

文章编号: 0258-2724(2000)03-0255-04

# 技术站调度决策支持系统的研究

## ——到发线的合理使用

吕红霞<sup>1</sup>, 倪少权<sup>1</sup>, 纪洪业<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学交通运输学院, 四川 成都 610031; 2. 呼和浩特铁路营销调度处, 内蒙古 呼和浩特 010057)

**摘 要:** 建立了一个计算机编制到发线运用计划的二次 0-1 规划模型, 并将该模型化解为两个简单的 0-1 规划模型, 简化了求解难度, 提高了求解效率。

**关键词:** 铁路行车; 决策支持系统; 0-1 规划; 分枝定界算法

**中图分类号:** U292 **文献标识码:** A

## The Study on DSS of the Technical Station Dispatching

### —— Rationally Utilizing Reception and Departure Siding

Lü Hong-xia<sup>1</sup>, Ní Shao-quan<sup>1</sup>, Jì Hong-ye<sup>2</sup>

(1. School of Traffic and Transp., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Dept. Of transportation Distribution and dispatching, Huhehaote Railway Administration, Huhehaote 010057, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of rationally utilizing reception and departure siding of the computer-aided making stage station working plan system, a 0-1 programming model is established and this model is further divided into two simple 0-1 programming model. By this method, it become easy and fast to resolve the 0-1 programming model.

**Key words:** railway travelling crane; decision support system; 0-1 programming; branch-bound method

计算机编制阶段计划是站调决策支持系统的一个重要组成部分, 其主要内容有列车到达出发计划、到发场调车场的线路使用计划、列车解编顺序及调车作业安排。本文中介绍在计算机编制阶段计划中, 到发线使用的数学模型及其求解方法。

## 1 到发线运用计划数学模型的建立

### 1.1 时间片

#### (1) 时间片的定义

在 3 小时阶段计划中, 列车到、发和转线的时间是以时分为单位来表示的。一股道在同一时间内只能被一列车占用, 占用到发线的时间存在干扰的列车不能使用同一条到发线。本文中通过引入时间片的概念, 简化列车之间由于占用到发线的起止时刻不同而产生的约束关系。

**定义1** 将某阶段的时间划分为几段, 每段时间被几列车占用, 并且由于这几列车在占用到发线的时间上存在着交叉干扰, 不能使用同一条到发线。每段时间就称为一个时间片。

收稿日期: 1999-07-20

作者简介: 吕红霞(1969—), 女, 讲师。

通过引入时间片的定义, 就可以把某一阶段的时间划分为几个时间片, 列车占用到发线的起止时刻也可以表示为占用一个或多个连续的时间片, 占用同一时间片的列车在时间上存在干扰, 不能占用同一条到发线。

(2) 划分时间片的算法

在该算法中用到以下变量:

集合  $S_1$ , 表示将列车开始占用到发线的时刻由小到大的排序的时刻集合,  $S_{11}$  为集合  $S_1$  中第一个元素;

集合  $S_2$ , 表示将列车占用到发线的结束时刻由小到大排序的时刻集合,  $S_{21}$  为集合  $S_2$  中第一个元素;

集合  $A_i$ , 表示占用时间片  $i$  的列车集合, 存放列车序号。

划分时间片的算法如下:

① 将本阶段中列车开始占用到发线的时刻由小到大排序, 生成集合  $S_1$ 。结束时刻由小到大排序, 生成  $S_2$ ,  $i = 1$ ,  $A_i$  为空集;

② 取  $S_1$  中最小元素  $S_{11}$ ,  $S_2$  中最小元素  $S_{21}$ ;

③ 在  $S_1$  中取出小于元素  $S_{21}$  的元素, 将这些元素对应的列车序号放入  $A_i$ , 并从  $S_1$  中删除小于  $S_{21}$  的元素, 然后查  $S_1$  是否为空, 若为空, 则分配完毕, 退出;

④ 从  $S_2$  中删除小于  $S_{11}$  的元素;

⑤ 将  $A_i$  中占用到发线结束时刻大于  $S_{11}$  的列车放入  $A_{i+1}$ ;

⑥ 查  $S_2$  是否为空, 若  $S_2$  为空, 则分配完毕, 退出; 若  $S_1$  和  $S_2$  均为非空, 则  $i = i + 1$ , 转②。

1.2 模型的建立

(1) 目标

制定到发线运用计划应考虑以下两个目标:

① 保证不间断接发列车, 避免列车等线, 保证出发列车正点; ② 减少行车和调车作业干扰, 尽量按照固定方案接发列车, 根据列车作业性质等因素安排合适的到发线作业。

(2) 约束条件

通过引用前面定义的时间片的概念, 模型的约束条件描述为:

① 一列列车只能使用一条到发线; ② 属于同一时间片的列车不能使用同一条到发线。

(3) 数学模型

经过以上讨论, 可以将到发线运用计划的编制用以下的 0-1 规划模型表示。

目标函数

$$z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} + \sum_{r=1}^R \left\{ 1 - \sum_{i=1}^{M_r} \left( \sum_{j \in r_{i1}} X_{r_{i1}j} \right) \times \left( \sum_{j \in r_{i2}} X_{r_{i2}j} \right) \right\} W_r$$

约束条件

$$(MODEL) \begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 & \text{约束条件 1} \\ \sum_{i \in A_k} X_{ij} \leq 1 & \text{约束条件 2} \end{cases}$$

其中:  $X_{ij}$  为 0-1 变量,  $X_{ij} = 1$  表示列车  $i$  使用到发线  $j$ ,  $X_{ij} = 0$  表示列车  $i$  不占用到发线  $j$ ;  $C_{ij}$  表示列车  $i$  使用到发线  $j$  的权值, 其取值见下节;  $n$  表示本阶段中使用到发线的列车数;  $m$  表示到发线数;  $l$  表示本阶段划分的时间片数;  $R$  表示本阶段的可能的干扰数, 以两列车为单位;  $M_r$  表示干扰  $r$  的疏解进路数;  $k = 1, \dots, l$ , 表示时间片;  $A_k$  表示占用时间片  $k$  的列车集合。令

$$Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \quad Z_2 = \sum_{r=1}^R \left\{ 1 - \sum_{i=1}^{M_r} \left( \sum_{j \in r_{i1}} X_{r_{i1}j} \right) \times \left( \sum_{j \in r_{i2}} X_{r_{i2}j} \right) \right\} W_r$$

(4) 模型目标函数中矩阵  $C$  的含义

矩阵  $C$  是通过到发线固定使用方案, 到发列车长度、到发列车在站作业性质以及本阶段站内施工计

划等而确定的本阶段到发列车使用到发线的权数矩阵。 $C$ 中元素的取值如下:

$C_{ij}=0$ , 表示列车  $i$  可以使用到发线  $j$ , 且符合到发线固定使用方案;

$C_{ij}=1$ , 表示列车  $i$  可以使用到发线  $j$ , 不符合到发线固定使用方案;

$C_{ij}=M$ , 表示由于到发线  $j$  不能满足列车  $i$  在站的作业需要, 列车  $i$  不能使用到发线  $j$ ,  $M$  是一个大数。

在安排到发线的使用时, 应首先使用  $C_{ij}=0$  的到发线, 当  $C_{ij}=0$  的到发线数量不够时, 可以选择使用  $C_{ij}=1$  的到发线, 不能使用  $C_{ij}=M$  的到发线。

通过以上论述可知, 在数学模型 MODEL 中, 目标函数  $Z_1$  部分保证了列车按其作业性质、列车本身特征和站内施工计划等选用可用的到发线, 在列车可用到发线中尽量按到发线固定使用方案选择到发线。

### (5) 干扰的疏解及干扰疏解进路的表示方法

作业发生干扰的条件有 2 个, 一是进路有交叉, 即进路在空间上有干扰; 二是占用进路的时间有交叉, 即在时间上也存在干扰。对在时间上存在干扰的列车之间, 尽量安排平行进路, 疏解其在空间的干扰, 避免发生作业干扰。这里的干扰, 是指两列车之间的干扰, 两列以上的干扰可以化解为两列车的干扰, 且本文中只讨论可以有合理使用到发线疏解的干扰。干扰及其疏解进路在数学模型中可以用以下变量描述。

① 干扰权值。用  $W_r$  表示干扰  $r$  的权值, 各类干扰及其权值如下:

一类干扰, 接发车作业与接发车作业干扰,  $W_r=10\ 000$ ; 二类干扰, 接发车作业与调车作业干扰,  $W_r=100$ ; 三类干扰, 调车作业与调车作业干扰  $W_r=100$ 。

这样取值的含义为, 当作业之间在占用咽喉有时间干扰时(即占用进路时间相同或有交叉), 应首先考虑疏解干扰, 然后考虑线路固定使用方案。疏解干扰时应优先疏解一类干扰, 再疏解二类干扰。

② 干扰疏解进路的表示。 $r_1$  和  $r_2$  表示发生干扰  $r$  的两列车的列车序号, 这两列车在占用咽喉进路时存在时间干扰;  $r_{i1}$  和  $r_{i2}$  表示在疏解进路  $i$  中列车  $r_1$  和  $r_2$  分别可使用的到发线集合。只有当列车  $r_1$  和  $r_2$  均使用干扰疏解进路, 即列车  $r_1$  使用  $r_{i1}$  中的到发线, 同时列车  $r_2$  使用  $r_{i2}$  中的到发线时, 干扰才会疏解。

综上所述, MODEL 中目标函数  $Z_2$  部分保证按平行进路接发列车, 先疏解一类干扰, 再疏解二类干扰。在按平行进路接发列车的基础上, 再考虑到发线的固定使用问题。

## 2 到发线运用计划数学模型的求解

### 2.1 模型分析

本文中所建立的数学模型是一个二次 0-1 规划模型, 二次 0-1 规划是一类求解难度很大的模型。即使简单的形式, 也是完全 NP 的。

### 2.2 模型的分解

通过以上论述, 可知对数学模型 MODEL 直接求解存在着许多困难。由于模型本身与运输生产实际相关, 通过进一步研究可以发现, 可以不必对该模型按已有算法求解, 而是根据所需解决问题的实质, 找一种快捷简便求得满意解的方法。

通过建立数学模型时的讨论, 可知目标函数中二次项的存在是为了疏解干扰, 而二次 0-1 规划求解的难点在于模型中二次项的存在, 及模型中变量和约束条件数目较大。

在运输生产实际中, 对于衔接几个方向的车站来说列车到、发转线间的干扰确实存在, 但只存在于那些占用咽喉进路时有时间冲突的列车, 因此在进行干扰疏解时应只考虑这部分列车。另外, 可以把疏解干扰进路由到发线而只落实到线束, 当几列车使用咽喉时间发生冲突时, 一个线束只能接发其中一列车, 否则必然发生干扰, 这样在安排接发列车平行进路时, 就可以将发生时间冲突的列车由安排到发线简化到只给出其使用线束使用的安排。

通过以上改进, 可以将原问题分解为 2 个子问题。

问题 1 干扰的疏解问题。对占用咽喉进路有时间干扰的列车安排平行进路, 得到一个干扰列车的

线束使用方案。

问题 2 到发线分配问题。在求解问题 1 得到的线束使用方案的基础上, 考虑到发线的固定使用方案、列车占用到发线的起止时刻和站内施工计划等, 具体安排到发线的使用, 制定到发线的使用方案。

对应于问题 1 和问题 2, 可以将原数学模型相应分解为 2 个模型 MODEL1 和 MODEL2。

(1) 干扰疏解模型

$$Z_1 = \min \sum_{r=1}^R \left\{ 1 - \sum_{i=1}^{M_r} \left( \sum_{j \in r_{i1}} X_{r_1j} \right) \times \left( \sum_{j \in r_{i2}} X_{r_2j} \right) \right\} W_r$$
$$\text{MODEL1} \quad \text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^{X_{zs}} X_{ij} = 1$$

式中:  $X_{ij}$  取 0 或 1;  $i \in GR$ , 表示列车序号;  $j$  取  $1 \sim X_{zs}$  表示线束序号;  $X_{ij}$  表示列车  $i$  是否使用线束  $j$ ;  $X_{zs}$  为到发场的线束数;  $R$  为干扰列车的对数;  $M_r$  为每一对干扰列车的疏解进路数;  $r_{i1}$  为在疏解进路  $j$  中, 第一列车可用的线束序号;  $r_{i2}$  为在疏解进路  $j$  中, 第二列车可用的线束序号。

MODEL1 仅应用于占用咽喉有时间冲突的那部分列车。

(2) 到发线安排模型

$$Z_2 = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C'_{ij} X_{ij}$$
$$\text{MODEL2} \quad \text{s. t.} \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \\ \sum_{i \in A_k} X_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

式中:  $A_k$  为占用时间片  $k$  的列车集合。

利用求解 MODEL1 的结果修改 MODEL 中目标矩阵  $C$ , 得到 MODEL2 中权数矩阵  $C'$ 。这样将原来复杂的数学模型也化为 2 个简单的数学模型。

2.3 模型求解步骤

通过上述讨论, 将原模型分解为 2 个简单的 0-1 规划模型。其中 MODEL1 根据车场两端咽喉结构, 利用平行进路, 制定干扰列车疏解的线束使用方案。而 MODEL2 在干扰疏解方案的基础上, 利用 MODEL1 的运算结果修改 MODEL 的目标函数矩阵  $C$ , 对阶段内所有列车安排到发线。MODEL2 是在 MODEL1 的结果上进行运算。两个模型之间的联系通过目标函数矩阵  $C$  实现。实施的具体步骤如下:

步骤 1 根据运输方案、阶段计划、机车交路、列车特征、阶段初到发场及场内列车状态生成各种模型所需的数据;

步骤 2 求解 MODEL1, 生成没有使用过的干扰疏解方案;

步骤 3 通过由步骤 2 得到的线束使用方案, 修改矩阵  $C$ , 解 MODEL2 得到到发线运用计划;

步骤 4 如果所有的列车都被安排到发线, 则得到到发线使用的阶段计划; 若有列车没有安排到到发线, 则说明该干扰疏解方案不可行, 转向步骤 2 重新安排疏解方案。

其中 MODEL1 使用分枝定界法求解, MODEL2 为一次 0-1 规划在运筹学中有成熟的算法。

3 算法实例

本文中所建立的数学模型及其解法, 利用北京铁路局邯郸车站的数据背景进行了实验。实验证明该模型优化效果明显, 模型可靠, 且求解方法有效。

参考文献:

[ 1 ] 张全寿. 编组站决策支持系统的研究[ J ]. 北方交通大学学报, 1989, 4: 1~5.  
[ 2 ] 李德, 钱松迪. 运筹学[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 1982: 120~240.  
[ 3 ] 毛保华, 张国武. 编组站出发策略分析[ M ]. 铁道学报, 1987, 2: 20~24.  
?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>