, децентрализованный подход к её реализации становится необходим для планирования и распределения ресурсов в умных сетях электроснабжения Smart Grid [8]. К таким ресурсам можно отнести маломасштабные ресурсы спроса или предложения электроэнергии, взаимосвязанные с электрической сетью и обычно расположенные рядом с центрами нагрузки системы.

Экономичное распределение нагрузки и обязательства агрегата являются двумя основными проблемами распределения ресурсов, которые играют решающую роль в безопасной и стабильной работе данной системы. Неопределенность, связанная с возобновляемыми источниками энергии, еще больше усложнила задачу распределения ресурсов для операторов сети. Сеть будущего будет иметь инновационное сочетание возобновляемых источников энергии и большую нагрузку на электрические транспортные средства с возможностью двунаправленного потока энергии. Эта сложная интеллектуальная сетевая система требует разработки децентрализованного подхода к проблеме распределения ресурсов, который позволяет осуществлять межузловую связь и соответствующее принятие

решений, что позволяют реализовать распределенные мультиагентные системы.

В целом, реализация МАС в системе умной сети электроснабжения Smart Grid представляет собой интеграцию физической сети с коммуникационным уровнем, где агенты действуют как интерфейс. Коммуникационный уровень представляет собой сильно связанную сеть с различными настраиваемыми топологиями. Агенты делятся на 3 блока:

- блок устройства;
- блок принятия решений;
- блок связи.

Блок устройства можно рассматривать как физическую шину энергосистемы с такими компонентами, как синхронные генераторы, возобновляемые генераторы, гибкая нагрузка и жесткая нагрузка. Блок принятия решений выполняет локальные вычисления для агентов, а блок связи является коммуникационным узлом, который передает и получает информацию. Внутренняя структура агента состоит из трех блоков:

- коммуникационный блок;
- блок принятия решений;
- блок устройства.

Коммуникационный блок является приемником/передатчиком сигналов, используемых для обмена информацией с соседями. Калькулятор, датчики и контроллеры являются частью блока принятия решений, который отвечает за локальные вычисления в агенте. Блок принятия решений является мозгом узла агента и способен давать инструкции для блока устройства, а также он отвечает за передачу информации в блок коммуникаций. Блок устройства представляет собой традиционную шину в сети, состоящую из различных элементов, таких как синхронные генераторы, возобновляемые генераторы, аккумуляторные накопительные системы, гибкие и жесткие нагрузки. Блок устройства выполняет указания блока принятия решений, а также отправляет ему обратную связь.

Существует множество инструментов моделирования и инструментов с открытым ресурсным кодом для моделирования таких мультиагентных систем. Например, ZEUS, AgentBuilder, JADE, MADKit и т. д.

Вычислительные центры коллективного пользования

Широкое распространение в решении прикладных задач приобрели сегодня высокопроизводительные вычислительные центры коллективного пользования (ВЦКП) – объединенные вычислительные среды, предназначенные для обслуживания ресурсных запросов пользователей, состоящие из разнородных вычислительных систем (ВС), администрируемых независимо друг от друга и предоставляющих неотчуждаемые ресурсы для общего пользования [9]. К ним предъявляется множество требований по обеспечению качества обслуживания – загруженности, гарантированному времени выполнения поступающих ресурсных запросов, отказоустойчивости и эффективности работы. Учитывая тот факт, что ресурсы ВЦКП автономны (они обслуживаются владельцами, имеющими право реализовывать независимый доступ к ним) и используются в коллективном режиме, а состав ресурсов, пользователей и их заданий динамично меняется, встает вопрос о реализации распределенной системы управления потоком заданий для ВЦКП, чем и являются мультиагентные системы.

Модель ЦКП включает в себя программные агенты, реализующие модели внешних

источников задач, распределителя заданий, сбора и анализа статистики, вычислительных систем.

Модель внешней среды источников заданий представлена однотипными программными агентами, имитирующими пользователей, отправляющих задания на ЦКП. Для использования модели в системе управления реального ЦКП поток заданий меняется с моделируемого на реальный.

Распределитель заданий представлен агентом коммутатором ЦКП, который выполняет распределение поступивших заданий на отдельные вычислительные системы (кластеры) ЦКП. Агент коммутатор ЦКП периодически получает сообщения от кластеров о состоянии их очереди заданий. При поступлении пользовательского задания агент коммутатор отправляет агенту сбора и анализа статистики информацию о характеристиках задания и пользователе. В ответ он получает средние значения зафиксированных характеристик решенных заданий для данного пользователя и имени ВС, на которых они чаще решались – основная и альтернативная. Оценивая информацию об этих ВС, коммутатор передает задания наиболее подходящей.

Модель отдельных кластеров ЦКП состоит из агентов следующих типов:

- агента коллектора ВС;
- агента контроллера работающего домена ВС;
- агента контроллера домена свободных вычислительных узлов (ВУ);
- агента контроллера резервного домена;
- агента ВУ.

Агент ВУ постоянно собирает информацию о нагрузке ВУ и состоянии линий связи, ведет постоянное наблюдение за ходом выполнения задания на ВУ, регистрируя интенсивность обмена между ветвями параллельной программы, частоту появления тех или иных событий, изменения переменных и т. п. На основании этой информации ведется контроль тенденции изменения параметров ВУ и хода решения задачи и принимается решение о необходимости перераспределения нагрузки или освобождения данного узла.

Получая задание, агент контроллер работающего домена принимает список ВУ для счета и ссылки, помеченные как перспективные. В процессе работы этот агент ведет контроль за исполнением задания. При необходимости перераспределения нагрузки или увеличения ресурсов целевой узел отыскивается из числа ресурсов данной области. Если таковых нет, то взаимодействуя с контроллерами доменов, в которых находятся помеченные как перспективные ВУ, домена свободных ВУ и резервного домена, узнает адрес узла, способного принять дополнительную нагрузку.

Агент контроллер домена свободных ВУ получает сведения от всех ВУ домена об их состоянии. При получении задания производит поиск по иерархическому дереву коммуникационных связей нужного количество ВУ. Также производится поиск ВУ, которые подходят для решения задания, но пока не могут принять участие в вычислениях. После чего передает контроллеру работающего домена полученный список ВУ и само задание. При необходимости выделяет дополнительные ВУ по запросам контроллеров доменов.

Агент контроллер резервного домена содержит адреса вычислительных узлов, отправленных в резерв. Также в этом агенте по запросам от агентов-контроллеров работающих доменов происходит поиск подходящих ВУ, способных удовлетворить их ресурсные требования.

Агент коллектор ВС принимает информацию от контроллеров доменов о получении задания и о завершении выполнения задания. При получении задания агент коллектор просматривает реализующуюся в данный момент очередь заданий. Если не удастся включить задание в эту очередь, оно отправляется ожидать формирования новой очереди. При получении сигнала о завершении задания с помощью все того же алгоритма оценивается возможность занять освободившиеся ресурсы заданием из текущей очереди или из ожидающих заданий. Когда текущая очередь подходит к концу, начинается формирование следующей очереди с помощью генетического алгоритма.

Генезис Знаний

Генезис Знаний – группа компаний, занимающихся разработкой мультиагентных решений задач распределения ресурсов на предприятиях в реальном времени [10]. Одним из таких программных продуктов является Smart Supply Networks – интеллектуальная система управления сетями поставок.

Главной целью данной системы является решение задачи планирования работы системы снабжения [11]. Она состоит в сбалансированном повышении заданных показателей качества построенного плана в условиях постоянных быстрых изменений. В результате планирования должны быть получены:

- перечень операций по перемещению продукции (количество, продукт, время отправки и прибытия, узел отправки и прибытия), необходимых для выполнения заданных операций;
- перечень операций по производству продукции (количество потребляемого продукта, количество производимого продукта, время начала и окончания, узел сети), необходимых для выполнения заданных операций;
- график потребления продукции по заказам или по прогнозу спроса с учетом допустимых отклонений по времени и наличия продукции по плану снабжения.

Данная МАС реализует следующие основные блоки функций (рисунки 1, 2):

- управление контекстами данных (сетями и их версиями), пользователями и правами доступа пользователей к управляемым сетям;
- интерактивное редактирование структуры сети снабжения – узлов (поставщиков, производственных центров, мест хранения и распределения, мест реализации продукции), каналов поставки между узлами и их параметров (длительности и себестоимости поставки по каналу, емкость складов, стоимость хранения);
- редактирование перечня продукции и технологических процессов производства (требуемых материалов, промежуточных результатов, готовой продукции, отходов производства, длительности и себестоимости производственных операций, требуемых производственных линий);
- редактирование текущих остатков продукции в сети на различных узлах;
- редактирование фиксированных и утвержденных производственных операций;
- редактирование фиксированных и утвержденных транспортных операций;
- редактирование заказов на поставку продукции или прогноза спроса на продукцию по узлам сети;
- динамическое адаптивное планирование снабжения (обеспечения заказов, спроса и выполнения фиксированных операций в сети) путем построения оптимизированных

- по показателям эффективности планов закупки, хранения, производства и перемещения продукции в сети с учетом заданных ограничений;
- просмотр и анализ результатов планирования, достигнутых показателей эффективности, отклонений полученного плана от предпочтений, микроэкономики выполнения заказов;
 - ручная интерактивная корректировка построенных системой планов (фиксация отдельных частей плана, ввод управляющих ограничений на производство и перемещения по отдельным каналам и участкам сети) с автоматической адаптацией плана под внесенные изменения;
 - отслеживание выполнения построенных планов, ввод данных по фактическому началу и окончанию операций, фиксация отклонений от плана и перепланирование в реальном времени с учетом отклонений и минимизацией потерь эффективности.
 - Архитектура данной МАС состоит из трех слоев:
 - слой данных, обеспечивающий постоянное надежное хранение данных, не зависящее от функционирования остальных частей системы;
 - средний слой, включающий подсистемы, обеспечивающие выполнение бизнес-логики в процессе использования системы, модуль планирования, функции интеграции с внешними системами, разделение прав доступа, другие серверные функции;
 - слой визуализации и взаимодействия с пользователями, включающий подсистемы, обеспечивающие интерактивную работу системы с пользователями на различных устройствах, ввод, редактирование и визуализацию данных, результатов планирования и анализа.

В основе взаимодействия агентов лежит принцип локального построения планов. Перепланирование (как, в целом, и начало планирования) начинается с получения события агентом узла и передачи управления агентами потребностей, которые затронуты поступившим событием. Их основная цель – найти наиболее выгодный вариант планирования при сложившихся условиях. Агенты потребностей пытаются удовлетвориться за счет возможностей, доступных на их узле, взаимодействуя с агентами хранилища, сформированными перевозками, и агентами входящих каналов, формирующими входящие перевозки. После построения локального варианта плана управление передается агенту узла, который координирует подпотребности, возникшие в результате локального планирования, с агентами других узлов, которые должны отправить продукцию по каналу. Затронутые узлы формируют своих агентов подпотребностей и тоже запускают локальное планирование.

Яндекс Маршрутизация

Яндекс Маршрутизация – сервис, основанный на мультиагентных системах, позволяющий решать логистические задачи распределения ресурсов [12]. Он помогает распределять заказы и составлять маршруты перевозки с учётом различных факторов, таких как пробки, интервалы доставки, весогабаритные характеристики автомобилей и т. д. В нее входит два продукта: автоматическое планирование доставки и мониторинг выполнения заказов. Планирование доставки работает следующим образом [13]:

- логист передает программе данные о машинах/курьерах, заказах и складе в Excel или в запросе к программному интерфейсу приложения (API);

- алгоритм формирует стоимость решения из стоимости используемых транспортных средств, которая высчитывается двумя способами:
 - 1) по типовой формуле, которую предоставляет сервис. Для большинства ситуаций эта формула отражает структуру реальных затрат на маршрут: есть какая-то фиксированная стоимость использования машины (стоимость ее использования и выполнения одного рейса) и есть переменная составляющая, которая зависит от пробега/времени/количества заказов/веса груза. На практике чаще всего используются фиксированная стоимость использования машины, стоимость за километр пробега и стоимость за час работы, они и содержат определенные значения по умолчанию. Стоимость за тонно-километр транспортной работы используется для сокращения пробега с тяжелыми грузами. Он учитывается при расчете суммарной стоимости транспортной работы;
 - 2) по формуле, которая задана для конкретного транспортного средства пользователем программного продукта;
- алгоритм формирует стоимость штрафов. Они могут быть различны, от штрафа за недоставку заказа до недостаточной сгруппированности маршрута. Значения штрафов по умолчанию позволяют получить хорошие результаты, но для наилучших результатов стоит поменять их под конкретную ситуацию;
- программа минимизирует значение, сложенное из стоимости решения и стоимости штрафов.
- Данный алгоритм отличается некоторыми особенностями, такими как:
 - вероятностный подход к решению задачи. На практике это означает, что на одном и том же наборе исходных данных результат планирования может быть различным, но итоговое значение стоимости решения будет отличаться от других возможных незначительно;
 - наличие жестких и мягких ограничений;
 - предсказуемое время работы алгоритма.

Вывод

В данной статье рассмотрено применение мультиагентных систем в решении задач распределения ресурсов. МАС продолжают показывать свою эффективность в данной сфере и в смежных с ней задачах вроде мониторинга работы и планирования дальнейших действий. К тому же с учетом постоянного возрастания сложности производства на предприятиях, мультиагентные системы будут становиться только более востребованными, что делает их наиболее подходящим решением задачи как распределения ресурсов, так и смежных с ней сфер.

Список литературы

1. M. Wooldridge. An Introduction to Multiagent Systems. – Wiley Publishing, 2009. – pp. 19-28.
2. G. Weiss. Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. – The MIT Press, 2000. – pp. 27-30.
3. M. Oprea. Applications of Multi-Agent Systems // Conference paper of the IFIP International Federation for Information Processing book series (IFIPAICT, volume 157), Boston, 2004. –

- pp. 244-246.
4. Jorge J. Gómez-Sanz, Juan Pavón. Methodologies for Developing Multi-Agent Systems // Journal of Universal Computer Science, Graz University of Technology, Austria, 2004. – pp. 370-371.
 5. Н. В. Мальковский, О. Н. Граничин, К. С. Амелин. Распределение ресурсов в контексте мультиагентных систем // XII Всероссийское совещание по проблемам управления, Москва, 2014. – с. 9004-9010.
 6. М. В. Андреев, А. В. Иващенко, П. О. Скобелев. Мультиагентная система распределения производственных ресурсов в тяжелом машиностроении // Журнал «Программные продукты и системы», 2010. – с. 101-102.
 7. Е. А. Зинец. Метод и средства создания мультиагентной системы управления и контроля за распределением трудовых ресурсов // Журнал «Научные труды Винницкого национального технического университета», 2009. – с. 1-6.
 8. A. S. Nair T. H. Mitch C. D. Flora S. N. Goveas N. Kaabouch P. Ranganathan Multi-Agent Systems for Resource Allocation and Scheduling in a Smart Grid // Journal «Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy», Singapore, 2018. – pp. 2-4.
 9. Д. В. Винс. Мультиагентная модель системы оперативного управления распределением ресурсов для ВЦКП // Труды конф. молодых ученых. Новосибирск, 2013. – с. 41-44.
 10. Генезис Знаний Цели и задачи [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kg.ru/company/about/> (дата обращения 5.05.2022 г)
 11. А. В. Царев. Развитие MAC Smart Supply Networks для учета особенностей производственно-транспортной логистики и возможности управления крупными сетями снабжения с обработкой данных большой размерности // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 2016. – с. 223-236.
 12. Яндекс.Маршрутизация: сервис автоматического планирования маршрутов [Электронный ресурс]. URL : <https://yandex.ru/routing/vrp> (дата обращения 5.05.2022 г)
 13. Начало работы с Яндекс.Маршрутизацией [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/routing/doc/vrp/> (дата обращения 5.05.2022 г)

References

1. M. Wooldridge. An Introduction to Multiagent Systems. – Wiley Publishing, 2009. – pp. 19-28.
2. G. Weiss. Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. – The MIT Press, 2000. – pp. 27-30.
3. M. Oprea. Applications of Multi-Agent Systems // Conference paper of the IFIP International Federation for Information Processing book series (IFIPAICT, volume 157), Boston, 2004. – pp. 244-246.
4. Jorge J. Gómez-Sanz, Juan Pavón. Methodologies for Developing Multi-Agent Systems // Journal of Universal Computer Science, Graz University of Technology, Austria, 2004. – pp. 370-371.
5. N. V. Malkovskiy, O. N. Granichin, K. S. Amelin. Resource allocation in context of multiagent systems // XII All-Russian conference on management problems, Moscow, 2014. – pp. 9004-9010.
6. M. V. Andreev, A. V. Ivaschenko, P. O. Skobelev. Multiagent system for production resources allocation in heavy engineering // Journal «Software and systems», 2010. – pp. 101-102.

7. E. A. Zinec. Method and means of creating a multiagent system for managing and controlling labor resource allocation // Journal «Scientific works of Vinnitsa National Technical University», 2009. – pp. 1-6.
 8. A. S. Nair T. H. Mitch C. D. Flora S. N. Goveas N. Kaabouch P. Ranganathan Multi-Agent Systems for Resource Allocation and Scheduling in a Smart Grid // Journal «Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy», Singapore, 2018. – pp. 2-4.
 9. D. V. Vins. Multiagent model of the system for operational management of resource allocation on public computing centers // Scientific papers of the conf. of young scientists. Novosibirsk, 2013. – pp. 41-44.
 10. Genesis of Knowledge Goals and tasks [Electronic resource]. Available at: <http://www.kg.ru/company/about/> (date accessed: 5.05.2022)
 11. Carev A. V. Development of MAS Smart Supply Networks for accounting peculiarities of production and transport logistics and possibility of managing large networks of supply with big data processing // Scientific papers of XVIII International conference «Problems of management and modelling in complex systems», Samara, 2016. – pp. 223-236.
 12. Yandex.Routing: service of automatic route planning [Electronic resource]. Available at: <https://yandex.ru/routing/vrp> (date accessed: 5.05.2022)
 13. Get started with Yandex.Routing [Electronic resource]. Available at: <https://yandex.ru/routing/doc/vrp/> (date accessed: 5.05.2022)
-