

УДК 681.32

К.О. ЗАПАДНЯ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ И МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Разработан комплекс моделей для анализа и планирования транспортного обслуживания распределенных технологических комплексов (РТК). Построен метод маршрутизации транспортных средств для задач управления транспортом РТК, основанный на имитационном моделировании.

планирование транспортного обслуживания, маршрутизация транспортных средств, распределенный технологический комплекс

Введение

Одной из характерных особенностей крупных предприятий и объединений (аэрокосмическая отрасль, газо- и нефтедобыча, транспортный комплекс и т.д.) является территориально распределенный производственный цикл. Это приводит к возникновению достаточно сложных для планирования задач транспортного обслуживания (ТО) распределенных технологических комплексов (РТК). Необходимо отметить, что затраты на ТО РТК резко возрастают с увеличением объема перевозимых грузов, включающих материалы, инструмент, технологическую оснастку, для выполнения основных технологических операций в РТК, а также расстояний между пунктами отправки и доставки грузов. Доставка этих грузов может осуществляться с баз хранения (БХ), расположенных на достаточно большом удалении от технологических узлов (ТУ) РТК. Поэтому планирование ТО РТК необходимо осуществлять с учетом современных требований транспортной логистики, учитывающей все аспекты бизнес-процессов, связанных с доставкой грузов и обслуживанием РТК. Существующие методы маршрутизации, основанные на известных алгоритмах (например, алгоритм Дейкстры) не учитывают особенности, условия и ограничения, связанные с ТО РТК. Поэтому в проделанной работе рассматривается

новый подход к решению актуальной транспортной задачи обслуживания РТК, основанный на комбинаторном анализе структур ТО РТК и имитационном моделировании для формирования план-графиков движения транспортных средств.

Постановка задачи. Для планирования ТО РТК необходимо:

- проанализировать разнообразие схем и потоков транспортного обслуживания РТК;
- разработать методы планирования и маршрутизации транспортных средств, обслуживающих РТК;
- создать прикладную информационную технологию для решения задач ТО РТК.

Проведенные исследования базируются на использовании методов теории перечисления для структурного множественного анализа схем и потоков транспортного обслуживания РТК; методах теории имитационного моделирования сложных систем для задач планирования ТО РТК; моделях искусственного интеллекта для создания алгоритмов маршрутизации транспортных средств в РТК; методах объектно-ориентированных информационных технологий для создания подсистемы анализа и планирования ТО РТК.

Анализ методов и моделей для исследования РТК показал, что [1]:

- существует системная связь между структурными и топологическими аспектами создания РТК;
- формирование архитектуры РТК носит комбинаторный характер и требует разработки эффективных методов решения;
- эффективность работы РТК в значительной мере зависит от системы транспортного обслуживания, которая, в свою очередь, связана с рациональной организацией транспортировки грузов и организацией материальных потоков;
- существующие методы решения транспортных задач не учитывают реальные условия и ограничения, возникающие в процессе обслуживания РТК.

Метод решения

Проведен структурный анализ РТК на основе использования методов теории перечисления и комбинаторного анализа. Разнообразие технологических процессов, протекающих в РТК, требования своевременного обслуживания усложняют транспортную систему РТК, приводят к многочисленным возможным структурам и схемам грузопотоков транспортного обслуживания.

Например, есть множество модулей РТК, которые отображаются во множество узлов ТО РТК. Здесь осуществляется переход к классам эквивалентности (вводимой одинаковости) вариантов, что позволяет воспользоваться основными теоремами и следствиями теории перечисления (Пойа, Де Брейн) [2]. Например, если при формировании ТО РТК интересует только состав модулей (основных и обслуживаемых) без учета транспортных связей между ними, то на множестве региональных систем РТК, которые обозначим через R , $|R| = r$, действует симметрическая группа S_r . Необходимо найти всевозможные варианты состава РТК. Эта задача эквивалентна задаче разбиения числа n (количество модулей), на не более чем r частей. Тогда число вариантов:

$$K = |H_R|^{-1} \sum_{h \in H_R} Z \left(H_B; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots \right) = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z \left(S_n; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots \right),$$

где H_R – группа подстановок, действующая на множестве R ; $h \in H_R$ – элементарная подстановка; $\{C_1, C_2, \dots\}$ – тип элемента h ; $Z(S_n; \dots)$ – цикловой индекс группы S_n .

Если задано число возможных модулей РТК, их типы и число r региональных систем, то число вариантов ТО РТК:

$$K = K_r - K_{r-1} = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z \left(S_{p_1} + S_{p_2} + \dots + S_{p_l}; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots \right) - \frac{1}{(r-1)!} \sum_{h \in S_{r-1}} Z \left(S_{p_1} + S_{p_2} + \dots + S_{p_l}; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots \right),$$

где p_i – количество модулей РТК i -го типа.

Исследованы структуры РТК в виде топологий транспортных связей ТО РТК. Определены комбинаторно-групповые свойства основных типов транспортных систем РТК, с помощью которых можно перечислить (подсчитать) всевозможные варианты структур ТО РТК: итеративная (линейная) транспортная связь; матричная структура; магистральная связь; радиальная, кольцевая связи и др. Например, для смешанной радиально-кольцевой топологии транспортных связей комбинаторно-групповые свойства графа G структуры РТК описываются в виде группы подстановок вершин графа:

$$\Gamma(G) = D_{p'} [S_1 + S_{p''}],$$

где $D_{p'}$ – диэдральная группа степени p' ; p' – число региональных систем ТО РТК; p'' – число районных систем, входящих в состав региональных.

Применяя известные результаты теории перечисления, можно подсчитать количество вариантов структур ТО РТК по следующей формуле [1]:

$$K = Z \left(\Gamma(G); \frac{\partial}{\partial z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2}, \dots \right) \times Z(H; 1 + z_1, 1 + 2z_2, \dots)$$

при условии $z_1 = z_2 = \dots = 0$, где $Z(G)$ – цикловой индекс группы подстановок множества вершин графа G структуры РТК; $Z(H; \dots)$ – цикловой индекс группы подстановок множества модулей РТК.

Проведен анализ грузопотоков транспортного обслуживания РТК. Анализируются различные схемы материальных потоков: однонаправленный; параллельные потоки с различными связями; потоки с петлями; замкнутые и разомкнутые, комбинированные потоки и др. Гибкость схем грузопотоков осуществляется в виде количества возможных вариантов организации маршрутов движения транспорта. Так, например, для разомкнутых параллельных транспортных потоков с внутренним расположением n модулей РТК, количество возможных транспортных маршрутов:

$$L_T = 2(2^n - 1).$$

Разработаны модели планирования для задач управления транспортировкой грузов в РТК. Одна из актуальных задач планирования и управления РТК связана с выполнением директивных сроков освоения новых технологических объектов. Из-за удаленности технологических узлов от баз хранения оборудования, инструментов и материалов, необходимо планировать перемещение оборудования на большие расстояния с использованием разнообразных транспортных средств, как общего назначения, так и специальных. Разработан метод планирования перевозок, основанный на имитационном моделировании и учете основных критериев транспортного обслуживания: времени и стоимости перевозок. Выделены особенности транспортного обслуживания РТК, связанные с различными транспортными магистралями, транспортными средствами, ограничениями по весу, габаритам, условиям движения, временными ограничениями дорожного движения, условиями перевозок. Перечисленные особенности

затрудняют использование традиционных методов решения транспортных задач (например, известный алгоритм Дейкстры).

Для маршрутизации разработан оригинальный метод, основанный на имитационном моделировании и распространении «числовых волн» в транспортной сети (ТС) РТК [2].

Задача поиска рационального маршрута от базы хранения до основного технологического узла РТК разбивается на шаги:

1. Создание имитационной модели транспортной сети.
2. Имитация движения транспортных средств с помощью распространения «числовых волн» с учетом ограничений ТС.
3. Формирование маршрута движения транспортного средства.

На первом шаге, с помощью знаниеориентированной фреймной структуры, создается макет транспортной сети. Каждый узел ТС представляется в виде фрейма, в слотах которого находятся название узла, индикатор занятости узла транспортным средством, волновая метка, указатель на подфрейм («разветвитель») узла. В слотах «разветвителя» указывается номер соседнего узла (узлов), расстояние до него и другие вспомогательные величины.

На втором шаге осуществляется генерация «числовых волн» в ТС. «Числовые волны» генерируются от исходных узлов (баз хранения) к технологическим узлам РТК по всем возможным направлениям. При попадании волны в ТУ, осуществляется генерация новых волн. Благодаря имитационному моделированию обеспечивается параллельное (одновременное) распространение волн.

Механизм моделирования основан на идее генетического алгоритма, в котором присутствует процесс «размножения» и «гибели». «Размножение» осуществляется при генерировании числовых волн в соседних узлах ТС. «Гибель» неперспективных маршрутов связана с существующими условиями и

ограничениями ТС. Это позволяет эффективно отсекаать те «числовые волны», которые не соответствуют рациональным маршрутам движения. Кроме того, при достижении «числовой волны» конечного узла, автоматически отбрасываются и прекращают размножаться все остальные «числовые волны».

При решении задачи планирования транспортных перевозок учтены различные критерии эффективности, связанные с бизнес-процессами транспортного обслуживания РТК [3].

Рассмотрены следующие постановки задачи транспортного обслуживания РТК с учетом бизнес-процессов транспортной логистики:

1. Обеспечить своевременное, без задержек, транспортное обслуживание РТК, с учетом ограничений на стоимость перевозок:

$$\Delta T_j = T_{\partial_j} - T_{\phi_j} \geq 0, \quad j = \overline{1, M}, \quad СП_{\phi} \leq СП_3,$$

где T_{∂_j} – директивный срок приезда j -го транспортного средства в заданный ОТМ, который соответствует плановому сроку начала работы основного технологического оборудования; T_{ϕ_j} – фактический (рассчитываемый) срок приезда j -го транспортного средства, полученный путем имитационного моделирования; M – количество транспортных средств, участвующих в ТО на ближайший планируемый период работы РТК; $СП_{\phi}$ – фактическая стоимость перевозок; $СП_3$ – задаваемая (допустимая) стоимость перевозок.

2. Минимизировать транспортные расходы в ближайший планируемый период работы РТК с учетом ограничений на время транспортного обслуживания:

$$\min СП_{\phi}, \quad СП_{\phi} \leq СП_3, \quad T_{\phi_j} - T_{\partial_j} \leq T_{o_j}, \quad j = \overline{1, M},$$

где T_{o_j} – допустимое запаздывание j -го транспортного средства, которое не приводит к срыву графика работы основного технологического оборудования РТК.

3. Обеспечить решение компромиссной задачи, минимизирующей стоимость перевозок и время движения ТС с учетом ограничений на стоимость и время транспортного обслуживания:

$$\min(T_{\phi_j}, СП_{\phi_j});$$

$$T_{\phi_j} - T_{\partial_j} \leq T_{o_j}, \quad СП_{\phi} \leq СП_3.$$

Заключение

В работе предложен набор математических моделей для структурного анализа и планирования перевозок в транспортной системе обслуживания распределенных технологических комплексов. Предложенный подход можно эффективно использовать в задачах транспортной логистики современного производства.

Литература

1. Западня К.О. Топологический анализ и синтез структур распределенных технологических комплексов // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2004. – № 4. – С. 131-136.
2. Западня К.О. Знаниеориентированное имитационное моделирование транспортного обслуживания в распределенных технологических комплексах // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2005. – № 6. – С. 89-93.
3. Малеева О.В., Западня К.О. Оптимизация структур транспортного обслуживания в распределенных технологических комплексах // *Системи обробки інформації*. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2005. – Вип. 3. – С. 60-64.

Поступила в редакцію 11.05.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.