

СТРАТЕГИИ ПРОАКТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ОПЕРАТОРА 5PL

© 2013 А.В. Иващенко, Д.Г. Пейсахович

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 04.09.2013

В статье описывается программное решение для оператора 5PL, оказывающего услуги по организации перевозок путем накопления и обработки информации о сторонних заказчиках и перевозчиках и нахождения для них оптимальных логистических цепочек. Решение основано на реализации метода кондиционального управления в многоакторной интегрированной информационной среде.

Ключевые слова: транспортная логистика, 5PL, интеллектуальные системы планирования, проактивная диспетчеризация, мультиагентные системы, кондициональное управление.

ВВЕДЕНИЕ

Современные программные сервисы, предназначенные для планирования и управления транспортом, основываются на широком использовании последних разработок в области информационно-коммуникационных технологий, геоинформационных систем, средств спутниковой навигации и других разработок, позволяющих построить единое информационное пространство в транспортной логистике. При этом основная цель этих сервисов состоит в оптимизации расходов и повышении качества логистических услуг для грузоотправителей, грузополучателей и транспортно-экспедиционных компаний.

Эта тенденция привела к появлению нового типа операторов 5PL. Наименование 5PL (PL – Party Logistics) дается по аналогии с услугами 3PL и 4PL [1, 2], и определяет существенное отличие от них. У такой компании может не быть собственных материальных или финансовых ресурсов, а услуги по организации перевозок оказываются путем накопления и обработки информации об участниках рынка и построения для них оптимальных логистических цепочек.

Автоматизация оператора 5PL имеет ряд особенностей, обусловленных специфическими требованиями к возможностям программных сервисов. Одна из них заключается в неопределенности состава доступных ресурсов для выполнения постоянно пополняющегося потока заказов и связанная с ней необходимость привлечения в основном сторонних перевозчиков. Данная особен-

ность не позволяет применять классические алгоритмы планирования и управления ресурсами [3], в связи с чем, актуальной является задача применения современных принципов информационного управления для распределения транспортных ресурсов с учетом фактора времени. Эти принципы аналогичны решениям для сети Интернет [4], которые позволяют управлять свободным взаимодействием сообщества пользователей интегрированной информационной среды.

В данной статье предлагается одно из возможных решений этой задачи, основанное на реализации метода кондиционального управления [5] в многоакторной интегрированной информационной среде [6], организованной оператором 5PL. В этих условиях задача распределения транспортных ресурсов сводится к задаче обеспечения эффективного обмена информацией между многими участниками процесса планирования – лицами, принимающими решения, в ходе которого за определенное время обеспечивается выработка общего согласованного расписания.

МОДЕЛЬ ПРОАКТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

Опишем многоакторную интегрированную информационную среду оператора 5PL. Обозначим заказы на транспортировку грузов w_i , $i = 1..N_w$, а компании, участвующие в жизненном цикле заказов (грузоотправители, грузополучатели, экспедиционные и транспортные компании) u_j , $j = 1..N_u$. Каждую такую компанию будем называть актором – субъектом, представляющим интересы соответствующей компании и выступающим в качестве лица, принимающего решения по обработке заказов.

Обозначим $c_{i,j}$ – стоимость исполнения заказа w_i актором u_j , а $\Delta t_{i,j}$ – продолжитель-

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий. E-mail: anton.ivashenko@gmail.com

Пейсахович Даниил Григорьевич, аспирант кафедры информационных систем и технологий.

E-mail: dormann@gmail.com

ность его выполнения при полной загрузке ресурсов (один актер не может выполнять одновременно несколько заказов, один заказ не может выполняться несколькими актерами).

Опишем следующие события жизненного цикла заказа w_i на интервале времени $(T_{нач}, T_{зав})_i$:

$\varepsilon_i = \varepsilon(w_i, t^*_i) \in \{0,1\}$ – появление заказа w_i в системе;

$e_{i,j} = e(w_i, u_j, t_{i,j}) \in \{0,1\}$ – предложение заказа w_i актору u_j ;

$e'_{i,j} = e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \in \{0,1\}$ – выбор (назначение) w_i актору u_j ;

$e''_i = e''(w_i, t''_i) \in \{0,1\}$ – уход w_i из системы в случае отсутствия обработки (отказ).

Эти булевы переменные принимают значение 0 в случае отсутствия соответствующего события (время наступления такого события будет равно $T_{зав}$).

Рассмотрим задачу распределения ресурсов, которую решает оператор 5PL. Его базовой целью будет повышение количества запланированных заказов и их стоимости в условиях непостоянного количества исполнителей. Поскольку добиться этих целей можно, лишь обеспечив высокое количество заказчиков и исполнителей, следует учитывать и косвенные цели, обеспечивающие требуемый уровень сервиса. Так, привлечь заказчиков и исполнителей, можно путем обеспечения низкого суммарного холостого пробега и простоя (что реализуется часто путем повышения вероятности обратной загрузки).

Специфика деятельности оператора 5PL не позволяет строить согласованное расписание на всем горизонте планирования. Поэтому процесс распределения заказов более соответствует задаче диспетчеризации, которая рассматривает не процесс планирования, но процесс управления распределением ресурсов в реальном времени. При определении цели диспетчеризации обычно указывают обеспечение согласованной работы за счёт равномерности, непрерывности, ритмичности и экономичности выполнения всех процессов. Диспетчеризация призвана обеспечить высокий уровень адаптивности посредством оперативного регулирования бизнес-процесса, нарушенного каким-либо внешними событиями.

Наиболее близкой к решаемой задаче является задача о назначениях в открытой форме. Модифицировав эту задачу при условии распределения событий по времени, получим:

$$\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot c_{i,j} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{N_u} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) = 1, \quad i = 1..N_w$$

$$\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} \varepsilon(w_i, t^*_i) \cdot e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot (t'_{i,j} - t^*_i) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Задача (1, 2) описывает поиск наиболее эффективного распределения ресурсов. Будем считать стоимость выполнения работы равносильной доходу актора-исполнителя. При этом для транспортных компаний-исполнителей справедлива следующая цель:

$$\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot c_{i,j} \rightarrow \max. \quad (3)$$

Каждому актору относительно потока заказов $e(w_i, u_j, t_{i,j})$ нужно выбрать такую стратегию $e'(w_i, u_j, t_{i,j})$, при которой выполняется (3). Соответственно, центру относительно потока заказов $\varepsilon(w_i, t^*_i)$ нужно выбрать такую стратегию (план предложения) $e(w_i, u_j, t_{i,j})$ для нескольких u_j с учетом (2), при которой выполняется (1).

Частная цель каждого актора для заданного потока $e(w_i, u_j, t_{i,j})$ может быть представлена в виде:

$$\forall u_j : \sum_{i=1}^{N_w} \sum_{k=1}^{N_u} e(w_i, u_j, t_{i,j}) \cdot e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot (1 - e'(w_i, u_k, t'_{i,k})) \cdot c_{i,j} \rightarrow \max \quad (4)$$

Допустим, что в процессе диспетчеризации актер начинает исполнять заказ сразу после получения, то есть справедливо ограничение:

$$\forall u_j : \sum_{i=1}^{N_w} \sum_{k=1}^{N_u} e(w_i, u_j, t_{i,j}) \cdot e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot (1 - \theta(t'_{i,j} - t'_{i,k}) \cdot \theta(t'_{i,j} + \Delta t_{i,j} - t'_{i,j})) = 0,$$

где $\theta(x)$ – ступенчатая функция Хэвисайда:

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$$

Назовем задачу (4) задачей проактивной диспетчеризации. Ее отличие от задачи о назначениях состоит в следующем:

Учитывается фактор времени, выражающийся в том, что решения о выборе заказов $e'(w_i, u_j, t'_{i,j})$ распределены на горизонте планирования и зависят от событий появления заказов $e(w_i, u_j, t_{i,j})$.

Целевые функции сформулированы для участников процесса взаимодействия, а решаемая задача является не задачей оптимизации, а задачей управления взаимодействием акторов во времени.

Такой подход позволяет декомпозировать задачу проактивной диспетчеризации на две:

Решить задачу оптимизации относительно каждого актора, которая с учетом неопределен-

ности будет выражаться в стратегии взаимодействия (в частности, может быть применена игровая стратегия);

Построить систему управления взаимодействием акторов с учетом фактора времени и человеческого фактора, которая бы позволила обеспечивать выполнение целевых функций (1, 2 и 3) в условиях конкуренции и применения игровых стратегий акторами.

СТРАТЕГИИ ПРОАКТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

Пусть поступающие заказы сразу предлагаются всем акторам.

Рассмотрим задачу (3) в условиях убывающей стоимости заказов (каждый следующий заказ дешевле предыдущего):

$$w_i, \forall u_j; t_{i+1,j} > t_{i,j} : c_{i+1,j} < c_{i,j}.$$

Учитывая составляющие суммы (3) наилучшей стратегии каждого актора будет при соблюдении (4):

$$\forall u_j, e(w_i, u_j, t_{i,j}), e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) : (t'_{i,j} - t_{i,j}) \rightarrow \min. \quad (5)$$

При этом соблюдается минимум суммарного времени жизни заказов:

$$\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} e(w_i, u_j, t_{i,j}) \cdot e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot (t'_{i,j} - t_{i,j}) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Следовательно, соблюдается (2), а для соблюдения (1) достаточно выбирать наиболее дешевый ресурс среди свободных на момент появления заказов и формировать для этого актора $e(w_i, u_j, t_{i,j})$.

Эта стратегия соответствует «жадному» потреблению заказов и часто оправдывает себя, поскольку относительный рост стоимости обычно всегда сопровождается появлением новых возможных исполнителей и ростом конкуренции. Актор с такой стратегией не будет выжидать более выгодного заказа, если он свободен и у него есть доступный заказ.

Учитывая (4) для этого случая критерий (показатель) эффективной работы актора будет выглядеть как минимум времени простоя акторов. Для упорядоченных последовательно событий (для каждой пары $e_{i,j}, e_{i+1,j} : t'_{i+1,j} > t'_{i,j}$):

$$\sum_{i=1}^{N_w-1} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot e'(w_{i+1}, u_j, t'_{i+1,j}) \cdot (t'_{i+1,j} - \Delta t_{i,j} - t'_{i,j}) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Рассмотрим задачу (4) в условиях нарастающей стоимости заказов:

$$w_i, \forall u_j; t_{i+1,j} > t_{i,j} : c_{i+1,j} > c_{i,j}.$$

В этом случае увеличение времени ожидания каждого заказа приведет к повышению суммарной стоимости, однако, общий доход может быть снижен из-за роста суммарного времени простоя.

В задачах планирования (когда известны все заказы) можно построить план обратным распределением задач от времени окончания работы (по принципу Just-in-time). В задаче диспетчеризации однозначно решить проблему нельзя.

Акторы вырабатывают эвристики, которые позволяют им решать задачу оптимизации собственной загрузки. При этом они принимают решения в условиях неполной определенности: с одной стороны, во время выполнения заказа могут поступить $e(w_i, u_j, t_{i,j})$ с более высокой стоимостью, с другой – долгое ожидание снижает суммарную экономическую эффективность работы. В реальной среде 5PL каждый актор может иметь собственную модель поведения, в зависимости от выбранной стратегии выстраивания последовательности действий во времени. Модель поведения определяется также спецификой предметной области, так, для небольших внутригородских перевозчиков наблюдается предпочтение дальних поездок, несмотря на то, что в случае удачи может быть выгоднее выполнение нескольких коротких поездок.

Например, водители такси, несмотря на весьма жесткую конкуренцию, придерживаются стратегии выжидания выгодных заказов по высокой цене (в зоне вокзалов или крупного скопления ожидаемых клиентов), что существенно снижает общий уровень сервиса. При этом конкуренция приводит к возникновению очереди исполнителей, что вовсе не означает недостатка актуальных заказов. Логика центра в этом случае должна быть направлена на ситуационное разрушение таких тенденций путем формирования обстоятельств передачи заказов водителям.

Это означает, что в ответ на поток заказов $\epsilon(w_i, t^*_i)$ путем введения задержек будет формироваться $e(w_i, u_j, t_{i,j}), t_{i,j} > t^*_i$ такой, чтобы с учетом стратегии акторов выполнялось (1).

При организации проактивной диспетчеризации прямое управление распределением ресурсов невозможно, поскольку перечень ресурсов и заказов меняется со временем. Поэтому перед центром – оператором 5PL необходимо ставить следующие задачи:

- привлечение заказчиков и исполнителей с целью максимизации их количества для обеспечения возможности выбора наилучшего исполнения каждого заказа;
- формирование обстоятельств взаимодействия с целью поддержки кооперации и конкуренции, полезной для его участников и/или центра;
- оценка и анализ ключевых показателей эффективности бизнеса с целью поиска путей повышения уровня сервиса.

С учетом этой специфики, обусловленной влиянием фактора времени, сформулируем следующие критерии деятельности 5PL:

Суммарная стоимость заказов, обработанных за период:

$$\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot c_{i,j} . \quad (8)$$

Средняя загрузка ресурсов

$$\frac{1}{N_u} \sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot \Delta t_{i,j} . \quad (9)$$

Связанный объем заказов: стоимость заказов и среднее время ожидания их распределения

$$\Theta = \frac{1}{N_w} \sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} \varepsilon(w_i, t^*_i) \cdot e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot (t'_{i,j} - t^*_i) . \quad (10)$$

Основная идея балансировки этих критериев состоит в том, что в случае увеличения стоимости запланированных заказов нельзя допускать высокого роста привлекаемых ресурсов, так как для поддержания их интереса нужно будет еще больше увеличивать количество новых заказов. Третий критерий определяет возможности проактивной диспетчеризации. Для обеспечения возможности по распределению ресурсов, новые заказы должны передаваться исполнителю не сразу. Ожидание в течение определенного периода времени позволит лучше подобрать ресурсы среди освобождающихся в это время акторов. С другой стороны, существующие ресурсы в это время могут забирать другие заказы согласно жадной стратегии, описанной выше. В связи с этим, целесообразно поддерживать данный показатель на определенном уровне, небольшие колебания в зависимости от пропорции количества заказов и количества ресурсов в данный период времени обеспечат адаптивность 5PL оператора к изменениям внешней среды.

Отметим, что критерии (8 – 10) подходят для оценки деятельности оператора 5PL в целом. Для использования их в алгоритмах поддержки принятия решений проведем несколько изменений.

Обозначим $f_0(t) = \theta(t - T_{нач}) \cdot \theta(T_{зав} - t)$; $\Delta T = T_{зав} - T_{нач}$.

Сумма обработанных заказов сама по себе будет отражать не столько эффективность алгоритмов решения, сколько текущий выигрыш, полученный с учетом внешних обстоятельств. В связи с этим введем критерий “текущести”, характеризующий отношение суммы потерянного выигрыша к сумме полученного выигрыша:

$$K_l^{тек} = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} e''(w_i, t''_i) \cdot c_i \cdot f_0(t''_i)}{\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot c_{i,j} \cdot f_0(t'_{i,j})} \cdot 100\% . \quad (11)$$

Среднюю загрузку ресурсов (9) заменим критерием эффективности $K_l^{\text{эфф}}$, который вычисляется, как отношение суммы времени, потраченного на обработку заказов, к сумме времени, потраченного на простой и поиск заказов акторами:

$$K_l^{\text{эфф}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_u} \sum_{i=1}^{N_w} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot \Delta t_{i,j} \cdot f_0(t'_{i,j})}{\sum_{j=1}^{N_u} (\Delta T_j - \sum_{i=1}^{N_w} e'(w_i, u_j, t'_{i,j}) \cdot \Delta t_{i,j} \cdot f_0(t'_{i,j}))} \cdot 100\% . \quad (12)$$

Это изменение позволит отразить уровень занятости исполнителей, особенно в процессах, связанных с изменением количества действующих в системе акторов, а также уровень сервиса для исполнителей.

Связанный объем заказов (10) заменим критерием средней длительности жизни заказов $K_l^{\text{сжз}}$, который учитывает время ожидания не только обработанных заказов, но так же и тех заказов, которые не дождалась обработки:

$$K_l^{\text{сжз}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} \varepsilon(w_i, t^*_i) \cdot e'_{i,j}(t'_{i,j} - t^*_i) \cdot f_0(t'_{i,j}) + \sum_{i=1}^{N_w} \varepsilon(w_i, t^*_i) \cdot e''(w_i, t^*_i) \cdot (t^*_i - t^*_i) \cdot f_0(t^*_i)}{\sum_{i=1}^{N_w} \sum_{j=1}^{N_u} \varepsilon(w_i, t^*_i) \cdot e'_{i,j}(t'_{i,j}) \cdot f_0(t'_{i,j}) + \sum_{i=1}^{N_w} \varepsilon(w_i, t^*_i) \cdot e''(w_i, t^*_i) \cdot f_0(t^*_i)} . \quad (13)$$

Время жизни необработанных заказов необходимо учитывать особенно в ситуациях существенных изменений внешней среды, когда количество отказов становится значительным и может превышать количество успешно обработанных за тот же период заказов.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОАКТИВНОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ОПЕРАТОРА 5PL

Транспортную сеть оператора 5PL обычно представляют в виде графа, узлами / вершинами которого являются пункты погрузки и разгрузки, а ребрами / дугами – пути, соединяющие эти пункты. Современные геоинформационные сервисы позволяют определить маршруты перемещения между двумя узлами с достаточно высокой точностью, причем учитывают разную проходимость дорог, скоростные режимы, наличие пробок и возможных ограничений передвижения.

Такая сеть представляет собой основу для любой системы управления ресурсами в транспортной логистике, объективно описывает исходную ситуацию и позволяет оптимизировать выполнение заказов с учетом информации о необходимых географических пунктах загрузки и выгрузки.

Для решения задачи проактивной диспетчеризации предлагается дополнить этот граф, построив на его основе так называемую оверлейную сеть. Этот метод широко применяется в

мультиагентных системах маршрутизации [7] и позволяет строить имитационные модели по аналогии с природными механизмами самоорганизации, что полезно в условиях решаемой задачи. Оверлейная сеть представляет собой совокупность узлов, соответствующих как реальным географическим точкам, так и виртуальным площадкам, в которых могут находиться акторы, ожидающие новых заказов. Узлы оверлейной сети связаны между собой логическими ребрами, «сложность» прохождения которых может быть отлична от реального времени или стоимости, которые требуют перемещение по пути между реальными географическими пунктами.

Информация об оверлейной сети становится доступна акторам, участвующим во взаимодействии. Отметим, что для разных групп акторов могут быть построены отличающиеся оверлейные сети. Таким образом, обеспечивается информационное управление их взаимодействием, целью которого является сохранение требуемой ритмичности потребления заказов.

Учитывая особенности решаемой задачи, можно сформулировать принцип изменения весов ребер в условиях проактивной диспетчеризации. В отличие от традиционного подхода, основанного на отсечении заведомо невыигрышных решений, здесь необходимо искать и отсекают решения, выигрышные с позиций акторов, но не выгодные с позиций баланса (11 – 13). Такой подход основан на том, что акторы сами заинтересованы в поиске наилучшего для себя решения, поэтому из предложенных вариантов выберут наиболее выгодный. Центр же должен проводить корректировки, направленные на сохранение справедливого распределения заказов, что соответствует принципам управления обстоятельствами.

В рамках предлагаемого подхода предлагается два алгоритма. Первый алгоритм основан на выделении в оверлейной сети участков ответственности акторов и увеличении сложности перехода из этих участков далее по сети. Фактически, можно реализовать централизованное решение задачи о назначениях с последующим ограничением движения акторов в сети только теми переходами, которые ведут их к назначенным товарам. Для реализации такого решения система назначает друг другу попарно заказы и акторы и перекрывает все рёбра сети, за исключением тех, что приведут эти пары друг к другу. Данный подход требует большого количества переключений активности рёбер графа, вследствие чего его эффективность тем ниже, чем выше условная стоимость таких переключений.

Второй алгоритм – формирования ограничений – основан на том, что перекрываются все вершины за исключением минимального коли-

чества вершин, содержащих товары с самым длительным сроком ожидания обработки (согласно (13)). Такое управление направлено на минимизацию вероятности ухода товара из системы связанного со срывом срока обработки. При этом учитывается только актуальный срок ожидания, так как по условиям задачи центр не владеет информацией о реальной максимальной длительности ожидания обработки товаров.

С помощью указанных алгоритмов можно реализовать следующие стратегии центра:

- Свободная стратегия (невмешательство центра) подразумевает отсутствие каких-либо управленческих действий со стороны центра на систему. Другими словами все акторы самостоятельно находят себе наиболее выгодные заказы, свободно перемещаются по рёбрам оверлейного графа для их достижения и обрабатывают их, перемещаясь в вершину назначения заказа.

- Псевдодирективная стратегия подразумевает отсечение всех вариантов кроме лучшего с учётом прибыли и длительности ожидания и реализуется путем решения задачи о назначениях венгерским методом с последующим закрытием всех рёбер, кроме тех, которые ведут от актора к назначенному ему заказу. При составлении матрицы выигрышей, необходимую для решения венгерским алгоритмом, для определения значений выигрыша используется свёртка двух показателей – прибыль от обработки заказа актором и остаточная длительность жизни заказа, которые считаются равнозначными с коэффициентами приоритета 0,5.

- Лимитирующая стратегия основывается на матрице выигрышей, составляемой для всех акторов и заказов в системе, и состоит в отсечении части вариантов с учётом прибыли и длительности ожидания заказов. При этом используется та же свёртка показателей прибыли от обработки и остаточной длительности жизни заказа. Но, вместо того, чтобы директивно распределить все заказы по акторам, каждому актору открывается доступ (активируются рёбра, ведущие к вершинам, содержащим выбранные заказы) до некоторой доли заказов, обработка которых обеспечивают максимальные значения выигрыша. Доля открываемых для актора заказов в описываемых экспериментах определена как 30%. То есть в каждый момент времени каждый актор имеет в доступе 30% всех существующих заказов, обработка которых наиболее выгодна с точки зрения центра. При этом актор свободен выбирать между ними, но должен согласовывать свои намерения с другими акторами. В отличие от псевдодирективной лимитирующая стратегия не подразумевает разрешение конфликтов между акторами, связанных с конкуренцией за заказы.

- Разделительная стратегия, в отличие от предыдущих, не оперирует показателями прибыльности обработки заказов акторами или длительности ожидания заказами обработки, а состоит в выделении “зон ответственности” для групп акторов. Центр также решает задачу о назначениях Венгерским алгоритмом, но при этом оперирует не заказами и акторами, а вершинами, содержащими акторов с одной стороны и вершинами, содержащими заказы с другой. Критерием выигрыша при этом является отношение расстояния между вершинами к количеству акторов/заказов. Решение венгерского алгоритма служит матрицей смежности, по которой открываются рёбра на пути между назначенными друг другу вершинами. В результате граф делится на зоны ответственности групп акторов.

Описанные стратегии применяются центром для событий, существенно изменяющих текущую ситуацию. Такими событиями, например, являются появление/удаление/обработка заказа, прибытие/отбытие актора из вершины, завершение обработки заказа актором. Для принятия решения стратегии используют информацию о структуре графа (вершины и рёбра со стоимостью перехода), расположении заказов и акторов, в том числе перемещающихся из одной вершины в другую, максимальную, текущую и остаточную длительность жизни заказов и стоимость заказов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим сеть, построенную для оператора 5PL с использованием специализированного программного комплекса, разработанного на XNA 4.0 для платформы .NET (см. рис. 1).

Сеть состоит из вершин связанных двунаправленными рёбрами. Каждая вершина с некоторой частотой производит заказы. Рёбра графа

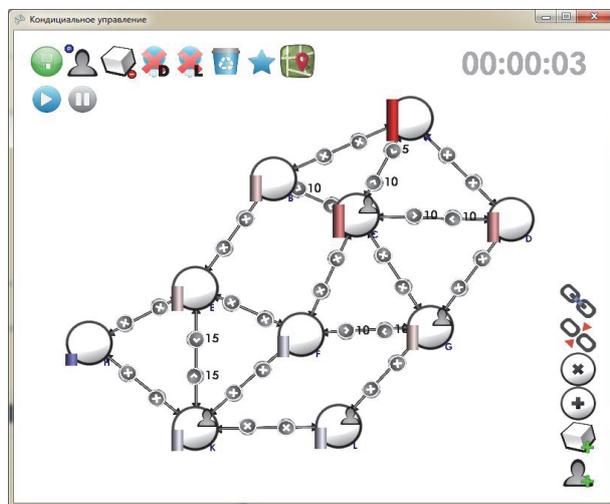


Рис. 1. Пример оверлейной сети для оператора 5PL

позволяют перемещаться акторам по графу и обладают двумя основными показателями: проходимость ребра в заданном направлении (изменяется центром) и вес – стоимость (длительность) прохождения по ребру.

Все заказы, сгенерированные в вершинах, имеют несколько характеристик: начальная вершина – вершина, в которой появился заказ; вершина назначения – вершина, в которую попадёт актор после обработки данного заказа; стоимость заказа – определяется удалённостью вершины появления заказа от вершины его назначения, то есть чем дальше необходимо попасть заказу, тем выше будет его стоимость; длительность ожидания обработки – интервал времени в течении которого заказ будет ожидать обработки. Если заказ не был обработан в рамках этого интервала, он уходит из системы и его стоимость записывается в общие потери системы. Длительность ожидания всех заказов во всех экспериментах при имитационном моделировании имеет равномерное распределение.

Акторы способны перемещаться по рёбрам сети от вершины к вершине в поисках заказов и обрабатывать (поглощать) эти заказы. Стратегия акторов заключается в “жадном” потреблении: Если актор активен (не занят обработкой заказа), он отправляется в вершину, обладающую самым высоким коэффициентом привлекательности. Если актор активен, но на графе нет необработанных заказов, он отправляется в вершину, в которой в последний раз получал заказ; иначе актор остаётся в текущей вершине.

Так как по условиям задачи центр не имеет возможности непосредственно, директивно руководить поведением акторов, то для решения задачи будут применяться указанные выше алгоритмы изменения структуры графа, а именно будет регулироваться активность рёбер, по которым акторы могут перемещаться от вершины к вершине. Другими словами задачей центра является создание и изменение оверлейного графа – картины мира акторов о ситуации в системе. Изменяя активность рёбер, центр регулирует доступ акторов к информации об имеющихся заказах, тем самым, ограничивая их свободу действий.

Рис. 2 описывает результаты моделирования для случая добавления новых вершин с некоторой постоянной частотой.

В начале эксперимента на графе присутствует 16 вершины и 16 акторов. С каждой нечётной добавляемой вершиной к графу добавляется 1 актор для выравнивания баланса производительности и потребления. Для трёх основных показателей (текучесть, эффективность, средняя длительность ожидания) тренды построены на основе полиномов пятой степени. Для критерия

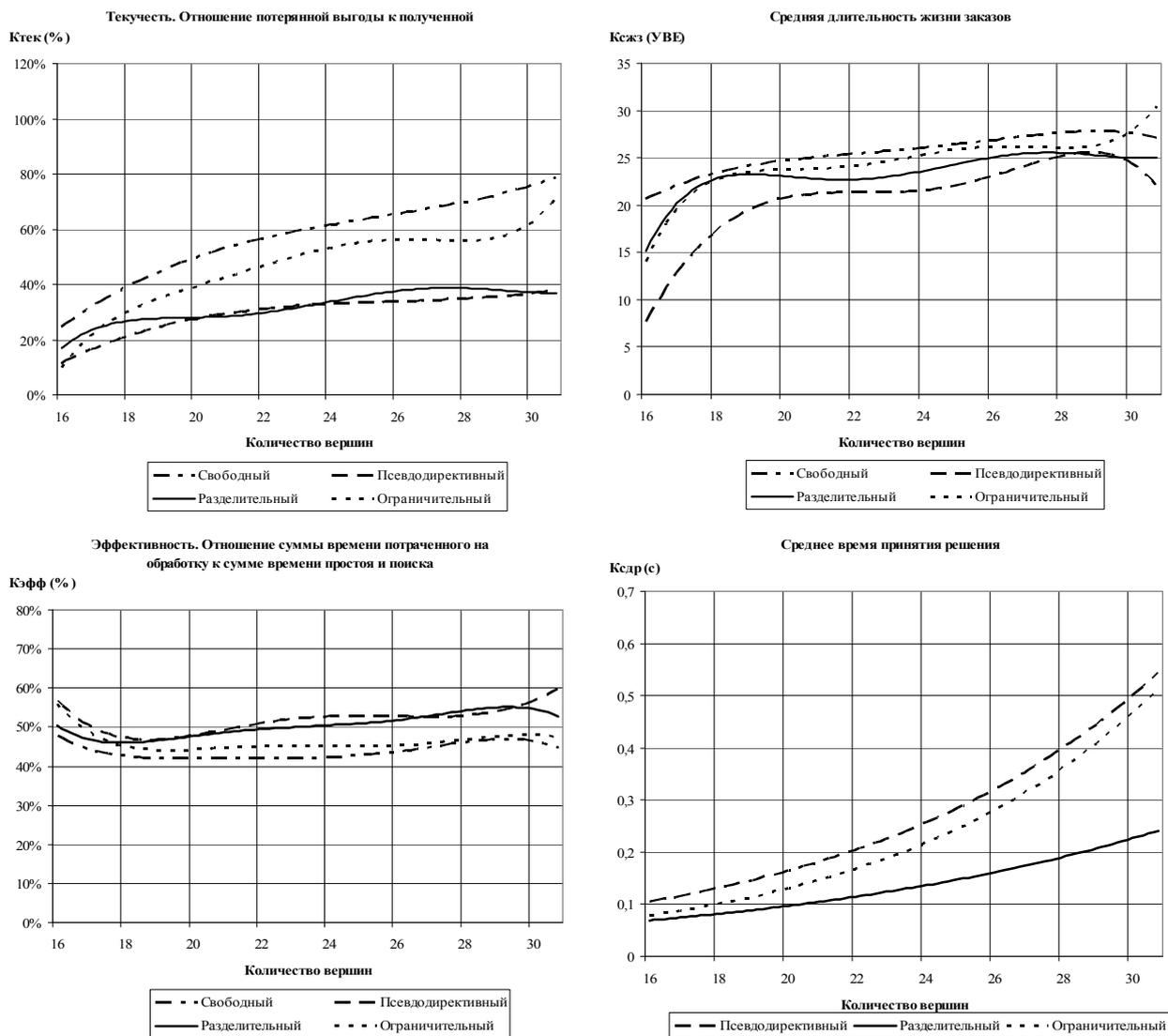


Рис. 2. Результаты моделирования

среднего времени принятия решения – на основе экспоненциального выражения.

На графиках видно, что, несмотря на добавление акторов пропорционально количеству вершин, при росте графа наблюдается некоторое увеличение значений критерия текучести. Это объясняется тем, тем, что увеличивается длительность переходов, которые необходимо совершать акторам для достижения искомого заказа на обработку. Следует отметить, что лучшими значениями показателей текучести и эффективности обладают псевдодирективная и разделительная стратегии. Благодаря тому, что при добавлении новых вершин добавляются и новые акторы, баланс производства и потребления остаётся на одном уровне без значительных колебаний. При этом наилучшие значения среднего времени жизни заказов в рамках данного эксперимента даёт псевдодирективная стратегия. Затраты времени на принятие решения для всех стратегий имеют тенденцию роста с увеличением количества вершин на графе

по степенной функции. Отметим, что график изменения среднего времени принятия решения для разделительной стратегии имеет значительно более пологую форму. При этом на ограничительное решение тратится меньше времени.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что стратегии, реализованные в модели проактивной диспетчеризации и основанные на информационном кондиционном управлении (разделительная и ограничительная) имеют преимущество по времени принятия решения перед директивной стратегией в условиях систем большой сложности (большого количества вершин, акторов-исполнителей или заказов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обобщения современных тенденций и практического опыта по автоматизации грузовых перевозок удалось сформулировать и формализовать модель проактивной диспетче-

зации, которая позволяет по-новому подойти к решению актуальной задачи управления транспортными ресурсами в условиях неопределенности, свойственной деятельности операторов 5PL. В статье описываются критерии проактивной диспетчеризации, которые могут быть использованы для имитационного моделирования и поддержки принятия решений в многоакторной интегрированной информационной среде транспортно-экспедиционных компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернова Д.В., Токманев С.В. Комплексная оценка экономической эффективности управления запасами оптово-посреднических организаций. Вестник Самарского государственного экономического университета, 2009. № 10 (60). С. 107 – 110.
2. Supply chain intermediaries study / A. Hickson, B. Wirth, G. Morales, University of Manitoba Transport Institute, 2008. 56 p.
3. Handbook of scheduling: algorithms, models and performance analysis / Edited by J. Y-T. Leung, Chapman & Hall / CRC computer and information science series, 2004.
4. Орлов А.Ю., Иващенко А.В. Организация виртуального сообщества в сети Интернет // Информационные технологии, 2008. №8. С. 15 – 19.
5. Иващенко А.В. Метод кондиционального управления взаимодействием в мультиагентной среде // Системы управления и информационные технологии. 2013. № 1. С. 39 – 43.
6. Иващенко А.В. Управление взаимодействием персонала предприятия в многоакторной интегрированной информационной среде / Программные продукты и системы. 2012. № 3. С. 18 – 22.
7. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. II. Приложения и технология разработки // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 3. С. 55 – 75.

PROACTIVE DISPATCHING STRATEGIES FOR 5PL RESOURCES INTELLIGENT MANAGEMENT

© 2013 A.V. Ivaschenko, D.G. Peysakhovich

Samara State Aerospace University named after Academician S. P. Korolyov
(National Research University)

This paper describes a software solution for 5 Party Logistics operator that provides transportation service by capturing and processing the information about external customers and carriers and search for the best logistics chains. The solution is based on implementation of scheduling by conditions technology for multi-actor integrated information space.

Key words: transportation logistics, 5PL, intelligent scheduling systems, proactive dispatching, multi-agent systems, scheduling by conditions.

Anton Ivaschenko, Doctor of Technics, Associate Professor at the Information Systems and Technologies Department.

E-mail: anton.ivashenko@gmail.com

Daniil Peysakhovich, Graduate Student at the Information Systems and Technologies Department

E-mail: dormann@gmail.com