УДК 656. 22

Блинцов Сергей Михайлович – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ

Среди задач маршрутизации движения транспортных судов особое место занимает задача с временными ограничениями, которую называют задачей составления графиков (или расписаний). Она формулируется следующим образом.

Задано количество перевозок n, которые требуется осуществить на сети G = (V, E), множество вершин V которой соответствуют перевозкам, а множество дуг E — допустимые переходы транспортных судов. Известны:

t_i — продолжительность перевозки v_i (i = 1,…,n); s_i — исходный пункт (пункт погрузки) v_i (i = 1,…,n);

A(i) — момент времени, начиная с которого можно начать перевозку из пункта s_i (i = 1,…,n); T_i — конечный пункт (пункт выгрузки) v_i (i=1,…,n);

B(i) — момент времени, не позже которого требуется завершить перевозку v_i (i = 1,…,n), причем $B(i) - A(i) \geq t_i$; M — число транспортных судов;

t_{ij} — время, необходимое для перехода от v_i-й перевозки к v_j-й т.е. время перехода из пункта T_i в пункт s_j (время переналадки, балластный переход и т.д.).

В графике движения для каждого транспортного средства должна быть указана последовательность совершения перевозок, что однозначно определит маршрут, и указаны действительные времена начала $\tau_i'^{[k]}$ и окончания $\tau_i''^{[k]}$ перевозок в данном, конкретном расписании, где i =1,…, n, k ≠ 1, …, M.

График считается допустимым, если для всех перевозок, включенных в него, выполняются следующие условия:

$$A(i) \leq \tau_i'^{[k]}$$
$$\tau_i''^{[k]} \leq B(i) . \qquad (1)$$

Требуется найти допустимый график, минимизирующий или максимизирующий некоторый критерий. Отметим, что задачи, в которых максимизируется прибыль от перевозок, решаются в тех случаях, когда заранее известно, что имеющихся транспортных средств недостаточно для выполнения всех требуемых перевозок [1] .

Многие исследователи (например, [2]), в первую очередь, ставят задачу минимизации числа транспортных средств, а во вторую — минимизацию пройденного расстояния.

Важным частным случаем сформулированной задачи является задача составления графика с жесткими сроками доставки [3], т.е. когда

$$B(i) - A(i) = t_i. \qquad (2)$$

Такая задача решается для сети, узлы которой соответствуют перевозкам [2]. Узлы i и j соединяются ориентированной дугой (i, j) тогда и только тогда, когда $A(j) \geq A(i) + t_i + t_{ij}$. Для сети, построенной таким образом, множество допустимых расписаний одного транспортного средства совпадает с множеством путей на (этой сети. Задачу минимизации числа транспортных средств можно решить, используя алгоритм нахождения максимального потока в сети [3]. Постановка задачи минимизации числа транспортных средств с нежесткими временными ограничениями дана в [2] в виде задачи нахождения максимального потока в двудольном графе, узлы которого соответствуют перевозкам, а дуги — допустимым переходам транспортных средств.

Задача составления графика с критерием минимизации суммарной стоимости перевозок решается как задача назначений [2] , коэффициенты которой вычисляются следующим образом. Пусть c_1, c_2, c_3 обозначают соответственно удельную стоимость перехода, удельную стоимость простоев и фиксированную стоимость ввода в работу одной транспортной единицы. Тогда элементы матрицы для задачи назначений вычисляются следующим образом:

$$c_{ij} = \begin{cases} c_1 d_{ij} + c_2 L_{ij}, & i, j \in A \\ c_3 + c_1(d_{ig} + d_{gi}), & i, j \in A, \end{cases} \qquad (3)$$

где A — множество допустимых (по временным ограничениям) пар перевозок (множество A совпадает с множеством дуг сети, о которой говорилось выше), g — индекс транспортного предприятия.

Слагаемое $c_1(d_{ig}+ d_{gi})$ представляет собой суммарную стоимость перехода транспортного средства с рейда к причалу погрузки и переход от причала погрузки на рейд.

В процессе решения полученной задачи назначений образуется несколько циклов. При этом могут быть следующие две ситуации: в цикле все переходы, кроме одного допустимы; в цикле несколько недопустимых переходов. В первом случае выбрасывается недопустимый переход; в результате получается допустимый маршрут. Во втором случае выбрасывается несколько недопустимых переходов; в результате получается несколько маршрутов. Если два недопустимых перехода (i , j) и (j, k) идут подряд, то при их выбрасывании получается маршрут из одной перевозки j. Этот метод хорош тем, что существуют алгоритмы, позволяющие быстро решать задачу назначений, и есть возможность проверить чувствительность решения к изменению сроков. К недостаткам метода следует отнести невозможность учитывать ограничения на время работы водителей, что, впрочем, можно исправить коррекцией решения по некоторому эвристическому алгоритму.

Задача с нежесткими временными ограничениями является более сложной, чем задача с жесткими ограничениями; причем сложность ее растет по мере увеличения интервалов $(A(i),B(i) - t_i)$. Как только длина пересечения интервалов $\bigcap_{i=1}^{n}(A(i),$ $B(i))$ станет больше, чем $\sum_{i=1}^{n} t_i$ задача станет задачей нескольких коммивояжеров, в которой пункты соответствуют перевозкам.

В работе [2] показано, что сложность задачи с нежесткими временными ограничениями снижается с уменьшением величин $(B(i) - A(i) - t_i)$. Доказано, что эта задача принадлежит к классу полиномиально сложных задач. К этому классу принадлежит, например, задача коммивояжера. Задачи этого класса характеризуются тем, что для них, видимо, не существует эффективных точных алгоритмов с временем счета, пропорциональным полиному от числа перевозок.

Путем некоторых преобразований задача с жесткими сроками доставки может быть сведена к задаче на сети. Для этого требуется "растянуть" сеть во времени [3] . Непрерывное время дискретизируется и каждый узел, соответствующий перевозке, заменяется на столько узлов, сколько дискретных моментов времени получается из интервала (A(i) –B(i) – t_i). Далее сеть строится аналогично тому, как она строится для задачи с жесткими временными ограничениями.

Для того, чтобы учесть ограничение на число используемых транспортных средств, в сетевой постановке задачи вводятся фиктивные пункты — источник и сток. Всем дугам, включая дуги от источника к основным узлам, приписываются стоимости единичного потока. Подобная постановка использовалась для решения задачи развозки нефтепродуктов танкерами [1,4] .

В ряде работ [1,2,4] указывается на невозможность решения реальных задач большой размерности (т.е. задач, где число перевозок исчисляется сотнями, а транспортных средств — десятками) точными методами, в связи с чем предлагается решать задачу приближенно.

Например, предлагается эвристическая процедура, состоящая из двух этапов [2]. Сначала решается задача объединения индивидуальных перевозок в двухзвенные маршруты (сегменты) наилучшим образом. Затем на полученном множестве сегментов эта задача решается еще несколько раз до тех пор, пока не будет получено достаточное количество хороших (в смысле заданного критерия) маршрутов. После этого каждый из полученных маршрутов улучшается "3-оптимальным" методом. Заметим, что во многих приложениях, в частности, на автотранспорте, не имеет смысла рассматривать маршруты из очень большого числа звеньев.

Двухступенчатая схема решения задачи рассматривается в работах [5,6]. Она включает в себя этап построения множества лучших допустимых маршрутов (некоторые из них могут включать одни и те же перевозки) и этап решения задачи покрытия. Такая схема обладает рядом преимуществ. Она позволяет учитывать любые, без исключения, ограничения на маршруты, в частности, ограничения на продолжительность рабочего дня, что трудно или невозможно сделать другими методами, а также любые (жесткие или нежесткие) временные ограничения.

Успех решения задачи, в основном, зависит от того, как определяется исходное множество маршрутов. В работе [2] предлагается достаточно общая процедура генерирования маршрутов. Генерировать множество маршрутов можно также с помощью алгоритма нахождения кратчайшего (длиннейшего) пути в ациклической сети [7].

Выводы:

В зависимости от условий эксплуатации транспортных судов, для решения задач составления их графиков движения предлагается набор соответствующих алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bellmore M., Bennington G., Lubore S. A Maximum Utility Solution to a Vehicle Constrained Tanker Scheduling Problem //Naval Res. Log. Quart, 1988, vol. 15, №3.

2. Orloff C.S. Route Constrained Fleet Scheduling //Transp. Sci., 1986,vol. 10, № 2.

3. Levin A. Scheduling and Fleet Routing Models for Transportation Systems. Sci., 1981, vol. 5, № 3.

4. Форд Л.Р., Фалкерсон Д. Потоки в сетях. М., Мир, 1966.

5. Appelgren L.H. A Column Generation Algorithm for a Ship Scheduling Problem Trans. Sci. 1989, vol. 3, № 1.

6. Аникевич А.А., Боборыкин В. А., Грибов А. Б. Автоматизация ежедневного планирования работы грузовых автомобилей. М., Транспорт, 1981.

7. Ким К. В. Задача отыскания оптимальных маршрутов //М., Экономика и математические методы, 1985, т.1, вып. 5.