

文章编号: 1005-8451 (2008) 2-0008-03

# 客运专线客运站到发线运用优化研究

陈建鑫, 李海鹰, 苗建瑞

(北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044)

**摘要:** 论述客运专线客运站中列车到发线和进路占用时间范围的确定方法, 并在充分考虑客运站咽喉能力的限制和旅客的换乘要求的基础上, 建立到发线运用计划编制的0-1整数规划模型。然后根据软约束和硬约束的不同影响, 设计一种适应于上述0-1规划模型的启发式算法, 此算法将每次的搜索空间限制为可用到发线集, 大大减小搜索空间, 提高搜索效率。最后利用此算法对实例进行验证。

**关键词:** 客运站; 到发线运用; 旅客换乘; 启发式算法

**中图分类号:** U293.2

**文献标识码:** A

## Optimization research for utilization of arrival and departure tracks at stations of High-speed Passenger Special Line

CHEN Jian-xin, LI Hai-ying, MIAO Jian-rui

(SKL of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** It was analysed the method of getting time for occupying siding and route in detail. It was built a 0-1 integer programming model in consideration of the gullet capacity and transferring. It was built a heuristics algorithm, according to the different effect of soft limitation and hard limitation. The heuristics algorithm only searched available sidings, reduced the searching space and improve the searching efficiency. Finally, it was solved this problem by the heuristics algorithm and this method was verified by an actual example.

**Key words:** passenger stations; utilization of arrival and departure track; transfer; heuristics algorithms

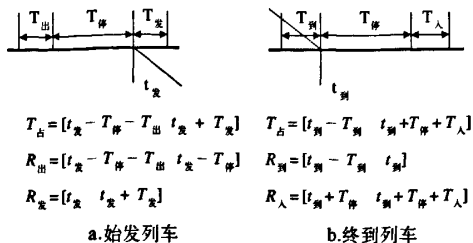
到发线运用计划是确定本阶段内所有到发列车占用的具体股道和占用时间的计划, 这既与列车的对数及其性质、到发的密集程度有关, 又与车站设备、设施和车流组织相关。合理使用到发线, 实现到发线运用计划的自动编制, 是提高铁路运输的生产效率和客运服务质量的一个重要途径。高铁客站列车密度大, 接发车作业时间短, 作业次数频繁, 客运服务要求高, 因此, 高铁客站的到发线运用计划的编制也显得更为重要。

文献[1][3]建立了区段站到发线运用的0-1规划模型, 并充分考虑了交叉干扰作业的疏解; 文献[1][2][5]运用遗传算法来解决区段站到发线安排运用的问题, 其中文献[2]中引入了时间片的概念, 从而将此问题转化为图的k顶点着色问题; 文献[4]是针对客运站到发线安排运用的, 它在文献[2]建立的0-1规划模型的基础上, 又考虑了方便旅客旅行和到发线运用均衡性两个子目标, 建立了一个基于到发线安

排运用问题的多目标规划模型。本文将客运站的咽喉能力限制和旅客换乘要求纳入到模型的约束条件中, 并利用启发式算法来求解模型。

### 1 到发线和进路占用时间计算

到发线(进路)占用时间的计算范围是从列车开始占用到发线(进路)起, 到列车从到发线(进路)上腾空止。本文将到发线和进路占用时间窗的计算按照其作业方式分为4种基本模式来计算, 如图1。对于顺向接续列车可以按照停站列车来处理; 对于在站内需要进行转线调车作业的列车分解为终到作业和始发作业两部分来处理。



收稿日期: 2007-08-27

基金项目: 国家自然科学基金 (60634010)。

作者简介: 陈建鑫, 在读硕士研究生; 李海鹰, 副教授。

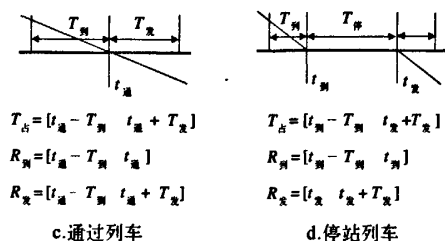


图1 到发线和进路占用时间窗

其中： $T_{占}$ —列车占用到发线的时间；

$R_{到、发、出、入}$ —分别为列车占用发车、到达、出段和入段等进路的时间；

$t_{发、到、通}$ —分别为列车的发车、到达和通过时间；

$T_{发、到、出、入}$ —分别表示出发、到达、出段和入段等进路的预办理时间与进路走行时间之和；

$T_{停}$ —列车在到发线上的停留时间。

## 2 到发线运用计划编制的数学模型

### 2.1 数学模型

不同方向、种类或作业方式的列车需要安排不同的到发线，矩阵  $C=(c_{ij})$  表示列车  $i$  选用到发线  $j$  的权值，具体取值方法见下一节。本文从满足到发线的运用要求出发，以列车选用到发线的权值之和的最小为目标，建立到发线运用计划编制的0-1整数规划模型如下：

目标函数：

$$Z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

约束条件1：一个列车只能占用一条到发线；

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad (2)$$

约束条件2：一条到发线在同一时间只能分配一个列车；

$$\sum_{a \in k(a)} x_{aj} + x_{ij} \leq 1 \quad (3)$$

式中： $k(a)=\{a | t_{aj}^d \geq t_{ij}^a\}$ ， $k(a)$ 为结束到发线占用时刻( $t_{aj}^d$ )大于列车 $i$ 开始占用到发线( $t_{ij}^a$ )的列车集合，此约束表明列车 $i$ 开始占用到发线时，到发线 $j$ 仍然被占用，不能分配给列车 $i$ ；

约束条件3：对占用咽喉进路有时间交叉的列车必须安排平行进路；

$$x_{ij} x_{i'j'} R_{ii'} \leq P_{ijj'} \quad (4)$$

约束条件4：对于存在换乘关系的列车，应尽

量安排在邻靠相同站台的到发线上；

$$x_{ij} x_{i'j'} L_{jj'} \geq S_{ii'} \quad (5)$$

式中： $x_{ij}$ —0~1变量， $x_{ij}=1$ 表示列车 $i$ 占用 $j$ 股道，反之则不占用；

$R_{ii'}$ —0~1变量， $R_{ii'}=1$ 表示列车 $i$ 与列车 $i'$ 在车站咽喉区进路占用时间上存在交叉，反之则不存在；

$P_{ijj'}$ —0~1变量， $P_{ijj'}=1$ 表示列车 $i$ 占用股道 $j$ 与列车 $i'$ 占用股道 $j'$ 在车站咽喉区可以进行平行作业，反之则不可以；

$L_{jj'}$ —0~1变量， $L_{jj'}=1$ 表示股道 $j$ 与股道 $j'$ 邻靠相同站台，反之则邻靠不同站台；

$S_{ii'}$ —0~1变量， $S_{ii'}=1$ 表示列车 $i$ 与列车 $i'$ 存在换乘关系，反之则不存在换乘关系。

### 2.2 权值矩阵C的构建

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，元素 $c_{kj}$ 的取值为：

$$C_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{列车 } k \text{ 可使用到发线 } j, \text{ 且符合到发线固定使用方案;} \\ 1 & \text{列车 } k \text{ 可使用到发线 } j, \text{ 不符合到发线固定使用方案;} \\ M & \text{列车 } k \text{ 不可使用到发线 } j, M \text{ 为充分大正数。} \end{cases}$$

## 3 模型的求解

在上述数学模型中，约束条件3为硬性约束条件，必须要满足的，若忽略约束条件3，编出的到发线运用计划有可能是不可行的；约束条件4则为软约束，若忽略，得到的方案仍然是可行的，只是对旅客换乘产生一定程度的影响。采用启发式算法来求解这个问题，在算法中对约束条件3和约束条件4采用不同的处理方式。

启发式算法的计算量很大程度上取决于搜索空间的大小，处理方法为：通过约束条件过滤将搜索空间限制为可用到发线集合，将到发线分为已占用到发线集和可用到发线集，当某一到发线被占用时将其从可用到发线集中删除，添加到已占用到发线集；这样每次为列车分配到发线时只需要搜索可用到发线，大大减小了搜索空间，提高了搜索效率。

算法的具体步骤如下：

步骤1：初始化。将列车  $N = (n_1, n_2, \dots, n_k)$  按照

开始占用到发线的时间顺序由小到大进行排序, 将已占用到发线集 Occupy 置空, 将所有的到发线都加入到可用到发线集 Available 中; 将时间交叉列车集 Relate 和换乘列车集 Transfer (存放列车和到发线的数据对) 置空;

步骤2: 从列车集  $N$  中取出一列车  $n_i$ , 将列车  $n_i$  开始占用到发线时间设为  $T_{current}$ ;

步骤3: 检查 Relate 集中, 是否存在列车的结束占用到发线时间  $\leq T_{current}$ ; 若存在, 则将此列车从 Relate 中删除, 将其占用的到发线从 Occupy 中删除, 添加到 Available 中;

步骤4: 构建列车  $n_i$  与 Available 中的到发线占用权值向量  $c'$ ;

步骤5: 判断列车  $n_i$  与 Relate 集中的列车在进路占用时间上是否存在交叉; 若存在, 则需要对向量  $c'$  进行修正。具体修正方法为: 若 Relate 集中列车  $n_i$  与列车  $n_i$  在进路占用时间上存在交叉, 列车  $n_i$  占用的到发线为  $s$ , 则向量  $c'$  中非零元素修正为  $c'_j = \max((1 - P_{jls}) \times M, c'_j)$ , 式中  $P_{jls}$  为标识列车  $n_i$  占用股道  $j$  和列车  $n_i$  占用股道  $s$  是否可以平行作业的 0~1 变量;

步骤6: 判断列车  $n_i$  是否存在于 Transfer 中, 若存在, 则对向量  $c'$  进行修正, 修正完后将列车  $n_i$  及其对应的到发线从 Transfer 中删除。具体修正方法为: 从 Transfer 中取出列车  $n_i$  和其对应的股道  $s$ , 向量  $c'$  中的非零元素修正为  $c'_i = c'_i + (1 - L_{is})e$ , 式中  $L_{is}$  为标识股道  $i$  和股道  $s$  是否共用一站台的 0~1 变量,  $e$  为不方便换乘的罚值;

步骤7: 取出向量  $c'$  中最小值对应的到发线 BestSiding, 将其分配给列车  $n_i$ ; 将列车  $n_i$  添加到 Relate 集中, 并将 BestSiding 从 Available 中删除, 添加到 Occupy 中;

步骤8: 若所有列车分配完毕, 算法结束; 否则, 将列车集  $N$  中所有满足  $k > i$ , 并与列车  $n_i$  存在换乘关系的列车  $n_k$  和到发线 BestSiding, 作为一个数据对存入 Transfer 中, 返回步骤2。

#### 4 算法实例及结果

某高速客运站共有7条到发线。利用本文所述方法对24 h内的50对列车进行到发线运用计划编制(结果如表1所示), 耗时50 s左右, 60对列车耗时80 s左右。

表1 到发线安排运用计划

股道编号	列车安排顺序
1	D3, D11, D23, T3, D51, D43, D31, T8, D33, D37, D39, D41, T11, D49, D63, T13, D61, D65, D69
2	D2, D6, D12, D40, D14, D24, D34, T4, D16, D20, D22, D26, T10, D32, D36, D50, D42, D64, T20, D70, D46, D66, D48, D60, D62, D68
3	D1, T7, D9, D15, T5, D7, D21, D27, D29, T9, D45, D59, D67, D47, D55, D57
4	D4, D8, D10, D30, D38, D52, T2, T6, D44, T16, T22, D54, D56, D28
5	D5, D53, T1, T17, T21, D13, D17, D19, D25, D35, T23
6	D18, T12, T14, T24, D58, T18, T26, T28, T30
7	T25, T27, T29, T15, T19

表1数据表明: 下行旅客列车多接到下行场, 上行旅客列车多接到上行场, 防止列车在车站跨越咽喉, 减少列车交叉干扰作业; D字头列车多接到靠近正线的到发线上; 具有换乘关系约束的列车如D9和T1、D52和T6等接到邻靠相同站台的到发线上。本文方法的不足: 到发线的利用率不够均衡有待改进。

#### 5 结束语

到发线运用计划编制是NP问题, 启发式算法在最坏情况下的复杂度是多项式的, 具有很高的计算效率, 实时地解决到发线运用计划的编制问题。

随着客运专线的建设, 旅客列车运行速度和舒适度的不断提高, 对客运站作业自动化和客运服务质量提出了新的要求。应用本文所建立的模型及求解方法编制到发线运用计划, 不仅提高车站的行车作业效率, 对客运服务质量的提高也是非常有益的。

#### 参考文献:

- [1] 吕红霞, 倪少权, 纪洪业. 技术站调度决策支持系统的研究—到发线的合理使用[J]. 西南交通大学学报, 2000 (35): 255-258.
- [2] 徐 杰, 杜 文. 基于遗传算法的区段站到发线运用优化安排[J]. 中国铁道科学, 2003 (24): 109-114.
- [3] 王正彬, 杜 文. 铁路技术站到发线运用调整模型及算法[J]. 西南交通大学学报, 2006, (41): 202-205.
- [4] 谢楚农, 黎新华. 铁路客运站到发线运用优化研究[J]. 中国铁道科学, 2004 (25): 130-133.
- [5] 郭 莉, 吕红霞, 陈焕云. 基于遗传算法的铁路车站到发线运用优化研究[J]. 西南民族大学学报, 2005 (31): 28-31.