



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102030024 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 04

(21) 申请号 201010584148. 6

(22) 申请日 2007. 08. 24

(30) 优先权数据

60/849, 101 2006. 10. 02 US

60/939, 851 2007. 05. 23 US

11/831, 492 2007. 07. 31 US

(62) 分案原申请数据

200780001513. 2 2007. 08. 24

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 沃尔夫冈·多姆 埃夫伦·厄尤里克

格伦·R·谢弗

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 封新琴

(51) Int. Cl.

B61L 27/00(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2002249049 A, 2002. 09. 03, 0001 段,
0023-0025 段, 图 1, 图 2.

EP 1136969 A, 2001. 09. 26, 全文.

US 2004172175 A1, 2004. 09. 02, 全文.

US 2004133315 A1, 2004. 07. 06, 全文.

审查员 郑勇龙

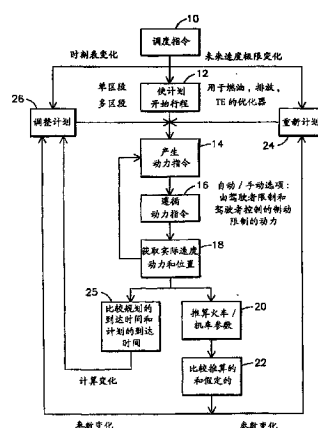
权利要求书1页 说明书23页 附图13页

(54) 发明名称

用于优化运行在多交叉铁路网上的多个轨道
车辆的参数的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于优化运行在多交叉铁路网上的多个轨道车辆的参数的方法。在具有多个轨道的铁路网络中,一些轨道与网络中的其他轨道相交,用于优化在该铁路网络中运行的轨道车辆的方法包括:在每个相应任务的开始时确定每个轨道车辆的任务目标;基于任务目标确定每个轨道车辆的优化行程计划;和根据相应轨道车辆运行参数的至少一个和临近另一轨道车辆的其他轨道车辆来调节每个相应行程计划并且同时进行驱动。



1. 一种用于优化在具有多个轨道的铁路网络中运行的轨道车辆的方法,其中所述铁路网络中的多个轨道中的一些轨道与网络中的其他轨道相交,所述方法包括:

在每个相应任务的开始时,确定供第一驱动车辆在沿路线行进期间遵循的第一行程计划,该第一行程计划根据沿行程的时间或距离中的至少一个指令第一驱动车辆的运行设定;

在第二驱动车辆运动的同时,在沿第一驱动车辆的行程的路线的一个或多个位置处监控第二驱动车辆的计划运动速度或计划到达时间中的至少一个;和

基于第二驱动车辆的计划运动速度或计划到达时间中的所述至少一个和临近第二轨道车辆的其他轨道车辆修改第一行程计划的一个或多个运行设定,以便于建立用于第一驱动车辆的修改的行程计划,其中根据第一驱动车辆的运行设定或修改的行程计划的行进导致与根据不同的行程计划相比降低在行程中第一驱动车辆消耗的燃料或产生的排放中的至少一个。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,监控计划运动速度或计划到达时间中的至少一个包括比较第一驱动车辆或第二驱动车辆的排放输出对第一驱动车辆或第二驱动车辆中的另一个的运动速度、第一驱动车辆或第二驱动车辆的燃料效率对第一驱动车辆或第二驱动车辆的另一个的运动速度、或第一驱动车辆或第二驱动车辆的排放输出对第一驱动车辆或第二驱动车辆中的另一个的燃料效率中的至少一个。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中监控计划运动速度或计划到达时间中的至少一个是基于比较排放输出对运动速度、燃料效率对运动速度或排放输出对燃料效率中的至少一个。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中修改第一行程计划的一个或多个运行设定被执行以避免与使用该路线的其它驱动车辆冲突。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其中修改一个或多个运行参数是基于车辆的不同的优先权。

用于优化运行在多交叉铁路网上的多个轨道车辆的参数的方法

[0001] 本申请是申请日为 2007 年 8 月 24 日、国际申请号为 PCT/US2007/076699、国家申请号为 200780001513.2、发明名称为“用于优化运行在多交叉铁路网上的多个轨道车辆的参数的系统和方法”的专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请是 2006 年 3 月 20 日提交的美国申请 No. 11/385354 的部分继续申请,其合并于此以作参考。本申请要求 2006 年 10 月 2 日提交的美国临时申请 No. 60/849,101 和 2007 年 5 月 23 日提交的美国临时申请 No. 60/939,851 的优先权。

技术领域

[0004] 本发明的领域涉及轨道车辆的操作,该轨道车辆例如是列车,更特别地,涉及优化参数,该参数例如是多个列车运行在交叉铁路网上时列车操作参数、燃料效率、排放效率和到达时间。

背景技术

[0005] 机车是具有多个子系统的复杂系统,每个子系统独立于其它子系统。操作者在机车上以确保机车的正确操作和其运货车厢的相关负荷。除了确保机车的准确操作外,操作者还负责确定列车的运行速度和列车中的力,机车为该列车的一部分。为执行该功能,操作者通常必须具有在特定地形上操作机车和各种列车的丰富经验。这一知识是必要的,从而遵循规定的运行速度,该速度随列车沿轨道的位置变化。而且,操作者还负责确保列车内的力保持在可接收的限度内。

[0006] 基于特定的列车任务,通常惯用的是设置一列机车以驱动列车,这依赖于可用动力和运行历史记录。这导致用于单独列车的可用机车动力的较大变化。另外,对于关键列车,例如 Z-列车,备用动力,一般为备用机车设置用于应付设备故障的情形并且确保列车准时到达其目的地。

[0007] 当操作列车时,列车操作者通常基于相同轨道上的类似列车的先前操作而进行相同的档位设置,这样会导致燃料消耗的较大变化,因为列车不是完全相同。因此,操作者通常无法操作机车使得每次行程的燃料消耗最小。这是难于做到的,因为,例如,列车的负荷和尺寸会发生变化,并且机车和它们的燃料/排放特性是不同的。

[0008] 一般地,一旦列车被编组,且一旦其离开轨道车场或驼峰调车场,那么列车动态性能,例如燃料效率/速度、最大加速度和轨道状况以及轨道容许度对于列车和机务人员通常是已知的。然而,列车运行在具有多个列车同时运行的铁路轨道的网络上,其中铁路轨道网络交叉和/或列车必须沿路线驶过会车/超车轨道。网络信息诸如到达时间、新列车和机务人员的调度以及整个网络的健康度在中心位置或分布地点是已知的,例如在列车之外的调度中心。需要把局部列车信息和全局网络信息结合,来确定铁路网络中的每个列车的优化系统性能。为此目的,在铁路网络中,操作者将受益于多个交叉的轨道的整个网络和列

车的优化的燃料效率和 / 或排放效率和到达时间。

发明内容

[0009] 本发明的示例性实施例公开一种用于优化参数的系统、方法和计算机软件代码，这些参数包括但不限于多个列车在相交铁路网络上运行时的燃料效率、排放效率和到达时间。为了这一目的，公开一种在铁路网络中将列车参数、燃料效率、排放效率和负荷其中的至少一个与网络信息连通、使得在列车执行任务的同时随着时间调节网络效率的方法。该方法包括采用公共交叉点将列车任务分成多个区段。另一步骤包括根据铁路网络中的其它列车计算列车运行参数，以确定特定区段上的优化参数。将优化运行参数与当前运行参数进行比较。公开的另一步骤是改变列车的当前运行参数，以与当前轨道区段和未行进轨道区段的至少一个上的优化运行参数一致。

[0010] 在另一示例性实施例中，公开一种将列车参数、燃料效率和负荷与网络信息相连通使得随着时间调节网络效率的系统。该系统包括用于确定铁路网络中的多个列车在每个列车任务区段上优化运行状况网络优化器。还公开一种用于在网络优化器与列车之间通信的无线通信系统。也公开一种为网络优化器提供至少一个关于列车的运行状况的数据收集系统。

[0011] 在另一实施例中，公开一种将列车运行参数、燃料效率和负荷与网络信息相连通使得随着时间调节网络效率的计算机软件代码。该计算机软件代码包括用于以公共交叉点将列车任务分成多个区段的计算机软件模块。也包括一种用于基于铁路网络内其它列车计算列车运行参数从而确定特定区段上的至少一个优化参数的计算机软件模块。还公开一种用于将至少一个优化参数与至少一个当前运行参数进行比较的计算机软件模块。也公开一种用于改变列车的至少一个当前运行参数以与当前区段和未来区段其中至少一个的至少一个优化参数一致的计算机软件模块。

[0012] 在另一示例性实施例中，公开一种使用网络优化器和车载行程优化器来优化列车运行的方法。该方法包括为列车提供网络优化器的初始列车参数集。在整个任务中驱动列车的步骤以及随着列车在整个任务中前进而将列车运行状况报告给网络优化器。还提供一个步骤，在列车上，根据网络优化器提供的列车参数考虑列车的实时运行状况。如果由网络优化器建立的列车参数超过列车上实现的限制，那么另一步骤忽略由该网络优化器提供的列车参数。

[0013] 在具有多个轨道的铁路网络中，一些轨道与网络中的其他轨道相交，公开一种用于优化在该铁路网络中运行的轨道车辆的方法。该方法包括在每个相应任务的开始时确定每个轨道车辆的任务目标。提供另一步骤以基于任务目标确定每个轨道车辆的优化行程计划。根据相应轨道车辆运行参数的至少一个调节和临近另一轨道车辆的其他轨道车辆调节每个相应行程计划并且同时进行驱动。

附图说明

[0014] 参考图示的特定实施例，将对上文简要描述的本发明进行更详细的说明。应理解这些附图仅描述本发明的示例性实施例，且不是要因此被认为是其范围的限制，通过全部附图，本发明将被利用附加特征和细节予以说明和解释，其中：

- [0015] 图 1 示例性示出本发明的流程图；
- [0016] 图 2 描述可使用的列车的简化模型；
- [0017] 图 3 描述本发明的元件的示例性实施例；
- [0018] 图 4 描述燃料使用 / 行程时间曲线的示例性实施例；
- [0019] 图 5 描述行程计划的区段分解的示例性实施例；
- [0020] 图 6 描述区段实例的示例性实施例；
- [0021] 图 7 描述本发明的示例性流程图；
- [0022] 图 8 描述由操作者使用的动态显示的示例性图示；
- [0023] 图 9 描述由操作者使用的动态显示的另一示例性图示；
- [0024] 图 10 描述由操作者使用的动态显示的另一示例性图示；
- [0025] 图 11 描述铁路轨道网络的示例性实施例；
- [0026] 图 12 描述铁路轨道网络的另一示例性实施例；
- [0027] 图 13 描述用于使特定参数与网络信息相连通的示例性步骤的流程图；
- [0028] 图 14 描述用于使特定参数与网络信息相连通的示例性步骤的流程图；
- [0029] 图 15 描述可作为优化铁路轨道网络中的列车操作的系统的一部分的示例性元件的方框图；和
- [0030] 图 16 描述优化运行在铁路网络中的多个轨道车辆的步骤的流程图。

具体实施方式

[0031] 详细参考与本发明一致的实施例，其例子在附图中示出。无论在何处，在所有附图中使用的相同的参考标号表示相同或相似的零件。

[0032] 本发明的示例性实施例解决了本领域中的一些问题，其提供了一种系统、方法、计算机执行的方法，例如计算机软件编码，用于通过优化的列车动力组成来改善列车的总体燃料效率。当机车编组处于分布式动力操作中时，也可操作本发明。本领域技术人员将认识到，例如数据处理系统的装置可被编程或以其它方式设计，以便于本发明的方法的实施，该装置包括 CPU、内存、I/O、程序存储器、连接总线和其它合适的组件。这样的系统包括用于执行本发明的方法的适当编程装置。

[0033] 而且，制造的物品，例如预先记录的盘或其它类似的计算机编程产品，用于数据处理系统，该物品包括存储介质和记录在其上的用于指令数据处理系统的编程装置，以便于实施本发明的方法。这样的装置和制造的物品也落入本发明的精神和范围之内。

[0034] 宽泛地讲，本发明的技术效果是改善运行在作为交叉铁路网络的一部分的多段轨道中的列车的燃料效率和 / 或排放效率。为了便于理解本发明的示例性实施例，下文将参考其具体应用来说明。本发明的示例性实施例可以以计算机可执行指令的一般文字内容描述，例如由计算机执行的程序模块。通常，程序模块包括例程序、程序、对象、组件、数据结构等，其执行特定的任务或执行特定的抽象数据类型。例如，本发明的示例性实施例的软件程序可被以不同的语言编码，以用于不同的平台。在下面的描述中，本发明的例子可以在采用网络浏览器的门户网站的环境下进行说明。然而，应认识到，本发明的示例性实施例的原理可被利用其它类型的计算机软件技术来执行。

[0035] 然而，本领域技术人员将认识到，本发明的示例性实施例可被用其它计算机系统

配置实现,包括手持装置、多处理器系统、基于微处理器的或可编程序的消费电子产品、微形计算机、大型计算机等。本发明的示例性实施例还可在分布式计算环境中实现,其中任务是由通过通信网络链接的远控处理设备来执行的。在分布式计算环境中,程序模块可位于本地和远控计算机存储介质中,包括内存存储装置。这些本地和远控计算环境可整个包括在机车内、或机车编组中的相邻机车中、或使用无线和 / 或有线通信的非车载的路边或中心办公室。

[0036] 在整个文档中,使用了术语“机车编组”。当在此使用时,机车编组可以被描述为具有一个或多个连续地连接在一起的机车,以提供驱动和 / 或制动能力。机车连接在一起,其中在这些机车之间没有列车车厢。列车的组成部分中具有多于一个机车编组。特别地,存在导引编组和多于一个的远控编组 (remote consist),例如中间的一串车厢和位于列车端部的另一远控机车编组。每个机车编组可具有第一机车和一个或多个拖车机车。应理解导引机车可存在于整个列车编组中的任意位置。更特别地,即使第一机车通常被视为导引机车,本领域技术人员也将容易地得知多机车编组中的第一机车可以在物理上位于物理拖车位置。虽然机车编组通常被视为连续机车,但是本领域技术人员可容易地得知,即使当至少一个车厢使这些机车分离时,诸如当机车编组被配置用于分布式动力操作时,编组的机车组也可被认为是一个编组,其中节流和制动命令通过无线电链接或物理电缆从导引机车传送到远控列车。为此目的,讨论处于同一列车中的多节机车时,术语“机车编组”不应被认为是限制因素。

[0037] 现在参考附图,将描述本发明的实施例。本发明的示例性实施例可被以各种方式实施,包括系统 (包括计算机处理系统)、方法 (包括计算机化的 方法)、装置、计算机可读介质、计算机程序产品、图形用户界面 (包括网络门户)、或确实地固定在计算机可读存储器中的数据结构。下面将讨论本发明的多个实施例。

[0038] 图 1 描述本发明的示例性实施例的流程图的示例性图示。如图所示,指令被输入,以在车上或从例如调度中心 10 的远控位置计划行程。这样的输入信息包括但不限于列车位置、编组说明 (如机车型号)、机车动力说明、机车牵引传送性能、作为输出动力的函数的发动机消耗,作为动力设定速度和负荷动力学的函数的机车或列车的排放、冷却特性、所需的行程路线 (作为里程的函数的有效轨道坡度和曲率或反映遵循标准铁路实践的“有效坡度”分量),由车厢编组和负荷加上有效阻力系数表示的火车,行程所需的参数包括但不限于出发时间和位置,终点位置、要求的行程时间、机务人员 (使用者和 / 或操作者) 身份识别、机务人员轮班截止时间和路线。

[0039] 该数据可被以多种方式提供给机车 42,例如但不限于操作者通过车载显示器手工将该数据输入到机车 42、由制造者或操作者设置的特征、插入包含有该数据的例如硬卡和或 USB 驱动器的存储装置到机车上的插槽内、以及从中心或路边位置 41 (例如轨道信号发送装置和 / 或路边装置) 经由无线通信传送信息到机车 42。机车 42 和列车 31 的负荷特征 (如阻力) 还可在路线上变化 (如随海拔、环境温度和轨道列车及轨道的状况),且计划可被更新以反映该变化,如上面讨论的和 / 或实时自主收集的机车 / 列车状况的要求。这包括例如由 (各) 机车 42 上车载或非车载的监控设备检测的机车或列车特征的变化。

[0040] 该轨道信号系统确定列车的允许速度。存在多种类型的轨道信号系统和与每种信号相联系的操作规则。例如,一些信号具有单一的光 (开 / 关),一些信号具有多种颜色的

单一镜头,且一些信号具有多种光和颜色。这些信号可表示轨道是无障碍的并且列车可以最大允许速度前进。这些信号还指示减速或停车的要求。减速可能需要立即实现,或在特定位置实现(如先于下一信号或交叉口)。

[0041] 信号状态通过各种方式传送到列车和/或操作者。一些系统在轨道中具有电路和在机车上具有感应拾取线圈。其它系统具有无线通信系统和/或有线通信系统。信号系统还要求操作者可视地检查信号并采取适当的行动。

[0042] 信号发送系统可与车载信号系统通信并根据输入和适当的操作规则调节机车速度。对于要求操作者可视地检查信号状态的信号系统,基于列车的位置,操作者屏幕将出现适当的信号选项供操作者进入。信号系统的类型和操作规则,作为位置的函数,可被储存在车载数据库 63 内。

[0043] 基于输入到本发明的示例性实施例中的规格数据,计算一优化的计划以产生行程特性图 12,该优化计划最小化燃料使用和/或产生的排放,其受沿具有所需出发时间和到达时间的路线的速度极限的限制。该特性图包括列车要遵循的优化速度和动力(档位)设定,表示为距离和/或时间的函数,且这样的列车操作极限包括但不限于最大档位动力和制动设定、和作为位置的函数的速度极限、和预期的使用燃料和产生的排放。在示例性实施例中,档位设定的数值被选择,以获得约每 10 至 30 秒的节流变化决定值。本领域技术人员可容易地知道节流变化的决定可发生在较长或较短的期间,如果需要和/或想要遵循优化的速度特性图。在较宽的范围内,对于本领域技术人员显而易见的是该特性图提供列车的动力设定,无论是在列车级别、编组级别和/或单独的列车级别。在另一优选实施例中,代替传统的离散档位动力设定的操作,本发明的示例性实施例能够选择对于所选定的特性图来说可被确定为最优的连续动力设定。因此,例如如果最优特性图指定 6.8 的档位设定,而不是以档位设定 7 操作,则机车 42 可以 6.8 运行。允许这样的中间动力设定可带来下述的额外高效的益处。

[0044] 用于计算最优特性图的程序可以是任意方法,其用于计算驱动列车 31 的动力顺序,以最小化受机车操作和时刻表限制的燃料和/或排放,如下面的概述。在一些情况下,由于列车配置、路线和环境条件的相似性,所需的最优特性图可足够接近先前确定的那个。在这些情况中,足以在数据库 63 中查找驱动轨迹并试图遵循该轨迹。当没有合适的先前计算的计划时,计算新计划的方法包括但不限于利用近似列车实际运动的微分方程模型直接计算最优特性图。该设置需要选择量化的目标函数,通常为对应于燃料消耗率和所产生排放的模型变量的加权和(积分)加上惩罚过度节流变化的项。

[0045] 最优控制公式设立成在包括但不限于速度限制以及最大和最小动力(节流)设置的约束下最小化该量化目标函数。根据任意时刻的计划目标,该问题可灵活地提出,以在排放和速度限制的约束下最小化燃料,或者在燃料使用和到达时间的约束下最小化排放。还可以提出例如一个目标,在没有约束总排放或燃料使用的情况下最小化总行程时间,其中约束的这种放宽是在特定任务的允许或需要下进行的。

[0046] 在整个文档中,示出示例性方程式和目标函数,从而最小化机车燃料消耗。这些方程式和函数仅仅是用于说明,其它方程式和目标函数可用于优化燃料消耗或优化其它机车/列车操作参数。

[0047] 采用数学方法,要解决的问题可以被更精确地表述。基本物理过程表示为:

[0048] $\frac{dx}{dt} = v; x(0) = 0.0; x(T_f) = D$

[0049] $\frac{dv}{dt} = T_e(u, v) - G_a(x) - R(v); v(0) = 0.0; v(T_f) = 0.0$

[0050] 其中 x 是列车的位置, v 是其速度, t 是时间 (以英里、英里每小时和合适的分钟或小时), u 是档 (节流) 指令输入。此外, D 表示要行程的距离, T_f 是沿轨道到达的距离 D 处的理想到达时间, T_e 是机车编组产生的牵引力, G_a 是取决于列车长度、列车编组和列车所处的地势的重力阻力, R 是取决于机车编组和列车组合的阻力的净速度。初始和最终速度也可被指定, 此处不失一般性地, 可采用零 (列车在起点和终点处停止)。最后, 该模型是易于修改的, 以包括其它重要动态特性, 例如节流变化、 u 和最终牵引力或制动力之间的滞后。使用这一模型, 可建立优化控制公式, 以在受到包括单不局限于速度限制以及最小和最大动力 (节流) 设置的约束的情况下最小化该量化目标函数。根据任意时刻的计划目标, 该问题可灵活地提出以在排放和速度限制的约束下最小化燃料, 或者在燃料使用和到达时间的约束下最小化排放。

[0051] 还可以设定例如在不约束总排放或燃料使用的情况下最小化总行程时间, 其中约束的这种放宽是在特定任务的允许或需要下进行的。所有这些性能的测量值可表述为任何下述项的线性组合:

[0052]

$$1. \min_{u(t)} \int_0^{T_f} F(u(t)) dt \quad - \text{最小化总燃料消耗}$$

[0053]

$$2. \min_{u(t)} T_f \quad - \text{最小化行程时间}$$

[0054]

$$3. \min_{u_i} \sum_{i=2}^{n_d} (u_i - u_{i-1})^2 \quad - \text{最小化档位操作 (分段常数输入)}$$

[0055]

$$4. \min_{u(t)} \int_0^{T_f} (du/dt)^2 dt \quad - \text{最小化档位操作 (连续输入)}$$

[0056] 5. 将 (1) 中的燃料项 F 替换为对应于排放产物的项。例如, 对于排放那个来说,

$\min_{u(t)} \int_0^{T_f} E(u(t)) dt$ - 最小化排放消耗。在该方程式中, E 是以克每马力-小时 (gm/hphr) 为单位的对应每个档位 (或者动力设定) 的排放量。另外, 还可基于燃料和排放的总加权来实现最小化。

[0057] 因此, 通常使用的和代表性的目标函数是:

$$[0058] \min_{u(t)} \alpha_1 \int_0^{T_f} F(u(t)) dt + \alpha_3 T_f + \alpha_2 \int_0^{T_f} (du/dt)^2 dt \quad (\text{OP})$$

[0059] 该线性组合的系数依赖于分配于每个项的重要性 (权重)。需要指出的是, 在方程式 (OP) 中, $u(t)$ 是作为连续档位的优化变量。如果需要离散档位时, 例如对于旧式机车, 那

么方程式 (OP) 的解可被离散化, 这样会使燃料的节省量下降。利用查找最小时间解 (α_1 设定为零, 且 α_2 设定为零或相对较小的值) 来查找可实现行程时间 ($T_f = T_{\min}$) 的下限。在这种情况下, $u(t)$ 和 T_f 是优化变量。该优选实施例可解该方程式 (OP), 得到 T_f 的各种值, 其中 $T_f > T_{\min}$ 且 α_3 设定为零。在后一情况下, T_f 被视为约束。

[0060] 对于熟悉这种优化问题的解决的技术人员来说, 可能必须附加限制, 如沿路径的速度极限:

$$[0061] \quad 0 \leq v \leq SL(x)$$

[0062] 或者当使用最小时间作为目标时, 端点约束必须保持, 例如总的燃料消耗必须小于油箱内的燃料, 如通过:

$$[0063] \quad 0 < \int_0^{T_f} F(u(t)) dt \leq W_F$$

[0064] 其中 W_F 是在 T_f 时油箱中剩余的燃料。本领域技术人员易知, 方程 (OP) 还可以是其它形式, 上面所示的方程仅仅是用于本发明示例性实施例的示例性方程式。

[0065] 该优化方程可包括燃料效率或排放, 或燃料效率和排放的组合。需要指出的是, 如下文所公开的, 该排放可以是不同的类型并且可以进行加权。

[0066] 本发明示例性实施例的情况中的排放实际上包括以氮氧化物排放物 (NO_x)、碳氢排放 (HC)、碳氧排放 (CO) 和 / 或颗粒物 (PM) 排放的形式产生的累计排放。排放的技术要求可设定 NO_x 氧化物的排放、HC 排放、CO 排放和 / 或 PM 排放的最大值。其它排放限制可包括电磁排放的最大值, 例如对相应于由机车发出的相应频率的射频 (RF) 功率输出 (以瓦特度量) 作出的限制。还有另一排放形式是机车产生的噪音, 一般以分贝 (dB) 度量。排放的技术要求可基于日、年和或例如天气的大气条件或大气中的污染水平而进行变化。公知地, 不同排放规程可在整个铁路系统中的不同地域进行变化。例如, 例如城市或州的运行区域可能具有特定的排放目标, 相邻的运行区域可能具有不同的排放目标, 例如较低的允许排放量或在给定排放水平下收取较高的费率。因此, 可调整对于特定地域的排放特性图, 以在该特性图中包括相应于每个排放规程的最大排放值, 从而满足该区域所要求的预定排放目标。一般地, 对于机车来说, 这些排放参数取决于但不局限于动力 (档位)、环境状况以及发动机控制方法等。

[0067] 通过设计, 每个机车必须符合机构 (例如但不限于环境保护署 (EPA)、国际铁路联盟 (UIC) 等) 和 / 或专用于制动时的排放的管理标准, 因此当排放在本发明示例性实施例中被优化时, 这仅是特定任务的总排放且当前没有规定。所进行的操作总是要服从联邦 EPA、UIC 等的要求。如果行程任务期间的关键目标是要减少排放, 那么需要考虑该行程目标来修改该优化控制方程、公式 (OP)。优化设置中的关键灵活性是可在地域或任务的特定情况下改变任何或所有的行程目标。例如, 对于高优先权的列车, 最少时间是一条路线上的位移目标, 因为其具有高优先权。在另一实例中, 排放输出可沿计划列车路线从一种状态变化到另一状态。

[0068] 为了解决所得的优化问题, 在示例性实施例中, 本发明将时域中的动态优化控制问题转换为具有 N 个决定变量的等同静态数学程序问题, 其中数字 “ N ” 取决于于节流和制动调节进行的频率和行程持续时间。对于典型的问题, 该 N 可以是成千计数的。例如, 在示例性实施例中, 假设列车在美国西南轨道路程行驶 172 英里。利用本发明的示例性实施例,

当比较利用本发明示例性实施例来确定和遵循的行程相对于由操作者确定的行程的实际驾驶员节流 / 速度历史记录时,可示例性地实现 7.6% 的燃料节省。能够实现燃料节省的改善的原因是由于,与操作人员的行程计划相比,利用本发明示例性实施例实现的优化可得到阻力损失小以及制动损失小或基本没有制动损失的驱动策略。

[0069] 为了使上述的优化易于通过计算的方式处理,可采用列车的简化模型,例如如图 2 所示和上面讨论的方程式。对优化特性图的关键改进在于,采用所产生的优化动力序列驱动较详细的模型,从而测试是否违反其他热、电和机械约束,使得改进特性图的速度 / 距离最接近不会对机车或列车设备造成损害的值,即满足额外的隐含约束,诸如对列车中的机车和车厢间力的热和电性限制。

[0070] 返回参照图 1,一旦行程开始 12,那么动力命令产生 12,以使计划运行。根据本发明示例性实施例的操作性设置,一个命令用于使机车遵循优化动力末年工龄 16 从而实现优化速度。本发明示例性实施例获得列车 18 的机车编组的实际速度和动力信息。由于在用于优化的模型中进行必然的近似,所以通过校正的闭环计算得到优化动力从而根据理想的优化速度。列车的操作限制可自动地或者通过总是能够对列车实现完全控制的操作人员来实现。

[0071] 在一些情况下,用于优化的模型可与实际列车显著地不同。这可由于很多原因而发生,包括但不限于额外的货物搭载或堆置、机车在途中故障和初始数据库 63 中的或者操作人员的数据输入中的错误。由于这些原因,所以设置监视系统以利用实时列车数据来推算机车和 / 或列车的实时参数 20。然后,将推算的参数与行程开始 22 时使用的假定参数进行比较。根据假定值与推算值中的任何差值,可重新计划该行程 24,从新计划中实现足够大的节省。

[0072] 使得行程进行重新计划的其它原因包括远程位置的指令,例如调度和 / 或操作者要求各目标中的变化与更多的全局移动计划目标一致。更多的全局运动计划目标可包括但不限于其它列车时刻表、允许废气从隧道消散。维护操作等。另一原因可能是由于车上元件的故障。用于重新计划的策略可根据干扰的严重性而分组为递增和主要的调整,如下文详细讨论。通常,“新”计划必须来自于上述优化问题方程式 (OP) 的解,但是经常可得到更快的近似解,如这里所述。

[0073] 在操作中,机车 42 将根据测量的实际效率来连续地监视系统效率并连续地更新行程计划,无论何时这一更新将改善行程性能。重新计划计算完全在 (各) 机车中实现或者部分地转移到远程位置,例如使用无线技术将所述计划通信至机车 42 的调度或路边处理装置。本发明的示例性实施例还可产生可用于形成有关效率传递函数的机车车队数据 (locomotive fleet data) 的效率趋势。可在确定初始行程计划时使用该车队范围的数据,并且当考虑多个列车的位置时可用于网络范围的优化权衡。例如,如图 4 所示的行程 - 时间燃料使用权衡曲线反映当前时间下列车在特定路线上的能力,更新于从相同线路上的许多类似列车收集的总体平均数。因此,来自于许多机车的如图 4 的曲线的中心调度设备可使用该信息更好地协调整体列车运动,从而实现系统范围内的燃料使用或输出的优点。因此,本领域技术人员容易得知,可使用实时数据代替先前计算的函数,其中根据实际可用数据控制机车和机车编组的动作。尽管使用燃料用量进行说明,但是本领域技术人员可知,在比较排放和行程时间的情况下对排放进行优化时,可使用类似的曲线图。其它的比较可包

括但不限于排放 / 速度以及排放 / 速度 / 燃料效率。

[0074] 日常操作中的很多事件可导致需要产生或修改需要保持相同行程目标的当前执行计划,例如对于当列车不处于与另一列车计划的相遇或经过的时间调度且需要弥补时间时。使用机车的实际速度、动力和位置,在计划到达时间与当前推算(预测)到达时间 25 之间进行比较。基于时间差以及参数的差异(由调度或操作者检测或改变),调整该计划 26。这一调整可遵照铁路公司的意志自动地作出,包括如何处理这一偏离或手动地提出备选方案以使车上操作人员和调度人员共同确定返回到计划的最好方式。无论何时计划被更新而诸如但不局限于到达时间的初始目标保持相同,都可同时考虑额外的变化,例如新的未来速度限值变化,这将影响到恢复初始计划的可行性。在这种情况下,如果不能保持初始行程计划,或者换句话说列车不能满足初始行程计划目标,如这里讨论的,其它(各)行程计划可被提供给操作者和 / 或远控装置,或调度。

[0075] 当需要改变初始目标时,也可作出再计划。这种再计划可以固定的再计划次数实现,由操作者或调度员的判断手动地实现,或当超过预设极限诸如列车操作限制时自动地进行。例如,如果当前计划的执行晚点超过指定的阈值,例如三十分钟,那么本发明的示例性实施例可再计划该行程,而以如上所述消耗燃料增加为代价调整该延迟或警告操作者和调度员总共有多少时间可弥补(即,到达目的的最少时间或者在时间约束内可节省的最大燃料)。再计划的其他原因也可根据消耗的燃料或者动力编组的健康而预计到,包括但不限于到达时间、由于设备故障和 / 或设备临时故障(例如运行过热或过冷)而损失的马力;和 / 或检测到总体设置错误,诸如在假设的列车负荷中,沿路线发生的以及计划的终点的总排放的优化。也就是,如果该变化反映出当前行程中机车性能的损害,那么可将它们考虑入在优化中使用的模型和 / 或方程式中。

[0076] 计划目标的变化还可来自于协调各事件的需要,其中用于一个列车的计划会影响到另一列车实现目标的能力以及不同层次的判定,例如调度办公室需要。例如,会车或过车的协调可通过列车与列车的通信而进一步优化。因此,作为例子,如果列车得知其晚点到达会车和 / 或遇车的位置,那么来自于其它列车的通信可通知该晚点列车(和 / 或调度处)。然后,操作人员可将关于该晚点的信息输入本发明的示例性实施例中,其中该示例性实施例将重新计算列车的行程计划。本发明的示例性实施例还可在更高的层次下使用,或网络层次,以允许调度处在计划遇车和 / 或过车的时间约束无法满足的情况下确定哪个列车应减速或加速。如这里所述,这是通过列车发送数据到调度处以优先考虑每个列车应如何改变其计划目标来实现的。可根据情况,取决于计划调度或者燃料节省的益处来作出选择。

[0077] 对于手动或自动启动的再计划的任何一种来说,本发明示例性实施例可为操作者提供多于一个的行程计划。在示例性实施例中,本发明将为操作人员提供不同的特性图,允许操作人员选择到达时间并且了解对应的燃料和 / 或排放影响。这种信息还可被提供至调度处以供类似的考虑,作为替代的简单列表或作为例如图 4 所示的多条权衡曲线。

[0078] 本发明的示例性实施例具有学习和适应于列车和动力编组中的关键变化的能力,所述变化可结合到当前计划和 / 或用于未来的计划。例如,上述诱因之一是马力损失。当随时间增大马力时,无论马力损失后或行程开始时,都需要使用转换逻辑以确定何时实现理想马力。该信息可储存在机车数据库 61 中,以在再次出现马力损失的情况下优化未来行程或当前行程。

[0079] 图3描述作为示例性系统的一部分的元件的示例性实施例。设置用于确定列车31的位置的定位器元件30。定位器元件30可以是GPS传感器、或确定列车31位置的传感器系统。这种其它系统的实例可包括但不限于路边设备,例如射频自动设备识别(RF AEI)标签、调度、和/或视频判定。另一系统可包括机车上的(各)转速计和离开参考点的距离计算。如前面讨论,无线通信系统47还可用于允许列车和/或例如调度处的远控位置之间的通信。关于行程位置的信息还可从其它列车传送。

[0080] 也设置用于提供轨道信息、主要梯度和高度以及曲率信息的轨道特征元件33。可包括任选的轨道限制,例如轨道负荷。这些限制可以是永久的或临时的。轨道特征元件33可包括车载轨道完整性数据库36。传感器38用于测量由机车编组42牵引的牵引力40、机车编组42的节流设置、机车编组42的配置信息、机车编组42的速度、单个机车配置、单个机车性能等。在示例性实施例中,机车编组42配置信息可在不使用传感器38的情况下载入,而通过上述其他方法输入。此外,该编组中的机车的健康度也被考虑。例如,如果该编组中的一个机车不能操作上述动力档位层次5,那么可在优化行程计划时使用该信息。

[0081] 定位器元件的信息也可用于确定列车31的适当到达时间。例如,如果列车31沿轨道34朝向终点运动且没有列车跟在其后,且该列车没有固定的到达最终期限,那么包括但不限于射频自动设备识别(RF AEI)标签、调度处、和/或视频判定的定位器元件可用于计量列车31的准确位置。此外,来自于这些发送信号系统的输入可用于调节列车速度。使用如下所述的车载轨道数据库以及诸如GPS的定位器元件,本发明的示例性实施例可调节操作者界面,以反映给定的机车位置处的信号发送系统状态。在信号状态表示前方存在限速的情况下,计划人员可选择减慢列车以保留燃料消耗。类似地,计划人员可选择减慢列车以保持排放率。

[0082] 定位器元件30的信息还可用于改变计划目标,作为到终点的距离的函数。例如,由于沿路线的拥挤程度必然会是不确定的,所以较早部分路线上的“更快”时间目标可用于预防统计学上稍晚会发生的延迟。如果特定行程中没有发生延迟,那么较晚部分行程上的目标可被修改,以使用早先积累的松弛时间,且由此恢复一些燃料效率。类似的策略相对于排放限制性目标而产生,例如接近城市地区时。

[0083] 作为保障策略的实例,如果行程计划从纽约到芝加哥,该系统可选择在行程开始或行程中间或行程终点处减慢列车的速度。本发明的示例性实施例将优化该行程计划,以允许在行程的终点处减慢行驶,因为在行程期间可能会出现诸如但不限于天气状况、轨道保养等的未知约束。作为另一考虑,如果将驶入的地区是传统的拥挤区域,那么该计划可选择对于这些传统拥挤区域体现更多的灵活性。因此,本发明的示例性实施例还可根据已知/过去的经历考虑加权/惩罚作为到未来的时间/距离的函数。本领域技术人员可知,可在行程的任何时间考虑天气状况、轨道状况、轨道上的其它列车等来作出计划和再计划,从而相应地调节行程计划。

[0084] 图3还公开可作为本发明的示例性实施例的一部分的其它元件。设置处理器44,以从定位器元件30、轨道特征元件33和传感器38接收信息。算法46运行在处理器44内。算法44用于根据关于机车42、列车31、轨道34和上述任务目标的参数来计算优化的行程计划。在示例性实施例中,随着列车31沿着轨道34而根据列车工况的模型建立该行程计划,作为由物理学获得的非线性差分方程的解,同时简化该算法中的假定。算法46可参照

定位器元件 30、轨道特征元件 33 和 / 或传感器 38 的信息,以建立行程计划,所述行程计划包括最小化机车编组 42 的燃料消耗、最小化机车编组 42 的排放、建立理想的行程时间、和 / 或确保机车编组 42 上的机务人员的正确操作时间。在示例性实施例中,也可设置驱动器或控制元件 51。如这里讨论的,控制元件 51 用于在列车遵循该行程计划时控制该列车。在下面进一步讨论的示例性实施例中,控制元件 51 自动进行列车操作决定。在另一示例性实施例中,需要操作人员来指引列车遵循该行程计划。

[0085] 本发明的示例性实施例的技术要求是能够初始地建立和迅速修正正在执行的任何计划。这包括当包括在长距离上行驶时建立初始计划,因为该计划优化算法是复杂的。当行程特性图的总体长度超过给定距离时,算法 46 可用于使该任务分段,其中该任务可由途中点分开。尽管仅讨论单个算法 46,但是本领域技术人员将容易地认识到可使用多于一个的算法,并且算法可被连接在一起。途中点包括列车 31 停车的自然位置,例如但不限于侧线,采用这种侧线,可计划在单轨轨道上实现与相反的车辆相遇或者由后车追上并超过;或者在可搭载车厢并出发的编组场侧线或者工业铁路中,以及计划工作的地点。在这种途中点,列车 31 可被要求在计划的时间处于该位置并停止,或者以规定范围的速度移动。从到达起到离开途中点的持续被称为驻留时间。

[0086] 在示例性实施例中,本发明可采用专门的系统方式将较长的行程分解为 较小区段。每个区段的长度可以是任意,但一般地在诸如停车或明显速度限制的自然位置处搭载,或在限定与其它路线的连接的关键里程碑处。如果采用这种方式选择分割或分段,那么可为每个轨道区段形成驱动特性图,作为独立变量的行程时间的函数,如图 4 所示。与每个区段相关的所用燃料和 / 排放 / 行程时间权衡可在列车 31 到达轨道区段之前进行计算。总行程计划可根据相应于每个区段产生的驱动特性图而产生。本发明的示例性实施例以优选方式在行程的所有区段中分配行程时间,从而满足所需的总行程时间,并且所有区段上的总燃料消耗和 / 或排放尽可能地小。示例性的 3 区段行程示出于图 6 中且将在下文讨论。但是,本领域技术人员可知,虽然上面讨论的是分区段的情况,但是该行程计划也可包括代表整个行程的单一区段。

[0087] 图 4 描述燃料使用 / 行程时间曲线的示例性实施例。在类似的实施例中,本领域技术人员可知,可考虑排放 / 行程时间曲线。如前面所提及到的,当计算每个区段的各个行程时间的优化行程特性图时,建立关于燃料使用 / 行程时间的曲线,诸如曲线 50。即,对于给定的行程时间 49,使用的燃料 53 是如上所述计算的详细驱动特性图的结果。一旦每个区段的行程时间已被分配,那么可根据先前计算的解确定相应于每个区段的动力 / 速度计划。如果在区段之间的速度具有任何途中点约束,例如但不限于速度限制的变化、那么它们将在产生优化行程特性图期间得以匹配。如果仅在单个区段内具有速度限制的变化,那么不得不仅对于所改变的区段重新计划该燃料使用 / 行程时间曲线 50。这可减少重新计算该行程的更多部分或区段所需的时间。如果机车编组或列车沿路线出现显著的变化,诸如机车数量减少或者搭载或卸载车厢,那么所有后来区段的驱动特性图必须重新计算,以建立新的曲线 50 的实例。然后,这些新曲线 50 将沿着新调度目标进行使用从而计划剩余的行程。

[0088] 一旦行程计划如上所述被建立,那么至少速度和动力相对于距离;速度、排放和动力相对于距离;排放相对于速度;排放相对于动力等的比较的轨迹可用于以最小燃料和 /

或排放在要求的行程时间内到达目的地。尽管如上所述识别特定的比较,但是本领域技术人员可知也可使用这些参数的以及其它参数的比较。该比较的意图是要基于所公开的由操作者或使用者的任意参数的组合来实现组合的性能优化。还存在若干方式来执行该行程计划。如下文更详细说明的,在示例性实施例中,当处于训练模式时,信息被显示给操作者,以由操作者操作从而实现根据该优化行程计划而确定的所需动力和速度。在该模式下,操作信息是操作者应该使用的建议操作状态。在另一示例性实施例中,执行加速以及保持恒速。但是,当列车 31 必须减速时,操作者负责使用制动系统 52。在本发明的另一示例性实施例中,提供动力和制动的命令按要求被提供,以遵循理想的速度-距离路线。尽管公开的是关于动力和速度的信息,上述公开的其他参数也可以使处于训练模式下可使用的其它参数。

[0089] 反馈控制策略用于对该特性图中的动力控制序列提供修正,以修正下属事件:例如但不限于由不断变化的顶风和/或尾风导致的列车负荷变化。当与优化的行程计划中假定相比较时,会诸如但不限于列车质量和/或阻力的列车参数的误差造成其他这类错误。第三类错误可能发生在包括在轨道数据库 36 内的信息中。另一可能的错误可能包括由于机车发动机、牵引电机热衰退和/或其它因素导致的未建模的性能差异。反馈控制策略将作为位置函数的实际速度与理想优化特性图中的速度进行比较。基于该差别,添加对于优化动力特性图的修正从而驱使实际速度朝向优化特性图变化。为了确保稳定的调整,可提供补偿算法,该算法在动力修正中过滤该反馈速度,以确保闭环性能的稳定性。补偿可包括控制系统设计领域中技术人员为了满足性能目标所使用的标准动态补偿。

[0090] 本发明的示例性实施例允许最简单的由此最快速的方式来调整行程目标中的变化,这是惯例而非铁路操作中的例外。在确定从点 A 至点 B 的且沿途需要停止的燃料优化行程的示例性实施例中,并且对于行程开始之后更新剩余行程来说,可使用子优化分解(sub-optional decomposition)方法查找优化行程特性图。利用建模方法,该计算方法可查找具有规定行程时间以及初始和最终速度的行程计划,从而满足停车时的所有速度限制和机车性能约束。尽管下面的讨论涉及优化燃料使用,但是其也可用于优化其它因素,例如但不限于排放、调度、机务人员舒适性和负荷影响。该方法可用在开始提出行程计划时,更重要的是在初始化行程后适应各目标的变化。此外,如上面已公开的,两个或多个这些因素(或参数)之间的平衡还可用于优化特定因素(或参数)。例如,在另一实施例中,行程时间相对于排放可以是建立行程计划的基础。

[0091] 如这里讨论的,本发明的示例性实施例可使用如图 5 所述的示例性流程图示出的设置,以及如图 6 中详细描述示例性 3 区段实例示出的设置。如图 5 所示,该行程可分成两段或多段:T1、T2 和 T3。尽管如此处所述,但可以把行程认为是单一区段。如这里进一步讨论,各区段的界限可以不形成相等的区段。代替地,该区段可基于自然的或任务特定的界限。对于每个区段重新计算优化行程计划。如果燃料使用/行程时间是待满足的行程目标,那么相应于每个区段建立燃料/行程时间曲线。如这里讨论的,该曲线可基于上述的其它因素(参数),其中这些因素是满足该行程计划的目标。一个这种因素可以是排放,其中可考虑排放/速度和/或排放/速度/燃料效率可被考虑。当行程时间是待确定的参数时,计算每个区段的行程时间同时满足总体行程时间约束。图 6 示出示例性 3 区段 200 英里的行程 97 的速度限制。还 200 英里行程 98 上的坡度变化。还示出在整个行程时间中使用的

相应于该行程的每个区段的燃料的曲线的组合图 99。

[0092] 使用前面描述的优化控制设置,本计算方法可查找具有规定行程时间以及初始和最终速度的行程计划,以满足停车时的所有速度限制和机车性能的约束。尽管下面详细说明涉及优化燃料使用,但是其也可用于优化这里讨论的其他因素,例如但不限于排放。关键的灵活性是要适应停车时理想驻留时间以及考虑按照需要的最早到达和离开某一地点的约束,例如,在位于侧线中或者旁通过侧线的时间是关键因素的单轨操作中。

[0093] 本发明的示例性实施例根据下述因素查找燃料优化行程,包括从距离 D_0 至 D_m 、行驶时间 T 、 $D_1, \dots, D_{M-1}$ 中间停车 $M-1$ 次、并且停车时的到达和离开时间受到下述约束:

$$[0094] \quad t_{\min}(i) \leq t_{\text{arr}}(D_i) \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$[0095] \quad t_{\text{arr}}(D_i) + \Delta t_i \leq t_{\text{dep}}(D_i) \leq t_{\max}(i) \quad i = 1, \dots, M-1$$

[0096] 其中 $t_{\text{arr}}(D_i)$, $t_{\text{dep}}(D_i)$ 和 Δt_i 分别是在第 i 个停车处的到达、离开和最小停车时间。假设燃料最优意味着最小化停车时间,则 $t_{\text{dep}}(D_i) = t_{\text{arr}}(D_i) + \Delta t_i$,这样可消除上述的第二个不等式。假设对于每个 $i = 1, \dots, M$,从 D_{i-1} 到 D_i 行程时间 t 、 $T_{\min}(i) \leq t \leq T_{\max}(i)$ 的燃料最优行程是已知的。使 $F_i(t)$ 为对应于该行程的燃料用量。如果从 D_{j-1} 到 D_j 的行程时间表示为 T_j ,则到达 D_i 的到达时间由下式给出:

$$[0097] \quad t_{\text{arr}}(D_i) = \sum_{j=1}^i (T_j + \Delta t_{j-1})$$

[0098] 其中 Δt_0 定义为零。从 D_0 到 D_m 的行程时间为 T 的燃料优化行程则通过查找 T_i , $i = 1, \dots, M$ 而得到,其最小化

$$[0099] \quad \sum_{i=1}^M F_i(T_i) \quad T_{\min}(i) \leq T_i \leq T_{\max}(i)$$

[0100] 约束于

$$[0101] \quad t_{\min}(i) \leq \sum_{j=1}^i (T_j + \Delta t_{j-1}) \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i \quad i = 1, \dots, M-1$$

$$[0102] \quad \sum_{j=1}^M (T_j + \Delta t_{j-1}) = T$$

[0103] 一旦行程开始,问题是随着不断行进而重新确定剩余行程(该行程的初始为在时间 T 内从 D_0 到 D_m) 的燃料优化解,但是其中各扰动会造成无法遵循该燃料优化方案。使当前距离和速度分别为 x 和 v ,其中 $D_{i-1} < x \leq D_i$ 。同样,使从行程开始后的当前时间为 t_{act} 。然后从 x 到 D_m 的剩余行程的、保持到达 D_m 的初始到达时间的燃料优化方案通过查找 $\tilde{T}_i, T_j, j = i+1, \dots, M$ 而得到,其最小化

$$[0104] \quad \tilde{F}_i(\tilde{T}_i, x, v) + \sum_{j=i+1}^M F_j(T_j)$$

[0105] 约束于

$$[0106] \quad t_{\min}(i) \leq t_{\text{act}} + \tilde{T}_i \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$[0107] \quad t_{\min}(k) \leq t_{\text{act}} + \tilde{T}_i + \sum_{j=i+1}^k (T_j + \Delta t_{j-1}) \leq t_{\max}(k) - \Delta t_k \quad k = i+1, \dots, M-1$$

$$[0108] \quad t_{act} + \tilde{T}_i + \sum_{j=i+1}^M (T_j + \Delta t_{j-1}) = T$$

[0109] 这里, $\tilde{F}_i(t, x, v)$ 是在时间 t 内从 x 到 D_i 的优化行程的燃料使用, 在 x 具有初始速度 v 。

[0110] 如上所述, 能够更高效地重新计划的示例性方式是根据分割区段构造车站 - 车站的优化方案。对于从 D_{i-1} 到 D_i 、行程时间 T_i 的行程, 选择一组中间点 D_{ij} , $j = 1, \dots, N_i - 1$ 。使得 $D_{i0} = D_{i-1}$, 且 $D_{iN_i} = D_i$ 。然后将从 D_{i-1} 到 D_i 的优化行程的燃料使用表示为

$$[0111] \quad F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(t_{ij} - t_{i,j-1}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

[0112] 其中 $f_{ij}(t, v_{i,j-1}, v_{ij})$ 是在时间 t 内从 $D_{i,j-1}$ 行驶到 D_{ij} 的、具有初始和最终速度 $v_{i,j-1}$ 和 v_{ij} 的优化行程的燃料使用。此外, t_{ij} 是优化行程中对应于距离 D_{ij} 的时间。通过定义, $t_{iN_i} - t_{i0} = T_i$ 。由于列车在 D_{i0} 和 D_{iN_i} 停车, 所以 $v_{i0} = v_{iN_i} = 0$ 。

[0113] 上面的表达式使得函数 $F_i(t)$ 能够可选择地由首先确定函数 $f_{ij}(\cdot)$, $1 \leq j \leq N_i$ 然后查找 τ_{ij} , $1 \leq j \leq N_i$ 和 v_{ij} , $1 \leq j < N_i$ 而确定, 其最小化

$$[0114] \quad F_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} f_{ij}(\tau_{ij}, v_{i,j-1}, v_{ij})$$

[0115] 约束于

$$[0116] \quad \sum_{j=1}^{N_i} \tau_{ij} = T_i$$

$$[0117] \quad v_{\min}(i, j) \leq v_{ij} \leq v_{\max}(i, j) \quad j = 1, \dots, N_i - 1$$

$$[0118] \quad v_{i0} = v_{iN_i} = 0$$

[0119] 通过选择 D_{ij} (如以速度限制或相遇点), $v_{\max}(i, j) - v_{\min}(i, j)$ 可被最小化, 因此最小化需要得知 $f_{ij}(\cdot)$ 的域。

[0120] 基于上述分割, 比上述更简单的子优化重新计划方法是将所进行的重新计划限制为当列车处于距离点 D_{ij} , $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq N_i$ 时的时间。在点 D_{ij} , 从 D_{ij} 到 D_M 的新优化行程计划可通过查找 τ_{ik} , $j < k \leq N_i$, v_{ik} , $j < k < N_i$ 以及 τ_{mn} , $i < m \leq M$, $1 \leq n \leq N_m$, v_{mn} , $i < m \leq M$, $1 \leq n < N_m$ 而被确定, 其最小化

$$[0121] \quad \sum_{k=j+1}^{N_i} f_{ik}(\tau_{ik}, v_{i,k-1}, v_{ik}) + \sum_{m=i+1}^M \sum_{n=1}^{N_m} f_{mn}(\tau_{mn}, v_{m,n-1}, v_{mn})$$

[0122] 约束于

$$[0123] \quad t_{\min}(i) \leq t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} \leq t_{\max}(i) - \Delta t_i$$

$$[0124] \quad t_{\min}(n) \leq t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} + \sum_{m=i+1}^n (T_m + \Delta t_{m-1}) \leq t_{\max}(n) - \Delta t_n \quad n = i+1, \dots, M-1$$

$$[0125] \quad t_{act} + \sum_{k=j+1}^{N_i} \tau_{ik} + \sum_{m=i+1}^M (T_m + \Delta t_{m-1}) = T$$

[0126] 其中

$$[0127] \quad T_m = \sum_{n=1}^{N_m} \tau_{mn}$$

[0128] 通过等待重新计算的 T_m , $i < m \leq M$ 得到进一步的简化,直至到达距离点 D_i 。这样,在 D_{i-1} 和 D_i 之间的点 D_{ij} ,上述最小化仅需要在 τ_{ik} , $j < k \leq N_i$, v_{ik} , $j < k < N_i$ 上进行。 T_i 按需增加,以适应比计划长的从 D_{i-1} 到 D_{ij} 的实际行程时间。如果可能,通过重新计算 T_m , $i < m \leq M$,在距离点 D_i ,这一增加随后被补偿。当排放是待优化的因素时,上述方程仍然是可使用的,除了预定的和 / 或实时和 / 或随时间变化的燃料 / 排放传递函数使用作为代替。本领域技术人员可知也可使用其它传递函数,例如但不限于燃料 / 速度、排放 / 速度和燃料 / 排放 / 速度。当比较这些元素时,项“燃料”还用于表示燃料效率。类似地,也使用排放来表示排放效率。

[0129] 对于上述公开的闭环配置,使列车从点 A 移动到点 B 所需的总输入能量包括四个分量的和,具体地说:点 A 和点 B 之间的动能差、点 A 和点 B 之间的势能差、由于摩擦和其它阻力损失造成的能量损耗以及通过施加制动而消散的能量。假设开始和结束的速度相等(例如,固定),第一分量为零。此外,第二分量独立于驱动策略。因此,足以最小化后两个分量的和。

[0130] 遵循恒定速度特性图可最小化阻力损耗。当不需要制动来保持恒定速度时,遵循恒定速度也可最小化总能量输入。然而,如果需要制动以保持恒定速度,那么仅为了保持恒定速度而施加制动将很可能增加总的所需能量,因为需要补偿由制动器消散的能量。存在下述可能性,即通过减小速度变化,如果额外制动损耗过多地被由制动造成的阻力损失的合成降低,那么某些制动将实际上减少总能量的使用。

[0131] 在通过收集上述事件而完成再计划之后,可使用这里所述的闭环控制遵循新的优化档位 / 速度计划。然而,在一些情况下,可能没有足够的时间执行上述区段分解计划,尤其当存在必须遵守的速度限制时,需要备选方案。本发明的示例性实施例利用被称为“智能巡航控制”的算法实现这一需求。该智能巡航控制算法是快速地产生用于在已知地域上驱动列车 31 的能量高效(因此燃料 - 高效和 / 或排放 - 高效)子优化指令的高效途径。该算法假设已知列车 31 任何时间在轨道 34 上的位置,并且已知不同位置处的轨道的坡度和曲率。该方法依赖于列车 31 运动的点 - 质量模型,该模型的参数可根据前文所述的列车移动的在线测量值适应性推算出。

[0132] 该智能巡航控制算法具有三个主要分量,具体地说:在速度限制减小的情况下作为能量 - 高效导引的修改速度限制特性图;用于在最小化速度变化和制动之间平衡的理想节流或动态制动设置特性图;组合后两个分量以产生档位命令的机制,当比较于实际参数时采用速度反馈回路补偿模型化参数的不匹配。智能巡航控制可适应本发明示例性实施例中不会激活制动(即,驾驶员接收信号并且假定可提供所需的制动)的策略或者将激活制动的变量。该智能巡航控制算法还可用以实现高效排放。

[0133] 相对于不会控制动态制动的巡航控制算法,三个示例性分量是:在速度限制减小的情况下作为能量 - 高效导引的修改速度限制特性图;当应该施加制动时告知操作者的告知信号;用于在最小化速度变化和告知操作者施加制动之间平衡的理想节流特性图;以及采用反馈回路补偿模型化参数相对于实际参数的不匹配性的机制。

[0134] 同样包括在本发明的示例性实施例中的是识别列车 31 的关键参数值的方式。

例如,相对于推算列车质量,可使用卡尔曼过滤 (Kalman filter)、时间变化和从属泰勒展开级数 (dependent Taylor series expansion)、递归的最小二次方逼近 (recursive least-squares approach) 来检测随时间出现的误差。

[0135] 图 7 描述本发明的示例性流程图。如前所述,远控设备,例如调度处 60 可提供信息。如图所示,将这种信息被提供给执行控制元件 62。同样提供至执行控制元件 62 的是:机车建模信息数据库 63;轨道数据库 36 的信息,例如但不限于轨道坡度信息和速度限制信息;推算的列车参数,例如但不限于列车重量和阻力系数;和燃料流率推算器 64 的耗油率表。执行控制元件 62 将信息提供至计划器 12,其在图 1 中详细地公开。一旦行程计划已经被算出,那么将该计划提供至驱动顾问、驾驶员或控制器元件 51。该行程计划还被提供至执行控制元件 62,使得其在提供其他新数据时比较该行程。

[0136] 如上所述,驾驶顾问 51 可自动地设定档位动力,预先建立的档位设置或优化的连续档位动力。除了将速度命令提供至机车 31,还设置显示器 68,使得操作者可看到计划器所推荐的内容。操作者还可使用控制面板 69。通过该控制板 69,操作者可决定是否实施所推荐的档位动力。为了这一目的,操作者可限制目标或推荐的动力。即,任意时刻,操作者总是能够完全地控制机车编组运行的动力设定。该行程计划可基于发送信号的信息和系统内其它列车的位置而进行修正。该信息可从其它网络速度/位置控制信息获得,且其部分可位于列车外部。例如,一个这种系统可包括合理列车控制系统 (Positive Train Control system) (PTC),这是一个集成的指令、控制、通信和信息系统,用于安全、可靠、准确和高效地控制列车运动。类似地,操作者可基于上述信号信息来限制动力。这包括如果行程计划推荐减慢列车 31 的速度时判定是否实施制动。例如,如果在未知地域运行、或是路边设备的信息不能电性传递信息到该列车而是由操作者观察路边设备的可视信号,那么操作者将根据轨道数据库中的信息和路边设备的可视信号输入指令。基于列车 31 如何运行,关于燃料测量的信息被提供给耗油率估计器 64。由于在机车编组中一般无法直接测量燃料流,所以将使用诸如在形成优化计划时使用的校准物理模型得到遵循优化计划的目前为止行程中消耗的燃料以及未来将使用的燃料的所有信息。例如,这种预测可包括但不限于使用测得的总马力和已知的燃料特征来获得累计使用的燃料。

[0137] 列车 31 还具有定位装置 30,例如 GPS 传感器,如上所述。将信息提供至列车参数推算器 65。这种信息可包括但不限于 GPS 传感器数据、里程碑数据、牵引力/制动力数据、制动状态数据、速度和速度数据的任意变化。采用关于坡度信息和速度限制的信息,将列车重量和阻力系数信息提供至该执行控制元件 62。

[0138] 本发明的示例性实施例还允许在整个优化计划和闭环控制实施过程中使用连续可变的动力。在传统机车中,动力一般量化为八个离散等级。现代机车可实现马力的连续变化,其可合并入先前描述的优化方法。利用连续的动力,机车 42 可进一步优化操作状况,例如通过最小化附加负荷和动力传输损耗,并且在优化效率的区域内精确地调整发动机马力,或到达将使排放增加的排放边界点。实例包括但不限于最小化冷却系统损耗、调节交流发电机电压、调节发动机速度和减少驱动轴的数目。此外,机车 42 可使用车载轨道数据库 36 和预测的性能要求,以最小化附加负荷和动力传输损耗,从而使目标燃料消耗/排放达到优化效率。实例包括但不限于在平坦地形上减少驱动轴的数目以及在进入隧道前提前冷却机车发动机。

[0139] 本发明的示例性实施例还可使用车载轨道数据库 36 和预测性能,以调节机车性能,例如确保列车在接近山和 / 或隧道时具有足够的速度。例如,这可表示为在特定位置的速度约束,该约束为解方程 (OP) 时产生的优化计划的一部分。另外,本发明的示例性实施例可结合列车 - 操作规则,例如但不限于牵引力斜度、最大制动力斜度。它们可结合入用于优化行程计划的方程中或可选择地结合入用于控制动力施加以实现目标速度的闭环调节器中。

[0140] 在一项优选实施例中,本发明仅安装在列车编组的导引机车上。即使本发明的示例性实施例不依赖于与其它机车的相互作用或数据,其也可集成如公开于美国专利 No. 6691957 和美国专利 No. 7021588 (由受让人所有并且二者引用结合于此) 中的编组管理器,以及功能和 / 或编组优化器功能,从而改善效率。不排除与多个列车的互相作用,如对此处所述的两个“独立优化”列车进行判优的调度的实例。

[0141] 具有分布式动力系统的列车可以不同的模式操作。一个模式是列车中的所有机车以相同的档位指令运行。因此,如果导引机车指令驱动 -N8,那么列车中的所有单元将接收命令以产生动力 -N8 动力。另一运行模式是“独立”控制。在该模式中,机车或分布在整个列车中的机车组可以不同的驱动或制动动力操作。例如,当列车爬越山顶时,导引机车(在山的下坡上)可处于制动中,而在列车的中间或端部的机车(在山的上坡上)可处于驱动中。这扬可最小化连接轨道车厢和机车的机械连接器的张力。传统地,以“独立”模式操作分布式动力系统要求操作者通过导引机车上的显示器手动地指挥每个远控机车或机车组。使用基于物理学的计划模型、列车设置信息、车载轨道数据库、车载操作规则、位置确定系统、实时闭环驱动 / 制动控制和传感器反馈,该系统将自动地以“独立”模式操作分布式动力系统。另外,在机车编组中,远控机车可要求来自导引机车的更多动力,即使导引机车可以较低的动力设置进行操作。例如,当列车在山路上时,导引机车可能处于山的下坡侧,因此要求较小的动力,而远控机车仍在驱动上山,因此需要较多的动力。

[0142] 当以分布式动力运行时,导引机车中的操作者可经由控制系统例如分布式动力控制元件控制远控编组中的远控机车的操作功能。因此,当以分布式动力运行时,操作者可指挥每个机车编组以不同的档位动力水平操作(或者,一个编组处于驱动中,而其它编组处于制动中),其中机车编组中的每个单独的机车以相同的档位动力操作。在示例性实施例中,利用安装在列车上的本发明示例性实施例,优选地与分布式动力控制元件通信,当按照优化行程计划推荐需要对远控机车编组使用档位动力水平时,本发明的示例性实施例将该动力设置通信至远控机车编组以供执行。如下所述,进行制动时同样如此操作。

[0143] 本发明的示例性实施例可使用在机车不相邻接的组中,例如前面一个或多个机车向上,其它在列车的中间或后部。这样的配置被称为分布式动力,其中机车之间的标准连接被替换为无线电链接或在外连接机车的辅助电缆。当以分布式动力操作时,导引机车上的操作者可经由控制系统例如分布式动力控制元件控制编组中的远控机车的操作功能。特别地,当以分布式动力操作时,操作者可指挥每个机车编组以不同的档位动力水平操作(或一个编组可处于驱动中,而其它编组可处于制动中),其中机车编组中的每个单独以相同的档位动力操作。

[0144] 在示例性实施例中,利用安装在列车上的本发明示例性实施例,优选地与分布式动力控制元件相连通,当远控机车编组的档位动力水平按照优化行程计划所推荐的进行设

定时,本发明的示例性实施例将该动力设置通信到远控机车编组,以供实施。如下所述,对于制动同样如此。当以分布式动力操作时,前述优化问题可被增强以允许额外的自由度,其中每个远控单元可独立于导引单元进行控制。这一设置的价值在于关于列车内力的额外目标或约束可结合入性能函数中,假定还包括反映列车内力的模型。因此本发明的示例性实施例可包括使用多个节流控制来更好地管理列车内力以及燃料消耗和排放。

[0145] 在使用编组管理器的列车中,机车编组中的导引机车可以以不同于该编组的其它机车的档位动力设置进行操作。该编组中的其它机车以相同的档位动力设置操作。本发明的示例性实施例可与编组管理器一起使用,以指挥编组中机车的档位动力设置。因此,基于本发明的示例性实施例,由于该编组管理器将机车编组分为两部分——导引机车和拖车单元,所以导引机车接受命令以特定档位动力操作,而拖车机车接受命令以在另一特定档位动力下操作。在示例性实施例中,分布式动力控制元件可以是具有该操作的系统和/或装置。

[0146] 类似地,当编组优化器用于机车编组时,本发明的示例性实施例可与编组优化器结合使用,以确定机车编组中的每个机车的档位动力。例如,假设行程计划推荐机车编组的档位动力设置为4。基于列车的位置,编组管理器将接受该信息且然后确定编组中每个机车的档位动力设置。在该实施方式中,可改善在列车件通信通道上设定档位动力设置的效率。此外,如上所述,该配置的执行可利用分布式控制系统执行。

[0147] 而且,如前所述,本发明的示例性实施例可用于对于当列车编组根据下述事项使用制动时进行连续的校正和再计划,例如但不限于铁路道口、坡度变化、接近侧线、接近车站场地和接近加油站,在这些情况下,编组中的每个机车可能要求不同的制动选项,例如,如果列车爬上山坡,那么导引机车可能必须进入制动状况,而远控机车则相反,还没有到达山顶时可能必须保持处于驱动状态。

[0148] 图8、9和10描述操作者使用的动态显示器的示例性图示。如所提供的,图8示出形成特性图72。在该特性图中,示出机车的位置73。提供的信息包括诸如列车长度105和列车中的车厢数目106。提供的元素还包括关于轨道坡度107、曲线和路边元件108,包括桥梁位置109和列车速度110。显示器68允许操作者观察这种信息并且还看到列车处于路线的何处。提供关于距离和/或到达如道口112的推算到达时间、信号114、速度变化116、路标118和目的地112的信息。还提供到达时间管理工具125,以允许使用者确定在行程中可实现的燃料节省。操作者能够改变到达时间127并且看到这将如何影响燃料节省。如这里所述,本领域技术人员可知,节省燃料是可利用管理工具检查的仅一个目标的示例性实例。为此目的,依赖于检查的参数,这里讨论的其它参数(或因素诸如排放)可采用操作者可看到的管理工具进行检查和评价。而且,也可显示关于至少燃料和/或排放的比较或权衡曲线图,该图中未示出。操作者还可得到关于机务人员操作该列车的时间长度的信息。在示例性实施例中,时间和距离信息可示出为出现特定事件的时间和/或距离和/或位置或其可提供总经过时间。

[0149] 如图9所示,示例性显示器提供关于编组数据130、事件和情况图132、到达时间管理工具134和关键操作136的信息。类似如上所述的信息也提供在该显示器中。该显示器68还可提供关键操作138,以允许操作者再计划以及脱离140本发明的示例性实施例。

[0150] 图10描述该显示器的另一示例性实施例。可示出现代机车的典型数据,包括空气

制动状态 72、具有数字插值 74 的模拟速度表以及关于以磅计量的牵引力（或 DC 机车的牵引安培 (traction amp)）。设置指示器 74 以显示出正在执行的计划中的当前优选速度和辅助 mph/ 分钟读取的加速度图。优化计划执行的重要新数据处于屏幕的中央，包括具有优化速度和相对于距离档位设置的滚动条形图象 76，并且这些变量与当前历史数据进行。在该示例性实施例中，使用定位器元件得到列车的位置。如图所示，通过识别列车离其最终目的地的距离、绝对位置、初始目的地、中间点和 / 或操作者输入，提供其位置。

[0151] 该条形图表能够预计前方的遵循优化计划所需的速度变化，这在手动控制中是有用的，并且在自动控制期间监控计划与实际情况。如这里所述，例如当处于训练模式时，操作者可遵循本发明的示例性实施例建议的档位或速度。垂直条给出了期望的和实际的档位图表，它们还可采用数字方式显示在条形表下方。当使用连续的档位动力时，如上所述，该显示器仅简单地接近于最接近的离散当量，该显示器可以是模拟显示器，以显示模拟当量或百分比或实际马力 / 牵引力。

[0152] 关于行程状态的关键信息显示在屏幕上，并且示出列车所遇到的当前坡度 88、或者通过导引机车，沿着列车的其他位置或者列车长度上的平均值。还公开计划 90 中目前所行驶的距离、累计使用的燃料 92、计划距离下一站 94、将预期到达下一站的当前和计划到达时间 96。显示器 68 还示出采用可用的计算计划的情况下到达目的地的最大可能时间。如果要求晚点到达，那么将执行再计划。变化计划数据示出当前优化计划之前或之后的燃料状态和时间调度。负数表示与计划相比使用的燃料较少或提前，正数表示与计划相比使用的燃料较多或晚点，一般情况下沿相反方向权衡（减速以节省燃料使得列车晚点，相反的情况也成立）。

[0153] 在任何时刻，这些显示器 68 向操作者提供快照以显示出相对于当前规定的驱动计划其所处的位置。该显示器仅用于示例性的目的，因为还存在许多其它的方式来显示 / 传送该信息给操作者和 / 或调度处。为此目的，上述公开 的信息经组合后提供不同于上述公开内容的信息。

[0154] 本发明的示例性实施例的其它特征包括但不限于允许生成数据日志和报告。这一信息可储存在列车上或在某时间点下载到非车载系统中。该下载可通过手动和 / 或无线传输进行。该信息还可由操作者通过机车显示器看到。该数据可包括信息例如但不限于操作者输入、系统操作时间、节省的燃料、列车中的机车之间的燃料不平衡、列车不在规定的过程中的运行、系统诊断问题，例如如果 GPS 传感器出现故障。

[0155] 由于行程计划还必须考虑允许的机务人员操作时间，所以本发明的示例性实施例可在计划行程时考虑这些信息。例如，如果机务人员操作的最长时间是八小时，那么行程应设置成包括供新机务人员替换当前机务人员的停车位置。这种指定停车位置可包括但不限于铁路车场、会车 / 错车地点等，如果在列车前进的过程中，可能超过行程时间，那么操作者可忽略本发明的示例性实施例，以满足操作者确定的标准。最终，不管列车的运行状况，例如但不限于高负荷、低速度、列车松弛状况等，操作者保持控制，以指挥列车的速度和 / 或运行状况。

[0156] 使用本发明的示例性实施例，列车可在多种操作方式下运行。在一个操作概念中，本发明的示例性实施例可提供指令来指挥驱动、动力制动。操作者则操作所有其它列车功能。在另一操作概念中，本发明的示例性实施例可提供仅用于指挥驱动的指令。操作者然

后可处理动力制动和所有其他的列车功能。在另一操作概念中,本发明的示例性实施例可提供用于指挥驱动、动力制动和空气制动的指令。操作者则操作所有其它列车功能。

[0157] 本发明的示例性实施例还可用于提示操作者将要采取的操作项目。具体地说,本发明的示例性实施例的预测逻辑、连续校正和再计划为优化行程计划、轨道数据库、操作者可被提示即将来临的道口、信号、坡度变化、制动操作、侧线、铁路车场、加油站等。该提示可从视觉和 / 或通过操作者界面得以实行。

[0158] 具体地说,使用基于物理学的计划模型、列车设置信息、车载轨道数据库、车载操作规则、位置判定系统、实时闭环动力 / 制动控制、传感器反馈,该系统应示出和 / 或提示操作者所需的动作。该提示可以是可视的和 / 或可听见的。实例包括道口的提示,要求操作者使用机车号角和 / 或铃,告知“不需鸣笛”的道口,不要求操作者使用机车喇叭或铃。

[0159] 在另一示例性实施例中,使用上述基于物理学的计划模型,列车设置信息、车载轨道数据库、车载操作规则、位置判定系统、实时闭环动力 / 制动控制、传感器反馈,本发明的示例性实施例可为操作者示出允许操作者看到列车何时将到达各个地点的信息(例如,显示器上的刻度),如图 9 所示。该系统应允许操作者调整行程计划(目标到达时间)。该信息(实际推算到达时间或获得车外信息)还可被传送至调度中心,以允许调度员或调度系统调整目标到达时间。这允许该系统快速地调整和优化适当的目标函数(例如权衡速度和燃料用量)。

[0160] 图 11 描述在相交的轨道上的两列车的示例性实施例。在示例性实施例中,网络优化器 200 周期性地更新至理想的铁路区段以及更新对应的列车 / 机务人员进行操作。如果网络优化器 200 具有另外的列车信息,如实时列车性能数据,包括但不限于最大加速度、速度、燃料效率、排放优化等,则可选择更优化的网络性能。

[0161] 例如,如图所示,假设列车 1 在时刻 t_1 离开点 A 并计划在时刻 t_2 到达点 B。列车 2 在时刻 t_3 离开点 C 并计划在时刻 t_4 到达点 D。两个轨迹在点 X 相交。尽管点 X 如图所示为固定点,但是本领域技术人员可知点 X 可以是移动点。而且,尽管在图 11 中示出了交叉的轨道,但是本领域技术人员可知本发明的示例性实施例可在列车进入侧线以完成会车 / 错车时使用。因此,点 X 可被视为用于会车 / 错车的侧轨。

[0162] 可以期望确保两列车,列车 1 和列车 2 不在同一时间相交。到达时间 t_2 或 t_4 可根据网络优化器预测而变化。此外,列车 1 和列车 2 通常可具有关于燃料效率、加速能力、速度等的不同性能特征,且在运行同样网络优化程序时需要考虑这些因素。为了简化,假设到达时间对于列车 1 和列车 2 是固定的,列车 1 沿轨道区段 AX 和 XB 行驶,总行程时间为 t_2-t_1 ,而列车 2 沿轨道区段 CX 和 XD 行程,总行程时间为 t_4-t_3 。

[0163] 得知两列车列车 1 和列车 2 的计划列车速度,则可查找很多的方案以确保列车 1 和列车 2 不会在同一时间到达相交点 X。列车 1 和列车 2 的计划速度可被在每个列车的性能约束内进行调节。当每个列车沿其各自的轨道行驶时,相应列车确定其燃料和速度计划,如上面公开的列车优化器系统和上述方法。类似地,当排放是行程计划所基于的因素时,随着每个列车沿相应轨道行驶时,相应列车确定其排放,如上所公开的列车优化器系统和方法那样。

[0164] 在另一示例性实施例中,每个列车即列车 1 和 2 的性能数据预先确定并且可在运行时更新。在另一示例性实施例中,每个列车即列车 1 和列车 2 提供其各自的更新性能数

据给网络优化器 200, 该网络优化器 200 重新计算总网络性能和效率。在另一示例性实施例中, 网络优化器 200 使用计划速度替换性能数据。可实施本发明的示例性实施例并且在列车上被局部评价, 在列车下被全局评价, 例如在远控位置, 在上述的组合或范围内。如上所述, 性能数据可基于至少一个参数和 / 或因素, 例如但不限于燃料、排放等。

[0165] 在另一示例性实施例中, 各列车即列车 1 和列车 2 还提供燃料效率 / 速度, / 加速能力数据, 以向网络优化器 200 提供额外数据, 权衡涡轮燃料效率和性能相对于局部列车性能参数。然后, 网络优化器 200 为每辆列车提供更新的交叉点和最终的到达时间数据, 并且每个独立列车调节其特性以进行局部优化。随着时间的前进, 减少解集, 并且局部优化和性能来更新网络性能优化的要求。

[0166] 在另一实施例中, 在列车 1 出发时, 计划在列车 2 之前到达交叉点 X, 假设在两个区段 AX 和 XB 的优化列车 1 燃料效率。例如, 假设列车 2 具有区段 CX 和 CD 的局部优化燃料效率且两个列车在点 X 交叉, 网络优化器 200 具有列车 1 和列车 2 的燃料效率相对于速度以及可能的加速度 / 减速度的信息, 该网络优化器能够权衡列车 1 的燃料效率和列车 2 的燃料效率, 从而避免两个列车在相同时间到达交叉点 X。然后, 网络优化器 200 可为列车 1 和列车 2 提供反馈, 以实现总体效率。这可包括使得两个列车的其中一个, 列车 1 或 2 在到达交叉点 X 之前停车。如果每个列车的到达时间改变, 那么每个单独列车和整个网络的优化计划可被调节。

[0167] 该示例性实施例可提供一框架以允许局部最优化并且还提供整体优化。在优选实施例中, 局部列车优化器 12 和网络优化器 100 之间必须进行数据交换。网络优化器 200 具有用于网络优化的列车初始参数组。在示例性实施例中, 初始的参数组包括基于列车组成参数的计划燃料效率。在另一示例性实施例中, 初始数据集以标准表和 / 或手算和 / 或操作者输入的历史数据为基础。

[0168] 网络优化器 200 确定两个列车即列车 1 和 2 的初始到达时间和速度设置。在一项优选实施例中, (各) 列车利用行程优化器 12 优化其速度且将这些得到的性能参数返回给网络优化器 200。在示例性实施例中, 如果列车即列车 1 和 / 或列车 2 不具有行程优化系统, 那么列车即列车 1 和 / 或列车 2 提供例如速度、燃料使用和动力设置的列车数据给网络优化器 200, 从而执行近似的燃料效率或列车性能计算。在数据集更新的情况下, 网络优化器 200 重新计算网络效率并且提供更新的目标给局部列车, 列车 1 和 / 或列车 2。另外, 其它网络或列车参数, 例如剩余的机务人员时间、列车健康状况、轨道状况、货物参数、例如用于食品货物的冷却能力的车厢参数等, 可被增加为约束并提供不同的局部目标到达值。

[0169] 随着时间的前进, 局部列车性能提供与网络选项相比更多的约束方案。例如, 局部轨道占用或速度约束会限制列车即列车 1 和 / 或列车 2 来保持特定速度或加速度以前进到网络优化器 200 要求的途中心点。在这种状况下, 局部列车约束将无法实现网络的要求, 必须采取该局部列车约束作为网络优化程序的严格限制。

[0170] 在示例性实施例中, 与改变局部列车即列车 1 和 / 或列车 2 的速度相联系的结果被增加, 因此使得其不太希望或不可能使得网络优化器 200 跨过该局部约束。另一考虑是由于将另外的列车增加到轨道网络上, 随着先前出发的列车的列车行程结束, 每个额外局部列车的初始选项设置总体上限制较少。而且, 应该理解, 这些列车可被归入不同的优先权组, 例如“Z”- 列车。为此目的, 上述示例性实施例可应用于具有各种优先权的列车, 其中局

部列车参数被相应地调整。

[0171] 在另一示例性实施例中,上述实施例可用于评价沿至少两个不同路径选项行驶的列车即列车 1 和 / 或列车 2 的选项。在图 12 所示的这一实施例中,至少提供两个增加的区段和交叉点 X。该评价延伸到区段 AX,其中列车 t1 可沿至少两个交替路径 X1Y 和 X2Y 行驶到轨道合并的交叉点 Y,然后返回到最终目的地 B。上述状况可发生在新旧轨道被建立以便于加快吞吐量的状况。局部优化器 12 计算两个选项的计划效率(燃料和 / 或排放),且将它们呈现于网络优化器 200 以进行评价。在一项示例性实施例中,可相对于列车 1 也相对于列车 2 评价与相同整体任务 AB 相反的重叠列车即列车 3 的优先权。

[0172] 在另一示例性实施例中,确定用于列车即列车 1 和 / 或列车 2 的备选行程路线,例如但不限于通过该行程优化器提供给网络优化器 200 的信息。而且,替换路线可在列车即列车 1 和 / 或列车 2 上计算。因此,在运行中,如果已确定备选行程路线以确保列车即列车 1 和 / 或列车 2 满足其任务行程时间目标,那么当跨过另一轨道时,列车即列车 1 和 / 或列车 2 可转换到其它轨道,只要该转换将有助于满足任务行程时间目标。网络优化器 200 然后可用于确保即使切换轨道也不影响其它轨道车辆。为此目的,例如保养和 / 或修理工作的信息也可提供给网络优化器 200,以确保铁路的准确运行。

[0173] 图 13 描述用于连通特定参数和网络信息的示例性步骤的流程图。如流程 245 所示,公开用于将列车任务分成具有公共交叉点的多个区段的步骤 250。根据铁路网络中的其他列车计算列车运行参数,从而确定特定区段上的优化参数,步骤 252。该优化参数与当前运行参数比较,步骤 254。改变当前运行参数以与当前轨道区段和 / 或未来轨道区段的优化参数一致,步骤 256。该运行参数包括但不限于燃料参数和 / 或速度参数。在示例性实施例中,当前运行参数是由列车即列车 1 和 / 或列车 2 确定的优化参数。此外,可改变当前运行参数以避免与其它列车冲突。

[0174] 图 14 描述示出连通特定参数与网络知识的示例性步骤的另一流程图。流程 260 的步骤公开列车具有来自于网络优化器的初始列车参数组,步骤 262。列车被驱动以完成整个任务,步骤 264。当列车运行在整个任务中时,列车运行状况被报告给网络优化器,步骤 266。在列车上,公开鉴于网络优化器提供的列车参数所进行的列车实时运行状况的考虑,步骤 268。如果网络优化器建立的列车参数超过列车上实现的限制,那么可忽略由网络优化器提供的列车参数,步骤 270。

[0175] 基于前面的说明和上述讨论,本发明的示例性实施例可使用计算机程序和 / 或包括计算机软件、固件、硬件或其任意组合或其子系列的工程技术来实施。为此目的,上述流程 245、260 可利用计算机软件代码而实施。

[0176] 图 15 描述示例性元件的方框图,该元件可作为优化铁路轨道网络中列车操作的系统的一部分。如图所示,提供网络优化器 200,该优化器确定铁路网络内多个列车即列车 1 和 / 或列车 2 在每个列车任务段上的优化运行条件。还设置有无线通信系统 205,该系统提供网络优化器 200 与列车即列车 1 和 / 或列车 2 之间的通信。还设置数据收集系统 210,该系统为网络优化器 200 提供关于列车即列车 1 和 / 或列车 2 的运行状况。尽管示出的是大概网络优化器 200,但本领域技术人员可知,该数据收集系统 210 可以处于多个位置,包括但不限于每个列车上即列车 1 和 / 或列车 2 上的和 / 或车站(未示出)的单独系统。当位于列车即列车 1 和 / 或列车 2 上时,数据收集系统 210 可包括车载行程优化器 12,该优化

器将基于列车的任务确定列车 1 和 / 或列车 2 的优化运行状况。此外,根据由网络优化器 200 确定的优化运行状况,网络优化器 200 可改变由车载优化器 12 确定的用于列车即列车 1 和 / 或列车 2 的优化运行状况。

[0177] 图 16 描述用于优化运行在铁路网络内的多个有轨车辆的步骤的流程图。流程 301 内的一个步骤包括在每个相应任务的开始时确定每个轨道车辆的任务目标,步骤 307。基于该任务目标,为每个轨道车辆确定优化行程计划,步骤 309。每个相应行程计划基于相应轨道车辆的操作参数和 / 或临近另一轨道车辆的其他轨道车辆被调整同时进行驱动,步骤 311。

[0178] 如上参照图 13 和 14 中的其它流程图所述,运行参数可包括至少一个燃料参数和 / 或速度参数。此外,当前运行参数是由轨道车辆 (或列车) 和 / 或中心网络优化器优化的优化参数。因此,在运行中,基于第二相应轨道车辆的优先任务,第一相应轨道车辆可接受指令被推进到侧轨上以实现会车和错车。另外,相应轨道车辆的当前运行参数可被改变从而避免与使用该铁路网络的另一轨道车辆发生冲突。这一改变可通过轨道车辆上的行程优化器实现。

[0179] 尽管已经参照示例性实施例描述本发明,但是本领域技术人员应理解,可在不脱离本发明的精髓和范围的情况下作出各种改变、省略和 / 或增加,且使用等同物代替相应元件。另外,可在不脱离本发明的精髓和范围的情况下进行许多修正,以在本发明的教导下适应特定的情形或材料。因此,本发明不是要把上述的具体实施例限制为执行本发明的预期的最优方式,但本发明将包括落入权利要求书的范围内的所有实施例。而且,除非特别声明,术语第一、第二等的任意使用不表示任何顺序或重要性,而是使用术语第一、第二等,以将一个元件与其它区别开。

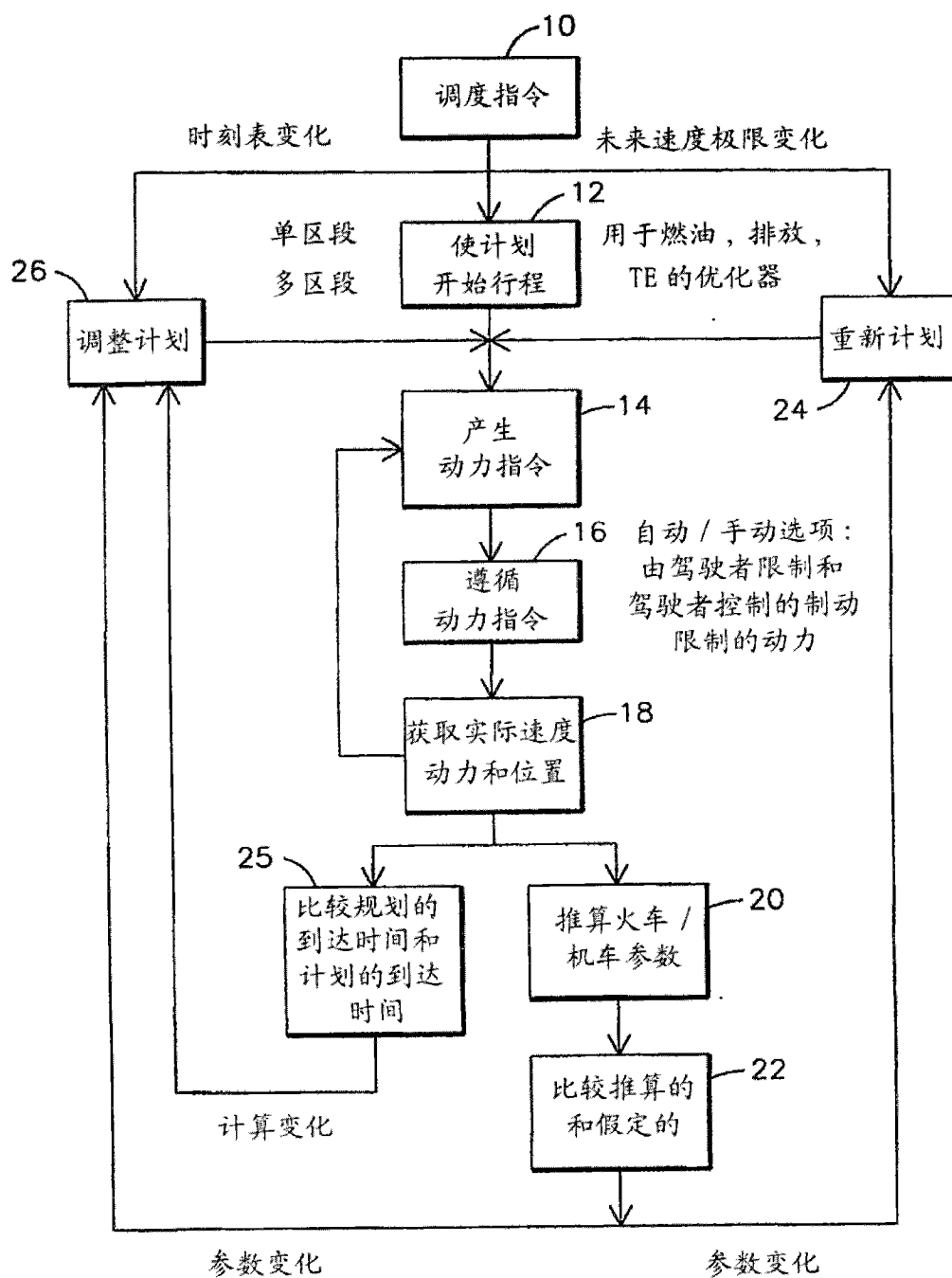


图 1

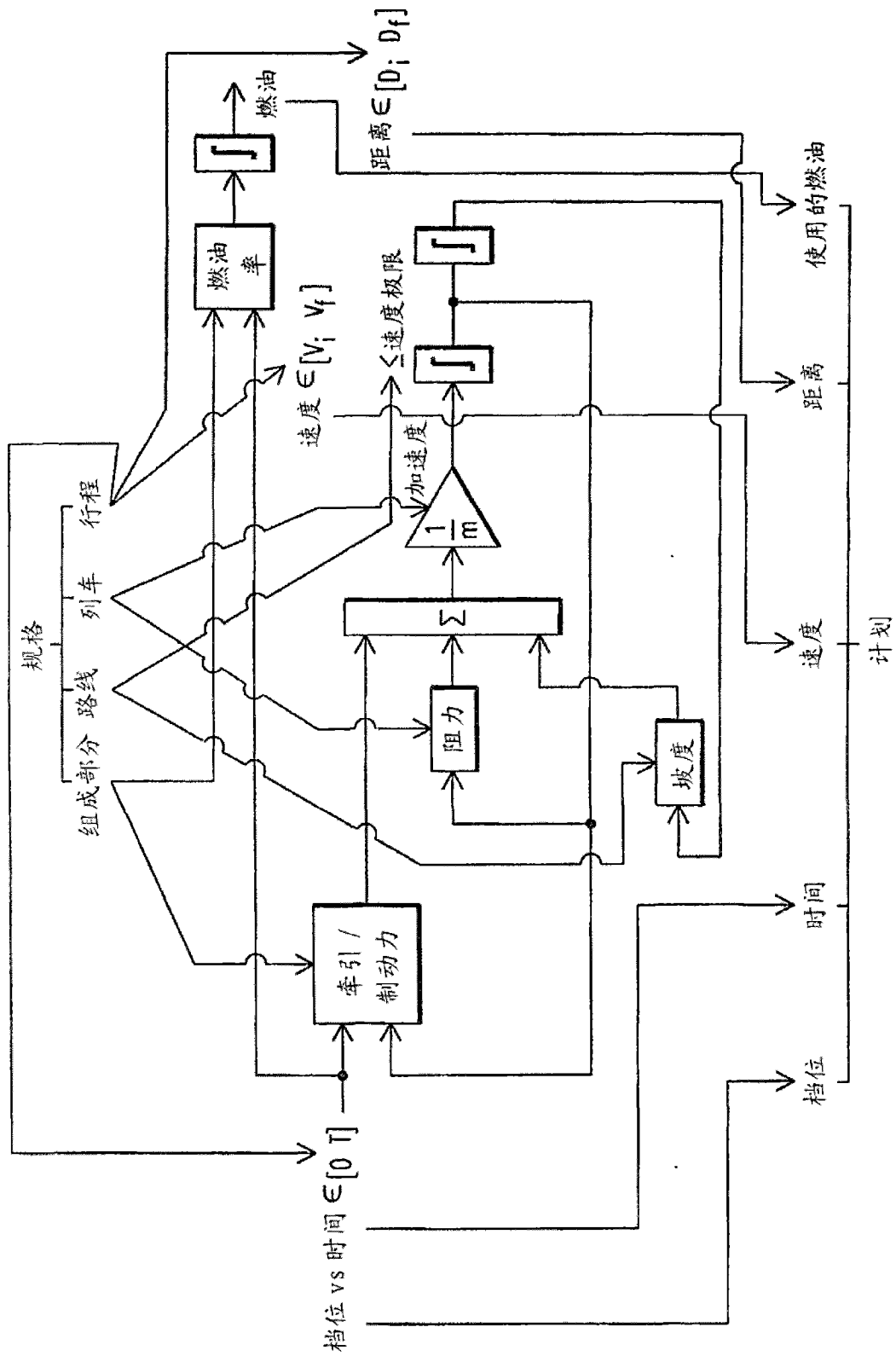


图 2

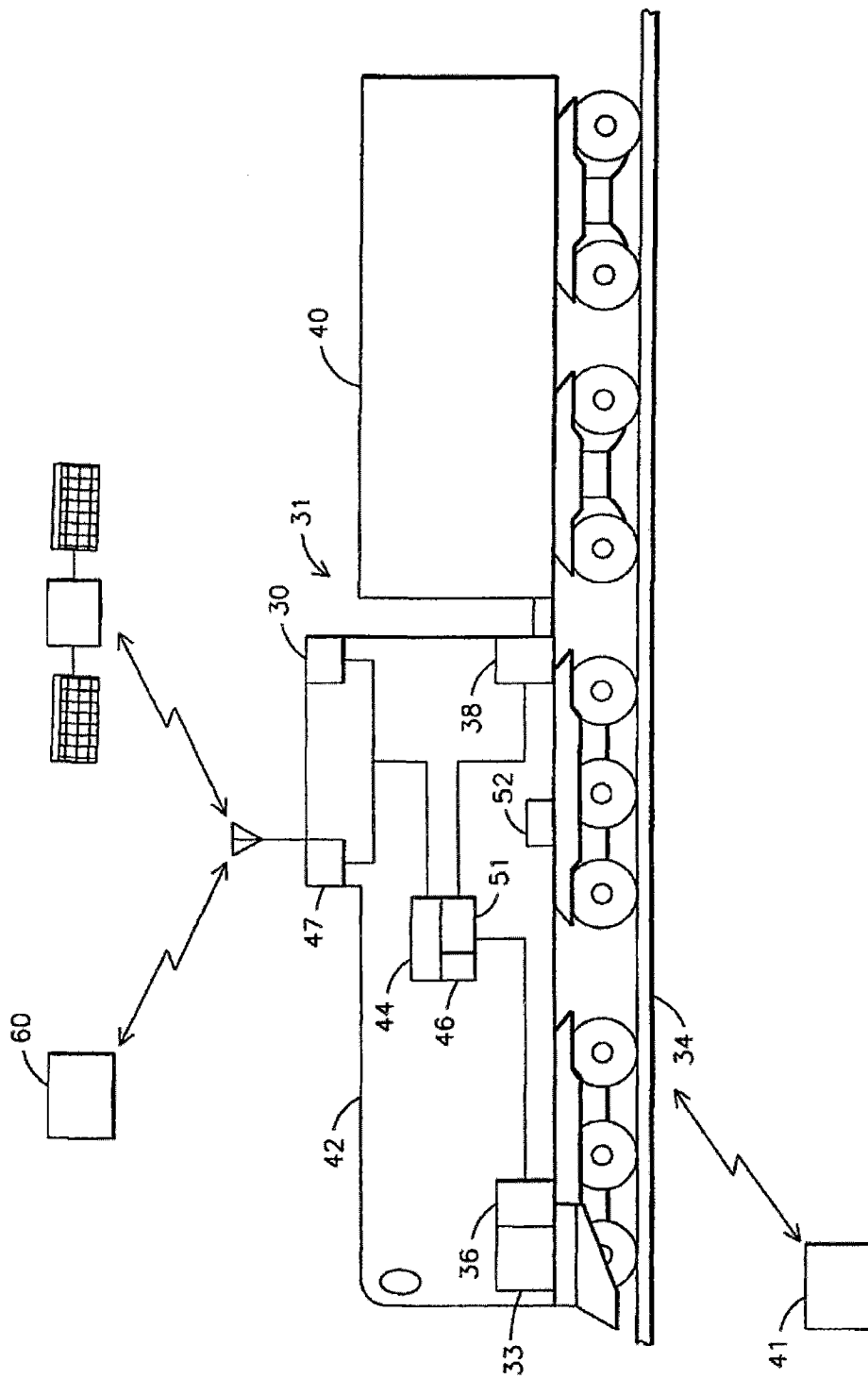


图 3

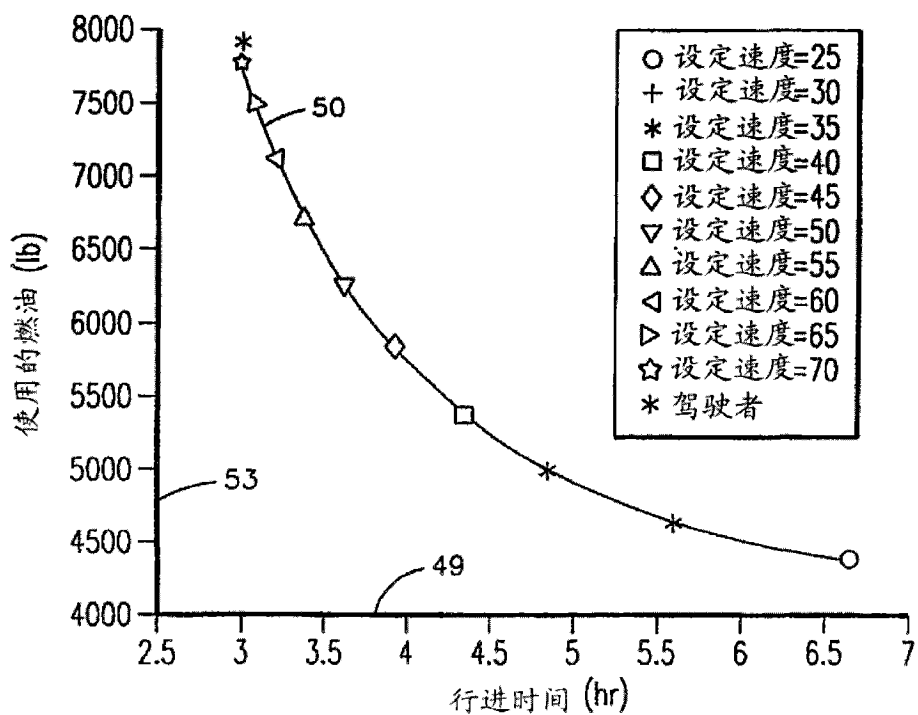


图 4

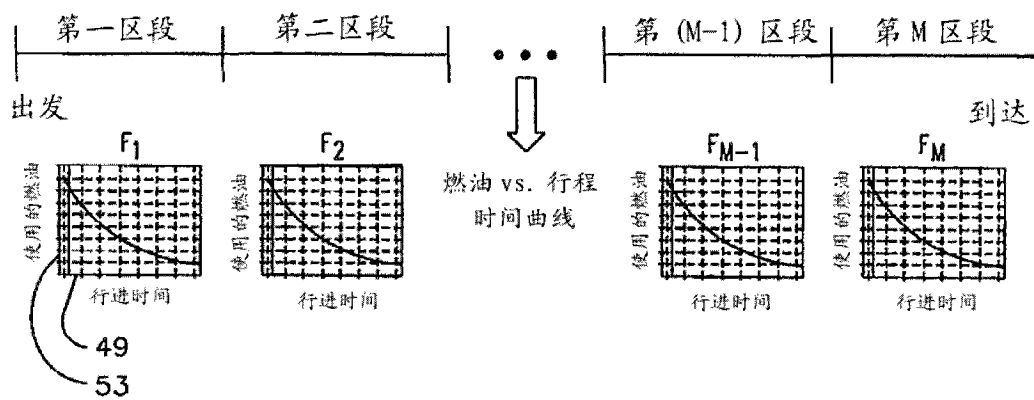


图 5

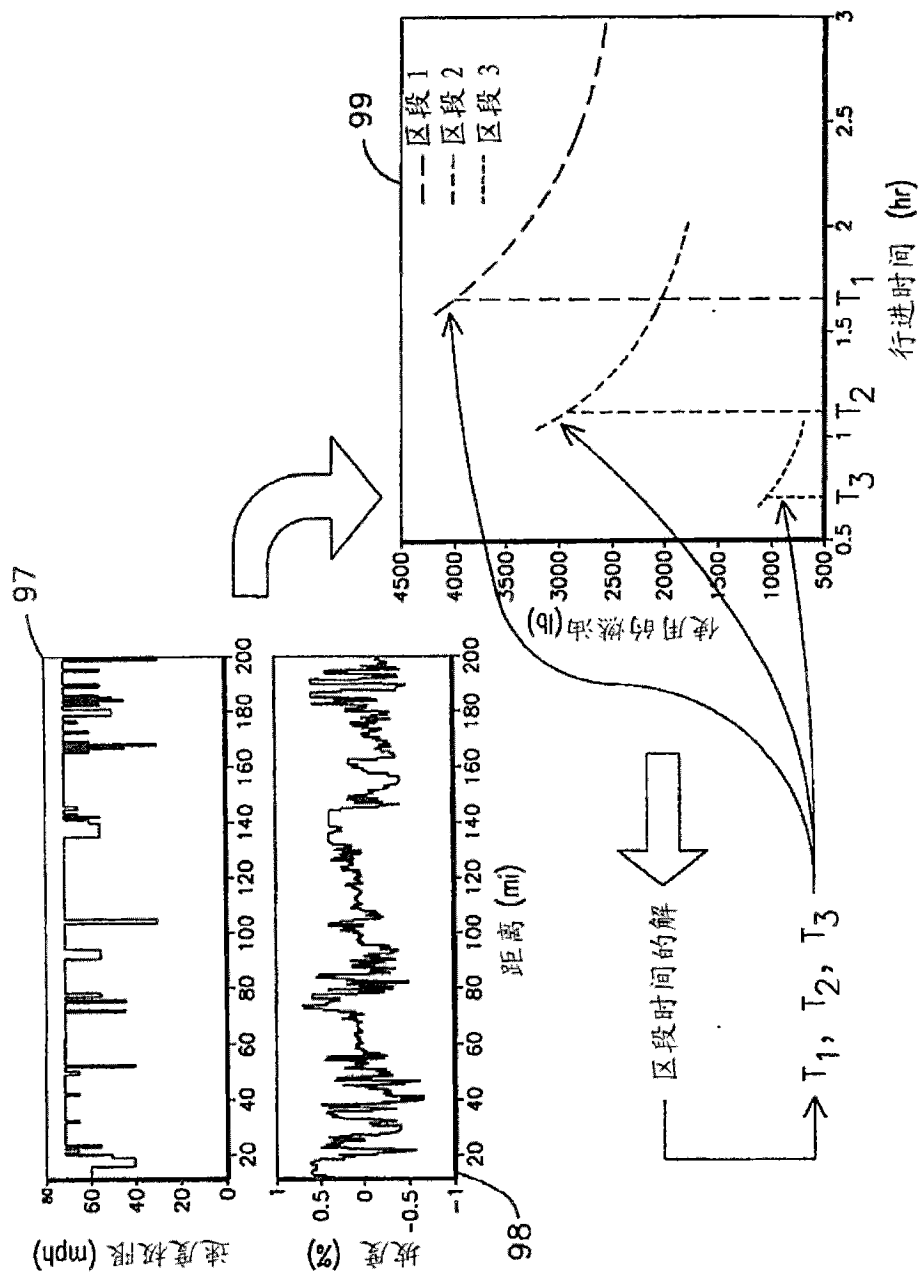


图 6

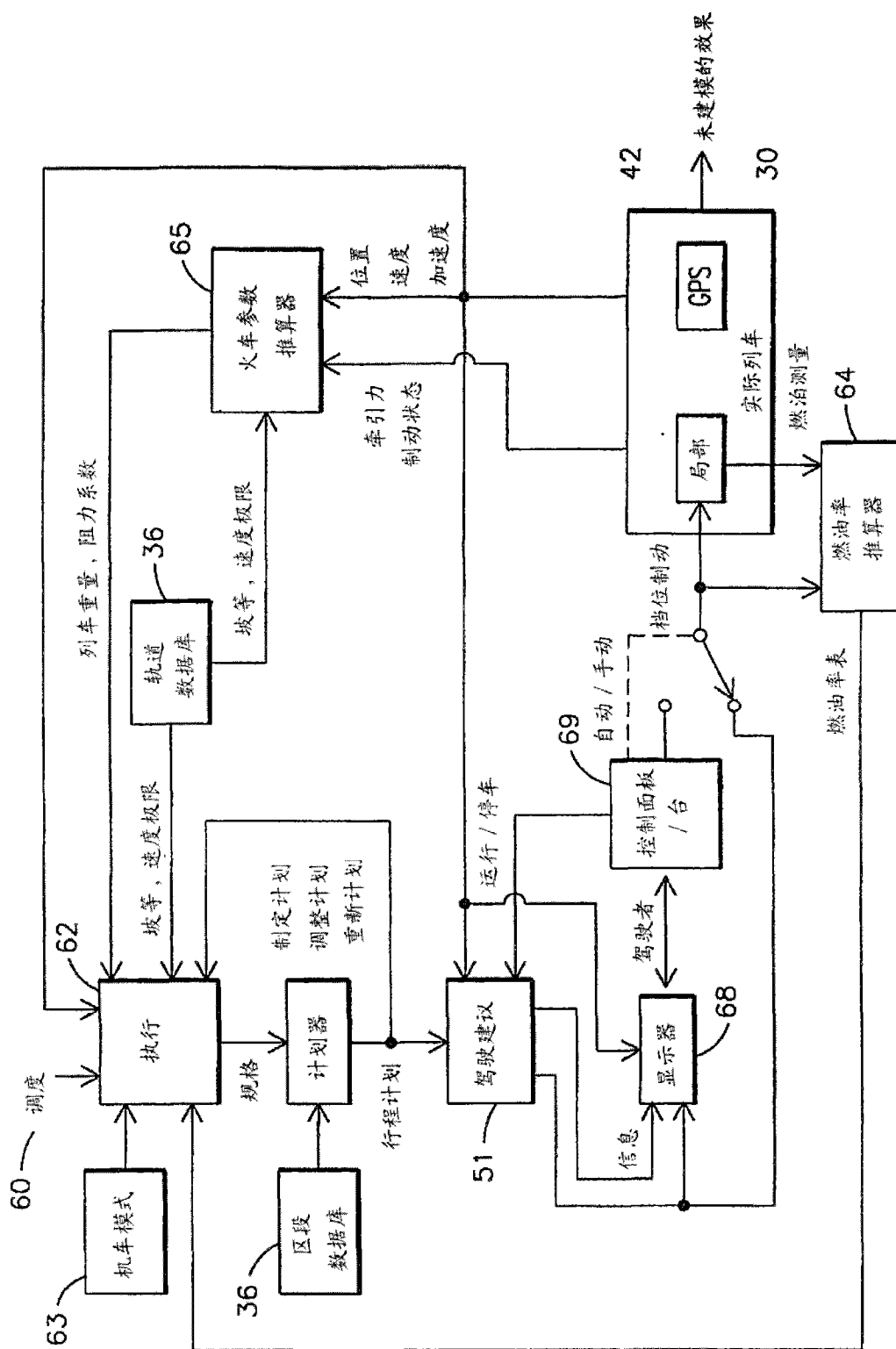


图 7

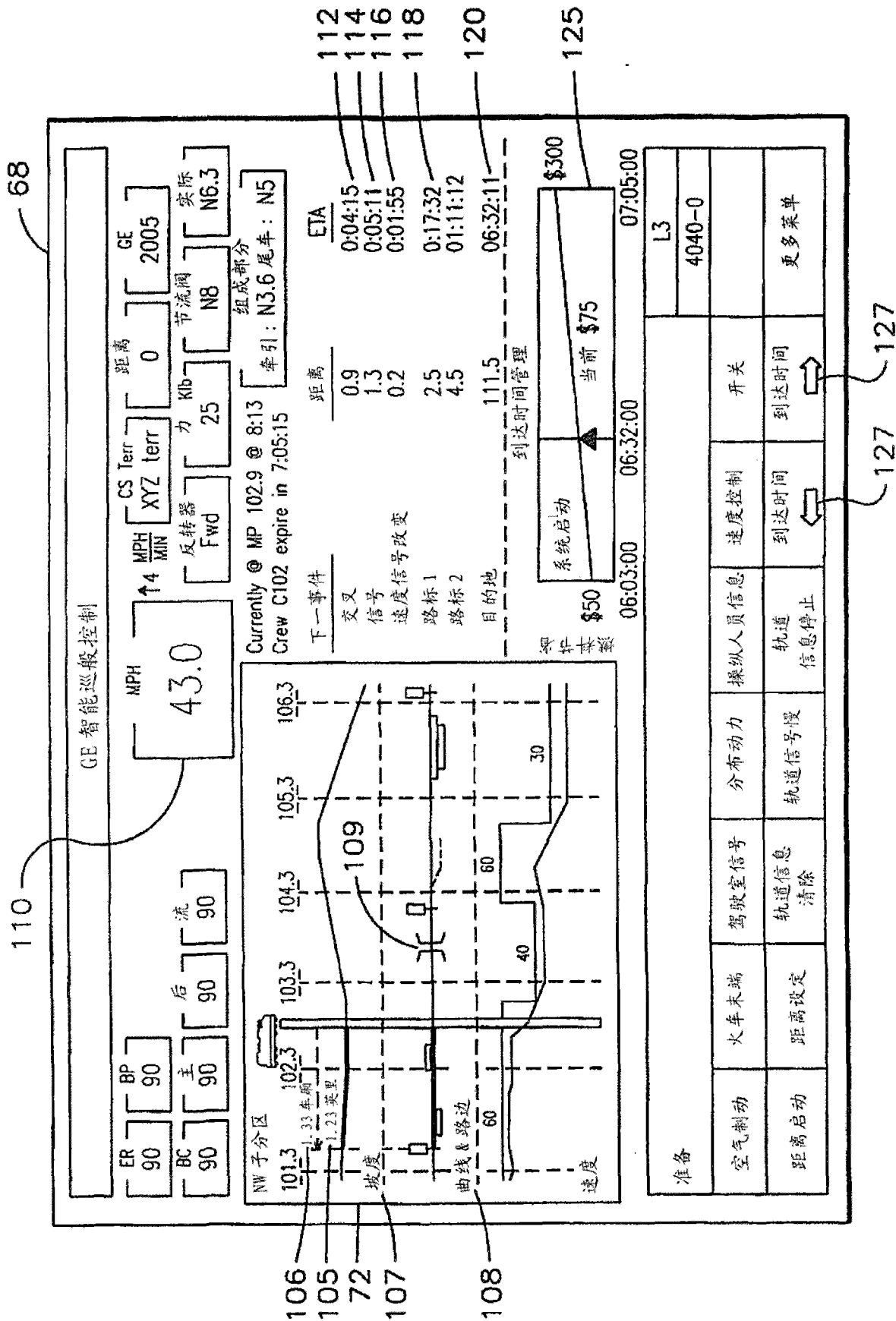


图 8

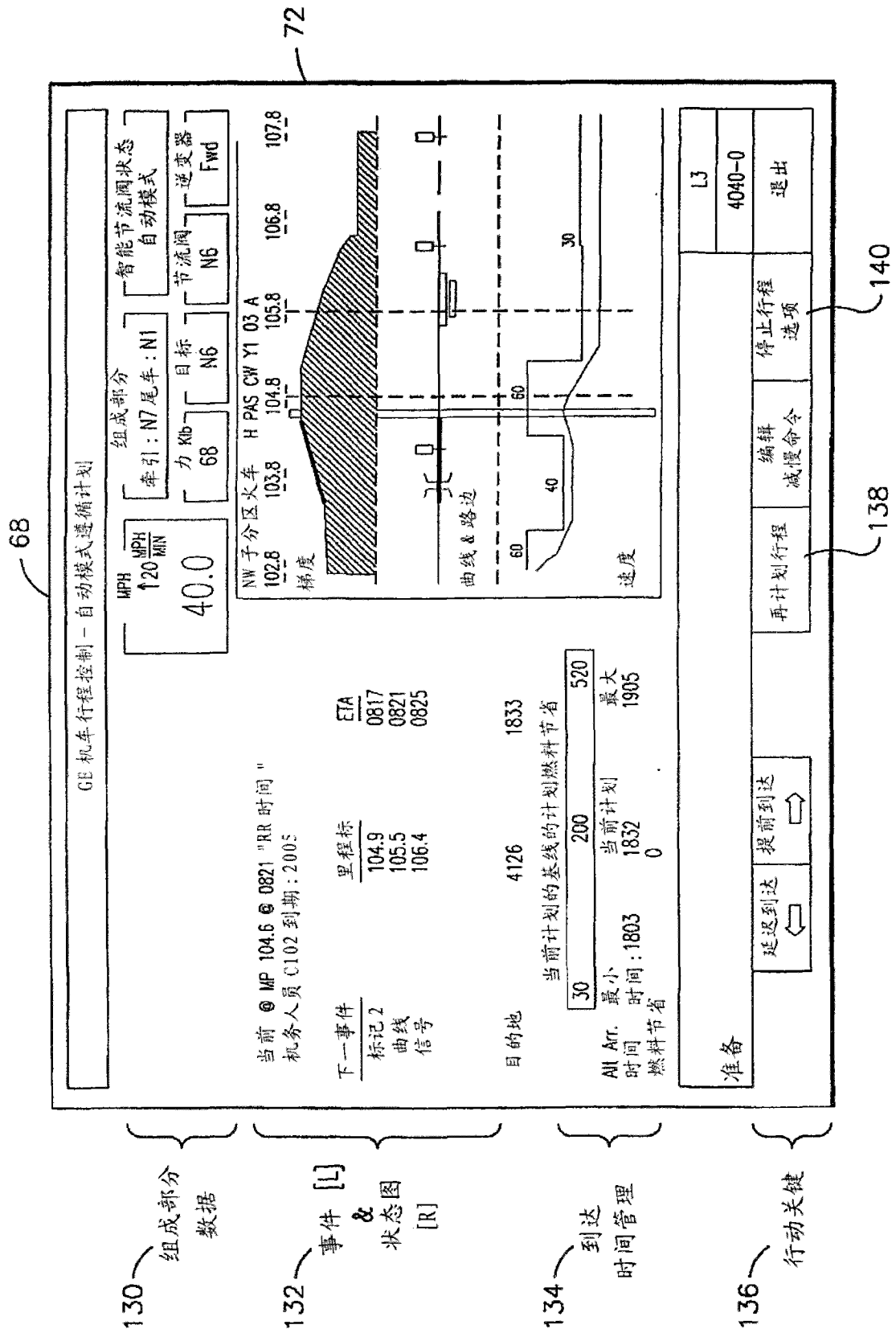


图 9

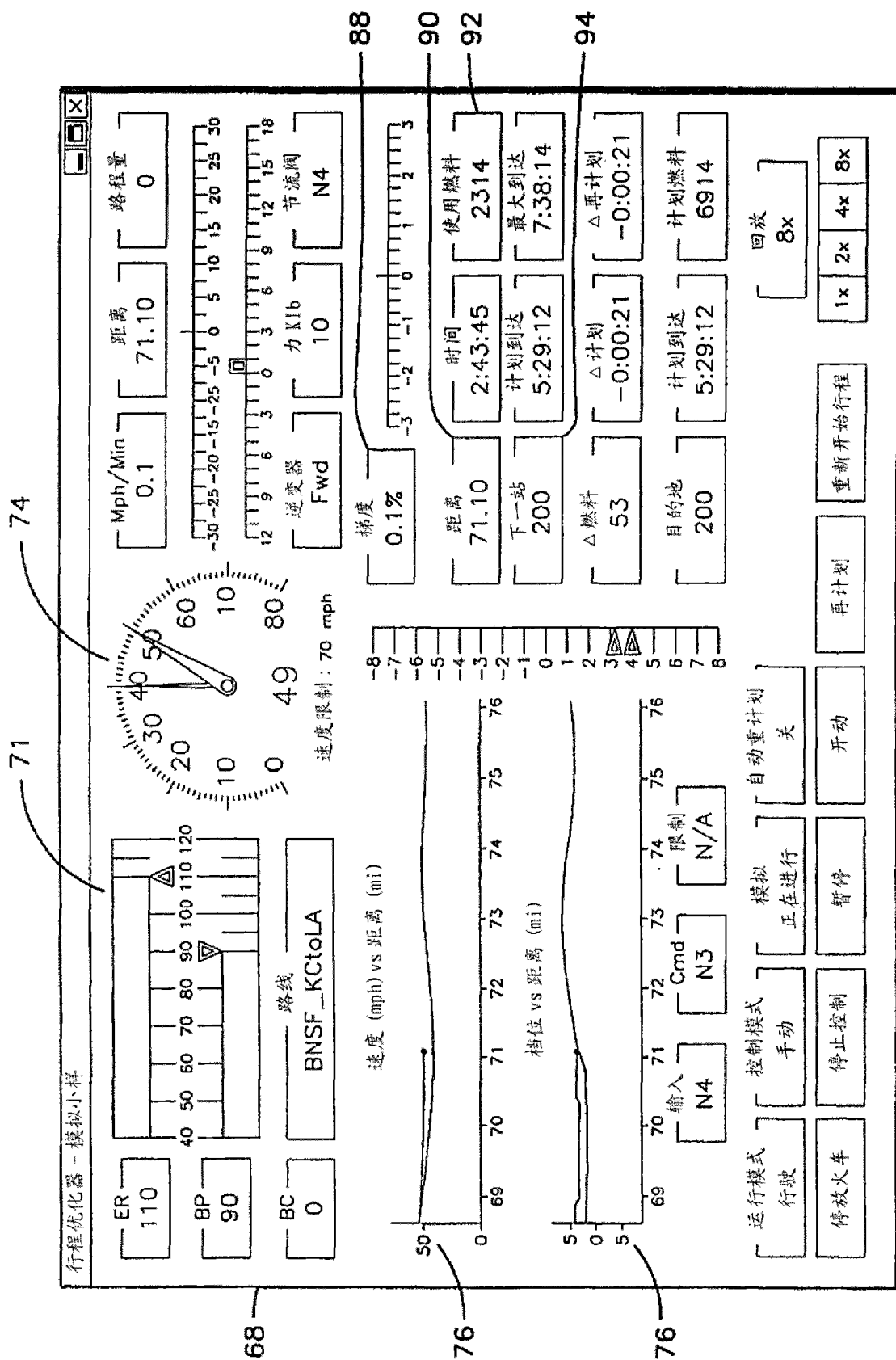


图 10

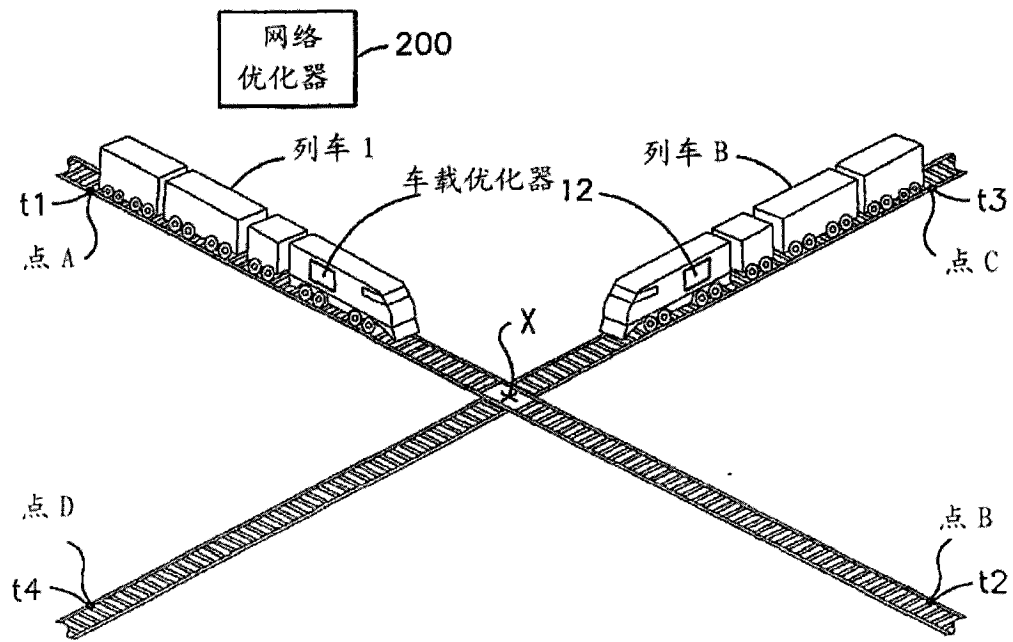


图 11

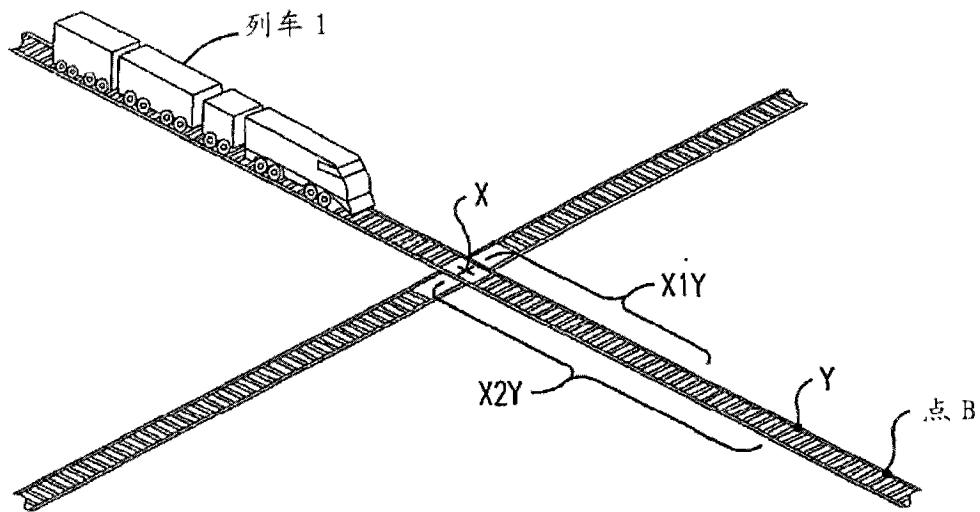


图 12

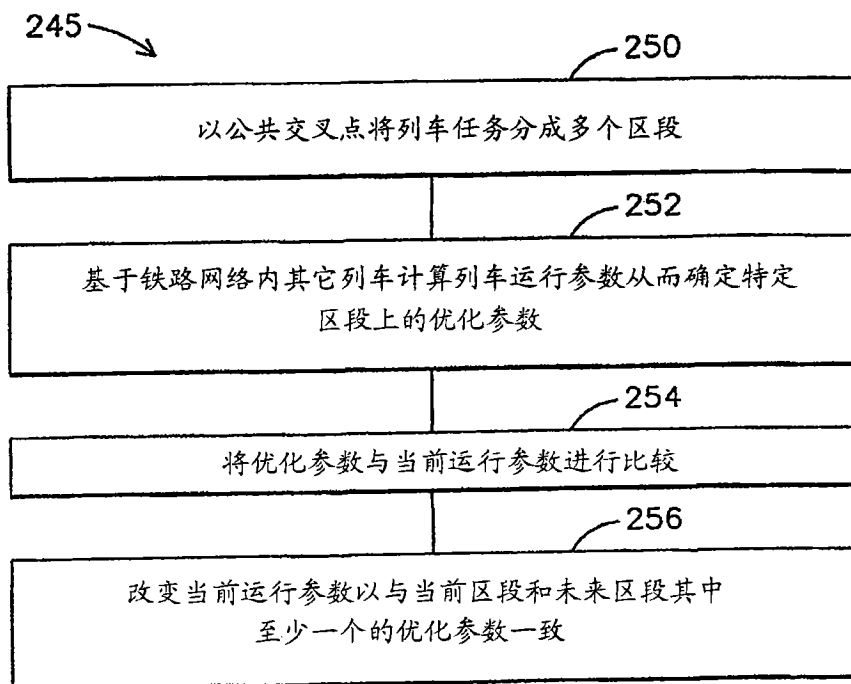


图 13

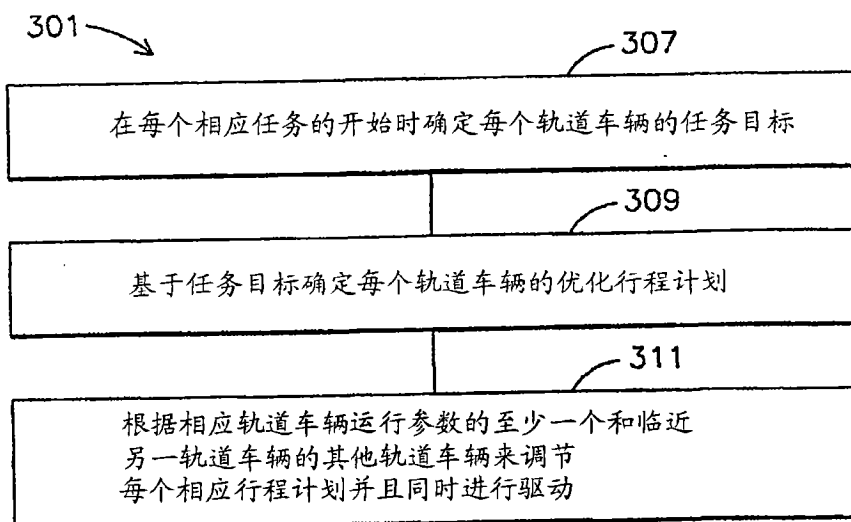


图 16

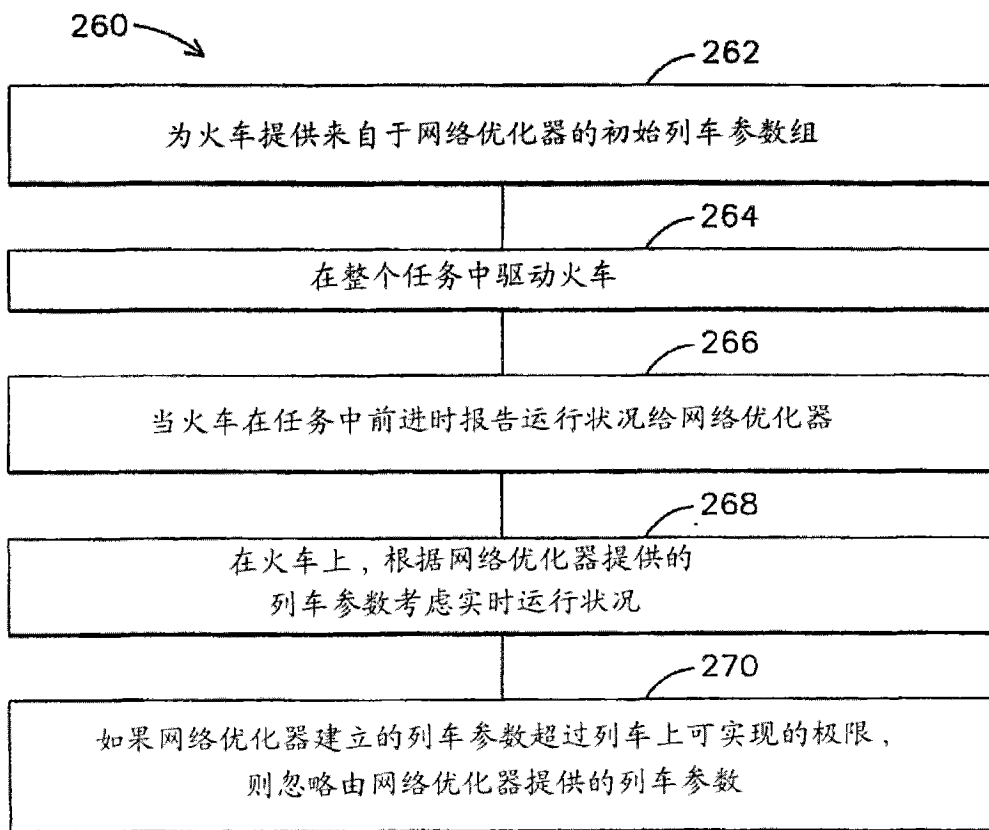


图 14

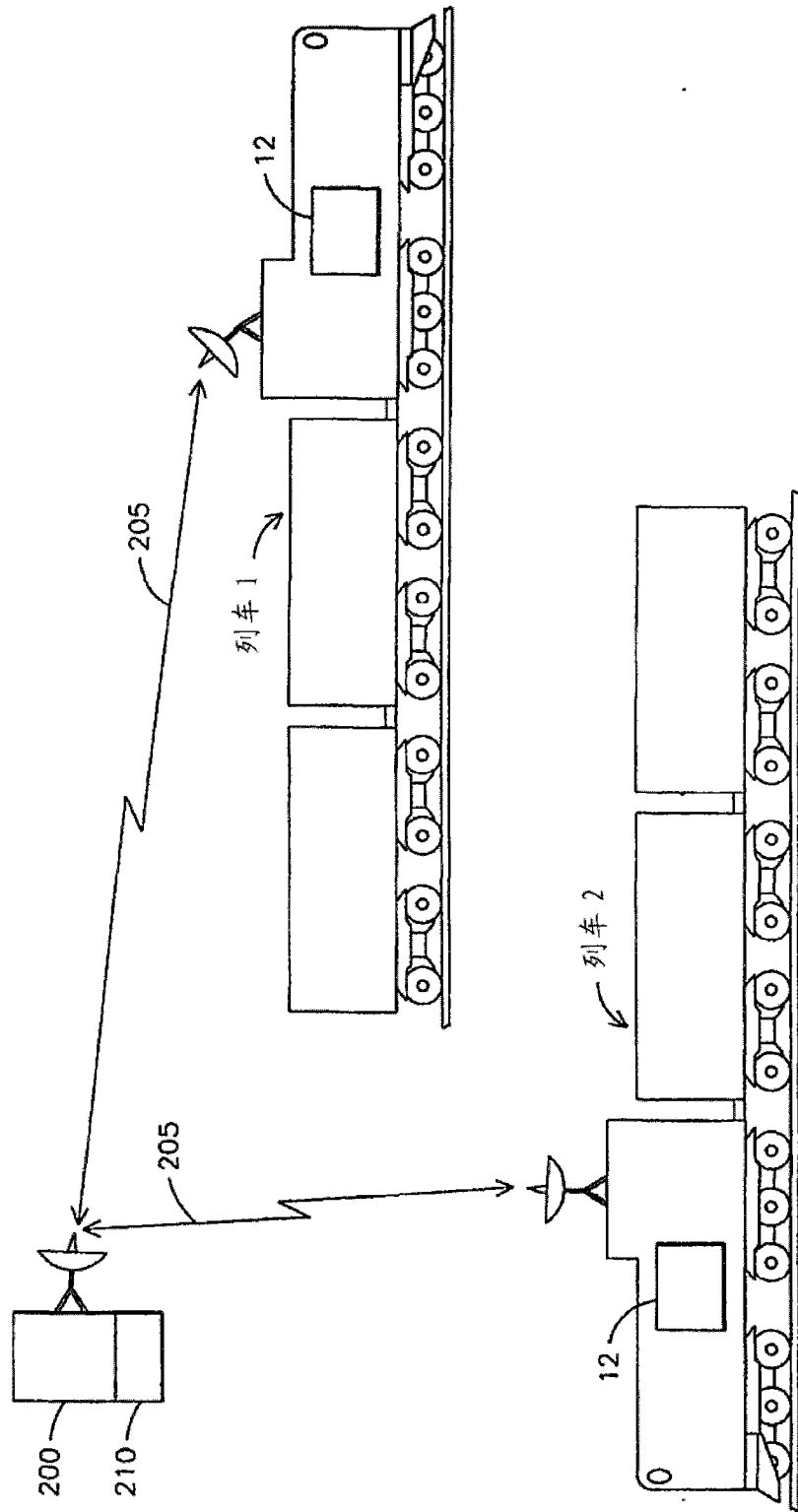


图 15