

单纯形法在城轨列车惰行点搜索中的应用

赵亚辉¹, 谢维达²

ZHAO Ya-hui¹, XIE Wei-da²

1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 200092

2. 同济大学 铁道与城市轨道交通研究院, 上海 200092

1. College of Electronic and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China

2. Railway and Urban Mass Transit Research Institute, Tongji University, Shanghai 200092, China

E-mail: yahui_zhao@tongji.edu.cn

ZHAO Ya-hui, XIE Wei-da. Application of simplex method in coast points searching for urban mass transit trains. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(14): 217-219.

Abstract: The paper discusses an application of simplex method in coast points searching for urban mass transit trains. Identifying the necessary coast starting points under the constraints of current conditions is not simple as train movement is governed by multiple factors. The characteristic, restricting and solution space etc about coast points searching in inter-station run are analyzed. The approaching of two-dimensional simplex method in coast points searching is introduced in detail. With the aid of a single train simulator, the feasibility and performance of this searching measure in locating coast points are also be investigated according to searching results.

Key words: simplex method; coast points searching; runtime; inter-station run

摘要: 讨论了单纯形优化算法在城市轨道交通列车惰行点搜索方面的应用, 列车运行因受多重因素影响, 确定必要的惰行起点在实际情况的约束下并不容易。通过分析列车站内运行惰行点搜索特点、约束条件及寻解空间等, 详细介绍了二维空间中单纯形法寻找合适列车惰行点的实现过程。借助于单列车仿真系统的帮助, 通过问题的寻优结果分析, 研究了这种启发式搜索方法在确定惰行点方面的可行性和性能表现。

关键词: 单纯形法; 惰行点搜索; 运行时间; 站间运行

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.14.067 **文章编号:** 1002-8331(2009)14-0217-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

单纯形法是常用的寻优方法, 其基本思想是在 N 维解空间中, 构造 $N+1$ 个顶点的单纯形, 然后从某个初始点出发, 通过反射、延伸、收缩等操作来比较各顶点的目标函数值大小, 剔除最差的点, 代之以新的点, 从而构造一个新的单纯形, 然后确定下一步的搜索方向, 逐步逼近极值点。相比较于最速下降法、共扼梯度法等, 单纯形法具有两个的明显的优点。首先, 它不用对目标函数求偏导数, 可以适用于复杂目标函数的优化问题; 其次, 单纯形法计算简捷, 通用性强, 在计算机上易于实现。经过多年的发展, 衍生出了很多不同的方法, 所以在单纯形基本思想的基础上, 对单纯法加以改进, 对于特定的最优化问题会有更好的效果。据文献[1]的研究, 对于解空间维数较低的情况以及模型较简单的寻优问题, 单纯形法寻优效果较好, 基于此本文研究这种经典搜索方法在城市轨道交通列车站内运行中寻找惰行点方面的应用, 借助于单列车仿真系统为工具, 研究这种启发式搜索方法在确定惰行点方面的可行性和性能表现, 以探索实用的惰行控制寻优方法。

2 城轨列车惰行控制

列车惰行控制是允许列车在某一特有站内运行时间以内通过在某些位置(惰行点)关闭牵引电机, 使列车利用动能继续保持运行, 因为用较少时间进行牵引, 使列车运行时电能的消耗得以减少, 是常采用的平衡运行时间和能量消耗的有效方法。列车在两站之间运行主要包括了 4 种状态: 牵引、匀速运行、惰行和制动, 运行时间和能量消耗取决于这些运行状态在整个区间的相对比例。从何处开始惰行可以使两站之间运行时的速度参数发生彻底改变, 从而导致各种可能的“运行时间”与“能量消耗”的组合, 如图 1 三条不同的速度曲线所示。

城市轨道交通一般站间距离较短, 往往仅需要一个惰行点。对于较长的站间距离, 可能需要多个惰行点。因为当列车速度延惰行下降到一定值以下时, 需要再牵引以保证有足够动能继续运行。当采用多惰行点控制时, 前一个惰行点的位置不可避免地影响后一个点, 使下一个惰行点的寻解空间随着前一个惰行点位置的改变而改变。

理论上, 两站之间的任意点都有可能作为惰行点, 一段特

作者简介: 赵亚辉(1973-), 女, 博士, 讲师, 主要研究领域为载运工具运用工程、检测技术与自动化装置; 谢维达(1947-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为载运工具运用工程、列车网络通信及现场总线等。

收稿日期: 2008-10-22 **修回日期:** 2009-01-13

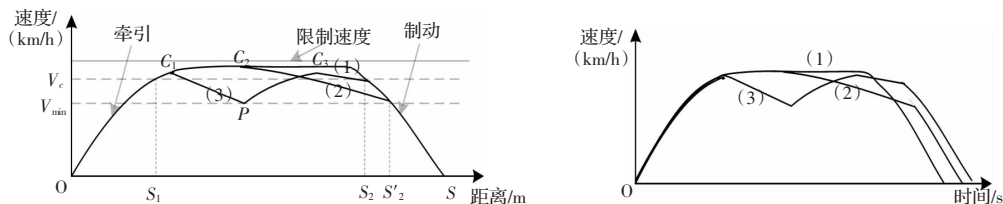


图1 站内运行速度-距离、速度-时间曲线

定距离中包含的点的数量是确定的,因此解空间是一个“有限集”。同时考虑列车运行规定的各种限制,如果列车在一个较低速度开始惰行,在它到达下一个站点之前很有可能需要重新牵引,研究表明运行过程中频繁地开关牵引电机机会加速电子和机械零件的磨损,另外也不一定降低能量损耗,应尽量避免。为了保证开始惰行前,列车有足够的动能,规定当它达到最小的可利用惰行速度 V_c 时(图1所示)才能开始惰行。即在 O 点到 S_1 点间用“ M 点集”表示,惰行是被禁止的。 M 的大小由 V_c 决定,而 V_c 由系统参数决定。在速度曲线的尾部,列车已经进入了制动区域,列车不能开始惰行。所以在开往下一站的途中,在“ S_2 和 S ”或“ S'_2 和 S ”之间有一段距离用“ N 点集”表示,搜索过程中,这段距离也能排除。考虑到常用制动率,如图在两条不同的轨迹下,列车停站分别需要单个制动点 S_2 或 S'_2 。所以,制动点不是固定的参数,很大程度上取决于列车的速度轨迹。在搜索过程中为了方便,在制动曲线上制动点被限制为一个具体的估算点。

对于确定惰行点的数量没有具体的规定,针对各种“多惰行点”构成的速度曲线,能量消耗可以通过列车模拟系统算出。从图1可以看出, V_{min} 是可以判定多个惰行点的参数范围。当列车的速度降到这个特定的速度值以下时,允许重启牵引。从图中可知, P 表示列车开始重新加速的位置, C_3 表示列车开始重新惰行的位置,它们伴随着最后一个惰行点 C_1 的位置动态地改变。从实际应用来看,选择惰行点的范围很广,如何根据所需的运行时间定位惰行点以相应减少能量消耗是搜索过程中极为重要的核心问题。

3 单纯形法寻优惰行点

3.1 寻解空间

在此项研究中,用单纯形的维数代表惰行控制中的惰行点个数。以二维空间为例,即两个惰行点控制,如图2所示。在二维空间中的单纯形有三个顶点,每个顶点表示一个惰行点对,顶点的横纵坐标分别表示前后两个惰行点距出发站的距离,根据城市轨道交通列车的运行实际情况,从惰行点的寻解空间可知,这是一个有约束的寻优过程:两个惰行点位置必须在 S_1 到 S_2 区间内,并且第一个惰行点距离出发站的位置要小于第二个点,即:

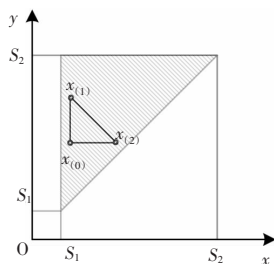


图2 二维单纯形的寻解空间

$$S_1 < x < y < S_2 \quad x, y \in [S_1, S_2] \quad (1)$$

因此有效解应位于图2中阴影部分。

3.2 目标函数

为了评价搜索到的可能解,需要一个目标函数。在此研究中,目标函数用来决定采用所选择的惰行点获得的结果与所希望的运行时间、能量消耗之间的差距,它被设定成公式(1)的形式,此目标函数为两个冲突的因素:运行时间和能量消耗调节相对份额。对于惰行点搜索,较小的函数值 F 表明:此“解空间”向“要求的解空间”迈进一步。在一次特定的运行中,运行时间低于或者高于所需值,绝对值符号在这里用来使运行时间向所需值靠拢。

$$F = m_T \times \left| \frac{T_g - T}{T} \right| + m_E \times \text{sgn} \left(\frac{E_g - E}{E} \right) \quad (2)$$

式中 $m_T + m_E = 1$; m_T 为运行时间的权重因子; m_E 为能量消耗的权重因子; T 为所希望的运行时间; E 为所希望的能量消耗; T_g 为从解空间获取的运行时间; E_g 为从解空间获取的能量消耗。

3.3 迭代过程

寻优过程中引入三种基本操作状态的因子,扩张因子 α 、压缩因子 β 和反射因子 γ 以构造单纯形新的形状或新的大小。实际寻优过程描述如下。

(1) 构成初始单纯形

从二维问题不难看出:若三个点在一条直线上,则把一个二维问题变成了一维问题。在考虑 n 维的情况下,若发生类似情况,则会使得搜索范围局限在某个较低维的空间内,有可能找不到极值点。为了避免这样的情况发生,在构成初始单纯形时,先在 n 维空间中选初始点 $x_{(0)}$,选取的初始点 $x_{(0)}$ 应该满足所有的约束条件。然后从 $x_{(0)}$ 出发,沿各坐标方向以步长 h 得 n 个顶点 $x_{(i)}, i=1, 2, \dots, n$ 。 h 在各坐标方向可以根据实际情况选取不同的值。按照此方法在寻解空间中选三对惰行点的预估值,构成初始单纯形如图2所示。

(2) 计算各顶点的目标函数值

用这些点通过列车仿真器获得 T_g 和 E_g 值从而计算目标函数值。比较各函数值的大小,值越小,解的精度越好。确定最好点 B 、最差点 W 和次差点 M 。对相应的点对 $x_{(0)}, x_{(1)}$ 以及 $x_{(2)}$ 按升序排列:

$$\text{i.e. } F_1 = F(x_{(0)}) \quad F_1 = F(x_{(1)}) \quad F_2 = F(x_{(2)}) \quad (3)$$

(3) 收敛性检验

每次得到新的单纯形后,应进行收敛性检验,如果满足收敛指标,则停止迭代, B 即为所求的近似解。采用的收敛标准是:

$$\frac{F_{(W)} - F_{(B)}}{F_{(B)}} < \epsilon \quad (4)$$

(4) 若不满足收敛条件继续下面的迭代

找到 B 与 M 点的中心点 C , 初始反射点 N 就是 W 对于 C 的对称点。得到初始反射点 N , 反射因子 $\gamma=1$ 。如图3所示,下面分4种情况来讨论:

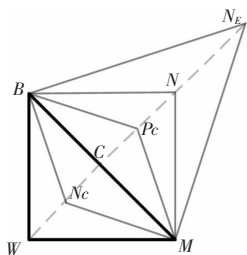


图3 新单纯形构成过程示意图

① 扩张

如果 $F_{(N)}$ 小于 $F_{(B)}$, 说明搜索方向正确, 得到的就是最小应变量值。连接 C 与 N , 并以 C 为原点作射线的那条线是有益的寻解方向。因此, 在这个方向上增加自变量的值找 NE 以及相应的应变量 $F_{(NE)}$ 。增加单纯形的方法如图 3 所示。如果“扩张因子” $\alpha > 1$, NE 的定义式如下:

$$NE = (1 + \alpha)C - \alpha W \quad (5)$$

通常取 $\alpha = 2$ 。如果 NE 点的目标函数值仍小于 N , 就保留 NE 作为新反射点, 构成新的单纯形。

② 扩张失败

当 N 的目标函数值优于 B 点, 通过公式(5)得到的 NE 点的目标函数值大于 N 点, 说明扩张失败, 仍以 N 点为反射点, 构成新的单纯形。

③ 压缩

当初始反射点 N 的目标函数值大于 B 点, 说明前进得太远了, 需要后退一步; 如果 N 的目标函数值小于 W , 则进行正压缩, 大于 W , 则进行负压缩, 分别得到点 PC 和点 NC 。

$$PC = (1 + \beta)C - \beta W \quad (6)$$

$$NC = (1 + \beta)C - \beta W$$

压缩因子 β 通常取 $\beta = \pm 1/2$, 如果 PC 或 NC 点的目标函数值小于 B 点, 则保留 PC 或 NC 点为反射点, 构成新的单纯形。

④ 收缩单纯形

当 N 的目标函数值大于 B 点, 但通过压缩后得到 PC 或 NC 点的目标函数值仍大于 B 点, 说明单纯形构建的过大, 需要将单纯形收缩。收缩方法: 保持 B 点不变, 令其余各点距 B 点的距离减半。

在二维空间中用改进单纯形法求解反射点构成新单纯形的过程如图 3 所示, 搜索过程不断重复, 直到新的顶点符合要求。没有特定的规则来约束扩张因子、反射因子和压缩因子, 但这三个因子不能太小, 这样会导致收敛速度较慢; 如果太大可能会使求得的解溢出解空间的范围。

3.4 结果分析

为检验该搜索方法在惰行点确定方面的作用效果, 采用了基于 VC++ 基础上的一个单列车运行模拟仿真系统, 该系统可以详细计算列车站内运行情况, 提供完整的用户界面。输入允许定义线路轨迹, 车辆信息和牵引设备特性等。运行时间的允许范围、最小惰行速度等作为系统的参数提前设置, 为研究惰行控制的基本作用, 先忽略轨道形状的影响, 以平直道情况为例, 应用两点惰行控制, 以实现某个具体运行时间要求。这里选择一个站间距离 1.5 km、运行时间约束为 94 s、区间最高限速 80 km/h 的例子, 仿真结果显示, 采用该方法得到的两个惰行点运行曲线运行时间为 94.3 s, 超过运行时间约束 0.3 s。比最快速运行 89 s (不采用惰行, 中间段一直采用较高匀速运行) 时间上虽然稍有延长, 但是电能消耗却减少了。基于单纯形法搜索到的惰行点可以为系统提供满意解。

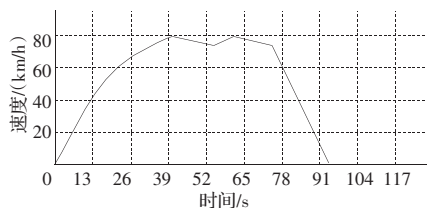


图4 平直道采用两惰行点控制运行的速度-时间曲线

4 结束语

讨论了单纯形法在城市轨道交通列车站间运行惰行点搜索方面的应用, 借助于单列车仿真系统的帮助, 结果显示, 在综合考虑运行时间和能量消耗不同要求的情况下, 应用该搜索方法得到的惰行点可以为优化列车运行提供满意解, 启发式的搜索方法通过较低的迭代次数为列车运行的惰行点搜索提供了解决方案。

参考文献:

- [1] 王静, 蒋珉. 若干优化算法的运行分析比较[J]. 计算机仿真, 2006(3): 149-153.
- [2] Wong K K. Optimization of run time and energy consumption of train movement[D]. Hong Kong Polytechnic University, 2001.
- [3] Mellitt B, Sujitjorn S, Goodman C J, et al. Energy minimization using an expert system for dynamic coast control in rapid transit trains[C]//Conf Railway Engineering, 1987: 48-52.
- [4] 谢宏斌. 城市轨道交通车辆牵引仿真研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [5] 李文辉, 刘树德, 宋强. 单纯形加速法的一种改进方案[J]. 基础自动化, 1994(2): 23-25.
- [6] Gao Xie-ping, Cao Chun-hong. Minimum-energy wavelet frame on the interval[J]. Science in China: Series F, 2008, 51(10): 1547-1562.
- [7] Cohen A, Daubechies I, Vial P. Wavelets on the interval and fast wavelet transforms[J]. Appl Comput Harmonic Anal, 1993, 1(1): 54-81.
- [8] Chui C, He W. Compactly supported tight frames associated with refinable functions[J]. Appl Comput Harmon Anal, 2000, 8(3): 293-319.
- [9] Li Xu-chao, Zhu sha-nan. Survey of wavelet domain image denoising[J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(9): 1201-1209.
- [10] Selesnick I W, S'endur L. Smooth wavelet frames with application to denoising[C]//IEEE Proc Int Conf Acoust, Speech and Signal Processing, Istanbul, Turkey, 2000, 1(1): 129-132.

(上接 181 页)

参考文献:

- [1] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Trans Inform Theory, 1995, 41(3): 613-627.
- [2] Donoho D L. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage[J]. Amer Statist Assoc, 1995, 90(432): 1200-1224.
- [3] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455.
- [4] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1522-1531.
- [5] Pan Quan, Zhang Lei, Dai Guan-zhong, et al. Two denoising meth-