

面向节能的单/多列车优化决策问题

艾鑫¹ 杨志巧² 李金武³

¹ 三峡大学 理学院

² 武汉大学 数学与统计学院

³ 湖南大学 机械与运载工程学院

2015 年 12 月 1 日

问题回顾

第一问、单列车节能运行优化控制问题

问题回顾

问题一、单列车节能运行优化控制问题

第一小问 请建立计算速度距离曲线的数学模型，计算寻找一条列车从 A_6 站出发到达 A_7 站的最节能运行的速度距离曲线，其中两车站间的运行时间为 110 秒

第二小问 请建立新的计算速度距离曲线的数学模型，计算寻找一条列车从 A_6 站出发到达 A_8 站的最节能运行的速度距离曲线，其中要求列车在 A_7 车站停站 45 秒， A_6 站和 A_8 站间总运行时间规定为 220 秒（不包括停站时间）

第二问、多列车节能运行优化控制问题

问题回顾

第二问、多列车节能运行优化控制问题

第一小问 当 100 列列车以间隔 $H = h_1, \dots, h_{99}$ 从 A_1 站出发, 追踪运行, 依次经过 A_2, A_3, \dots 到达 A_{14} 站, 中间在各个车站停站最少 D_{\min} 秒, 最多 D_{\max} 秒。间隔 H 各分量的变化范围是 H_{\min} 秒至 H_{\max} 秒。请建立优化模型并寻找使所有列车运行总能耗最低的间隔 H 。要求第一列列车发车时间和最后一列列车的发车时间之间间隔为 $T_0 = 63900$ 秒, 且从 A_1 站到 A_{14} 站的总运行时间不变, 均为 2086 秒 (包括停站时间)。假设所有列车处于同一供电区段。

问题回顾

第二问、多列车节能运行优化控制问题

第二小问 接上问，如果高峰时间（早高峰 7200 秒至 12600 秒，晚高峰 43200 至 50400 秒）发车间隔不大于 2.5 分钟且不小于 2 分钟，其余时间发车间隔不小于 5 分钟，每天 240 列。请重新为它们制定运行图和相应的速度距离曲线。

第三问、列车延误后运行优化控制问题

问题回顾

第三问、列车延误后运行优化控制问题

第一小问 接上问，若列车 i 在车站 A_j 延误 DT_j^i (10 秒) 发车，请建立控制模型，找出在确保安全的前提下，首先使所有后续列车尽快恢复正点运行，其次恢复期间耗能最少的列车运行曲线

第二小问 假设 DT_j^i 为随机变量，普通延误 ($0 < DT_j^i < 10\text{s}$) 概率为 20%，严重延误 ($DT_j^i > 10\text{s}$) 概率为 10% (超过 120 秒，接近下一班，不考虑调整)，无延误 ($DT_j^i = 0$) 概率为 70%。若允许列车在各站到、发时间与原时间相比提前不超过 10 秒，根据上述统计数据，如何对第二问的控制方案进行调整？

问题求解

第一问、单列车节能运行优化控制问题

模型建立

目标函数的确定

题设给出的目标是使得耗能最少，根据题设可知耗能主要是由于列车行驶需要牵引力，导致发电机就处于耗能状态。查阅相关参考文献 [2] 可知在整个运行过程中所消耗的能量由牵引力来决定，如下所示：

$$E = \int_0^{t_{\max}} F(t) v_t dt$$

注： $t_{\max} = 110$ ， 因为总的运行时间为 110 秒。

约束条件的确定

约束条件一：由题目所给的数据中可以知道从 A_6 站到 A_7 站的总路程为 1354m，因此整个过程中行走的总路程 $L_{\max} = 1354 \text{ m}$ ，即：

$$\int_0^{t_{\max}} v_t dt = L_{\max}$$

约束条件二：列车起始时刻和到达 A_7 站时刻的速度均为 0 且在运行的任何时刻速度都不能大于该时刻所处路段的最大速度 \bar{v}_t ，即：

$$\begin{cases} v_0 = v_{t_{\max}} = 0 \\ v_t \leq \bar{v}_t \end{cases}$$

约束条件三：由牛顿学第二定律可知，实际输出的牵引加速度乘以质量等于合外力，即：

$$ma_t = m \frac{dv_t}{dt} = F(t) - B(t) - W(t)$$

第一问模型

综上所述，建立的单列车两个站点之间的最优化模型为：

$$\begin{aligned} \min \quad & E = \int_0^{t_{\max}} F(t) v_t dt \\ s.t. \quad & \left\{ \begin{array}{l} \int_0^{t_{\max}} v_t dt = L_{\max} \\ \begin{cases} v_0 = v_{t_{\max}} = 0 \\ v_t \leq \bar{v}_t \end{cases} \\ ma_t = m \frac{dv_t}{dt} = F(t) - B(t) - W(t) \\ F(t) = k_t F_{\max}(t) \\ B(t) = k_b B_{\max}(t) \\ W(t) = [w_0(t) + w_1(t)] \times g \times m / 1000 \end{array} \right. \end{aligned}$$

求解算法

换一个角度看问题

- 题目要求在给定的时间内，使消耗的能量最小

换一个角度看问题

- 题目要求在给定的时间内，使消耗的能量最小
- 给定时间让能量最小 \implies 比较困难

换一个角度看问题

- 题目要求在给定的时间内，使消耗的能量最小
- 给定时间让能量最小 \implies 比较困难
- 给定能量让时间最小 \implies 容易求解

换一个角度看问题

- 题目要求在给定的时间内，使消耗的能量最小
- 给定时间让能量最小 \implies 比较困难
- 给定能量让时间最小 \implies 容易求解
- 可以将第一个问题转化为第二个问题，首先构造一个能量比较小的初始解，然后不断的增加能量，直到时间满足要求