УДК 519.854.2

ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ДВУХПУТНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Н.Ф. Хуснуллин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: nhusnullin@gmail.com

Ключевые слова: теория расписаний, динамическое программирование, двухпутная железная дорога, ремонтные участки

Аннотация: В данной работе рассматривается одна из задач построения оптимального расписания движения поездов на железной дороге, в частности задача нахождения расписания на двухпутной железной дороге при условии, что один из участков между семафорами закрыт. Предложен точный алгоритм, основанный на методе динамического программирования.

1. Введение

В эксплуатационной работе железных дорог различают следующие виды графиков движения поездов: нормативный график и вариантный график. Нормативный график движения поездов (НГДП) разрабатывается и составляется ежегодно технологами отдела разработки графиков движения поездов службы перевозок железных дорог. Вариантные графики движения поездов (ВГДП) разрабатываются на участках, где предоставляются окна для ремонтных и строительных работ, влияющие на условия пропуска поездов и размеры движения поездов. ВГДП должен обеспечивать пропуск установленных среднесуточных размеров движения поездов на железнодорожном участке; в противном случае совместно с департаментом перевозок решается вопрос об отклонении вагонопотоков на период предоставления «окон» на параллельные участки дороги. Для участков, на которые отклоняются вагонопотоки (с участков где предоставляются «окна») также разрабатываются вариантные графики движения поездов [1,2,3].

В данной работе рассматривается **задача построения оптимального вариантного графика движения поездов**.

2. Постановка задачи

Между пунктами A и B пролегает двухпутная железная дорога, разделенная семафорами. На рис.1. они отмечены точками. Участками будем называть отрезки железной дороги между семафорами. Пусть k – количество семафоров на переезде из пункта А в пункт В. Тогда n – количество участков, $n = k + 1$, а p – время движения поезда на каждом из участков. Участки нумеруются слева направо. Верхняя колея предназначена для движения поездов идущих слева направо, а нижняя для встречного движения. Поезда не могут двигаться назад и совершать переезды на соседнюю ветку на семафорах, если участок не закрыт на ремонт.

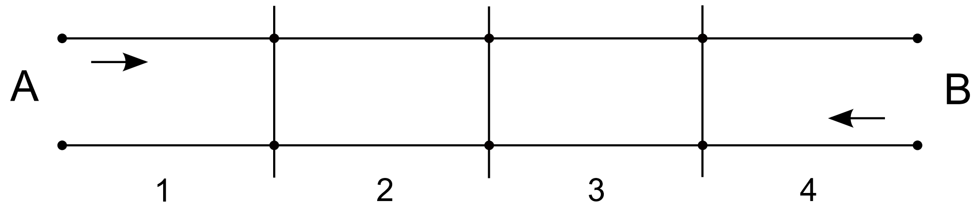

Рис.1 Двухпутная железная дорога, разделенная семафорами

Пусть существует расписание $\pi^{'}$ предписывающее всем поездам идущим по направлению к станции назначения проезжать каждый семафор согласно расписанию. В связи с особенностями работы на железной дороге существуют моменты времени, когда может быть закрыт один из участков (рис.2 и 3). Заштрихованные участки - это участки недоступные для движения, далее будем называть такой участок "узким местом". Необходимо сформировать новое расписание движения поездов π, используя любую регулярную целевую функцию:

(1) $F(C_j(\pi))$

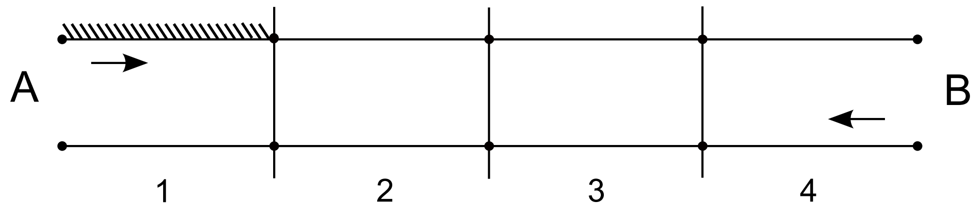

Рис.2 Двухпутная железная дорога с закрытым участком дороги

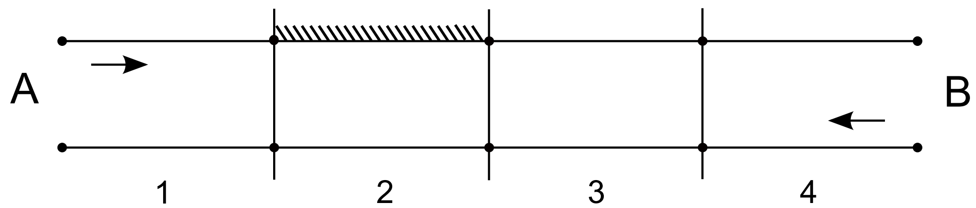

Рис.3 Двухпутная железная дорога с закрытым участком дороги

Будем говорить, что система находится в состоянии

$$S(t, s_0, ..., s_j) = S(t, s_0, s_1, ..., s_l, s_{l+1}, ..., s_{l+r}),$$

если в момент времени t поезда идущие слева направо (по верхней колее) находятся на участках $s_0, ..., s_l$, а поезда идущие справа налево (по нижней колее) на $s_{l+1}, ..., s_{l+r}$, где

- l – количество поездов идущих из пункта A в B;
- r – количество поездов идущих из B в A;

- $L = \{0, ..., l\}$, $R = \{0, ..., r\}$;
- $s_j \in \{0, ..., n\}$, $j \in \{0, ..., l + r\}$.

В дальнейшем $s_0, ..., s_l$ будем называть левой группой, а $s_{l+1}, ..., s_{r+l}$ правой группой. Пусть в начальный момент времени значение переменных входящих в левую группу равно 0, а значение переменных правой группы установим равным максимально возможному $n + 1$, где n – количество участков. Конечным состоянием считается состояние, в котором значение всех переменных левой группы равно $n + 1$, а правой соответственно 0.

3. Описание алгоритма

Шагом будем называть этап алгоритма, в котором происходит генерация возможных состояний для следующего момента времени основываясь на информации из предыдущего состояния. Для решения поставленной задачи строится граф состояний. Так как разрешение спорной ситуации в узком месте происходит с участием не более двух поездов, то дерево решений в общем виде будет бинарным.

Пример 1.

Пусть в каждом направлении идут по 3 поезда и предположим, что все участки открыты для движения (рис.1).

- $S(s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6) = S(0, 0, 0, 5, 5, 5)$ – начальное состояние[1];
- $S(1, 0, 0, 4, 5, 5)$ – 1 шаг – на 1 увеличивается s_1, на 1 уменьшается s_4;
- $S(2, 1, 0, 3, 4, 5)$ – 2 шаг – на 1 увеличивается s_1, s_2, на 1 уменьшается s_4, s_5;
- .....
- $S(5, 5, 5, 0, 0, 0)$ – i шаг, на котором:
  на 1 увеличивается $s_1, s_2, ..., s_{m_l}$, где $m_l = \min\{i, l\}$;
  на 1 уменьшается $s_{l+1}, s_{l+2}, ..., s_{m_r}$, где $m_r = \min\{l + i, l + r\}$.

Пример 2.

Теперь, закроем второй участок для движения слева направо, $s_{break} = 2$. Тогда поезда обоих направлений будут проезжать второй участок по нижней колее (рис.3.). Без потери общности также установим, что время переезда с одной колеи на другую на границе участка (на семафоре) равно нулю. На одном участке не может быть более одного поезда, если на нем закрыта одна из веток для движения. Следовательно, при формировании состояния S значение $s_{break} = 2$ может встретиться лишь раз. Если в левой стороне встречается $s_{break} = 2$, то в правой стороне мы уменьшаем на 1 лишь до первой переменной, которая будет равна s_{break}, т.е. не возможно следующее состояние: $S(3, 2, 1, 2, 3, 4)$. Считается, что поезд проехал узкое место, если:
$s_l > s_{break}$ – для поездов идущих слева направо;
$s_r < s_{break}$ – для поездов идущих справа налево.

Алгоритм генерации состояний изменится следующим образом:

[1]чтобы не усложнять описание алгоритма, переменную t временно опустим из рассмотрения

- $S(0,0,0,5,5,5)$ – состояние в начальный момент времени;
- $S(1,0,0,4,5,5)$ – 1 шаг – на 1 увеличивается s_1, на 1 уменьшается s_4;
- $S(2,1,0,3,4,5)$ – 2 шаг – на 1 увеличивается s_1, s_2, на 1 уменьшается s_4, s_5;
- в следующий момент времени возникнет спорная ситуация в узком месте, кто-то кого-то должен пропустить. На 3 шаге генерируется 2 состояния, применяя следующее правило: если поезд вышедший из пункта B пропускает встречный поезд на 1 увеличивается $s_1, s_2, ..., s_{m_l}$, где $m_l = \min\{i, l\}$ и на 1 уменьшается $s_{l+1}, s_{l+2}, ..., s_{m_r}$, где $m_r = \min\{i, r\}$ и $s_{m_r} > s_{break}$.
  В свою очередь, если поезд вышедший из пункта A, ожидает освобождения участка s_{break}, то на 1 уменьшается $s_{l+1}, s_{l+2}, ..., s_{m_r}$, где $m_r = \min\{i, r\}$ и на 1 увеличивается $s_1, s_2, ..., s_{m_l}$, где $m_l = \min\{i, l\}$ и $s_{m_l} < s_{break}$.
- ...
- условием остановки алгоритма является достижения следующего состояния: $S(5,5,5,0,0,0)$.

4. Заключение

Из идеи алгоритма видно, что генерация состояний основывается лишь на информации из предыдущего состояния. Данная особенность предоставляет широкие возможности для параллелизации алгоритма и его запуску на многопроцессорной архитектуре кластера. Предлагаемую идею, также можно использовать для решения задачи планирования ремонта участков на железной дороге минимизируя значения целевой функции и выбирая отрезок времени, когда это выгодно с экономической точки зрения. При этом авторы предполагают, что это существенно не увеличит сложность алгоритма и решаемой задачи.

Необходимо сформировать новое расписание π движения поездов

Для апробации полученных результатов использовался вариантный график движения поездов при производстве работ на Северной и Октябрьской железных дорогах за 2009-2010 г. Был выбран участок дороги между станциями Кошта и Бабаево, состоящий из 9 семафоров. Согласно нему в сутки в каждую сторону отправляется порядка 50 составов. Текущая реализация алгоритма на 8 ядерном персональном компьютере позволяет найти решение для 80 составов в каждую сторону за 30 минут, рассматривая задачу с целевой функцей:

$$\min \sum (C_i(\pi) - C_i^{'}(\pi^{'})), \tag{2}$$

где $C_i(\pi)$ и $C_i^{'}(\pi^{'})$ – значения окончания прохождения участка AB (или BA) поездом i для нормативного и вариантного графиков движения поездов соответственно.

В данной работе удалось получить точный алгоритм решения задачи ремонта участков железной дороги легко поддающийся параллелизации. Стоит отметить, что данный подход может быть использован для любых регулярных функций.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (13-01-12108).

Список литературы

1. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Гафаров Е.Р., Кварацхелия А.Г. Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования. М.: ИПУ РАН, 2012. 92 с.
2. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Кварацхелия А.Г., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи управления транспортными системами. М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 160 с.
3. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г. Целочисленные постановки задачи формирования железнодорожных составов и расписания их движения // Управление большими системами. Выпуск 38. М.: ИПУ РАН, 2012. С. 161-169.