

Такмазьян А.К., Рябых Н.Г., ООО «Програмпарк», г. Москва  
Матвиенко В.А., ОАО «НИИАС», г. Москва  
Стешкин В.И., ООО «Програмпарк», г. Москва

## Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо с помощью метода аукционов

Одной из подзадач, которая возникает в процессе решения задачи грузоперевозок, является задача сменно-суточного планирования содержания локомотивных бригад на установленную потребность. Эта задача является одной из базовых и «обеспечивающих» задач: результаты, полученные в результате её решения, используются в дальнейшем при составлении расписания поездов и выборе локомотивной бригады, назначаемой на конкретный поезд в задаче оперативного планирования перевозок. В настоящей работе предложено расширение стандартного подхода назначения локомотивных бригад на явку в депо с помощью использования алгоритма асинхронных параллельных аукционов с однотипными сущностями, предложенным в работе [1] и позволяющий реализацию в распределенных системах (например, в мультиагентной парадигме). Ранее данная задача была решена авторами мультиагентным методом локальной оптимизации в работе [2]. Метод настоящей работы имеет преимущество в быстродействии (требуется меньше операций для достижения оптимума), и универсальности (не зависит от монотонности функции полезности).

В докладе представлена реализация метода работы [1] на языке AgentSpeak в среде Jason [3], выполненная в рамках разработки программного обеспечения для автоматизированной подсистемы «Управления тяговым хозяйством на Восточном полигоне» (УТХ ВП) Интеллектуальной системы управления движением на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ).

### Введение

Локомотивная бригада (ЛБ) — группа работников, назначаемая после определенной подготовки и стажировки для обслуживания поездных или маневровых локомотивов, а также моторовогозанных поездов. ЛБ состоит из машиниста и его помощника, а на паровозах и кочегара. Разрешается обслуживать электровозы и тепловозы, занятые на маневровой и хозяйственной работе, а также электропоезда одному машинисту, то есть обслуживать в одно лицо. В этом случае локомотивы должны быть оборудованы специальными устройствами бдительности машиниста. Машинисты локомотивов и их помощники — одна из ведущих профессий на железнодорожном транспорте. От организации их работы в значительной степени зависит безопасный и бесперебойный пропуск поездопотока

на направлениях. Локомотивные бригады составляют довольно многочисленную группу работников — примерно 10% эксплуатационного контингента рабочих и служащих железнодорожного транспорта. Организация и планирование работы ЛБ является важным фактором роста производительности их труда. Решение задач по организации работы ЛБ имеет большое социальное значение. Поэтому важным является дальнейшее совершенствование системы организации работы ЛБ. Она включает в себя широкий круг вопросов: оптимизацию схем и длин участков работы бригад, порядок явки на работу, методы регулирования ЛБ и способы расчета их потребностей. "Потребность" в применении к бригадам — это количество бригад, которое должно выйти на работу на конкретной станции в следующие железнодорожные сутки (или двое суток), чтобы вывезти все поезда с данной станции. "Успешно вывезти" — это значит, что поезда не должны простаивать из-за отсутствия бригад. Потребности, рассчитываются по формулам, исходя из планируемого объема движения по данной станции на следующие сутки (эти планируемые объемы рассчитывает специальный человек, который смотрит, какие поезда в данный момент находятся в движении и в следующие сутки пройдут через эту станцию и какие поезда будут сформированы в следующие сутки на этой станции).

На данный момент нет единой системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте. Есть несколько разрозненных систем, которые автоматизируют разные процессы, поэтому стоит задача свести отдельные модули воедино с расчетом на будущее масштабирование. Для моделирования взят участок в Сибири и на Дальнем Востоке приблизительно от Красноярска до Владивостока. Восточный полигон довольно прост для моделирования. Эта сеть не так сильно разветвлена, как в европейской части России, в ней менее интенсивное пассажирское движение. Для опытной эксплуатации задачи составления сменно-суточного плана бригад выбрано депо Иркутск, поскольку оно является довольно крупным и на его примере можно проверить работу всех алгоритмов и учет всех критериев.

Для обеспечения вывоза поездов на участке необходимо обеспечить локомотивы требуемым количеством ЛБ. Для каждого депо на участке имеется

наряд-задание по явке приписанных бригад в депо в течение планируемых суток. Наряд-задание — это и есть то количество бригад, которое должно выйти на работу на станции на следующие сутки. Каждое наряд-задание для депо разделяется по участкам работы (оборота) локомотивных бригад (УОЛБ). Кроме того, наряд-задания для каждого УОЛБ разделяются по трехчасовым интервалам в течение железнодорожных суток. Трехчасовой интервал — это некий баланс в плане точности. С одной стороны, не нужно рассчитывать явку бригады с точностью до минуты или часа, поскольку на момент расчета точно неизвестно, когда именно подойдет и будет готов к отправлению поезд (это рассчитывается в модуле оперативного планирования ОУЭР ИСУЖТ). С другой стороны, интервал в 6 часов уже слишком большой для самой бригады, ей желательно, иметь точное время явки (чем точнее, тем лучше). Таким образом, задача сводится к назначению потребного количества бригад на явку по каждому трехчасовому интервалу в течение планируемых железнодорожных суток для каждого УОЛБ.

**Анализ существующего решения**

В текущей реализации сменно-суточного планировщика есть алгоритмический недостаток: описанный в [2] модуль работает по принципу изолированной локальной оптимизации. То есть оптимизируется локальная для интервала полезность назначения бригады на каждый трехчасовой интервал. Этот подход дает глобальное решение только при монотонности функции полезности бригады по трехчасовым интервалам. При данной постановке задачи эти недостатки практически никак не сказываются. Исключением является, например, случай, когда бригада уже отработала 2 ночи подряд, её можно поставить на явку утром, так что она отработает день и уйдет спать, но нельзя ставить на явку вечером — будет третья «рабочая» ночь, что запрещено по законодательству [4]. Таким образом, полезность вывода бригады будет немонотонной (сначала большой, потом отрицательной – вечером, а на следующий день — опять большой).

Кроме того, в существующем подходе [2], требуется второй проход оптимизационного алгоритма, чтобы оптимально учесть количество разрешений у бригады на работу по разным участкам обслуживания. Второй проход заменял бригады с большим количеством разрешений на бригады с меньшим количеством разрешенных участков. Таким образом, бригады с большим количеством оказывались свободными и снова "искали" себе назначение. Если где-то оставались незанятые участки, они назначались на эти участки.

**Метод аукционов в транспортной задаче**

Можно изменить алгоритм так, чтобы глобальная сумма всех полезностей при назначении бригад была

оптимальной вне зависимости от монотонности (и вообще вида) функции полезности. Для этого можно использовать алгоритм асинхронных параллельных аукционов с учетом однотипности ресурсов, описанный в работах [1,5]. Необходимая постановка полностью укладывается в формализм транспортной задачи, где истоками единичной мощности служат бригады, стоками – трехчасовые интервалы по каждому УОЛБ данного депо, с мощностями, определяемыми наряд-заданием на данный интервал данного УОЛБ.

Мультиагентная структура, реализующая данный алгоритм, представлена на рисунке 1. Интерфейс с внешними системами и управление всем потоком данных обеспечивает главный агент (main). Поскольку задача расслаивается на независимые подзадачи для каждого депо, то агентом main порождаются подагенты депо (depot), куда передаются все касающиеся их локальные данные и которых контролируется процесс вычислений для депо.

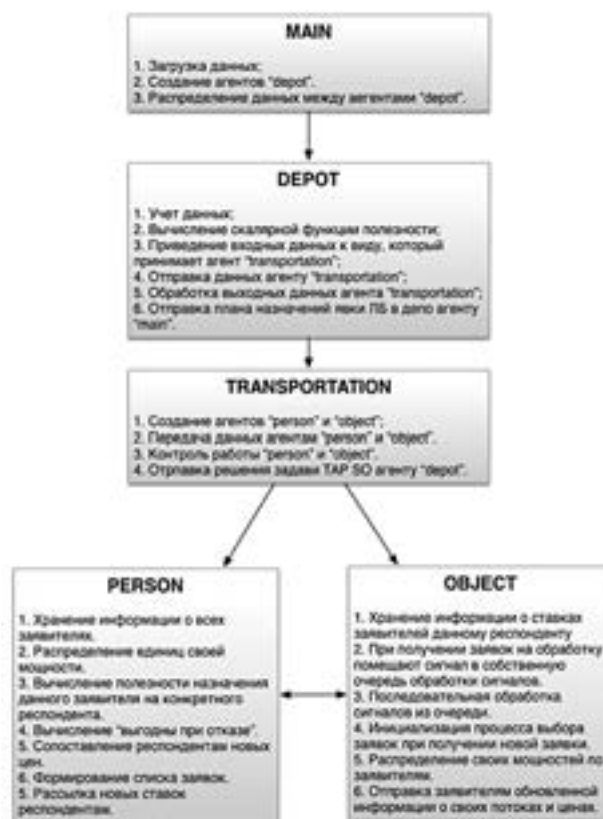


Рис. 1

Каждому истоку и каждому стоку ставится в соответствие интеллектуальный агент (person или object), отвечающий за хранение внутренних для данного агента данных и информационный обмен с другими агентами. Кроме того, вводится управляющий агент (transportation), координирующий работу остальных под-агентов. Агенты подразделяются проактив-

ные (person) – те, кто назначает ставки, и реактивные (object) – те, кто принимает и обслуживает эти заявки-ставки. Подробное описание работы алгоритма аукционов см. в работе [5]. Приведем здесь лишь краткое описание процесса.

Каждый респондент в каждый момент времени содержит набор пар {поток-цена}, в котором содержатся распределенные уже потоки по заявителям, вместе со значением цены, которая была назначена при данном распределении. При неполном распределении мощности респондента, в наборе присутствует пара из остаточного (нераспределенного) количества и нулевой (стартовой) цены. Каждый заявитель при получении любого такого набора от любого респондента, прежде всего, проверяет наличие нераспределенных единиц своей мощности. По итогам проверки формируются новые значения потоков и цен для новой заявки на основе данных о распределении мощностей у респондента по остальным (конкурирующим) заявителям, цена которых может быть «перебита» текущим заявителем, исходя из данных о полезности назначения единиц заявителя этому респонденту.

Каждый респондент при получении любой заявки инициирует процесс выбора заявок для распределения своей мощности по заявителям, исходя из наибольшей предложенной ставки. Весь процесс повторяется до тех пор, пока у заявителей не останется возможности для формирования ставки (нет размещенных единиц мощности либо нет положительных выгод от «перебивания» чужой ставки). В работе [1] показано, что каждый шаг данного процесса улучшает суммарную полезность потоков системы, и алгоритм сходится.

Для определения фазы завершения работы была использован метод весов Хуана (Huang's algorithm). В методе аукционов алгоритм Хуана применяется следующим образом: в начале агент-диспетчер, после порождения и инициализации агентов-заявителей и агентов-респондентов, рассылает заявителям команду к началу аукциона, присоединяя к ней долю своего веса. Агенты-заявители, при рассылке заявок, присоединяют к ним также долю своего веса. Агент-респондент, после обработки заявок и формирования и рассылки новых потоков всем заявителям, формирует список заявителей, которым отказано в размещении всей или части их заявки. Заявителям из сформированного списка рассылается дополнительное сообщение об отказе, вместе с долей своего веса респондента. Обнуление и отсылка своего веса диспетчеру у заявителя происходит при отсутствии размещенных единиц своей мощности, а у респондента, при отсутствии необработанных заявок в очереди поступивших сообщений.

График №1 — коэффициент эффективности, старый планировщик



График №2 — коэффициент эффективности, новый планировщик



Рис. 2

**Результаты расчетов**

Для оценки работы нового планировщика проводились эксперименты на тренажерном комплексе, использующем реальные данные Восточного полигона ОАО «РЖД». В качестве критерия эффективности работы алгоритма было выбрано отношение запланированной продолжительности отдыха бригад к отработанному в предыдущую смену времени, называемое коэффициентом отдыха бригад. Оптимальным является нормативное значение 2.6. Новый модуль показал некоторое улучшение данного показателя в среднем по депо, и уменьшение разброса данного показателя. Отношение запланированного времени отдыха бригад к нормативному приведено на рисунке 2 для новой и старой версии модуля планирования (расчет проведен Т. Корчагиным).

**Литература**

1. D.P. Bertsekas & D.A.Castanon. "The auction algorithm for the transportation problem." Annals of Operations Research 20(1989), pp.67-96.
2. Ю.А. Машталер, В.А. Матвиенко, В.П. Алтунин, А.К. Такмазян. «Мультиагентное решение задачи о суточном планировании назначения локомотивных бригад на явку в депо». ТРУДЫ Третьей научно-технической конференции с международным участием Интеллектуальные системы управления

на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014, т. 1, сс. 39–42. Москва, 2014.

3. R. H. Bordini, J. F. Hübner, M. Wooldridge. "Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason". Wiley. 2007. 268 pp.
4. «Положение об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда отдель-

ных категорий работников железнодорожного транспорта, непосредственно связанных с движением поездов». Утверждено приказом МПС России от 5 марта 2004 г. N 7.

5. А.К. Такмазян, А.В. Шелудяков. Мультиагентное решение методом аукционов многопродуктовой транспортной задачи с объединенными потребностями. (Настоящий сборник).



Гайнанов Д.Н., Кибзун А.И., Иванов С.В., Осокин А.В., МАИ, г. Москва

## Модель оптимального назначения локомотивов при формировании грузовых составов

### Введение

Как отмечается в [1], в настоящее время значительное внимание уделяется повышению эффективности использования ресурсов на железнодорожном транспорте. При этом значительные потери ресурсов связаны с неэффективностью организации грузовых перевозок.

В последнее время во многих работах рассматриваются различные методы и алгоритмы оптимизации грузоперевозок на железнодорожном транспорте:

- исследованы особенности функционирования транспортных компаний;
- рассмотрен комплекс информационно-логистических моделей и методов управления железнодорожными перевозками;
- показаны основные теоретические и практические аспекты организации железнодорожных перевозок на основе информационных технологий;
- предложены различные средства совершенствования организации грузовых перевозок.

В данной работе рассматривается математическая модель оптимизации назначения локомотивов для организации перевозки грузовых составов. Данная математическая модель является развитием модели, сформулированной в [2]. Однако в отличие от модели [2], при построении данной математической модели формализованы понятия «плеча» и «нитки». Также формализованы понятия допустимого маршрута локомотива и допустимого маршрута состава. В качестве критерия

при оптимизации назначения локомотивов выбрано минимальное число задействованных локомотивов. Оптимизация осуществляется за счёт выбора «ниток» для движения составов и локомотивов. Выбор данных «ниток» позволяет полностью определить маршруты следования составов и локомотивов.

### Основные определения

Пусть задан ориентированный граф  $G = (V, A)$ , где  $V$  – множество вершин (значимых станций),  $A$  – множество дуг (перегонов, соединяющих значимые станции). Пусть выделено подмножество  $D$  вершин, соответствующих станциям-депо. Будем называть плечом  $P$  последовательность вершин графа  $v_1, \dots, v_{I_p}$ , удовлетворяющую следующим условиям:

- 1) каждая из вершин, образующих последовательность, соединена дугой с предыдущей вершиной:  $(v_{i-1}, v_i) \in A$ ;
- 2) все дуги, соединяющие соседние вершины последовательности, различны;
- 3) первая станция последовательности является станцией-депо  $v_1 \in D$ ;
- 4) первая и последняя вершины последовательности совпадают и отличны от всех промежуточных вершин последовательности:  $v_1 = v_{I_p}$ ,  $v_i \neq v_1$  для  $i = 2, I_p - 1$ ;
- 5) вершина  $v_1 = v_{I_p}$  отлична от всех промежуточных вершин последовательности  $v_1, \dots, v_{I_p}$ .