



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111523814 A

(43)申请公布日 2020.08.11

(21)申请号 202010339216.6

(22)申请日 2020.04.26

(71)申请人 西南交通大学

地址 610031 四川省成都市二环路北一段

(72)发明人 冯晓云 金波 孙鹏飞 王青元

方倩 宋文胜 王嵩

(74)专利代理机构 成都正华专利代理事务所

(普通合伙) 51229

代理人 陈选中

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 10/08(2012.01)

G06Q 50/26(2012.01)

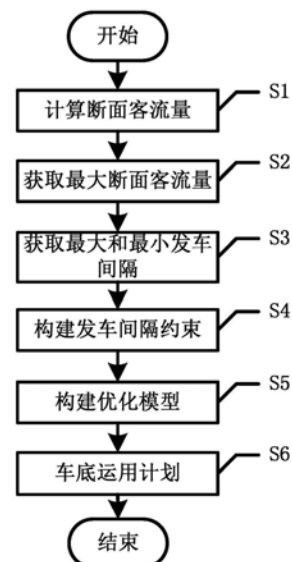
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

### (54)发明名称

城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法

### (57)摘要

本发明公开了一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,包括以下步骤:S1、通过城市轨道交通的客流数据,计算各时段上行和下行各断面客流量;S2、获取上行和下行时段中各自的断面客流量;S3、根据最大断面客流量,分别计算上行和下行的最大发车间隔,并设置最小发车间隔;S4、根据最大发车间隔和最小发车间隔,构建发车间隔约束;S5、根据发车间隔约束和车底使用量最小化为目标,构建优化模型;S6、将优化模型重构为混合整数线性规划模型MILP,得到时刻表与车底运用计划方案数据,本发明解决了现有技术无法正确解决车底运用计划与列车时刻表相互影响的问题。



1. 一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、通过城市轨道交通的客流数据,计算各时段上行和下行各断面客流量;

S2、获取上行和下行时段中各自的最大断面客流量;

S3、根据最大断面客流量,分别计算上行和下行的最大发车间隔,并设置最小发车间隔;

S4、根据最大发车间隔和最小发车间隔,构建发车间隔约束;

S5、根据发车间隔约束和车底使用量最小化为目标,构建优化模型;

S6、将优化模型重构为混合整数线性规划模型MILP,得到时刻表与车底运用计划方案数据。

2. 根据权利要求1所述的城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,其特征在于,所述步骤S3中上行的最大发车间隔的计算公式为:

$$h_{up}^{max} = \frac{60 \times S_{up}}{N \times G} \quad (1)$$

所述下行的最大发车间隔的计算公式为:

$$h_{down}^{max} = \frac{60 \times S_{down}}{N \times G} \quad (2)$$

其中,  $h_{up}^{max}$  为上行的最大发车间隔,  $h_{down}^{max}$  为下行的最大发车间隔,  $S_{up}$  为上行时段中的最大断面客流量,  $S_{down}$  为下行时段中的最大断面客流量,  $N$  为列车编组辆数,  $G$  为车辆定员。

3. 根据权利要求2所述的城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,其特征在于,所述步骤S4中发车间隔约束为:

$$h_{up}^{min} \leq h_{i,up} \leq h_{up}^{max} \quad (3)$$

$$h_{down}^{min} \leq h_{i,down} \leq h_{down}^{max} \quad (4)$$

其中,  $h_{i,up}$  为车次  $i$  在上行始发站的发车间隔,  $h_{up}^{min}$  为上行的最小发车间隔,  $h_{down}^{min}$  为下行的最小发车间隔,  $h_{i,down}$  为车次  $i$  在下行始发站的发车间隔。

4. 根据权利要求3所述的城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,其特征在于,所述步骤S5中的优化模型为:

目标函数:

$$\text{Min} Z = C_{vel} \sum_{i \in I} \delta_i \quad (5)$$

满足如下约束:

$$\delta_i h_{down}^{min} \leq t_i^{back} - t_{i-1}^{back} \leq \delta_i h_{down}^{max} \quad (6)$$

$$t_{i-n_{back}}^{back} \leq a_i^{back} + (1 - \delta_i) \varepsilon \quad (7)$$

$$b_{min} \leq b_i \leq b_{max} \quad (8)$$

$$\delta_i h_{safe} \leq a_i^{sta} - a_{i-1}^{sta} \quad (9)$$

$$\delta_i h_{\text{safe}} \leq a_i^{\text{back}} - a_{i-1}^{\text{back}} \quad (10)$$

$$\tau_k - h_{\text{up}}^{\text{max}} \leq t_i^{\text{sta}} \leq \tau_k, k \in K \quad (11)$$

$$t_i^{\text{sta}} = t_1^{\text{sta}} + \sum_{i \in I} \delta_i h_{i,\text{up}} \quad (12)$$

$$a_i^{\text{back}} = t_i^{\text{sta}} + r_i^{\text{up}} \quad (13)$$

$$t_i^{\text{back}} = t_i^{\text{sta}} + r_i^{\text{up}} + b_i \quad (14)$$

$$a_i^{\text{sta}} = t_i^{\text{sta}} + r_i^{\text{up}} + b_i + r_i^{\text{down}} \quad (15)$$

其中, $Z$ 为车底使用量, $I$ 为列车集合, $h_{\text{safe}}$ 为列车运行的安全间隔, $b_{\text{min}}$ 为折返站的最小折返作业时间, $b_{\text{max}}$ 为折返站的最大折返作业时间, $n_{\text{back}}$ 为折返站可容量列车数量, $C_{\text{vel}}$ 为车底使用固定成本, $\tau_k$ 时间段 $k$ 的结束时间, $K$ 为时间段集合, $t_i^{\text{sta}}$ 为车次 $i$ 在始发站出发时间, $a_i^{\text{sta}}$ 为在车次 $i$ 在始发站到达时间, $t_i^{\text{back}}$ 为车次 $i$ 在折返站出发时间, $a_i^{\text{back}}$ 为车次 $i$ 在折返站到达时间, $\varepsilon$ 为折返站容量约束因子, $b_i$ 为车次 $i$ 在折返站的折返作业时间, $\delta_i$ 为0-1变量, $r_i^{\text{up}}$ 为车次 $i$ 的上行区段运行时间, $r_i^{\text{down}}$ 为车次 $i$ 的下行区段运行时间。

5. 根据权利要求4所述的城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,其特征在于,所述步骤S6中的混合整数线性规划模型MILP为:

目标函数:

$$\text{Min} Z = C_{\text{vel}} \sum_{i \in I} \delta_i \quad (5)$$

满足约束(6)至(11)、约束(13)至(15)以及以下约束:

$$t_i^{\text{sta}} = t_1^{\text{sta}} + \sum_{i \in I} \eta_i \quad (16)$$

$$\begin{cases} h_{\text{up}}^{\text{min}} \delta_i \leq \eta_i \leq h_{\text{up}}^{\text{max}} \delta_i \\ h_{\text{up}}^{\text{min}} (1 - \delta_i) \leq \eta_i \leq h_{\text{up}}^{\text{max}} (1 - \delta_i) \end{cases} \quad (17)$$

其中, $\eta_i$ 为始发站发车时间辅助变量。

## 城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于城市轨道交通运行领域,具体涉及一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法。

### 背景技术

[0002] 随着世界城市规模的不断扩大,城市人口迅速增加,城市轨道交通作为一种安全、快捷、经济、高效的交通方式,成为市民出行的首选。由于运输需求的不断扩大,城市轨道交通在近几年得到迅速发展,同时繁忙的运输任务和巨大的运营成本成为运营者不可忽略的问题。一个优秀的城市轨道交通运行计划可以有效地保证运输任务的完成,同时降低运营成本。

[0003] 列车时刻表作为运行计划的重要组成部分,规定了各个车次在车站等设施的出发、到达或者通过时间,是城市轨道交通组织的基础。时刻表制定过程中,首先根据客流信息计算各时段的最大断面客流量,从而确定列车开行计划。列车开行计划明确了各时段的列车开行数量和发车间隔。然后基于时刻表相关参数,例如区间运行时间,停站时间,折返站折返时间,确定各车次的开行计划。通常情况下,为了提高乘客的满意度,时刻表制定过程中尽量最大化发车频次,从而降低旅客等待时间。

[0004] 车底运用计划是运行计划的另一重要组成部分,规定了各车底承担的车次运输任务,该过程安排在时刻表制定之后。车底的每次使用都将会增加运作额外成本,所以在车底计划过程当中,基于列车时刻表,在满足车底数量限制等约束条件下,合理优化车底的使用,保证时刻表中车次任务执行的同时降低车底使用次数。然而在实际情况下,通常需要反复调整时刻表,才能得到满意的车底计划。

[0005] 从上述分析不难看出,列车时刻表和车底计划是相互影响的,但是由于两者的高度复杂性以及目标的差异性,目前大多数工程方法与理论研究都将这两个过程作为独立的问题进行研究。两者的独立求解,常常会造成互相不匹配的情况,例如当可用车底数量较少时,根据客流信息制定的时刻表有可能将无法实施。也就是说,列车时刻表受限于车底计划,又影响着车底计划,即发车间隔、到达时间等参数需要根据车底计划做相应的调整。

### 发明内容

[0006] 针对现有技术中的上述不足,本发明提供了一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法解决了现有技术无法正确解决车底运用计划与列车时刻表相互影响的问题。

[0007] 为了达到上述发明目的,本发明采用的技术方案为:一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法,包括以下步骤:

[0008] S1、通过城市轨道交通的客流数据,计算各时段上行和下行各断面客流量;

[0009] S2、获取上行和下行时段中各自的最大断面客流量;

[0010] S3、根据最大断面客流量,分别计算上行和下行的最大发车间隔,并设置最小发车

间隔；

[0011] S4、根据最大发车间隔和最小发车间隔，构建发车间隔约束；

[0012] S5、根据发车间隔约束和车底使用量最小化为目标，构建优化模型；

[0013] S6、将优化模型重构为混合整数线性规划模型MILP，得到时刻表与车底运用计划方案数据。

[0014] 进一步地，所述步骤S3中上行的最大发车间隔的计算公式为：

$$[0015] \quad h_{up}^{max} = \frac{60 \times S_{up}}{N \times G} \quad (1)$$

[0016] 所述下行的最大发车间隔的计算公式为：

$$[0017] \quad h_{down}^{max} = \frac{60 \times S_{down}}{N \times G} \quad (2)$$

[0018] 其中， $h_{up}^{max}$ 为上行的最大发车间隔， $h_{down}^{max}$ 为下行的最大发车间隔， $S_{up}$ 为上行时段中的最大断面客流量， $S_{down}$ 为下行时段中的最大断面客流量， $N$ 为列车编组辆数， $G$ 为车辆定员。

[0019] 进一步地，所述步骤S4中发车间隔约束为：

$$[0020] \quad h_{up}^{min} \leq h_{i,up} \leq h_{up}^{max} \quad (3)$$

$$[0021] \quad h_{down}^{min} \leq h_{i,down} \leq h_{down}^{max} \quad (4)$$

[0022] 其中， $h_{i,up}$ 为车次 $i$ 在上行始发站的发车间隔， $h_{up}^{min}$ 为上行的最小发车间隔， $h_{down}^{min}$ 为下行的最小发车间隔， $h_{i,down}$ 为车次 $i$ 在下行始发站的发车间隔。

[0023] 进一步地，所述步骤S5的优化模型为：

[0024] 目标函数：

$$[0025] \quad \text{Min} Z = C_{vel} \sum_{i \in I} \delta_i \quad (5)$$

[0026] 满足如下约束：

$$[0027] \quad \delta_i h_{down}^{min} \leq t_i^{back} - t_{i-1}^{back} \leq \delta_i h_{down}^{max} \quad (6)$$

$$[0028] \quad t_{i-n_{back}}^{back} \leq a_i^{back} + (1 - \delta_i) \varepsilon \quad (7)$$

$$[0029] \quad b_{min} \leq b_i \leq b_{max} \quad (8)$$

$$[0030] \quad \delta_i h_{safe} \leq a_i^{sta} - a_{i-1}^{sta} \quad (9)$$

$$[0031] \quad \delta_i h_{safe} \leq a_i^{back} - a_{i-1}^{back} \quad (10)$$

$$[0032] \quad \tau_k - h_{up}^{max} \leq t_i^{sta} \leq \tau_k, k \in K \quad (11)$$

$$[0033] \quad t_i^{sta} = t_1^{sta} + \sum_{i \in I} \delta_i h_{i,up} \quad (12)$$

$$[0034] \quad a_i^{back} = t_i^{sta} + r_i^{up} \quad (13)$$

$$[0035] \quad t_i^{back} = t_i^{sta} + r_i^{up} + b_i \quad (14)$$

$$[0036] \quad a_i^{sta} = t_i^{sta} + r_i^{up} + b_i + r_i^{down} \quad (15)$$

[0037] 其中,  $Z$  为车底使用量,  $I$  为列车集合,  $h_{safe}$  为列车运行的安全间隔,  $b_{min}$  为折返站的最小折返作业时间,  $b_{max}$  为折返站的最大折返作业时间,  $n_{back}$  为折返站可容量列车数量,  $C_{vel}$  为车底使用固定成本,  $\tau_k$  时间段  $k$  的结束时间,  $K$  为时间段集合,  $t_i^{sta}$  为车次  $i$  在始发站出发时间,  $a_i^{sta}$  为在车次  $i$  在始发站到达时间,  $t_i^{back}$  为车次  $i$  在折返站出发时间,  $a_i^{back}$  为车次  $i$  在折返站到达时间,  $\varepsilon$  为折返站容量约束因子,  $b_i$  为车次  $i$  在折返站的折返作业时间,  $\delta_i$  为 0-1 变量,  $r_i^{up}$  为车次  $i$  的上行区段运行时间,  $r_i^{down}$  为车次  $i$  的下行区段运行时间。

[0038] 进一步地, 所述步骤 S6 的混合整数线性规划模型 MILP 为:

[0039] 目标函数:

$$[0040] \quad \text{Min} Z = C_{vel} \sum_{i \in I} \delta_i \quad (5)$$

[0041] 满足约束 (6) 至 (11)、约束 (13) 至 (15) 以及以下约束:

$$[0042] \quad t_i^{sta} = t_1^{sta} + \sum_{i \in I} \eta_i \quad (16)$$

$$[0043] \quad \begin{cases} h_{up}^{min} \delta_i \leq \eta_i \leq h_{up}^{max} \delta_i \\ h_{up}^{min} (1 - \delta_i) \leq \eta_i \leq h_{up}^{max} (1 - \delta_i) \end{cases} \quad (17)$$

[0044] 其中,  $\eta_i$  为始发站发车时间辅助变量。

[0045] 本发明的有益效果为:

[0046] (1)、综合考虑列车时刻表与车底运用计划的优化, 在满足旅客需求的情况下, 进一步降低运营成本;

[0047] (2)、通过调整上行发车间隔、折返站折返时间与下行发车间隔, 在满足车底周转的情况下, 有效解决上下行旅客需求的不均衡性问题;

[0048] (3)、构建混合整数线性规划模型 MILP, 将非线性问题转换为线性问题进行求解, 进行高效准确的求解。

## 附图说明

[0049] 图1为一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法的流程图。

[0050] 图2为时刻表与车底运用计划方案数据图。

## 具体实施方式

[0051] 下面对本发明的具体实施方式进行描述, 以便于本技术领域的技术人员理解本发明, 但应该清楚, 本发明不限于具体实施方式的范围, 对本技术领域的普通技术人员来讲, 只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内, 这些变化是显而易见的, 一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

[0052] 如图1所示, 一种城市轨道交通时刻表与车底运用计划智能规划方法, 包括以下步骤:

[0053] S1、通过城市轨道交通的客流数据,计算各时段上行和下行各断面客流量;

[0054] S2、获取上行和下行时段中各自的最大断面客流量;

[0055] S3、根据最大断面客流量,分别计算上行和下行的最大发车间隔,并设置最小发车间隔;

[0056] 所述步骤S3中上行的最大发车间隔的计算公式为:

$$[0057] \quad h_{up}^{max} = \frac{60 \times S_{up}}{N \times G} \quad (1)$$

[0058] 所述下行的最大发车间隔的计算公式为:

$$[0059] \quad h_{down}^{max} = \frac{60 \times S_{down}}{N \times G} \quad (2)$$

[0060] 其中,  $h_{up}^{max}$  为上行的最大发车间隔,  $h_{down}^{max}$  为下行的最大发车间隔,  $S_{up}$  为上行时段中的最大断面客流量,  $S_{down}$  为下行时段中的最大断面客流量,  $N$  为列车编组辆数,  $G$  为车辆定员。

[0061] S4、根据最大发车间隔和最小发车间隔,构建发车间隔约束;

[0062] 所述步骤S4中发车间隔约束为:

$$[0063] \quad h_{up}^{min} \leq h_{i,up} \leq h_{up}^{max} \quad (3)$$

$$[0064] \quad h_{down}^{min} \leq h_{i,down} \leq h_{down}^{max} \quad (4)$$

[0065] 其中,  $h_{i,up}$  为车次  $i$  在上行始发站的发车间隔,  $h_{up}^{min}$  为上行的最小发车间隔,  $h_{down}^{min}$  为下行的最小发车间隔,  $h_{i,down}$  为车次  $i$  在下行始发站的发车间隔。

[0066] S5、根据发车间隔约束和车底使用量最小化为目标,构建优化模型;

[0067] 所述步骤S5的优化模型为:

[0068] 目标函数:

$$[0069] \quad \text{Min} Z = C_{vel} \sum_{i \in I} \delta_i \quad (5)$$

[0070] 满足如下约束:

$$[0071] \quad \delta_i h_{down}^{min} \leq t_i^{back} - t_{i-1}^{back} \leq \delta_i h_{down}^{max} \quad (6)$$

$$[0072] \quad t_{i-n_{back}}^{back} \leq a_i^{back} + (1 - \delta_i) \varepsilon \quad (7)$$

$$[0073] \quad b_{min} \leq b_i \leq b_{max} \quad (8)$$

$$[0074] \quad \delta_i h_{safe} \leq a_i^{sta} - a_{i-1}^{sta} \quad (9)$$

$$[0075] \quad \delta_i h_{safe} \leq a_i^{back} - a_{i-1}^{back} \quad (10)$$

$$[0076] \quad \tau_k - h_{up}^{max} \leq t_i^{sta} \leq \tau_k, k \in K \quad (11)$$

$$[0077] \quad t_i^{sta} = t_1^{sta} + \sum_{i \in I} \delta_i h_{i,up} \quad (12)$$

$$[0078] \quad a_i^{back} = t_i^{sta} + r_i^{up} \quad (13)$$

$$[0079] \quad t_i^{back} = t_i^{sta} + r_i^{up} + b_i \quad (14)$$

$$[0080] \quad a_i^{sta} = t_i^{sta} + r_i^{up} + b_i + r_i^{down} \quad (15)$$

[0081] 其中,  $Z$  为车底使用量,  $I$  为列车集合,  $h_{safe}$  为列车运行的安全间隔,  $b_{min}$  为折返站的最小折返作业时间,  $b_{max}$  为折返站的最大折返作业时间,  $n_{back}$  为折返站可容量列车数量,  $C_{vel}$  为车底使用固定成本,  $\tau_k$  时间段  $k$  的结束时间,  $K$  为时间段集合,  $t_i^{sta}$  为车次  $i$  在始发站出发时间,  $a_i^{sta}$  为在车次  $i$  在始发站到达时间,  $t_i^{back}$  为车次  $i$  在折返站出发时间,  $a_i^{back}$  为车次  $i$  在折返站到达时间,  $\varepsilon$  为折返站容量约束因子,  $b_i$  为车次  $i$  在折返站的折返作业时间,  $\delta_i$  为 0-1 变量,  $r_i^{up}$  为车次  $i$  的上行区段运行时间,  $r_i^{down}$  为车次  $i$  的下行区段运行时间。

[0082] 其中, 式 (5) 表示最小化车底使用量的优化目标; 式 (6) 表示下行发车间隔约束; 式 (7) 表示折返站容量约束; 式 (8) 表示折返站折返作业时间约束; 式 (9) 表示始发站相邻车次到达安全约束; 式 (10) 表示折返站相邻车次到达安全约束; 式 (11) 表示各时间段内的最后一趟列车的发车时间约束; 式 (12) 表示始发站发车时间计算公式; 式 (13) 表示折返站到站时间计算公式; 式 (14) 表示折返站发车时间计算公式; 式 (15) 表示始发站到站时间约束。

[0083] S6、将优化模型重构为混合整数线性规划模型MILP, 混合整数线性规划模型MILP可以通过相关求解器进行求解, 在本实施例中, 选用开源求解器lpsolve进行求解, 得到时刻表与车底运用计划方案数据, 如图2所示。

[0084] 所述混合整数线性规划模型MILP为:

[0085] 目标函数:

$$[0086] \quad \text{Min} Z = C_{vel} \sum_{i \in I} \delta_i \quad (5)$$

[0087] 满足约束 (6) 至 (11)、约束 (13) 至 (15) 以及以下约束:

$$[0088] \quad t_i^{sta} = t_1^{sta} + \sum_{i \in I} \eta_i \quad (16)$$

$$[0089] \quad \begin{cases} h_{up}^{min} \delta_i \leq \eta_i \leq h_{up}^{max} \delta_i \\ h_{up}^{min} (1 - \delta_i) \leq \eta_i \leq h_{up}^{max} (1 - \delta_i) \end{cases} \quad (17)$$

[0090] 其中,  $\eta_i$  为始发站发车时间辅助变量。

[0091] 本发明的有益效果为:

[0092] (1)、综合考虑列车时刻表与车底运用计划的优化, 在满足旅客需求的情况下, 进一步降低运营成本;

[0093] (2)、通过调整上行发车间隔、折返站折返时间与下行发车间隔, 在满足车底周转的情况下, 有效解决上下行旅客需求的不均衡性问题;

[0094] (3)、构建混合整数线性规划模型MILP, 将非线性问题转换为线性问题进行求解, 进行高效准确的求解。



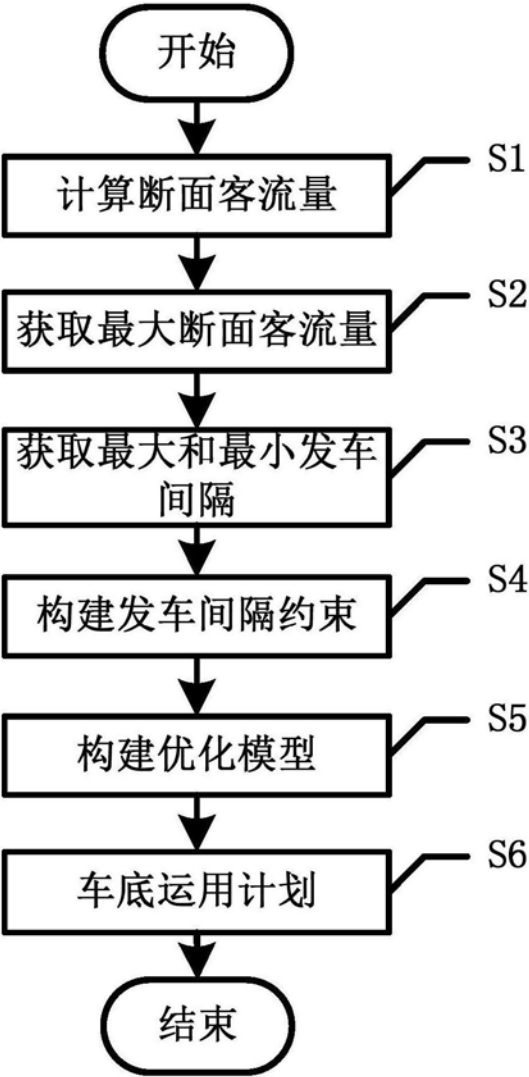


图1

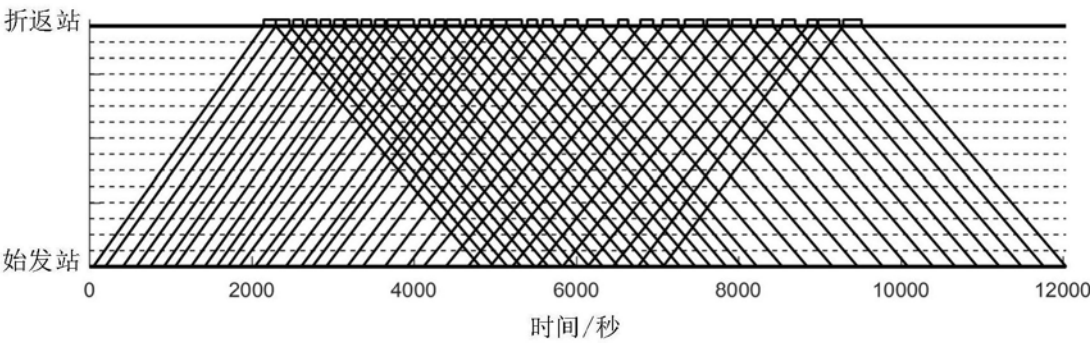


图2