

Optimization of Alternate Turn-Back Interval in Urban Rail Transit Station Based on Genetic Algorithm

Qingjun Chen ^{1,a}, Jiacheng Liu ^{2,b*}

¹Department of automation, Southwest Jiaotong University, Pidu, Chengdu, Sichuan, China

²Department of automation, Southwest Jiaotong University, Pidu, Chengdu, Sichuan, China

^a 1741683654@qq.com

^{b*} 380350751@qq.com

ABSTRACT

The turn-back interval is a key indicator that affects the operational performance of urban rail transit. In actual operation projects, most of them are optimized and adjusted for the train running interval, and less attention is paid to the analysis of the turn-back process and the optimization of the turn-back interval. This paper analyzes the alternate turnaround process in front of an actual turnaround platform in Tianjin, and calculates the turnaround process based on the whole platform of traction calculation simulation of Southwest Jiaotong University. At the same time, an optimization model of the turn-back interval based on the temporary speed limit setting in front of the station is proposed, and the model is solved by using the genetic algorithm, which reduces the turn-back time by 7.5% at the cost of increasing the operating time of the whole line by 0.4%. The results show that this scheme can effectively improve the reentry capability of the alternate reentry in front of the station.

Keywords: Urban rail transit, station turn-back, alternate turn-back, turn-back interval optimization, genetic algorithm

基于遗传算法的城市轨道交通站前交替折返间隔优化

陈庆均 ^{1,a}, 刘嘉诚 ^{2,b*}

¹西南交通大学自动化系, 郫都, 成都, 四川, 中国

²西南交通大学自动化系, 郫都, 成都, 四川, 中国

^a 1741683654@qq.com

^{b*} 380350751@qq.com

摘要

折返间隔是影响城市轨道交通运营性能的关键指标,在实际运营项目中,大多数都针对了列车运行间隔进行优化调整,对于折返过程分析、折返间隔优化的关注较少。本文对天津某实际折返站台的站前交替折返流程进行了分析,基于西南交通大学牵引计算仿真全平台对折返过程进行了计算。同时,提出了基于站前临时限速设置的折返间隔优化模型,使用遗传算法对该模型进行了求解,在提高全线运营时间 0.4% 的代价上,降低了 7.5% 的折返时间。结果表明,该方案能够有效提高站前交替折返的折返能力。

关键词: 城市轨道交通, 站前折返, 交替折返, 折返间隔优化, 遗传算法

1. 引言

城市轨道交通是我国现代交通运输中的重要组成部分,折返间隔是衡量城市轨道交通运营能力的重要指标。

文献[1]、文献[2]对部分站型下的折返流程与能力进行了分析与计算。文献[3]提出了一种基于站台限速的间隔优化方法。文献[4]对遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 的适用范围与发展过程进行了详细描述,论述了 GA 算法适用于各类优化问题的可行性。

本文基于西南交通大学列车牵引计算平台（下称平台），对某天津实际线路折返站的 CBTC 站前折返过程进行分析与计算，并基于遗传算法对站前交替折返间隔进行了优化。经过验证，该方法能够有效的降低列车在该站台的折返间隔。

2. 折返站型及折返流程

2.1. 常见折返类型

常见的折返类型包括站前、站后折返，具体又分为如图 1 所示的交叉渡线折返、双存车线折返等。不同的折返类型有着不同的特点、流程以及间隔计算方式^[5]。站后折返的折返效率相对于站前折返而言更高，同时也不会占用区间正线，不存在安全隐患，在条件允许的情况下，拥有更高的优先级。站前折返虽然需要更高的安全保障，相对效率也略低于站后折返，但其主要有利于换乘、节省建筑面积等特点，也有不少站台选用此种方式进行折返。

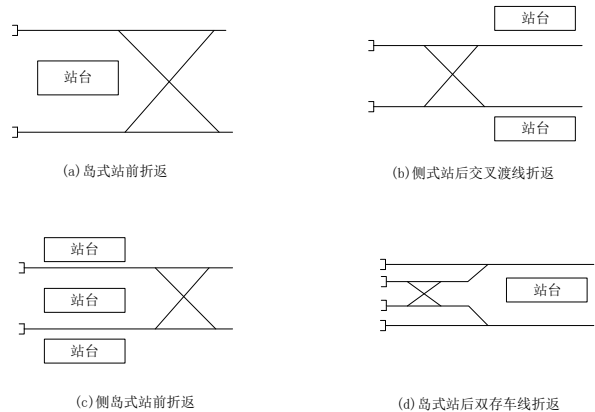


图 1 常见折返站型

站前折返的折返方式主要可以分为站前单站台折返与站前交替折返。本文所分析的天津某站为侧岛式站前折返，具体的站型以及设备部署如图 2 所示。

其中，SP1 和 SP2 分别为站台 2 与站台 3 的停车标编号；JZ104、JZ110 等为计轴器编号；X102 与 X104 为进站信号机编号；X106 与 X108 为出站信号机编号；P108、P102 等表示道岔编号。

其中，主要参数如表 1 所示。

表 1 线路参数列表

名称	参数值[单位]
道岔直线限速	90[km/h]
道岔侧向限速	30[km/h]
站台长度	120[m]
停站时间	30[s]
站台限速	60[km/h]
列车长度	79.08[m]
线路速度	80[km/h]

干扰点为列车以进站信号机 X102 为目标点时，ATO 自动驾驶时的降速点。本文所考虑的折返间隔策略为前车不影响后车运行，因此以干扰点作为折返流程计算起点。

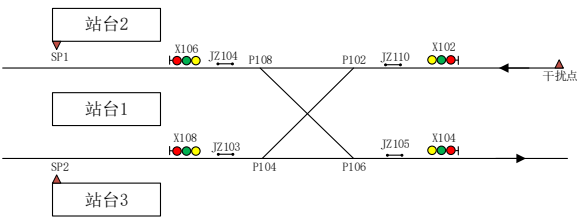


图 2 天津某站站型及设备示意图

2.2. 站前交替折返

站前交替折返充分的利用了道岔的能力，相较于传统的站前顺序折返，减少了列车等待时间。但相对的作业流程也更为复杂。站前交替折返作业流程分为几种情况^[6]：

a. 当站台 3 停留有列车 1 时

该情况下，站台 3 的发车进路与站台 2 接车进路不存在冲突，因此可以同时办理；

b. 当站台 2 停留有列车时

该情况下，站台 3 接车进路为弯股接车，站台 2 发车进路为弯股发车，互相冲突，不可同时办理，因此先办理站台 3 的弯股接车进路，待站台 3 接车完成后，再办理站台 2 的弯股发车进路。

使用平台对该过程进行设置与仿真，可以得到列车最长折返间隔为 163.22s，连续接发两列车耗时为 209.36 秒，平均每列车折返接发耗时为 104.68s。

3. 基于 GA 算法的折返间隔优化

3.1. 优化模型建立

通过对站前折返作业流程的分析，影响列车折返间隔的主要因素主要有列车进出站时间、列车停站时间、系统处理时间等。其中，停站时间、系统处理时间等依赖于运营计划、列车以及信号系统性能，在实际运营的线路中难以进行更改。因此，本文着眼于优化列车进站时间来对列车折返间隔进行优化。图 3 对列车进站过程进行了描述。

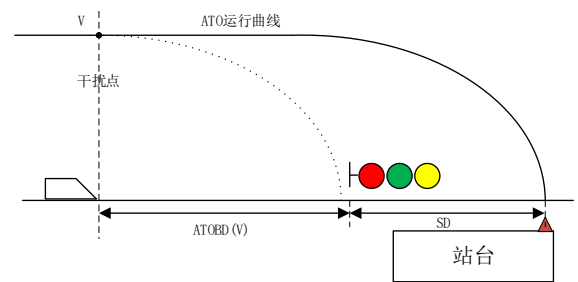


图 3 列车进站过程示意图

如图所示列车的进站时间取决于列车的距离以及列车的进站速度，其中：

速度 V 为列车进站初始速度； $ATOBD(v)$ 为列车从速度 V 开始制动到列车完全停止所走行的距离； SD 为进站信号机至站台停车标的距离。

$$\begin{cases} ATOBD(V) = \int_V^0 \frac{v}{a(v)} dv \\ T = \int_0^{ATOBD(V)+SD} \frac{1}{v(x)} dx \end{cases} \quad (1)$$

公式 1 描述了进站时间 T 与进站速度 V 之间的相对关系：

由公式 1 可以发现，通过设置站前临时限速，可以影响列车的进站初始速度 V ，从而改变列车的进站时间 T 。因此，优化目标可以描述为：通过设置一个合理的限速范围 x ，以及限速值 y ，使得列车的折返间隔 Z 最小。公式 2 描述了该优化模型。

$$\begin{cases} Z = F(x, y) \\ x \in [0, Distance] \\ y \in \{25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60\} \end{cases} \quad (2)$$

式中， X 表示限速范围； Y 表示限速值； $Distance$ 为折返站与相邻站的站间距； Z 表示折返间隔的最小值； $F(x, y)$ 表示在限速范围 x ，限速值 y 下计算的折返间隔。

3.2 遗传算法及其关键步骤

遗传算法被广泛的应用于各类优化问题中，能够在有限迭代次数内获得相对最优解。本文选用遗传算法对 3.1 节所建立的优化模型进行求解。遗传算法的基本流程如图 4 所示。

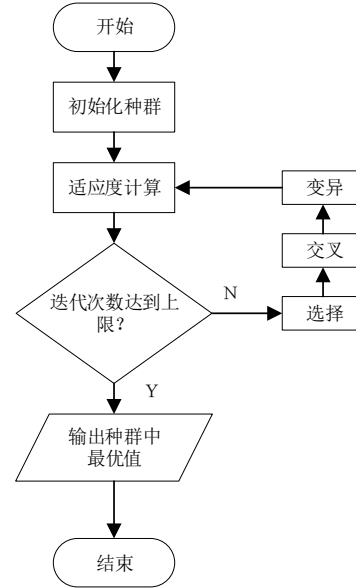


图 4 遗传算法流程图

3.2.1 编码

编码是遗传算法中所需要解决的首要问题，不同的编码方式有着不同的特点^[7]。为了获得更快的搜索效率，本文选用二进制编码。根据 3.1 节描述，优化模型的输入参数为限速范围以及限速值。在本文所优化的折返站与其相邻车站的站间距为 1574m，若以 1m 作为一个限速范围单位，则该值介于 1024 与 2048 之间，因此采用 11 位二进制数来表示限速范围。临时限速的限速值分为 8 个级别进行限速，如式 2 中的 Y 定义域所示，使用 3 位二进制数表示限速值。因此，一条编码染色体共有 14 位，前 11 位代表范围，后 3 位代表限速值。

为了避免编码中限速范围出现在区间 $(1574, 2047]$ 内导致无意义的情况，公式 3 对限速范围进行修正，使得 2048 个码值均匀的分布在 $[0, 1574]$ 的区间中：

$$Length = \frac{1574}{2048} * D \quad (3)$$

式中， $Length$ 为限速范围， D 为 11 位二进制编码转换的十进制数。

3.2.2 适应度计算

适应度表征了一个染色体在遗传算法中的“健壮程度”，适应度越高的个体能够将基因遗传下的概率更高。因此，适应度计算是遗传算法中的核心部分。

(a) 折返间隔

按照编码方式对二进制染色体进行解码，能够获得对应的限速值 y 与限速范围 x ，将该值传入平台中，计算列车从邻近站驶入折返站的运行情况，根据公式 1 中 $ATOBD$ 的计算公式，计算从邻近站驶向折返站

过程中每一个迭代点的ATO制动目标位置,当ATO制动目标位置刚好为进站信号机X102时,则该点为干扰点P。再由P作为折返过程的起点,使用平台计算列车的折返间隔T。

优化目标是求得T的最小值,需要建立相应的适应度计算公式。随机生成若干组限速值与限速范围,计算折返间隔,图5表明了折返间隔在空间上的分布情况。图中每一个点都对应一组限速范围与限速值,点的高度为折返间隔时间。

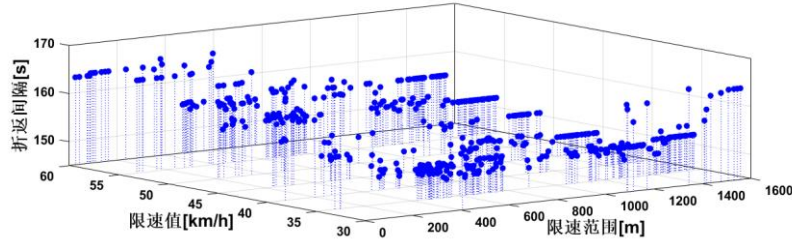


图5 不同限速下折返间隔分布情况

通过图5可以发现,折返间隔的分布范围集中在区间[140,170]内,因此采用公式4来计算折返间隔的适应度评分:

$$f = 100 * (170 - T) / (170 - 140) \quad (4)$$

(b) 运营时间

不同的限速范围和限速值会影响列车在区间上的运营情况。限速范围过小会导致对折返间隔优化的作用变小,没有办法降低折返间隔;限速范围过大,虽然折返间隔得到了优化,但列车的站间运营时间变长,也不利于列车实际运营。因此,需要对优化后的折返间隔适应度评分进行修正。设T₀为无限速时的站间运营时间,T₁为设置限速后的站间运行时间,f为折返间隔计算的适应度评分,则修正后的适应度分值F如式5所示:

$$F = f * (1 - \frac{T_1 - T_0}{T_0}) \quad (5)$$

4. 仿真结果与分析

依据上述模型,选取如表2所示参数进行计算。

表2 遗传算法参数设置

名称	取值
迭代次数	200
种群数量	30
变异概率	0.03
选择方式	轮盘选择

仿真结果与迭代变化曲线如图6、图7、图8、图9所示,计算结果如表3所示。

表3 遗传算法计算结果

名称	结果[单位]
限速范围	728.18[m]
限速值	50[km/h]
折返间隔	150.9[s]
站间运行时间	137[s]

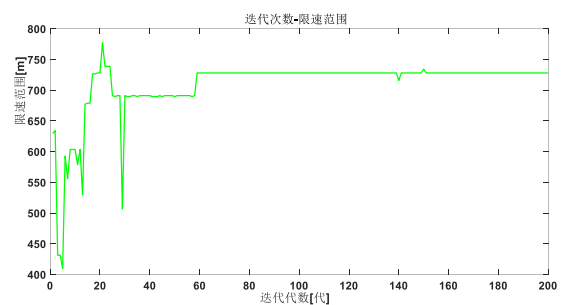


图6 迭代次数-限速范围曲线

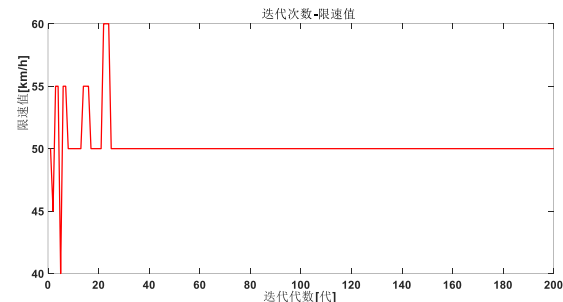


图7 迭代次数-限速值曲线

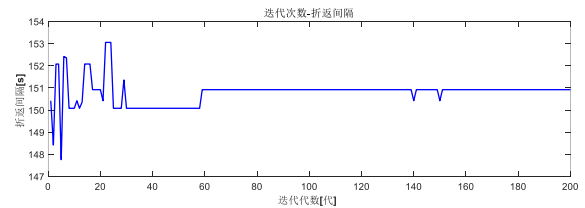


图8 迭代次数-折返间隔曲线

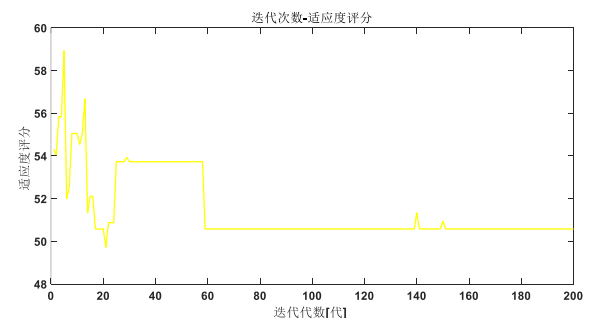


图9 迭代次数-适应度评分曲线

优化前，列车的站间运行曲线、折返运行曲线分别如图 10、图 11 所示。

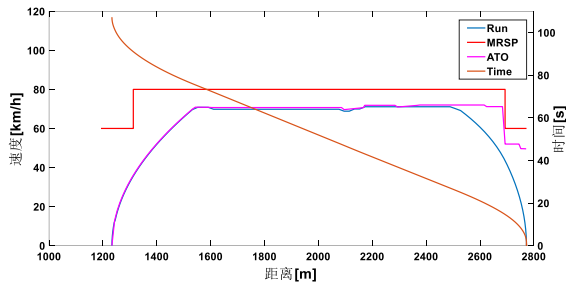


图 10 列车站间运行曲线（直进、优化前）

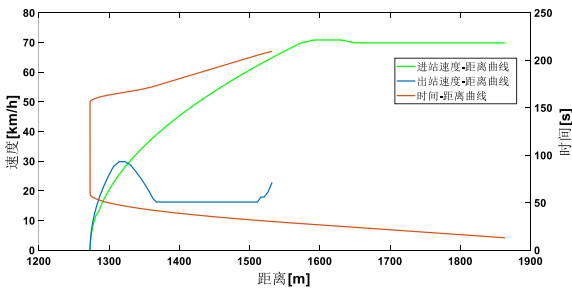


图 11 列车折返运行曲线（直进、优化前）

采用站前限速后，列车的站间运行与折返运行会受到影响，列车的站间运行会提前减速，但进站信号机的 ATO 制动距离会相应变短。图 12 和图 13 分别描述了优化后列车站间、折返时的运行情况。

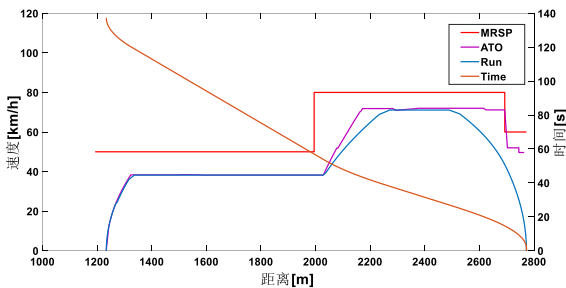


图 12 列车站间运行曲线（直进，优化后）

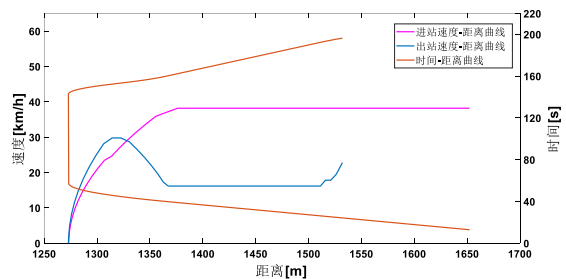


图 13 列车折返运行曲线（直进，优化后）

通过如表 4 所示对比，我们可以发现，列车设置了站前临时限速后，折返间隔缩短了 12.32 秒，折返性能相较于优化前提高了 7.5%，而列车的站间运行时间仅增加了 29.8 秒。该线路的全线旅行时间提升了 29.7 秒，优化所导致增加的时间仅占全线运营时间的 0.4%。

表 4 优化前后性能对比

名称	优化前	优化后
折返间隔	163.22[s]	150.9[s]
站间运行时间	107.2[s]	137[s]
全线旅行时间	7356.87[s]	7386.5[s]

结果证明，该优化并不会对实际的线路运营造成太大的影响，是一种可以接受的优化方案。

5. 结论

本文对 CBTC 系统站前交替折返的折返流程进行了分析，提出了基于站前限速的折返间隔优化方案，并使用遗传算法对优化方案进行了求解计算。结论表明，该方案能够在不影响实际运营的情况下，提升了系统的折返能力。对实际项目中折返间隔优化具有参考意义。

REFERENCES

- [1] Miao, Q., Zhou, T., (2010) Analysis of Turn-back Capability of Turn-back Stations in Urban Rail Transit. Urban Mass Transit, 13(11):57-61+64.
- [2] Wang, J., Hui, L., (2008) Analysis of the ability to turn back in front of the subway station. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science Edition), {4}(01): 26-30.
- [3] Chen, R., Zhu, C., Liu, L., (2011) Calculation and Optimization of Train Tracking Interval in CBTC system. Journal of Southwest Jiaotong University, 46(04):579-585.
- [4] Xi, Y., Chai, T., Yun, W., (1996) Overview of Genetic Algorithms. Control Theory & Applications, {4}(06):697-708.
- [5] Li, T., (2021) Analysis of Turn-back Capability of Turnback Before Station and Turnback After Station. Fluid Measurement & Control, 2(02):26-29.
- [6] Wang, P., (2012) Research and Realization of Performance Analysis of Train Tracking and Turn-back Capability Simulation System. Southwest Jiaotong University.
- [7] Zhang, J., Li, D., Li, P., (2002) A Comparative Study of Coding Mechanisms of Genetic Algorithms. Journal of China University of Mining & Technology, {4}(06):93-96.