

УДК 519.712

ББК 32.811.7

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ

Граничина Н. О.¹

(Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург)

Описывается сетевая математическая модель мультиагентной системы для распределения заказов. Приводится пример для небольшой компании, занимающейся пассажирскими перевозками.

Ключевые слова: мультиагентная система, мультиагентное управление, план перевозки, оптимальный план перевозки.

1. Введение

Открытый характер современного информационного общества и глобальной рыночной экономики приводит к ускорению научно-технического прогресса и обострению конкуренции на рынках. Это заставляет предприятия искать новые методы и средства организации и управления, направленные на более качественное и эффективное удовлетворение индивидуальных запросов потребителей. Большинство современных систем характеризуются отсутствием средств своевременной идентификации новых потребностей и возможностей в среде, позволяющих предприятию оперативно принимать эффективные решения по реконфигурации производственных, кадровых, финансовых и других ресурсов. Типичными примерами событий, вызывающих необходимость заново идентифицировать

¹ Граничина Наталья Олеговна, аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет, (ngranichina@mail.ru).

потребности и возможности, являются: появление нового выгодного заказа, для исполнения которого недостаточно собственных ресурсов предприятия, выход из строя части имеющихся ресурсов, а также изменение критериев принятия решений. Чем выше неопределенность, чем более распределенный характер имеют процессы принятия решения и чем чаще случаются незапланированные события, тем ниже эффективность существующих систем, не способных самостоятельно принимать решения и автоматически перестраиваться под изменения в среде [3].

Для решения подобных проблем применяются мультиагентные технологии, в основе которых лежит понятие «агента». Характерными особенностями агентов являются [2]:

- коллегальность, т. е. способность к коллективному целенаправленному поведению в интересах решения общей задачи;
- автономность, т. е. способность самостоятельно решать локальные задачи;
- активность, т. е. способность к активным действиям ради достижения общих и локальных целей;
- информационная и двигательная мобильность, т. е. способность активно перемещаться и целенаправленно искать и находить информацию, энергию и объекты, необходимые для кооперативного решения общей задачи;
- адаптивность, т. е. способность автоматически приспосабливаться к неопределённым условиям в динамической среде.

Эти возможности кардинально отличают мультиагентные системы (МАС) от существующих «жестко» организованных систем.

Применение мультиагентных инструментальных средств позволяет решить ряд сложных задач производственной и транспортной логистики. Примером такого использования служит система, которая была разработана для одной из крупнейших в мире компаний корпоративного такси *Addison Lee* (Лондон). Система позволила распределять и планировать примерно 13 тысяч заказов в день при наличии нескольких

тысяч собственных машин (из них до 800 постоянно на линии), оснащенных средствами *GPS*-навигации. 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 была уже занята, то начинается цепочка переговоров, направленная на разрешении 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 минут, при этом примерно половину этого времени система продолжает непрерывно искать возможности для улучшения перевозки с учетом поступающих заказов и появляющихся новых ресурсов и не принимает окончательного решения до момента, когда необходимо отправлять машину с учетом времени пути проезда до заказа. Когда уже пора отправлять автомобиль на заказ, система принимает окончательное решение, посылает водителю сообщение о параметрах заказа и ждет подтверждения о приеме заказа [1].

Внедрение такой системы дало возможность роста компании за счет повышения управляемости. Существенно увеличилась эффективность автопарка (10–15%) благодаря оптимальному распределению заказов за счет минимизации «холодного» пробега и времени простоя автомобилей. Также сократилось количество опозданий и время обслуживания заявок.

Но при всем многообразии реализаций МАС до сих пор недостаточно методологически разработаны математические модели и алгоритмы взаимодействия агентов, позволяющие вскрыть и проанализировать присущие им возможности к адаптации и самоорганизации. В статье будет обсуждаться построение соответствующих сетевых математических моделей и алгоритмов управления в МАС, а также приведен пример такой математической модели, что позволит формализовать новые

взгляды на процесс обработки заказов в небольшой компании, занимающейся пассажирскими перевозками.

2. Математическая модель

Система. Будем рассматривать абстрактную открытую систему, состоящую из n взаимодействующих агентов a_1, a_2, \dots, a_n , обрабатывающую поступающие в нее абстрактные заказы и выдающую результаты их обработки (рис. 1). Агенты взаимодействуют между собой в соответствии с графом потенциальных сетевых взаимодействий.

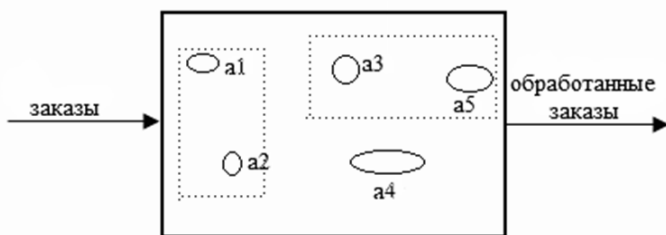


Рис. 1. Мультиагентная система обработки заказов

Структура системы может меняться в процессе функционирования. Для примера в дальнейшем будет рассматриваться система организации перевозок пассажиров и грузов.

Агент – разумная сущность, наблюдающая за окружающей средой и действующая в ней, при этом его поведение рационально в том смысле, что он способен к пониманию, и его действия всегда направлены на достижение какой-либо цели [6]. В рассматриваемом ниже примере агентами будут являться водители автомобилей такси, диспетчеры, руководители фирм и подразделений.

Каждому агенту соответствуют такие ментальные категории как убеждения, желания и намерения (*beliefs, desires and intentions* – *BDI*) [7]:

- убеждения – представления о текущем состоянии среды;

- желания – состояния среды, в которые агент стремится среду перевести;

- намерения – множество избранных, совместимых и достижимых желаний.

Разделение намерений и желаний необходимо, так как агент может иметь несовместимые желания или желания могут быть недостижимы. Поскольку агент ограничен в ресурсах и не может достичь всех желаний одновременно, естественно выбирать наиболее значимые цели – намерения.

Обозначим $A = \{a_i\}_{i=1}^n$ – множество всех агентов.

Можно выделить три аспекта, характеризующие агентов: они содержат знания, они ощущают окружающую среду, они выполняют действия.

Обозначим $R = \{r_i\}_{i=1}^q$ – множество всевозможных различных навыков, присущих агентам из множества A (ресурсы).

Для каждого агента зададим функцию $ir_a(a): A \rightarrow 2^q$, которая определяет граф сетевых связей агентов с ресурсами. Учет этих, заранее заданных связей позволит сократить объем вычислений при численном решении класса поставленных задач.

Будем рассматривать функционирование системы на некотором интервале времени $[0, T]$. Физическая реализуемость агентов накладывает естественные ограничения сверху на возможный объем задействованных в конкретный момент времени $t \in [0, T]$, ресурсов:

$$(1) \quad x_i(t) \leq V_i(a),$$

где $x_i(t)$ – задействованный в момент времени t объем i -го ресурса, $V_i(t)$ – максимальный объем i -го ресурса для агента a (например, максимальное количество людей, которое может перевезти автомобиль).

Использование ресурсов естественно приводит к затратам, определяемым продолжительностью и объемом задействованного ресурса. Для каждого из ресурсов $\forall i \in ir_a(a)$ про-

изведенные на интервале времени $[0, T]$ затраты естественно определять функционалом

$$(2) \quad L_i(a) = \int_0^T l_i(x_i(t), a) dt,$$

где l_i – некоторая функция, определяемая типом ресурса t , в типичных случаях $l_i = 0$ при $x = 0$ и $l_i = 1$ или $l_i = x$ в остальных случаях.

Желания и намерения обычно формулируются математически в виде задач оптимизации тех или иных функционалов качества или достижения каких-либо заданных множеств. Желания и намерения могут быть как у отдельных агентов, так и у групп агентов или общие у системы.

Заказы. В систему поступает множество заказов разных типов. Обозначим $z = \{z_i\}_{i=1}^m$ – множество всевозможных типов заказов.

Предположение. Будем считать, что для $\forall z \in Z$ существует агент или группа агентов, которые в совокупности обладают объемом ресурсов, необходимым для его выполнения.

Пусть функция $ir_z Z: Z \rightarrow 2^q$ определяет набор ресурсов, который необходим для выполнения заказа z и $\{v_i(z), d_i(z) : i \in ir_z(z)\}$ – набор объемов ресурсов и длительностей их задействования при выполнении единичного объема заказа. Каждый заказ характеризуется временем поступления заказа, максимально допустимым временем выполнения, объемом и максимальным временем на обработку заказов:

$z = z(t_{call}, t_{max}, V, t_{find})$, где t_{call} – время поступления заказа, t_{max} – максимальное время выполнения заказа в системе, V – объем заказа, t_{find} – максимальное время на обработку заказа.

Объем заказа определяется по формуле:

$$(3) \quad V = \sum_{i \in ir_z(z)} v_i(z) d_i(z).$$

Каждому заказу соответствует определенная группа агентов, которая может его выполнять. Таким образом накладывается следующее ограничение:

$$(4) \quad \forall a \in A \quad \sum_{i \in ir_z(z)} x_i V_i(a) \geq V_{\min},$$

где V_{\min} – минимальный объем ресурсов, необходимый для выполнения заказа z , а x_i – объем i -го ресурса.

За выполнение каждого типового заказа определены тарифы. Считаем, что размер оплаты клиентом заказа прямо пропорционален тарифу и объему. Обозначим S_i – сумма оплаты i -го заказа.

У каждого агента есть свои функции стоимости за пользование тем или иным ресурсом, а у каждого заказа есть своя максимальная стоимость. Также определяется стоимость взаимодействия агентов между собой.

3. Постановка задачи

В такой системе можно рассматривать несколько задач [4]:

- Нахождение допустимого плана перевозки.
- Нахождение оптимального плана перевозки (задача линейного программирования). Нужно составить план перевозок, при котором прибыль максимальна:

$$(5) \quad f = \sum_{i=1}^m S_i - \sum_{a \in A} \sum_{i \in ir_a(a)} L_i(a) \rightarrow \max.$$

Обычно решение задач оптимального управления трудно вычисляемо и часто бывает неустойчивым. На практике достаточно ставить задачу о почти оптимальном управлении и даже лучше о достижении заданного уровня рентабельности.

Обозначим:

$$(6) \quad C := \sum_{i=1}^m S_i,$$

$$(7) \quad D := \sum_{a \in A} \sum_{i \in ir_a(a)} L_i(a).$$

- Достижение заданного уровня рентабельности. Уровень рентабельности определяется отношением доходов к затратам.

$$(8) \quad P = \frac{C}{D} \times 100\% \geq p_{fix}.$$

Решение последней задачи обычно обладает большей устойчивостью, и такого рода постановки целесообразнее использовать при адаптивном выборе стратегии управления мультиагентной системой [7].

- Достижение максимального уровня рентабельности.

$$(9) \quad P = \frac{C}{D} \times 100\% \rightarrow \max.$$

4. Пример

В качестве простого примера мультиагентной системы обработки заказов рассмотрим небольшую компанию, которая занимается транспортными перевозками. Исходные параметры системы:

- общее количество машин – 9: эконом-класс – 3, бизнес-класс – 4, минивен (6 мест) – 1, автобус (20 мест) – 1;
- заказы поступают диспетчеру;
- диспетчер распределяет заказы по автомобилям;
- водитель получает 55% от суммы выполненного заказа, диспетчер – 10%;
- водители работают на собственных автомобилях, и бензин оплачивают сами;
- заказы могут выполняться только автомобилями из собственного автопарка компании;

Агентами в такой системе являются автомобили с водителями и диспетчеры $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$, где

a_1 – агент-диспетчер,

a_2, \dots, a_4 – агенты-водители автомобилей эконом-класса,

a_5, \dots, a_8 – агенты-водители автомобилей бизнес-класса,

a_9 – агент-водитель минивена,

a_{10} – агент-водитель автобуса.

Агент-диспетчер хранит известную ему информацию о параметрах (объеме) заказа (время поступления заказа, время заказа, количество пассажиров, начальная и конечная точка маршрута), стоимости заказа, примерном месте расположения агентов-водителей, времени выезда на заказ, плане агентов-водителей, параметрах агентов-водителей (расход бензина, количество мест, тип автомобиля, тариф). Агент-водитель хранит информацию о своем местоположении, своем состоянии (количество бензина и т. д.), своем плане (представлении о том, как он будет достигать своей цели), примерном местоположении других агентов (водителей, диспетчера), параметрах своего автомобиля. Последовательность действий агентов определяется теми или иными комбинациями заданных заранее сценариев поведения. Например, диспетчер принимает заявку (получает информацию от заказчика, рассчитывает возможность выполнения заявки, при необходимости связываясь с другими агентами), дает задание водителю, получают подтверждение от водителя, дает ответ заказчику. Сценарии водителя: стоять в гараже (на месте стационарной парковки), получить от диспетчера заказ, подтвердить прием заказа, двигаться к месту погрузки, погрузка, разгрузка, отчет перед диспетчером.

В случае срыва плана водителем (авария, пробка), диспетчер будет руководствоваться следующими сценариями поведения: связаться с другими водителями, получить от водителя примерное время на выполнение заказа, связаться с заказчиком, получить от него подтверждение (или отказ), дать задание водителю, получают подтверждение от водителя.

В такой системе для агента-водителя убеждениями будут знания о текущем заказе, знания о предстоящих заказах, желаниями – получение наибольшей прибыли, меньше потратить бензина, обслужить наибольшее число клиентов, намерениями – обслужить наибольшее число клиентов.

Для диспетчера *убеждениями* будут знания о текущих заказах, знания о предстоящих заказах, представления о месторасположении агентов-водителей, *желаниями* – получение

наибольшей прибыли, обеспечить выполнение всех поступивших заказов, принять наибольшее количество заказов *намерениями* – обеспечить выполнение всех поступивших заказов.

Определим *ресурсы* для агентов рассматриваемой системы:

r_1 – перевозка;

r_2 – связь по телефону;

r_3 – обработка заказа.

Тогда

$$(10) \quad ir_a(a_1) = \{r_2, r_3\}$$

$$(11) \quad ir_a(a_i : i = 2, \dots, 10) = \{r_1, r_2, r_3\}$$

Для каждого агента рассматриваемой системы определяются ограничения на задействование ресурсов в каждый момент времени:

$$(12) \quad \forall a \in A \quad x_2(t) \leq 1$$

$$(13) \quad \forall a \in \{a_2, \dots, a_8\} : x_1(t) \leq 5$$

$$(14) \quad a_9 : x_1(t) \leq 7$$

$$(15) \quad a_{10} : x_1(t) \leq 21.$$

Для каждого агента определяются затраты на использование ресурсов в данной системе. Затраты на расход топлива при перевозке людей и порожнем рейсе определяются по формуле:

$$(16) \quad L_1(a) = \int_0^T l_1(x, a) dt.$$

Считаем, что количество пассажиров x не влияет на расход бензина. Тогда $l_1(x, a) = c_p \cdot c_{km} \cdot v_{mid}$, если $x > 0$ и $l_1(x, a) = 0$, если $x = 0$ (автомобиль стоит на месте); c_p – стоимость бензина; c_{km} – расход топлива на 1 км; v_{mid} – средняя скорость движения автомобиля по городу.

В таблице 1 приведены параметры автомобилей с соответствующим расчетом функции $l_1(x, a)$. Считаем, что стоимость бензина составляет 21 руб. за 1 л.

Таблица 1. Параметры автомобилей

Тип автомобиля / Кол-во мест (m)	Расход топлива на 1 км (c_{km}), л	Средняя скорость движения по городу (V_{mid}), км/ч	$l_1(x, a)$, при $x > 0$	Тариф (r), руб/км
Эконом-класс/4	0,1	50	105	30
Бизнес-класс/4	0,17	45	160,65	70
Мини-вен/6	0,2	45	189	100
Автобус/20	0,25	40	210	150

Расходы на пользование телефонной связью определяются по формуле:

$$(17) L_2(a) = \int_0^T l_2(x, a) dt.$$

где $l_2(x, a) = c_{conv}$, если $x > 0$, и $l_2(x, a) = 0$, если $x = 0$ (никто никому не звонит); c_{conv} – стоимость минуты разговора.

Заказом в рассматриваемой системе является запрос на перевозку людей: z – перевезти пассажиров. Тогда

$$(18) ir_z(z) = \{r_1\}.$$

Каждый заказ в системе характеризуется временем поступления заказа в систему и объемом заказа: $z = z(t_{call}, V)$. Объем заказа включает в себя: время заказа, количество пассажиров, место отправления, место назначения. На таблице 2 показан пример поступления заказов в систему в течение половины рабочего дня. Координаты места отправления и назначения

попадают в квадрат 60×60 , но чаще всего поездки происходят по центру города.

Таблица 2. Поступление заказов в систему

№ заказа	Время поступления заказа	Время заказа	Кол-во пассажиров q	Начальная точка маршрута (x_1, y_1)	Конечная точка маршрута (x_2, y_2)
1	8,14	10,11	12	(33,39; 30,81)	(31,38; 38,1)
2	8,17	8,17	3	(24; 21,04)	(34,77; 35,83)
3	8,68	9,86	4	(29,65; 30,19)	(21,76; 25,13)
4	8,80	9,92	2	(26,02; 18,36)	(27,56; 34,39)
5	8,94	9,48	2	(37,59; 35,53)	(27,68; 25,2)
6	9,21	9,23	3	(32,07; 21,28)	(41,91; 29,06)
7	9,42	9,83	1(6)	(28,73; 23,16)	(34,15; 24,59)
8	10,17	10,75	2	(21,88; 36,34)	(37,8; 30,18)
9	10,20	10,70	4(6)	(31,83; 27,43)	(27,37; 32,15)
10	10,47	10,60	6	(28,37; 34,16)	(31,51; 29,17)
11	10,65	11,32	2	(29,9; 28,11)	(31,83; 30,3)
12	10,87	13,91	1	(20,78; 25,05)	(40,53; 38,69)
13	11,64	11,66	3	(21,47; 29,14)	(36; 38,73)
14	11,81	11,96	1	(19,25; 45,4)	(25,96; 44,25)
15	12,12	12,89	2	(30,09; 34,23)	(10,69; 33,71)
16	12,21	12,71	1	(20; 25,42)	(13,64; 34,25)
17	12,38	13,51	1	(30,93; 30,49)	(39,95; 30,96)
18	12,57	12,57	1	(21,79; 32,84)	(25,16; 33,21)
19	12,62	13,87	1(6)	(26,94; 24,15)	(31,05; 42,54)
20	12,65	13,24	1	(25,57; 28,55)	(15,4; 40,52)
21	12,87	13,09	2	(34,36; 33,7)	(31,33; 38,03)
22	13,00	13,12	2(6)	(23,62; 26,03)	(30,75; 26,51)
23	13,70	14,01	1	(34,25; 25,52)	(22,7; 30,03)

№ заказа	Время поступления заказа	Время заказа	Кол-во пассажиров q	Начальная точка маршрута (x_1, y_1)	Конечная точка маршрута (x_2, y_2)
24	14,26	14,35	3	(19,47; 30)	(35,76; 22,51)
25	14,34	16,72	2(6)	(26,88; 34,53)	(39,34; 25,32)
26	14,35	15,47	5	(33,8; 32,13)	(29,07; 30,06)
27	14,36	15,70	2	(30,6; 25,46)	(41,6; 34,96)
28	14,87	15,66	1	(32,26; 33,52)	(38,36; 30,26)
29	15,21	15,94	2	(32,29; 40,33)	(31,36; 28,23)
30	15,21	16,43	1(6)	(39,53; 21,46)	(32,24; 25,65)

Алгоритм выбора автомобиля реализуется следующим образом:

- Оценить количество пассажиров q :
 - если $q \leq 4$ и заказ на автомобиль бизнес-класса, то выбрать множество автомобилей $K = \{a_i\}_{i=5}^8$;
 - если $q \geq 4$ и заказ на автомобиль бизнес-класса, то заказ не может быть выполнен (так как в автопарке есть только легковые автомобили бизнес-класса);
 - если $q \geq 21$, то заказ не может быть выполнен;
 - если $q \leq 21$, то выбрать множество автомобилей $K = \{a_i\}_{i=1}^{10} : m_i \geq q$.
- Из множества K выбрать тот автомобиль, который находится ближе всего к заказу.
- Проверить, сколько времени потребуется водителю, чтобы доехать до заказа.
- В случае если это время не превышает максимальное время ожидания (время заказа минус время поступления заказа), то отправить автомобиль на заказ.

5. Если это время превышает максимальное время ожидания, то вернуться к п. 2 и выбрать автомобиль, средняя скорость движения которого выше выбранного ранее.

- если такого автомобиля нет в множестве K , то заказ не может быть выполнен;
- если такой автомобиль есть, то выполнить п. 3 и п. 4.

Рассмотрим систему оплаты. У каждого автомобиля есть свой тариф за 1 км езды – r . Также есть фиксированная сумма за посадку. Она для всех автомобилей рассматриваемой системы одинаковая – 150 руб. Дальность маршрута d i -го заказа рассчитывается по формуле:

$$(19) d_i = \sqrt{(x_{1i} - x_{2i})^2 + (y_{1i} - y_{2i})^2}.$$

Первый заказ – заказ на перевозку 12 пассажиров. Если на него поедет автобус (20 мест), то стоимость поездки будет рассчитываться как: $C_{z_1} = d_1 \cdot r_{a_1} = 150 + 7,56 \cdot 150 = 1284,3$. Заработок диспетчера в этом случае составит 128,43 руб. (10% от стоимости заказа). Чтобы рассчитать заработок водителя, необходимо сначала оценить, сколько он потратил бензина. Для этого нужно также рассчитать, какое расстояние ему потребовалось проехать до заказа. Точка отправления всех автомобилей (место стационарной парковки) – (35; 32). Так как это первый заказ, то автобус двигался из начальной точки в точку (33,39; 30,81). Расстояние, которое проехал водитель складывается из расстояния до заказа – 2 км и дальности маршрута на заказе – 7,56 км. Тогда расходы на бензин составляют – 50,21 руб., а заработок водителя за первый заказ – 656,16 руб. Прибыль компании – 439,51 руб. (При расчете прибыли компании учитываются также расходы на телефонную связь, считая, что на обработку каждого заказа диспетчеру нужно 10 минут, а стоимость разговора – 1 руб./мин). Распределение заказов по автомобилям, а также расчет стоимости поездки и прибыли по каждому заказу приведен в таблице 3.

Из таблицы также видно, что на заказы, время до которых меньше 15-20 минут, ни одна машина доехать не успевает.

Итоговая оценка прибыли диспетчера, водителей и компании указана в таблице 4.

Таблица 3. Распределение заказов по автомобилям

№заказа	Автомобиль	Дальность маршрута	Расстояние до заказа	Стоимость заказа, руб.	Зарботок диспетчера, руб.	Расходы на бензин, руб.	Зарботок водителя, руб.	Прибыль, руб.
1	a_{10}	7,56	2	1284,30	128,43	50,21	656,16	439,51
2	нет	18,3						
3	a_2	9,37	5,65	431,19	43,12	31,54	205,61	140,92
4	a_3	16,10	16,33	633,11	63,31	68,11	280,10	211,59
5	a_4	14,31	4,38	579,45	57,94	39,26	279,44	192,81
6	нет	12,54						
7	a_5	5,61	10,84	542,38	54,24	58,70	239,61	179,83
8	a_4	17,07	12,56	662,11	66,21	62,22	301,94	221,74
9	a_6	6,49	5,56	604,57	60,46	43,04	289,47	201,60
10	нет	5,90						
11	a_3	2,92	6,70	237,57	23,76	20,20	110,46	73,15
12	a_2	24,00	11,65	870,07	87,01	74,86	403,68	294,52
13	нет	17,41						
14	нет	6,81						
15	a_3	19,41	4,30	732,21	73,22	49,78	352,93	246,27
16	a_2	10,88	1,78	476,46	47,65	26,60	235,46	156,76
17	a_6	9,03	5,36	420,97	42,10	51,40	180,14	137,34
18	нет	3,39						
19	a_7	18,84	11,25	1469,06	146,91	107,44	700,54	504,17
20	a_4	15,71	12,34	621,21	62,12	58,89	282,77	207,42
21	a_5	5,28	9,11	308,55	30,85	51,40	118,30	97,99
22	нет	7,15						

№заказа	Автомобиль	Дальность маршрута	Расстояние до заказа	Стоимость заказа , руб.	Зарботок диспетчера, руб.	Расходы на бензин, руб.	Зарботок водителя, руб.	Прибыль, руб.
23	a_8	12,40	6,52	521,98	52,20	67,55	219,53	172,69
24	нет	17,93						
25	a_8	15,49	6,14	1234,61	123,46	77,24	601,79	422,11
26	a_9	5,16	1,21	666,31	66,63	26,75	339,72	223,21
27	a_5	14,53	12,59	586,03	58,60	96,84	225,48	195,11
28	a_3	6,92	21,57	357,49	35,75	59,82	136,80	115,12
29	a_7	12,14	2,53	514,07	51,41	52,37	230,37	169,92
30	a_6	8,41	9,51	738,58	73,86	63,97	342,26	248,50

Таблица 4. Итоговая прибыль

Агент	Прибыль, руб
a_1 диспетчер	1449,23
a_2 эконом-класс	844,75
a_3 эконом-класс	880,29
a_4 эконом-класс	864,15
a_5 бизнес-класс	583,39
a_6 бизнес-класс	811,86
a_7 бизнес-класс	930,91
a_8 бизнес-класс	821,33
a_9 минивен	339,72
a_{10} автобус	656,16
Компания	4852,30

5. Заключение

В рассмотренном примере методом перебора был получен оптимальный план перевозки заказов. В общем случае этого

можно достичь численными методами динамического программирования [5]. Следующим этапом исследования планируется переход к конкретным практическим задачам с использованием изложенной сетевой модели.

Работа выполнялась при частичной поддержке ФЦП «Кадры», Госконтракт 02.740.11.5056.

Литература

1. ВИТТИХ В.А., СКОБЕЛЕВ П.О. *Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени* // Автометрия, 2009. Т. 45, № 2 – С. 84–86.
2. ГОРОДЕЦКИЙ В.И., ГРУШИНСКИЙ М.С., ХАБАЛОВ А.В. *Многоагентные системы (обзор)* // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – №2. – С. 64–116.
3. СКОБЕЛЕВ П.О. *Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений* // Автометрия. – 2002. – №6. – С. 45–61.
4. УСЕНКО И.В. *Обзор проблем принятия решений в неопределенных и расплывчатых условиях при решении транспортных задач* // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2008. – №2(34). – С. 1–8.
5. ЧЕРНОУСЬКО Ф.Л., БАНИЧУК Н.В. *Вариационные задачи механики и управления: Численные методы*. – М.: Наука, 1973. – 238 с.
6. SHOHAM Y., LEYTON-BROWN K. *MULTIAGENT SYSTEMS: Algorithmic, Game-Theoretic and Logical Foundations*, London: Cambridge University Press, 2009. – P. 14–37.
7. RAO A., GEORGEFF M. *Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture*. Morgan Kaufmann publishers Inc.: San Mateo, CA, USA, 1991. – P. 473–484.

MULTI-AGENT ORDER SCHEDULING SYSTEM

Natalia Granichina, Saint-Petersburg State University, post-graduate student, (ngranichina@mail.ru).

Abstract: The mathematical network-based model of multi-agent order scheduling system is suggested. The model is illustrated by the example of a small taxi company.

Keywords: multi-agent systems, multi-agent control, schedule, optimal schedule.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии О. П. Кузнецовым*