



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103863364 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201410120763. X

(22) 申请日 2014. 03. 27

(71) 申请人 北京清软英泰信息技术有限公司  
地址 100084 北京市海淀区清华大学毕业大厦三区四层

(72) 发明人 顾明 黄晋 刘光涛 李守勤 臧大昕

(74) 专利代理机构 北京律谱知识产权代理事务所(普通合伙) 11457

代理人 王庆海

(51) Int. Cl.

B61L 27/00(2006. 01)

B61C 17/00(2006. 01)

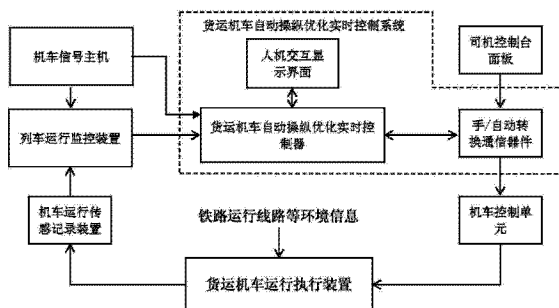
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统

(57) 摘要

本发明涉及一种基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统,所述货运机车自动操纵实时优化控制系统属于该货运机车车载装置,其包括人机交互显示界面、货运机车自动操纵优化实时控制器和手/自动转换通信器件,该系统可以获取自动操纵优化实时控制所需的线路信息等既定信息和当前车速等实时信息,通过司机控制器通信器件和机车控制执行装置具体操纵机车的运行,使得司机在实际驾驶中可以通过人机交互显示界面和司机控制台面板方便地进行手/自动驾驶切换。本发明能够根据机车临时调度信号,实时补偿调整机车优化运行曲线,得到当前优化目标曲线;依据当前优化目标曲线和当前运行状态信息,实时自适应控制输出机车控制操纵档位序列。



1. 一种基于调度信号的货运机车自动操纵优化实时控制系统,该货运机车包括机车信号主机、列车运行监控装置、机车运行传感记录装置、机车运行执行装置、机车控制单元和司机控制台面,其特征在于,所述货运机车自动操纵实时优化控制系统属于该货运机车车载装置,所述货运机车自动操纵实时优化控制系统包括人机交互显示界面、货运机车自动操纵优化实时控制器和手/自动转换通信器件,所述货运机车自动操纵优化实时控制器与列车运行监控装置通过 CAN 总线连接,目的在于从列车运行监控装置获取机车运行线路信息与机车实时运行状态信息,该状态信息包括当前速度、当前公里标、限速、列车载重和计长信息;同时所述货运机车自动操纵优化实时控制器与机车信号主机通过串口连接,或经由上述列车运行监控装置通讯连接,目的在于从机车信号主机获取当前机车信号信息;同时所述货运机车自动操纵优化实时控制器与人机交互显示界面通过 CAN 总线连接,目的在于与司机交互关于货运机车自动操纵优化实时控制器对机车驾驶员自动切换时机的建议信息和司机对于手自动切换信息的输入;所述货运机车自动操纵优化实时控制器与手/自动转换通信器件连接;所述货运机车自动操纵优化实时控制器通过列车运行监控装置和机车信号主机获取机车当前行车信息,使得司机在实际驾驶中可以通过人机交互显示界面和司机控制台面进行手/自动驾驶切换。

2. 如权利要求 1 所述的基于调度信号的货运机车自动操纵优化实时控制系统,其特征在于,所述货运机车自动操纵优化实时控制器的操作实现主要通过基准目标曲线获取、当前优化目标曲线获取和自适应控制三步骤完成:

1) 基准目标曲线获取,其主要实现机车在给定条件下的基准行车规划曲线信息,主要通过基于领域知识的优化算法计算机车运行的优化运行曲线,该优化算法以调度指令、列车编组信息、路径限速、道路条件、运行时间、操纵约束为优化约束条件,以机车列车性能参数为基本条件,以机车总体运行能耗最小和/或运行时间差最小为多目标或单目标优化目标,计算机车列车优化运行曲线,优化计算过程选用常规优化算法,针对给定情况下的列车约束内容,计算寻优符合驾驶条件的基准优化目标曲线;

2) 当前优化目标曲线获取,其主要实现根据临时调度信号和机车当前运行状态信息参数实时计算基于调度信号的当前优化目标曲线,系统在优化求解时将临时信号信息实时转换成强制限速信息,用于求取当前优化目标曲线;

3) 机车运行自适应控制是通过实时采集机车运行点位置信息,自适应调整控制档位信息的输出,达到自适应实时控制的目的。

3. 如权利要求 2 所述的基于调度信号的货运机车自动操纵优化实时控制系统,其特征在于,所述优化计算中机车运行物理模型如下:

$$v \frac{dv}{dx} = \frac{p(x)}{Mv(x)} - \omega_0(v) - b_b(r, v, v_0) + \int_0^{L_e} \theta(s)g(x-s)ds$$

$$t(0) = 0, \quad t(S) = T$$

$$v(0) = v(S) = 0$$

其中,S 为运行距离,T 为调度运行时间,xx 为列车当前运行位置, $x \in [0, S]$ ,v 或  $v(x)$  为列车当前运行速度,p(x) 表示机车牵引功率,M 为列车牵引总重, $\omega_0(v)$   $\omega$  为速度为 v 时

的列车单位运行基本阻力,  $r$  为列车管减压量,  $v_0$  为制动初速度,  $b_b(r, v, v_0)$  为制动单位合力,  $\theta(s)$  为距离列车头部  $s$  处的列车质量密度函数,  $g(x-s)$  表示距离列车头部  $s$  处的线路附加阻力,  $L_e L$  为列车长度,  $\int_0^{L_e} \theta(s)g(x-s)ds$  表示加权单位附加阻力,  $t$  表示列车运行时刻;

多目标优化模型为在给定起止状态, 即起止速度  $v_0=0$ , 终止速度  $v_t=0$ , 起始公里标位置  $s_0=0$ , 起始时间  $t_0=0$  条件下, 考虑约束条件下, 最小化能耗  $E$  和实际运行时间与调度运行时间的差  $\Delta T$ , 其中, 约束条件为: 限速约束  $0 \leq v_i \leq v_{lim}(i)$ , 其中  $v_i$  表示  $i$  步长时的速度,  $v_{lim}(i)$  表示  $i$  步长时的限速, 总距离约束  $\sum_{i=1}^n s_i = S$ , 其中  $s_i$  表示  $i$  步长时的运行距离, 加速度变化率约束  $|(a_i - a_{i-1}) / \Delta t_i| \leq \epsilon$ , 其中  $a_i$  和  $a_{i-1}$  分别表示  $i$  步长和  $i-1$  步长时的加速度,  $\Delta t_i$  表示  $i$  步长时的运行时间大小,  $\epsilon$  为大于 0 的常数。

4. 如权利要求 3 所述的基于调度信号的货运机车自动操纵优化实时控制系统, 其特征在于, 所述当前优化目标曲线计算过程如下:

1) 查询获取前方信号灯调度信号状态, 根据信号灯状态转换成相应限速信息; 转换规则按照铁路调度信号限速规则进行;

2) 基于限速曲线, 统一下浮一定阈值, 形成搜索基准速度曲线; 然后基于该搜索基准曲线, 求取以该搜索基准曲线行驶情况下所需要花费时间  $T_0$ , 时间  $T_0$  的求取过程可按如下公式求得: 取该搜索基准曲线对应的起止公里标与临时限速线曲线间距离分别为  $S_0, S_1, S_2$ , 各起止与转折点速度分别为  $V_0, V_1, V_2$ , 则时间  $T_0$  可按如下方式求解

$$T_0 = \frac{2S_0}{V_0 + V_1} + \frac{2S_2}{V_1 + V_2} + \frac{S_1}{V_1}$$

3) 基于给定时间约束  $T_1$ , 比较  $T_1$  与  $T_0$  大小, 并用于有方向引导的搜索, 如果  $T_1 > T_0$ , 说明给定时间较长, 则曲线优化搜索方向往进一步减小速度进行, 也即向下搜索; 如  $T_1 < T_0$ , 说明给定时间较短, 则曲线优化搜索方向往进一步增加速度进行, 也即向上搜索; 该处搜索过程采用常规档位试凑的方式进行, 即沿引导方向确定某起始位置, 试凑相应牵引或制动档位使得机车按照上述运行物理模型的运行过程处在相应引导方向上, 如不在该方向上, 则继续试凑其他档位, 直至档位满足引导方向要求; 一次搜索完毕后重新计算新的曲线的耗时  $T_1$ , 重新比较  $T_1$  与  $T_0$  大小, 以确定新的搜索方向, 重复该过程, 直至下述 4) 中所述停止条件; 搜索时需保证与原基准目标曲线光滑连接, 光滑连接的方式可采用渐进档位变化方式, 即取原基准目标曲线相应位置档位和当前优化目标曲线相应档位, 如果两者差异大于两个档位差, 则两段曲线均前后协调特定距离取中间过渡档位, 使之光滑过渡;

4) 在上面具体搜索过程中, 需设定最大允许计算时间为强制停止时间  $T_{max}$ , 即以不耽误机车当前优化目标曲线用于该位置机车自适应控制为准, 强制停止时间到达时即停止搜索过程, 所得曲线即为实时当前优化目标曲线, 当前优化目标曲线将被进一步用于机车运行实时自适应控制过程。

5. 如权利要求 4 所述的基于调度信号的货运机车自动操纵优化实时控制系统,

其特征在于, 所述自适应实时控制的基本规则如下: 设定比例系数  $K, K > 0$ , 当当前运行速度与预期运行速度差值位  $\Delta v$  时, 自适应控制单元基于当前运行档位  $G$ , 按比例改变一定档位  $-K \Delta v$ , 当  $K \Delta v$  非整数时就近取整, 当当前运行速度比预期运行速度差值位低  $\Delta v$ ,

则增加  $\text{Round}(|K \Delta v|)$  档位数；当当前运行速度比预期运行速度差值位高  $\Delta v$ ，则降低  $\text{Round}(|K \Delta v|)$  档位数，如档位改变已经改至最高档位或最低档位而不能再继续增加或降低时，则保持该档位运行，并提示司机当前档位状态，司机可视实际情况转为手动驾驶。

## 一种基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统,属于机车车辆控制技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着各国专家学者对于机车节能操纵优化系统的研究,鉴于机车主动节能操纵优化的诸多优势,世界发达国家均大力推进机车节能优化操纵系统的推广应用。美国通用电气公司成功研制了列车运行优化系统 Trip Optimizer,并申请专利“用于列车的形成优化系统及方法”(申请号 200780000072.4),它可基于不同机车的组成和行驶路线,对燃油消耗进行优化,从而满足列车运行时间要求的最优化的全程驾驶计划,取得良好的节油效果。德国克诺尔集团研制了 LEADER<sup>®</sup> 驾驶员辅助系统,该系统在帮助机车工程师减少燃油消耗的同时,有效控制列车运行时间,减少机车不必要制动及因此造成的机车和货车的磨损,同时可协助收集和分析列车司机操作数据,以改善列车操作性能和整体列车运行效益。LEADER<sup>®</sup> 后台软件设备可协助收集和分析列车司机操作数据库,以改善列车操作性能和整体列车运行效益。德国铁路公司最先批量在客运电力和内燃机车上安装了列车节能驾驶操纵技术系统。该系统能够帮助司机在操纵过程中根据实际状况进行合理操作,在驾驶室的显示屏上直观反映能耗并且提示应当采取的改进措施,同时计算机系统对所有数据进行处理储存,据此对司机驾驶操纵和能耗情况做出科学分析。日本在列车优化操纵方面取得了长足的进步,其新干线系列列车采用速度模式曲线自动控制方式(ATC),多年来以运行安全、正点、精确定位停车、操纵平稳、乘车舒适和节能而闻名世界。东京工业大学教授 K. Mori 提出自律分布系统(ATC)大大提高了系统的健壮性,被率先应用在日本列车自动控制系统中,实现了列车的高速有效控制和管理。

[0003] 国内众多科研单位也开展了机车节能操纵研究应用方面的尝试。北京交通大学于 1989 年研制了一套以单片机为主从结构的机车优化操纵的微机指导系统,以优化原理与模糊控制理论为基础,离线优化计算和在线模糊控制相结合,并在北京型内燃机车上进行实验。实验结果表明,该系统提高了列车正点率、节省了燃油消耗。1995 年,结合国家“八五”重点科技攻关项目“减轻重载列车与线路相互作用及优化操纵的研究”,西南交通大学研制了新型车载微机系统“列车优化操纵指导装置”,采用了离线寻优建立优化操纵运行数据库再结合在线实时调整的方法。该系统也曾在两台 DF4 型电传动内燃机车上的试用,效果良好。2004 年,南昌铁路局和郑州天威自动化设备有限公司合作,自主创新研制了“JZD-1 型机车操纵指导系统”,用于机车节能优化操纵指导,取得了良好效果。此外,北京交通大学、北京交控科技有限公司、成都畅通机车车辆技术开发有限公司、中国电子科技集团公司第三十二研究所等单位也分别就机车优化操纵进行了相关研究,取得了一定的专利成果。

[0004] 然而,国外的运行优化系统未考虑我国复杂的客货混跑状况,也未考虑入铁路信号的临时变化等内容,国内现行的运行优化系统主要以“指导”为主,需要确保司机连续监测显示屏并能按照监视屏做出相应操作,不利于降低司机的劳动强度和达到精确合理的控

制目的。

### 发明内容

[0005] 基于上述问题,本发明公开了一种基于调度信号的货运机车运行操纵优化控制系统,该控制系统结合机车现有运行监控装置,根据列车性能特征、运行状况、线路状况等方面的信息,通过车载优化器单元优化计算机车基准目标运行曲线,并根据调度信息实时优化当前目标曲线,用于自适应控制机车的实时运行。

[0006] 本发明采用的技术方案为:

[0007] 一种基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统,该货运机车包括机车信号主机、列车运行监控装置、机车运行传感记录装置、机车运行执行装置、机车控制单元和司机控制台面,其特征在于,所述货运机车自动操纵实时优化控制系统属于该货运机车车载装置,所述货运机车自动操纵实时优化控制系统包括人机交互显示界面、货运机车自动操纵优化实时控制器和手/自动转换通信器件,所述货运机车自动操纵优化实时控制器与列车运行监控装置通过 CAN 总线连接,目的在于从列车运行监控装置获取机车运行线路信息与机车实时运行状态信息,该状态信息包括当前速度、当前公里标、限速、列车载重和计长信息;同时所述货运机车自动操纵优化实时控制器与机车信号主机通过串口连接,或经由上述列车运行监控装置通讯连接,目的在于从机车信号主机获取当前机车信号信息;同时所述货运机车自动操纵优化实时控制器与人机交互显示界面通过 CAN 总线连接,目的在于与司机交互关于货运机车自动操纵优化实时控制器对机车驾驶员自动切换时机的建议信息和司机对于手自动切换信息的输入;所述货运机车自动操纵优化实时控制器与手/自动转换通信器件连接;所述货运机车自动操纵优化实时控制器通过列车运行监控装置和机车信号主机获取机车当前行车信息,使得司机在实际驾驶中可以通过人机交互显示界面和司机控制台面进行手/自动驾驶切换。

[0008] 采用上述技术方案后的有益效果是,

[0009] 1、最大程度的结合了我国货运列车现有机载装置,能够根据列车信息、道路信息、调度信息等实时优化计算机车优化运行曲线;

[0010] 2、加入了对实时信号的考量,能够根据机车临时调度信号,实时补偿调整机车运行曲线,得到当前优化目标曲线;

[0011] 3、依据当前优化目标曲线和当前运行状态信息,实时自适应控制输出机车控制操纵档位序列。

### 附图说明

[0012] 图 1 是本发明的基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统的示意性结构框图;

[0013] 图 2 是人机交互显示单元功能划分与布局图;

[0014] 图 3 是当前优化目标速度曲线计算过程图。

### 具体实施方式

[0015] 以下的说明本质上仅仅是示例性的而并不是为了限制本公开、应用或用途。应当

理解的是,以下将结合着说明书附图对本发明提供的技术方案进行详细的描述。

[0016] 图 1 是本发明的基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统的示意性结构框图。

[0017] 如图所示,所述基于调度信号的货运机车自动操纵实时优化控制系统属于该货运机车的车载装置,该货运机车包括机车信号主机、列车运行监控装置、机车运行传感记录装置、机车运行执行装置、机车控制单元和司机控制台面板,所述货运机车自动操纵实时优化控制系统包括人机交互显示界面、货运机车自动操纵优化实时控制器和手/自动转换通信器件,所述货运机车自动操纵优化实时控制器与列车运行监控装置通过 CAN 总线连接,目的在于从列车运行监控装置获取机车运行线路信息与机车实时运行状态信息,该状态信息包括当前速度、当前公里标、限速、列车载重和计长信息;同时所述货运机车自动操纵优化实时控制器与机车信号主机通过串口连接,或经由上述列车运行监控装置通讯连接,目的在于从机车信号主机获取当前机车信号信息;同时所述货运机车自动操纵优化实时控制器与人机交互显示界面通过 CAN 总线连接,目的在于与司机交互关于货运货运机车自动操纵优化实时控制器对机车驾驶员自动切换时机的建议信息和司机对于手自动切换信息的输入;所述货运机车自动操纵优化实时控制器与手/自动转换通信器件连接;所述货运机车自动操纵优化实时控制器通过列车运行监控装置和机车信号主机获取机车当前行车信息,使得司机在实际驾驶中可以通过人机交互显示界面和司机控制台面板进行手/自动驾驶切换。

[0018] 该货运机车自动操纵优化实时控制器的硬件系统结构采用现有典型的二乘二取二冗余设计方案,即核心处理板设置为两套,为了与核心处理板的冗余相匹配,输入信号的调理模块也需要配置冗余,构成主备结构。通过二乘二取二冗余方案设计,实现一次故障正常工作,二次故障导向安全,使系统安全性得到保障。系统核心计算板块采用典型 ARM 系统架构,通讯接口采用标准 CAN、串口和以太网等多接口冗余设计,确保对多机车平台的接口支持,该部分均为现有技术,在此不赘述。该装置通过与机车信号主机和列车运行监控装置等设备连接,获取自动操纵优化实时控制所需的线路信息、编组信息、道路环境、运行时间、操纵约束等既定信息和当前车速、当前公里标位置等实时信息。该装置通过手/自动转换通信器件和机车控制执行装置具体操纵机车的运行,最大限度利用了现有机车操纵执行端装置资源。司机在实际驾驶中可以通过人机交互显示界面和司机控制台面板方便的进行手/自动驾驶切换。

[0019] 在实践中,所述手/自动转换通信器件做了 RS422/485/232 等串口、以太网、DB9 接口、CAN 总线等接口预留,以方便连接不同形式的现有的手/自动转换通信器件。所述列车运行监控装置可以是现有的车载 LKJ2000 列车运行监控装置等,所述机车信号主机可以是现有的车载机车信号主机 JT1-CZ2000 等。

[0020] 本发明的货运机车自动操纵优化实时控制器能够通过货运机车上的列车运行监控装置和机车信号主机等装置获取机车当前行车信息,包括线路信息、限速、列车载重、计长、当前速度、当前公里标、调度信号等,通过合理优化计算和人机交互信息,产生适合机车自动运行的优化运行档位控制信息,作用于机车控制。

[0021] 图 2 是人机交互显示单元功能划分与布局图,主要包括:当前运行信息的数字化显示单元、运行环境与当前运行信息的图形化显示单元、警示与提醒操作交互单元、手/自

动操纵转换交互执行单元等四个组成部分。人机交互显示单元可以方便实现包括当前运行信息、当前运行环境、警示与提醒交互、手 / 自动操纵转换交互执行等的数字、文字和图形化显示等功能。人机交互过程可通过实际硬件按钮执行,也可以通过触摸屏屏显虚拟按钮执行。

[0022] 司机在实际驾驶中可以通过人机交互显示界面和司机控制台面板方便的进行手 / 自动驾驶切换,说明如下 A、B:

[0023] A. 利用人机交互显示界面进行手 / 自动操纵转换操作可以通过手 / 自动操纵转换交互执行单元进行。人机交互显示界面手 / 自动操纵转换交互执行单元部分提供直接的手 / 自动操纵转换交互执行按钮,在警示与提醒操作交互单元的配合提示下完成人机交互转换操作。警示与提醒操作交互单元的配合主要考虑司机在尝试完成手自动转换时是否按照系统要求调整相应档位状态。

[0024] 系统转换的状态要求示例如下:1) 自动驾驶转手动驾驶,驾驶员需将操纵手柄移至与当前自动驾驶相同档位位置方可转换手动驾驶;2) 手动驾驶转自动驾驶,驾驶员需将操纵手柄移至惰行档位后选择转换成自动驾驶方可转换至自动驾驶。

[0025] B. 利用司机控制台面板进行手 / 自动操纵转换操作主要通过对司机在控制台面板上动作的监控实现,只要司机在控制台面板上有任何档位操纵的改变,包括牵引档位、电阻制动档位、空气制动等功率变换操纵操作,但不包括鸣笛、撒砂等非功率变换操作。

[0026] 本发明的货运机车自动操纵优化实时控制器的操作实现主要通过基准目标曲线获取、当前优化目标曲线获取和自适应控制等三步骤完成。

[0027] 基准目标曲线获取内容部分主要实现机车在给定条件下的基准行车规划曲线信息,主要通过基于领域知识的优化算法计算机车运行的优化运行曲线,该优化计算以调度指令、列车编组信息、路径限速、道路条件、运行时间、操纵约束等为优化约束条件,以机车列车性能参数为基本条件,以机车总体运行能耗最小和 / 或运行时间差最小为多目标或单目标优化目标,计算机车列车优化运行曲线(该部分已有较多研究,属现有技术,在此不赘述)。优化计算过程可选用常规优化算法,如遗传算法等方式,针对给定情况下的列车约束等内容,计算寻优符合驾驶条件的基准优化目标曲线。

[0028] 该优化计算中机车运行物理模型如下:

$$v \frac{dv}{dx} = \frac{p(x)}{Mv(x)} - \omega_0(v) - b_b(r, v, v_0) + \int_0^{L_e} \theta(s)g(x-s)ds$$

[0029]

$$t(0) = 0, \quad t(S) = T$$

$$v(0) = v(S) = 0$$

[0030] 其中, S 为运行距离, T 为调度运行时间, x 为列车当前运行位置,  $x \in [0, S]$ , v 或  $v(x)$  为列车当前运行速度, p(x) 表示机车牵引功率, M 为列车牵引总重,  $\omega_0(v)$  为速度为 v 时的列车单位运行基本阻力, r 为列车管减压量,  $v_0$  为制动初速度,  $b_b(r, v, v_0)$  为制动单位合力,  $\theta(s)$  为距离列车头部 s 处的列车质量密度函数,  $g(x-s)$  表示距离列车头部 s 处的线路附加阻力,  $L_e$  为列车长度,  $\int_0^{L_e} \theta(s)g(x-s)ds$  表示加权单位附加阻力, t 表示列车运行时刻;



[0031] 多目标优化模型为在给定起止状态,即起止速度  $v_0=0$ ,终止速度  $v_t=0$ ,起始公里标位置  $s_0=0$ ,起始时间  $t_0=0$  条件下,考虑约束条件下,最小化能耗  $E$  和实际运行时间与调度运行时间的差  $\Delta T$ ,其中,约束条件为:限速约束  $0 \leq v_i \leq v_{lim}(i)$ ,其中  $v_i$  表示  $i$  步长时的速度, $v_{lim}(i)$  表示  $i$  步长时的限速,总距离约束  $\sum_{i=1}^n s_i = S$ ,其中  $s_i$  表示  $i$  步长时的运行距离,加速度变化率约束  $|(a_i - a_{i-1}) / \Delta t_i| \leq \varepsilon$ ,其中  $a_i$  和  $a_{i-1}$  分别表示  $i$  步长和  $i-1$  步长时的加速度, $\Delta t_i$  表示  $i$  步长时的运行时间大小, $\varepsilon$  为大于 0 的常数。

[0032] 当前优化目标曲线获取内容部分主要实现根据临时调度信号和机车当前运行状态信息等参数实时计算基于调度信号的当前优化目标曲线。系统在优化求解时将临时信号信息实时转换成强制限速信息,利用临时调度优化策略库,用于求取当前优化目标曲线。临时调度优化策略库预存有针对临时调度的优化计算策略。其优化调用和实现过程可参照图 3 当前优化目标速度曲线计算过程图示所示,具体描述如下:

[0033] 1) 查询获取前方信号灯调度信号状态,根据信号灯状态转换成相应限速信息。转换规则按照一般铁路调度信号限速规则进行。如对于进站信号灯,信号灯颜色及其分别代表的执行操作如下:红灯表示信号灯前停车,绿色表示正线通过,黄灯表示进入正线准备停车,双黄灯表示进入侧向道岔准备停车,绿黄灯表示正线进入站内越过下一家信号机准备停车等,对应的限速转换可按如下方式进行:红灯表示限速为 0,绿色表示原限速不变,黄灯表示做减速准备但当前限速值不变,双黄灯表示使用岔道限速作为临时限速,绿黄灯表示准备减速但限速不变。图 3 中粗虚线表示的临时限速线与原始限速一起组成新的限速曲线。

[0034] 2) 基于限速曲线,统一下浮一定阈值(按照领域知识确定,一般可选下浮阈值为 10Km/h-20Km/h),形成搜索基准速度曲线。图 3 中黑色实线就表示基于限速下浮形成的搜索基准曲线。然后基于该搜索基准曲线,求取以该搜索基准曲线行驶情况下所需要花费时间  $T_0$ ,时间  $T_0$  的求取过程可按如下公式求得:取该搜索基准曲线对应的起止公里标与临时限速线间距离分别为  $S_0, S_1, S_2$  (具体位置见图 3 中标注),各起止与转折点速度分别为  $V_0, V_1, V_2$  (具体位置见图 3 中标注),则时间  $T_0$  可按如下方式求解  $T_0 = \frac{2S_0}{V_0+V_1} + \frac{2S_2}{V_1+V_2} + \frac{S_1}{V_1}$  基于该搜索基准曲线,求取以该搜索基准曲线行驶情况下所需要花费时间。

[0035] 3) 基于给定时间约束  $T_1$ ,比较  $T_1$  与  $T_0$  大小,并用于有方向引导的搜索,即,如  $T_1 > T_0$ ,说明给定时间较长,则曲线优化搜索方向往进一步减小速度进行,也即向下搜索;如  $T_1 < T_0$ ,说明给定时间较短,则曲线优化搜索方向往进一步增加速度进行,也即向上搜索。该处搜索过程可采用常规档位试凑的方式进行,即沿引导方向确定某起始位置,试凑相应牵引或制动档位使得机车按照上述运行物理模型的运行过程处在相应引导方向上,如不在该方向上,则继续试凑其他档位,直至档位满足引导方向要求。某次搜索完毕后重新计算新的曲线的耗时  $T_1$ ,重新比较  $T_1$  与  $T_0$  大小,以确定新的搜索方向。重复该过程直至下面第 4) 点中所述停止条件。搜索时需保证与原基准目标曲线光滑连接,光滑连接的方式可采用渐进档位变化方式,即取原基准目标曲线相应位置档位和当前优化目标曲线相应档位,如果两者差异大于两个档位差,则两段曲线均前后协调特定距离取中间过渡档位,使之光滑过渡。图 3 中细虚线所示即为当前优化目标曲线。

[0036] 4) 在上面具体搜索过程中,需设定最大允许计算时间为强制停止时间  $T_{max}$ ,即以

不耽误机车当前优化目标曲线用于该位置机车自适应控制为准。强制停止时间到达时即停止搜索过程,所得曲线即为实时当前优化目标曲线。当前优化目标曲线将被进一步用于机车运行实时自适应控制过程。

[0037] 机车运行自适应控制方法是通过实时采集机车运行点位置信息,自适应调整控制档位信息的输出,达到自适应实时控制的目的。基本规则如下:设定比例系数  $K, K > 0$ , 当当前运行速度与预期运行速度差值位  $\Delta v$  时,自适应控制单元基于当前运行档位  $G$ , 按比例改变一定档位  $-K \Delta v$  (当  $K \Delta v$  非整数时就近取整,用  $\text{Round}(|K \Delta v|)$  表示)。即,当当前运行速度比预期运行速度差值位低  $\Delta v$ , 则增加  $\text{Round}(|K \Delta v|)$  档位数;当当前运行速度比预期运行速度差值位高  $\Delta v$ , 则降低  $\text{Round}(|K \Delta v|)$  档位数。如档位改变已经改至最高档位或最低档位而不能继续增加或降低时,则保持该档位运行,并提示司机当前档位状态,司机可视实际情况有权利转为手动驾驶。

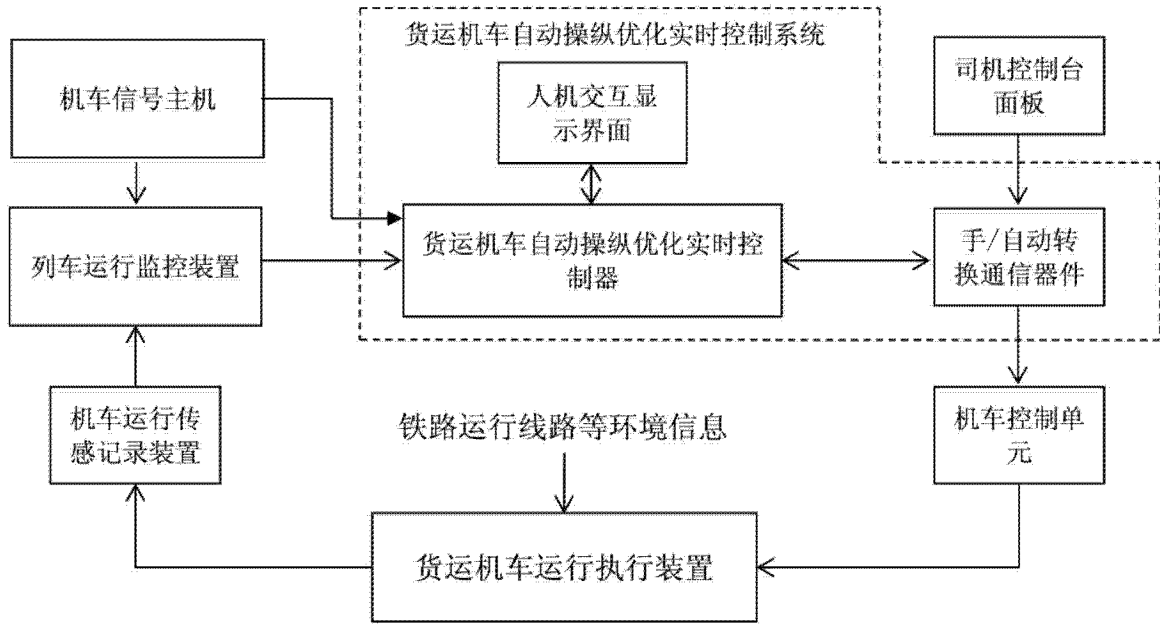


图 1

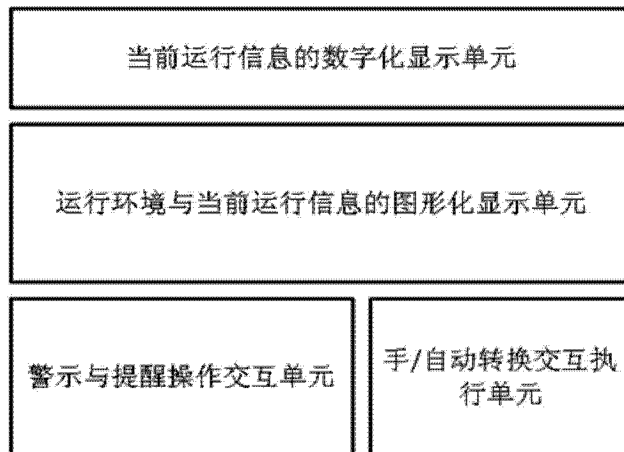


图 2

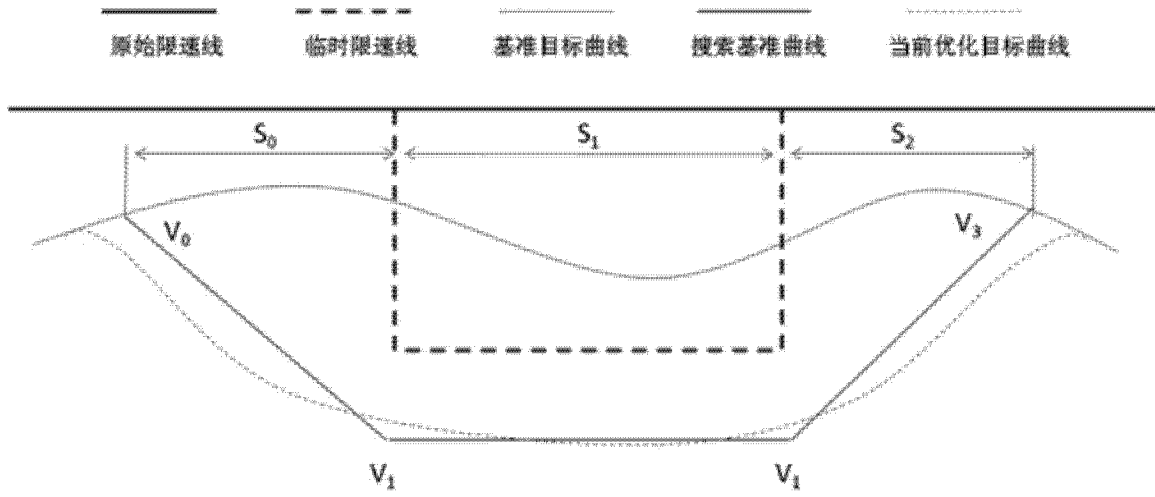


图 3