

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G06F 17/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200380106881.5

[43] 公开日 2006 年 2 月 1 日

[11] 公开号 CN 1729465A

[22] 申请日 2003.12.19

[21] 申请号 200380106881.5

[30] 优先权

[32] 2002.12.20 [33] US [31] 60/435,114

[86] 国际申请 PCT/US2003/041207 2003.12.19

[87] 国际公布 WO2004/059446 英 2004.7.15

[85] 进入国家阶段日期 2005.6.20

[71] 申请人 联合开关及信号公司

地址 美国宾夕法尼亚

[72] 发明人 维奥瑞尔·毛腊瑞 弗兰克·博伊尔

尤韦·德尤特曼

格利戈里·P·巴里

安德鲁·克瑞特库

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所
代理人 李 颖

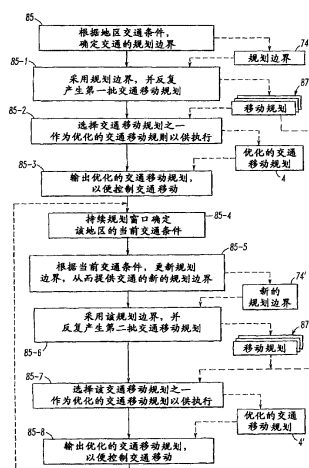
权利要求书 19 页 说明书 40 页 附图 9 页

[54] 发明名称

动态优化交通规划方法和系统

[57] 摘要

一种方法产生优化的交通移动规划。规划监视器根据某一区域的交通条件确定交通的第一规划边界。规划发生器采用第一规划边界，反复产生交通的第一交通移动规划。规划发生器选择交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划，并输出第一优化交通移动规划以便控制交通移动。规划监视器持续规划窗口，确定该区域的当前交通条件，并根据当前交通条件更新第一规划边界，从而提供交通的第二规划边界。规划发生器采用第二规划边界，反复产生交通的第二交通移动规划，选择第一和第二交通移动规划之一作为第二优化交通移动规划，并输出第二优化交通移动规划，以便控制交通移动。



1、一种为具有多个交通和多个交通条件的区域产生优化的交通移动规划的方法，所述方法包括：

5 根据所述区域的交通条件，确定所述交通的第一规划边界；

 采用所述第一规划边界，并反复产生所述区域的交通的第一批多个交通移动规划；

 选择所述第一批多个交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行；

10 输出所述第一优化交通移动规划，以便控制所述区域中的交通移动；

 确定所述区域的当前交通条件；

 根据所述当前交通条件，更新所述第一规划边界，从而提供所述交通的第二规划边界；

15 采用所述第二规划边界，并反复产生所述区域的交通的第二批多个交通移动规划；

 选择所述第一批和第二批多个交通移动规划之一作为第二优化交通移动规划以供执行；

20 输出所述第二优化交通移动规划，以便控制所述区域中的交通移动。

2、按照权利要求1所述的方法，还包括：

 选择所述第一优化交通移动规划作为所述第二优化交通移动规划以供执行。

3、按照权利要求1所述的方法，还包括：

25 选择所述第一批多个交通移动规划之一作为所述第二优化交通移动规划以供执行。

4、按照权利要求1所述的方法，还包括：

 选择所述第二批多个交通移动规划之一作为所述第二优化交通移动规划以供执行。

5、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

采用第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件；和

对照所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件，并且基本上基于所述第一批多个交通移动规划，继续利用第二规划边界进行规划，从而反复产生所述区域的交通的所述第二批多个交通移动规划。

6、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

采用所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件；和

对照所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件，作为响应利用第二规划边界重新规划，从而反复产生：(a)基本上基于所述区域的交通的所述第一批多个交通移动规划中的一些的第三批多个交通移动规划，和(b)与所述区域的交通的所述第一批多个交通移动规划无关的第四批多个交通移动规划，作为所述区域的交通的所述第二批多个交通移动规划。

7、按照权利要求 5 所述的方法，还包括：

使目标函数值与所述第一批和第二批多个交通移动规划中的每一个相关联；和

采用下述操作，作为所述继续利用所述第二规划边界进行规划：

根据所述目标函数值，破坏所述第一批多个交通移动规划至少之一，

修改所述第一批多个交通移动规划至少之一，以便改进其目标函数值，

采用所述第一批多个交通移动规划中的多个交通移动规划产生所述第二批多个交通移动规划之一，

响应与所述当前交通条件相关的至少一种干扰，修改所述第一批多个交通移动规划至少之一，和

独立于所述第一批多个交通移动规划，产生所述第二批多个交通移动规划至少之一。

8、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

确定所述第一批和第二批多个交通移动规划的目标函数值；和
根据所述目标函数值，选择所述第一批和第二批多个交通移动规划
的所述之一作为所述第二优化交通移动规划。

9、按照权利要求 8 所述的方法，还包括：

5 采用每个所述目标函数值的多个目的。

10、按照权利要求 8 所述的方法，还包括：

根据目标函数值，对所述第一批和第二批多个交通移动规划分
级；和

根据所述分级，选择所述第二优化交通移动规划以供执行。

10 11、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

继续所述采用所述第一规划边界，并在所述选择所述第一批多个
交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行之前，持续预
定时间，反复产生所述区域的交通的第一批多个交通移动规划。

12、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

15 使第一规划远景与所述第一规划边界相关联，使稍后的第二规划
远景与所述第二规划边界相关联；

输入时间表变化；

按照所述第二规划远景和所述时间表变化，调整所述第一批多个
交通移动规划至少之一；和

20 采用所述第一批多个交通移动规划中的所述调整后的至少一个
交通移动规划，产生所述第二批多个交通移动规划至少之一。

13、按照权利要求 12 所述的方法，还包括：

在所述更新所述第一规划边界之前，持续预定时间继续所述调整
和所述产生所述第二批多个交通移动规划至少之一。

25 14、按照权利要求 12 所述的方法，还包括：

提供所述第一批和第二批多个交通移动规划中的每一个的对应
目标函数值和对应年龄；和

作为所述第一批多个交通移动规划中的每一个的对应年龄的函
数，降级对应目标函数值。

15、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

删除所述第一批多个交通移动规划至少之一。

16、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

5 确定所述第一批和第二批多个交通移动规划的目标函数值；和
根据所述目标函数值，选择所述第一批和第二批多个交通移动规划中的所述一个作为所述第二优化交通移动规划。

17、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

使第一规划远景与所述第一规划边界相关联，使稍后的第二规划远景与所述第二规划边界相关联；

10 输入时间表变化；

按照所述第二规划远景和所述时间表变化，调整所述第一批多个交通移动规划至少之一；和

采用所述第一批多个交通移动规划中的所述调整后的至少一个交通移动规划，产生所述第二批多个交通移动规划至少之一。

15 18、按照权利要求 17 所述的方法，还包括：

在更新所述第二规划边界之前，持续预定时间继续所述调整和所述产生所述第二批多个交通移动规划至少之一。

19、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

20 利用具有所述第一规划边界的所述第一优化交通移动规划，采用多个当前执行的保留；

利用具有所述第一规划边界的所述第一优化交通移动规划，采用多个当前提交的保留；和

采用预期将在具有所述第一规划边界的所述第二批多个交通移动规划的后续规划周期内提交的多个保留。

25 20、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

把所述第一批多个交通移动规划和所述第二批多个交通移动规划中的至少一些包括在交通移动规划池中。

21、按照权利要求 20 所述的方法，还包括：

采用包括第一代的所述第一批多个交通移动规划和第二代的所

述第二批多个交通移动规划的所述池中的多代交通移动规划。

22、按照权利要求 20 所述的方法，还包括：

采用所述池中的大约 50 个所述第一批和第二批多个交通移动规划。

5 23、按照权利要求 21 所述的方法，还包括：

重新确定所述区域的当前交通条件；

根据所述重新确定的当前交通条件，更新所述第二规划边界，从而提供所述交通的第三规划边界；

10 采用所述第三规划边界，并反复产生第三代的所述交通移动规划中的第三批多个交通移动规划；

提供所述第一、第二和第三代的每个交通移动规划的对应目标函数值和对应年龄；

作为所述第一批和第二批多个交通移动规划中每一个的对应年龄的函数，降级对应目标函数值；

15 根据所述第一批和第二批多个交通移动规划中每一个的降级的对应目标函数值，和所述第三代的每个交通移动规划的对应目标函数值，确定最佳规划；和

20 比较所述第二优化移动规划的对应目标函数值与所述最佳规划的目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第二优化交通移动规划。

24、按照权利要求 23 所述的方法，还包括：

采用每个所述各代的规划周期；和

在采用所述降级之前，持续预定计数的所述规划周期保持所述目标函数值。

25 25、按照权利要求 24 所述的方法，还包括：

采用与所述第一批和第二批多个交通移动规划相关的规划窗口；

和

在所述规划窗口过去之后，丢弃所述规划方案。

26、按照权利要求 24 所述的方法，还包括：

采用所述目标函数值中具有正值的一个和所述目标函数值中具有负值的另一个；和

使所述正值和负值降级。

27、按照权利要求 24 所述的方法，还包括：

5 采用所述目标函数值中具有正值的一个或所述目标函数值中具有负值的另一个；和

使所述正值和负值之一降级。

28、按照权利要求 20 所述的方法，还包括：

采用所述池中的每个交通移动规划的对应目标函数值；

10 根据对应的目标函数值，对所述池中的交通移动规划排序；和

根据所述排序，选择所述池中的所述交通移动规划之一作为所述第二优化交通移动规划。

29、按照权利要求 28 所述的方法，还包括：

15 在把所述交通移动规划中的对应一个加入所述池中之前，确定所述交通移动规划中的所述对应一个的对应目标函数值。

30、按照权利要求 29 所述的方法，还包括：

当把所述交通移动规划中的所述对应一个加入所述池中时，对所述交通移动规划中的所述对应一个排序。

31、按照权利要求 28 所述的方法，还包括：

20 采用所述池中的每个交通移动规划的对应年龄；

作为对应年龄的函数，降级所述池中的所述交通移动规划中的对应一个的对应目标函数值；和

响应所述降级，对所述池中的所述交通移动规划中的所述对应一个重新排序。

25 32、按照权利要求 20 所述的方法，还包括：

从所述池中删除所述第一批多个交通移动规划中的一些和所述第二批多个交通移动规划中的一些，以便在所述池中保持预定计数的交通移动规划。

33、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

采用所述区域的多种类型的所述交通条件；和

采用检查所述多种所述交通条件至少之一的变化作为所述对照所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件比较所述当前交通条件。

5 34、按照权利要求 33 所述的方法，还包括：

采用铁路网中的变化和列车排序变化中的至少之一作为所述类型的所述交通条件至少之一的所述变化。

35、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

10 对照所述第一优化交通移动规划的所述第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件，并确定重新规划分数；和

当所述重新规划分数超过预定值时，采用所述重新规划。

36、按照权利要求 35 所述的方法，还包括：

考虑列车时间表变化，作为响应确定包括所述列车时间表变化的所述重新规划分数；和

15 当包括所述列车时间表变化的所述重新规划分数超过预定值时，采用所述重新规划。

37、按照权利要求 36 所述的方法，还包括：

根据变化的列车时间表的计数与规划远景中的列车计数的比值，确定变化的列车的相对数；

20 根据增加的列车的计数与规划远景中的所述列车计数和增加的列车的所述计数的比值，确定新列车的相对数；

采用变化的列车的所述相对数和新列车的所述相对数来确定所述重新规划分数。

38、按照权利要求 37 所述的方法，还包括：

25 确定变化的列车时间表的相对总持续时间；

把变化的列车的所述相对数乘以变化的列车时间表的所述相对总持续时间；

确定新列车时间表的相对总持续时间；

把新列车的所述相对数乘以新列车时间表的所述相对总持续时

间，从而提供一个乘积；和

采用所述乘积来确定所述重新规划分数。

39、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

5 对照所述第一优化交通移动规划的所述第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件，并确定重新规划分数；

采用所述区域的多种类型的所述交通条件；和

当所述重新规划分数超过预定值或者响应所述类型的所述交通条件至少之一的变化，采用所述重新规划。

40、按照权利要求 39 所述的方法，还包括：

10 确定作为所述重新规划分数的函数的计数；和
产生所述第四批多个交通移动规划的所述计数。

41、按照权利要求 40 所述的方法，还包括：

采用第一计数作为所述计数；

确定所述第一批多个交通移动规划的第二计数；

15 根据所述重新规划分数的所述函数确定百分率；和
确定所述第一计数为所述百分率乘以所述第二计数。

42、按照权利要求 39 所述的方法，还包括：

确定作为所述重新规划分数的函数的计数；和

重新产生所述计数的所述第三批多个交通移动规划。

20 43、按照权利要求 42 所述的方法，还包括：

采用第一计数作为所述计数；

确定所述第一批多个交通移动规划的第二计数；

根据所述重新规划分数的所述函数确定百分率；和

确定所述第一计数为所述百分率乘以所述第二计数。

25 44、按照权利要求 39 所述的方法，还包括：

确定作为所述重新规划分数的函数的第一计数和第二计数；

重新产生所述第一计数的所述第三批多个交通移动规划；和

产生所述第四批多个交通移动规划的所述第二计数。

45、按照权利要求 39 所述的方法，还包括：

把所述重新规划分数的第一函数用于所述第一计数;

把所述重新规划分数的第二函数用于所述第二计数; 和
采用等于 1 的所述第一和第二函数的总和。

46、按照权利要求 39 所述的方法, 还包括:

5 把所述重新规划分数的第一函数用于所述第一计数;

把所述重新规划分数的第二函数用于所述第二计数; 和

当不存在时间表变化时, 采用小于 0.5 的所述第一和第二函数的
总和。

47、按照权利要求 1 所述的方法, 还包括:

10 根据所述当前交通条件, 提供所述第一优化交通移动规划的第一
目标函数值;

从所述第一和第二批多个交通移动规划之一, 确定一个最佳规
划;

根据所述当前交通条件, 提供所述最佳规划的第二目标函数值;

15 和

比较所述第一目标函数值与所述第二目标函数值, 以便确定是否
用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

48、按照权利要求 47 所述的方法, 还包括:

20 确定所述第二目标函数值比所述第一目标函数值小预定量, 并且
作为响应, 用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

49、按照权利要求 47 所述的方法, 还包括:

提供所述第一和第二批多个交通移动规划中的每一个的对应目
标函数值和对应年龄;

25 作为所述第一批多个交通移动规划中的每一个的对应年龄的函
数, 降级对应目标函数值;

根据所述第一批多个交通移动规划中的每一个的降级的对应目
标函数值, 和所述第二批多个交通移动规划中的每一个的对应目标函
数值, 确定所述最佳规划; 和

比较所述第一目标函数值和所述最佳规划的目标函数值, 以便确

定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

50、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

对照所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件，并确定重新规划分数；

5 确定所述重新规划分数超过预定值，作为响应采用所述当前交通条件来产生第二批多个交通移动规划；

根据所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值；

10 从所述第一和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划；

根据所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值；

比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

51、按照权利要求 6 所述的方法，还包括：

15 采用所述区域的多种类型的所述交通条件；

确定所述当前交通条件中，所述区域的所述类型的所述交通条件至少之一的变化，作为响应采用所述当前交通条件来产生所述第二批多个交通移动规划；

20 根据所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值；

从所述第一和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划；

根据所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值；

25 比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

52、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

产生所述区域中的铁路网中的多列列车的所述第一批多个交通移动规划；和

借助所述铁路网中的交通条件的变化，动态优化所述铁路网内的

所述列车的移动。

53、按照权利要求 52 所述的方法，还包括：

采用所述铁路网中的多个线路区段；

采用多个保留，每个所述保留代表从进入日期/时间到离开日期/
5 时间，所述列车之一对所述线路区段之一的计划使用；和
组合所述保留，从而产生所述第一和第二批多个交通移动规划之
一。

54、按照权利要求 53 所述的方法，还包括：

采用所述第一规划边界作为一组所述保留；

10 确定所述铁路网中每个所述列车的当前位置和速度；和
根据所述第一优化交通移动规划，以及根据所述铁路网中的所述
列车的当前位置和速度，确定所述保留。

55、按照权利要求 54 所述的方法，还包括：

采用多个当前保留作为一些所述保留；

15 关于所述列车之一采用第一车厢和最后一节车厢；

在所述线路区段之一上采用所述第一车厢；

确定在到达所述线路区段的所述之一之前，所述第一车厢招致的
延误，和所述第一车厢在所述线路区段的所述之一上招致的延误延长；
和

20 应用关于每个所述当前保留招致的所述延误和招致的所述延误
延长。

56、按照权利要求 54 所述的方法，还包括：

关于所述列车的所述之一，采用包括第一车厢和最后一节车厢的
多节车厢；

25 把第一车厢进入所述线路区段之一的日期/时间用作所述进入日
期/时间；

把最后一节车厢离开所述线路区段的最后一个所述线路区段的
日期/时间用作所述离开日期/时间。

57、按照权利要求 54 所述的方法，还包括：

确定所述铁路网中的多个线路阻断，线路速度限制和列车位置间距；

根据所述铁路网中的所述线路阻断，所述线路速度限制和所述列车位置间距，计算重新规划分数；

- 5 确定所述重新规划分数超过预定值，作为响应采用铁路网的所述当前交通条件来产生所述第二批多个交通移动规划；

根据所述铁路网的所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值；

- 10 从所述第一和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划；

根据所述铁路网的所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值；

比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

- 15 **58、**按照权利要求 54 所述的方法，还包括：

采用所述列车的多个列车时间表；

确定所述列车时间表的至少一个列车时间表变化；

响应所述至少一个列车时间表变化，采用所述铁路网的所述当前交通条件来产生所述第二批多个交通移动规划；

- 20 根据所述铁路网的所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值；

从所述第一和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划；

- 25 根据所述铁路网的所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值；

比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

59、按照权利要求 52 所述的方法，还包括：

把所述第一优化交通移动规划转换成多个命令；

采用所述铁路网的多个路线清除和控制命令作为所述命令;

输出所述路线清除和所述控制命令,以便控制所述铁路网中所述列车的实时交通移动。

60、按照权利要求 59 所述的方法,还包括:

5 采用计算机辅助调度系统来执行所述路线清除和所述控制命令。

61、按照权利要求 60 所述的方法,还包括:

从所述计算机辅助调度系统接收关于所述铁路网中的所述列车的数据; 和

10 采用所述数据来产生所述铁路网中的所述列车的所述第一批多个交通移动规划。

62、按照权利要求 52 所述的方法,还包括:

定期产生所述铁路网的列车的所述第二批多个交通移动规划;

根据所述铁路网的所述当前交通条件,提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值;

15 从所述第一和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划;

根据所述铁路网的所述当前交通条件,提供所述最佳规划的第二目标函数值;

20 比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值,以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

63、按照权利要求 62 所述的方法,还包括:

采用选自包括准时性能,最佳时间和使总延误最小化的组中的至少一个目标来确定所述第一和第二目标函数值。

64、按照权利要求 50 所述的方法,还包括:

25 采用多种类型的所述交通条件; 和

在所述重新规划分数中,采用每种所述类型的加权因子。

65、按照权利要求 64 所述的方法,还包括:

采用多个线路阻断的第一类型,多个线路速度限制的第二类型,和多个列车位置间距的第三类型作为所述类型; 和

采用与所述第一、第二和第三类型相关的多个总和。

66、按照权利要求 65 所述的方法，还包括：

采用与所述线路速度限制相关联的零速度；和

使与所述第一类型相关的总和等于与所述第二类型相关的总和。

5 67、按照权利要求 1 所述的方法，还包括：

显示所述第一优化交通移动规划的表现。

68、按照权利要求 67 所述的方法，还包括：

显示包括所述第一优化交通移动规划的时间-距离表现的列车图，以便显示铁路网中的列车的多个规划移动。

10 69、按照权利要求 50 所述的方法，还包括：

采用所述区域中的铁路网；

把多个线路阻断，线路速度限制和列车位置间距包括在所述铁路网中；和

15 确定作为所述铁路网中的所述线路阻断，线路速度限制和列车位置间距的函数的所述重新规划分数。

70、按照权利要求 51 所述的方法，还包括：

确定列车时间表的变化，作为响应产生所述第二批多个交通移动规划。

20 71、一种用于具有多个交通和所述交通的多个交通条件的区域的动态优化交通规划设备，所述设备包括：

输入代表所述交通条件的信息的装置；和

执行多种例程的装置，所述例程包括：

25 规划监视器，用于根据所述区域的交通条件，确定所述交通的第一规划边界，确定所述区域的当前交通条件，并根据所述当前交通条件，更新所述第一规划边界，从而提供所述交通的第二规划边界；

规划发生器，用于连续采用所述第一规划边界和所述第二规划边界，分别反复产生所述区域的交通的第一批多个交通移动规划和第二批多个交通移动规划，选择所述第一批多个交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行，选择所述第一批和第二批多个交通移

动规划之一作为第二优化交通移动规划以供执行，并连续输出所述第一和第二优化交通移动规划；和

规划执行器，用于连续把所述第一和所述第二优化交通移动规划转换成控制所述区域中的交通移动的多个命令。

5 72、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述规划发生器采用所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件；其中所述规划监视器对照所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件；其中所述规划发生器基本根据所述第一批多个交通移动规划，持续预定时间利用第二规划边界继续规划，
10 从而反复产生所述区域的交通的所述第二批多个交通移动规划。

73、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述规划发生器采用所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件；其中所述规划监视器对照所述第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件，比较所述当前交通条件，作为响应向所述规划发生器发送一个信号；其中响应所述信号，所述规划发生器利用第二规划边界重新规划，从而反复产生作为所述区域的交通的所述第二批多个交通移动规划的：(a)基本基于所述区域的交通的所述第一批多个交通移动规划中的一些的第三批多个交通移动规划，和(b)与所述区域的交通的所述第一批多个交通移动规划无关的第四批多个交通移动规划。
15

20 74、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述规划执行器连续把所述第一和第二优化交通移动规划转换成对应的提出的近期移动规划，以便手动控制所述区域中的交通移动。

75、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述规划执行器连续把所述第一和第二优化交通移动规划转换成多个自动控制命令，以便自动控制所述区域中的交通移动。
25

76、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述区域包括通勤轨道系统；其中所述交通条件是通勤轨道交通条件。

77、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述区域包括铁路网；其中所述交通条件是铁路交通条件。

78、按照权利要求 77 所述的动态优化交通规划设备，其中所述规划监视器确定所述第一规划边界和对应的规划远景；其中所述规划发生器输入所述铁路网的多个列车时间表，列车性质和线路描述，并输出在从所述规划边界到所述对应规划远景的预定时间间隔内，多列
5 列车的多个相遇/通过规划作为所述第一优化交通移动规划。

79、按照权利要求 77 所述的动态优化交通规划设备，其中所述铁路网包括多列列车；其中所述交通条件包括列车延误，所述铁路网中的变化，以及所述列车的时间表变化；其中所述规划监视器根据所述列车延误，所述铁路网中的所述变化，以及所述列车的所述时间表
10 变化至少之一，确定所述规划发生器是否有必要进行重新规划。

80、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述第一优化交通移动规划包括多个第一交通条件；其中所述输入装置用所述当前交通条件更新代表所述交通条件的所述信息；其中所述规划监视器对照所述第一优化交通移动规划的多个第一交通条件，比较所
15 述当前交通条件，确定重新规划分数，并确定所述重新规划分数超过预定值；其中作为响应，所述规划发生器确定作为所述重新规划分数的函数的第一计数和第二计数，重新产生所述第一批多个交通移动规划的所述第一计数，并产生所述第二批多个交通移动规划的所述第二计数。

81、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述输入装置用所述当前交通条件更新代表所述交通条件的所述信息；其中所述规划发生器根据所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值，产生所述区域的交通的所述第二批多个交通移动规划，从所述第一批和第二批多个交通移动规划之一中确定一
20 个最佳规划，根据所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值，并比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

82、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述第一优化交通移动规划包括多个第一交通条件；其中所述输入装置用

所述当前交通条件更新代表所述交通条件的所述信息；其中所述规划监视器对照所述第一优化交通移动规划的多个第一交通条件，比较所述当前交通条件，确定重新规划分数，并确定所述重新规划分数超过预定值；其中作为响应，所述规划发生器采用所述当前交通条件来产生所述第二批多个交通移动规划，根据所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值，从所述第一批和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划，根据所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值，并比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

83、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述输入装置用所述当前交通条件更新代表所述交通条件的所述信息；其中所述规划监视器采用所述区域的多种类型的所述交通条件，并确定所述当前交通条件中，所述区域的所述类型的所述交通条件至少之一的变化；其中作为响应，所述规划发生器采用所述当前交通条件来产生所述第二批多个交通移动规划，根据所述当前交通条件，提供所述第一优化交通移动规划的第一目标函数值，从所述第一批和第二批多个交通移动规划之一中确定一个最佳规划，根据所述当前交通条件，提供所述最佳规划的第二目标函数值，并比较所述第一目标函数值和所述第二目标函数值，以便确定是否用所述最佳规划替代所述第一优化交通移动规划。

84、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述执行装置包括用于所述规划监视器，所述规划发生器和所述规划执行器的单一处理器。

85、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述执行装置包括用于所述规划监视器和所述规划发生器的第一处理器，和用于所述规划执行器的第二处理器。

86、按照权利要求 71 所述的动态优化交通规划设备，其中所述执行装置包括用于所述规划监视器的第一处理器，用于所述规划发生

器的第二处理器，和用于所述规划执行器的第三处理器。

87、一种用于具有多个交通和所述交通的多个交通条件的区域的交通管理系统，所述系统包括：

输入代表所述交通条件的信息的装置；

5 执行多种例程的装置，所述例程包括：

规划监视器，用于根据所述区域的交通条件，确定所述交通的第一规划边界，确定所述区域的当前交通条件，并根据所述当前交通条件，更新所述第一规划边界，从而提供所述交通的第二规划边界，

10 规划发生器，用于连续采用所述第一规划边界和所述第二规划边界，分别反复产生所述区域的交通的第一批多个交通移动规划和第二批多个交通移动规划，选择所述第一批多个交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行，选择所述第一批和第二批多个交通移动规划之一作为第二优化交通移动规划以供执行，并连续输出所述第一和第二优化交通移动规划，和

15 规划执行器，用于连续把所述第一和所述第二优化交通移动规划转换成多个命令，以便控制所述区域中的交通移动；和

执行所述命令，从而控制所述区域中的交通移动的装置。

88、按照权利要求 87 所述的交通管理系统，其中执行所述命令的所述装置是控制所述区域中的列车的移动的计算机辅助调度系统。

20 89、按照权利要求 88 所述的交通管理系统，其中所述计算机辅助调度系统包括具有关于所述区域的铁路基本设施和控制的信息的数据库。

90、按照权利要求 87 所述的交通管理系统，其中执行所述命令的所述装置是发出控制所述交通的命令的交通控制系统。

25 91、按照权利要求 90 所述的交通管理系统，其中所述交通控制系统选自运行控制中心，网络管理中心，网络控制中心和交通控制中心。

92、按照权利要求 87 所述的交通管理系统，其中所述区域包括具有多列列车的铁路网；其中代表所述交通条件的所述信息包括来自

所述铁路网的动态数据；其中所述规划发生器输入所述铁路网的多个列车时间表，列车性质和线路描述，并产生所述铁路网中的所述列车的多个优化相遇/通过规划作为所述第一和第二批多个交通移动规划；其中执行所述命令的所述装置采用来自所述铁路网的所述动态数据；

5 其中根据来自铁路网的所述动态数据，所述相遇/通过规划不违反关于所述铁路网的所述列车时间表，所述列车性质和所述线路描述的任何约束。

93、按照权利要求 87 所述的交通管理系统，其中所述区域包括具有多列列车的铁路网；其中所述执行装置显示包括所述第一优化交通移动规划的时间-距离表现的列车图，以便显示所述铁路网中的所述

10 列车的多个规划移动。

94、按照权利要求 87 所述的交通管理系统，其中所述第一规划边界包括所述第一优化交通移动规划的多个保留，所述第一优化交通移动规划的多个目前提交的保留，和预期将在所述第二批多个交通移动规划的后

15 续规划周期内提交的多个保留。

动态优化交通规划方法和系统

5 技术领域

本发明涉及交通规划的方法，更具体地说，涉及产生并动态修改优化的交通移动规划的方法。本发明还涉及动态优化交通规划系统，例如铁路或通勤（commuter）火车动态优化交通规划系统。

10 背景技术

运输基本设施由特定地理区域内的交通工具(例如而不限于卡车；火车；轮船或小船)的多个物理航线(例如而不限于道路；铁路；运河)组成。交通规划是关于特定的运输基本设施和有限的一段时间，确定对应的多个交通工具将沿其而行的多条路线(即，每个交通工具一条路线)，以及在规定的时间，期望这些交通工具位于它们各自的路线上的何处的过程。多于一条的路线构成移动规划（movement plan）。

虽然交通规划按照惯例一直由人进行，不过交通规划过程也可由在已知运输基本设施数据，关于要规划的各个交通工具的数据，交通工具时间表，物理和运行约束，和与交通移动有关的其它数据的情况下，产生移动规划的自动化交通规划器，或者简单地交通规划器实现。例如就火车运输来说，这样的交通规划器采用轨道基本设施数据(例如铁轨；信号；转辙器(switch))，关于要规划的各个火车的数据，火车时刻表，物理和运行约束，以及和火车移动相关的其它数据。

为了执行由交通规划器产生的移动规划，这些移动规划被转换成控制命令，所述控制命令被用于控制现场设备的状态，确定交通工具被允许如何移动。就火车来说，控制命令改变信号灯的状况，它指示火车应如何向前移动(例如继续飞快地移动；减速移动；停止)，和转辙器的位置(例如正常或者反转)，它确定火车将行驶的具体轨道。在黑暗的(无信号)地域，用里程标志(即，火车被允许沿其规划路线从其

当前位置移动到特定的里程标志), 地标或地理位置规定火车的向前移动。把控制命令发送到现场由自动化的交通控制系统, 或者简称为控制系统进行, 交通规划器与所述控制系统连接。控制系统由铁道部门用于根据火车的个体性质或铁道基础设施, 控制火车的移动。不同地
5 称为计算机辅助调度(CAD)系统, 运行控制系统(OCS), 网络管理中心(NMC)和中心交通控制(CTC)系统的系统使控制在铁道基本设施内行驶的火车的移动的过程自动化, 不管它涉及传统的固定块控制还是由积极的火车控制系统辅助的移动块控制。在黑暗地域中, 控制火车的移动是通过监视控制系统的操作员和机车工程师之间的话音通信来实现的。
10 控制系统起交通规划器和现场中的接收并执行控制命令的设备之间的接口的作用。控制系统和现场设备之间的连接可通过与路旁的电子控制器通信的控制线路来实现, 所述电子控制器再直接与现场设备连接, 或者在黑暗地域中, 通过与人的话音通信来实现, 该人手动实现状态改变动作(例如通常转换投掷开关)。

15 交通规划器既向控制系统发送信息, 又从控制系统接收信息。交通规划器发送控制命令, 并以交通规划器能够阅读的消息的形式接收与信号和转辙器的实际状态, 速度限制变化和火车位置相关的信息。移动规划被转化成发送给控制系统以便执行的多个路线清除(route clear), 转辙器位置变化和其它控制命令。控制系统再以现场设备可读的格式把这些命令发送到现场。交通规划器及时地把控制命令发送给
20 控制系统, 以便控制命令和预期将在现场发生的实际变化相符。即, 为了实时地控制火车的移动, 必须以控制命令与火车的当前位置一致的方式把命令发送到现场。例如, 应以这样的方式在火车之前清除信号(即变成绿色), 以致火车能够保持其速度, 但是不会过早清除信号, 以致它们干扰沿相反方向移动的另一火车的计划移动, 在为其清除信号
25 的火车之前, 所述另一火车将经过同一轨道。

一些交通规划器采用从控制系统接收的信息(即现场更新)来修改当前正在执行的移动规划, 以便计及自从产生当前正在执行的移动规划以来发生的预料之外的现场变化。即, 修改当前正在执行的移动规

划的主要原因(尽管不是唯一原因)是如果在现场发生了计划外的变化。现场的规划状态需要尽可能紧密地与现场的实际状态相符,以便能够执行规划认为应执行的一切(即,火车的配置使控制命令能够如同预期的那样发生作用)。如果火车和现场设备根据在当前正在执行的移动规划中陈述的或者以其它方式暗示的它们的计划或预期行为动作,那么将不必包括任何现场更新。

操作员采用控制系统利用计算机界面来监视火车的移动,所述计算机界面近实时地示意显示这样的移动。常见的这种界面有两种。第一种界面是轨道图,轨道图以不按比例的非地理方式显示轨道,以便指示火车在轨道上的位置,它们移动的权限(lined route),轨道转辙器和它们的位置,信号灯和它们的颜色,以及其它各种设备,例如检测发热的轴轴轴承的轴温探测器,和诸如桥梁之类的地标。轨道图的关键特征是近实时地显示正在现场发生的一切。轨道图指出火车的当前位置,以及已允许它们移动到的地方。

操作员用于监视铁路系统的运行的第二种界面是“标线(string line)”,它是规划火车位于何处以及何时的时间-距离图。一般来说,该图的垂直轴表示位置(一般由站名表示),水平轴表示时间。火车的移动被显示成向上或向下倾斜的斜线,取决于移动的方向。从而,在相同时段内,在相同轨道上沿相反方向移动的两列火车的标线会形成X形结构。虽然时间-距离图一般不按比例绘制,不过标线的斜率粗略地指示各个火车的速度。例如,在某一火车被停止的时间内,其标线会是水平的。火车移动得越快,其标线的斜率的绝对值越大。标线图的关键特征在于它们描述规划火车在未来是如何移动的。火车操作员能够了解两列火车计划在何处相遇或者某列火车计划何时到达特定位置。

交通规划可被分成非优化交通规划或优化交通规划。非优化交通规划涉及不考虑性能标准(例如准时到达目的地;相对较高的平均速度)的路线的确定。

已知几个铁路系统采用非优化交通规划器,它不具有优化铁路网

中火车的移动的能力。它局限于根据一组固定的规则工作。具体地说，它根据一组固定的火车优先权规划火车，以致首先规划优先权最高的火车的开动，其次规划次高优先权的火车的开动，依次向下直到优先权最低的火车。每当存在冲突(例如两列火车试图同时使用相同的一段轨道)时，非优化交通规划器根据对应火车的优先权解决该冲突(即，
5 优先权最高的火车首先经过该轨道)。这种非优化交通规划器的一个例子是宾夕法尼亚州匹兹堡市的 Union Switch&Signal,Inc.销售的 AutoRouter(或 ART)。

相反，优化交通规划采用优化目标来引导规划过程，以致所得到的移动规划最佳地满足一个或多个性能标准。货运铁路系统对优化交通规划感兴趣，因为服务需求(例如运送货物)不断增大，并且预计在可预测的将来将按照这种方式继续增大。由于铺设新的铁路(这是增大服务能力的一种途径)相当昂贵，铁路系统正在寻找更多地利用他们的
10 现有铁路基本设施的容量的途径。优化火车的开动的交通规划能够增大交通的密度，从而利用更多的现有铁路基本设施容量，同时保持高水平的准时性能，对于铁路系统的客户来说这是非常重要的。

交通规划(不论是优化交通规划还是非优化交通规划)还可被分成静态规划和动态规划。静态规划是根据铁路基本设施数据，和要规划的各个火车相关的数据，火车时间表，物理和运行约束，以及和火车
20 的开动相关的其它数据，产生初始的移动规划的过程。所述初始的移动规划规定将在有限的一段时间内，在特定地理区域内行驶的所有火车的移动。一旦被产生，初始的移动规划可被执行，如上所述。静态规划意味着永远不对初始规划进行任何修改。

动态规划由用作为现场发生的变化的结果的新的移动规划替换目前正在执行的移动规划组成，所述变化是意料之外的，于是目前正在执行的移动规划未考虑到所述变化。即，规划时事件未在现场中发生(例如，火车的移动速度可能慢于计划的速度；在特定的一段轨道实际了速度限制；发生了设备故障)。只有当现场正在按照规划(或者非常接近于规划)变化时，才不需要动态规划。由于总是有在现场发生的
25

未预料到的或者未规划的变化，因此如果关于铁路系统的交通规划要有效的话，那么它必须是动态的。

已知的动态规划可被分成两种不同的类型，取决于产生新的移动规划的方式。第一种由不考虑当前正在执行的规划，产生全新的规划，并用新的规划代替当前正在执行的规划来组成。对当前正在执行的规划不做任何修改，以便产生新的规划。在新的移动规划的产生中，没有使用源于当前正在执行的移动规划的任何数据。

第二种动态规划涉及对当前正在执行的移动规划的修改。所述修改是高度局部化的改变，例如移动单个会车点(即，一列火车必须等于另一列火车通过的地点)，或者调整各个火车速度，以致已规划的会车点被保留。这些修改一般只影响一列或两列火车和一个或两个基本设施位置，其余的移动规划保持不变。

就优化交通规划来说，第一种动态规划产生与当前正在执行的规划无关的新的优化移动规划。这种动态规划方法费时，因为产生初始规划会比修改当前正在执行的规划花费更多的时间，取决于所采用的优化方法。

第二种动态规划采用局部优化，它会不利地影响全局优化的移动规划；即，相对于目标测量的整个规划的优化程度可能变小。在多数情况下，局部优化不会改进规划的整个全局优化。

美国专利 No.5794172 和 6154735 公开产生多列火车的移动规划的各种优化方法。在专利 5794172 中要求保护的方法是粗粒优化的模拟退火法(以便产生火车运输的高级时间表)，和更细粒优化的分枝限界法(以便根据时间表产生更详细的移动规划)。专利 6154735 要求保护用于产生优化的移动规划的约束传播法和聚焦模拟退火法。专利 5794172 还要求保护对火车进行并不遵守预定移动规划(当前正在执行的规划)的调整的系统。这样的调整随后被传送给这些火车。专利 5794172 还要求保护当发生冲突(两列火车试图同时经过同一轨道)时，借助分枝限界技术确定冲突的解决方案的系统。体现对各个火车的调整或者特定冲突的解决的系统会是第二种动态规划的实现。

美国专利 No.5623413 要求保护用于产生优化的火车移动规划的分枝限界法和基于程序的推断方法, 和利用分别涉及基于规则的推断和基于约束的推断的规则放宽或约束放宽重新计划的方法。实现这些重新计划方法的系统应被看作第二种动态规划的例子。

- 5 美国专利 No.5177684 公开根据预定的火车时间表(即火车的预定发车时间和到达时间是固定的), 优化产生移动规划的火车移动规划器。由延迟成本(由通过延迟一个交通工具, 从而另一交通工具能够通过而导致的成本)限制的深度优先搜索算法把不可行的会车点(即在单一轨道出现的会车点)调整到能够发生会车的位置。这种火车移动规划
- 10 优化方法确定在不增加由火车在提出的会车点的延迟而引起的任何较大成本的情况下, 火车是否可满足提出的时间表。

- 美国专利 No.6304801 和 6546371 公开一种特别优化铁路走廊内火车的移动的梯度搜索方法。该梯度搜索方法由成本函数指导, 通过把每个会车点移动到铁路侧线, 并评估这样做带来的成本, 所述成本
- 15 函数能够关于出发火车确定最佳的时间表。通过改变火车速度和/或火车出发时间(即, 火车进入所述走廊的时间), 还能够调整各个火车时间表。

- 美国专利 No.6459964 要求保护一种用于火车的粗粒调度的系统和细粒移动规划产生方法。专用 6459964 还要求保护一种移动规划纠
- 20 正方法, 该方法是上述第二种动态规划的一个例子。系统对照细粒移动规划监视火车的前进, 识别使用轨道时火车之间的冲突。系统随后确定解决火车的的同时的轨道使用的可用会车点选项, 并选择对整个移动规划影响最小的一个会车点(局部优化)。没有考虑可能由选择的选项的实现而引起的任何冲突。当出现问题时, 该系统纠正问题, 而不管
- 25 这些纠正(即新的会车点)可能具有的导致火车在时间上进一步冲突的影响。

在交通规划方法和交通规划系统方面仍然存在改进空间。

发明内容

本发明满足了这些和其它需要,本发明动态优化动态变化环境中的铁路网内的列车的移动。例如,计算机软件产生多个列车移动规划,修改这些规划以便考虑到对预期铁路列车运行的意外变化,并选择优化的列车移动规划。从而,这种基于软件的方法和系统重新规划动态环境,例如动态变化的铁路网中的列车的移动。

公开了第三种动态规划,类似于第二种动态规划,这种动态规划涉及对当前正在执行的规划的修改,但是与第二种动态规划的不同在于允许每种变化影响其余的移动规划。即,其余的移动规划被调整以适应每种变化。

就优化交通规划来说,第三种动态规划通过在包括对当前正在执行的移动规划做出的变化的情况下,全局优化当前正在执行的移动规划,合并这些变化。其与第一种动态规划的不同在于当前正在执行的移动规划被用在新的移动规划的生成中。

作为本发明的一个方面,为具有多个交通和多个交通条件的区域产生优化的交通移动规划的方法包括:根据该区域的交通条件,确定交通的第一规划边界;采用第一规划边界,并反复产生该区域的交通的第一批多个交通移动规划;选择所述第一批多个交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行;输出第一优化交通移动规划,以便控制该区域中的交通移动;确定该区域的当前交通条件;根据当前的交通条件,更新第一规划边界,从而提供交通的第二规划边界;采用第二规划边界,并反复产生该区域的交通的第二批多个交通移动规划;选择所述第一批和第二批多个交通移动规划之一作为第二优化交通移动规划以供执行;输出第二优化交通移动规划,以便控制该区域中的交通移动。

该方法可采用第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件,并对照第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件比较当前的交通条件,作为响应利用基本上基于第一批多个交通移动规划的第二规划边界进行规划,从而反复产生该区域的交通的第二批多个交通移动规划。

该方法可采用第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件,并

对照第一优化交通移动规划的第一批多个交通条件比较当前的交通条件，作为响应利用第二规划边界重新规划，从而反复产生作为该区域的交通的第二批多个交通移动规划的：(a)基本上基于该区域的交通的第一批多个交通移动规划中的一些的第三批多个交通移动规划，和(b)与该区域的交通的第一批多个交通移动规划无关的第四批多个交通移动规划。

作为本发明的另一方面，用于具有多个交通和所述交通的多个交通条件的区域的动态优化交通规划设备包括：输入代表交通条件的信息的装置；和执行多种例程的装置，所述例程包括：根据该区域的交通条件，确定交通的第一规划边界，确定该区域的当前交通条件，并根据当前交通条件，更新第一规划边界，从而提供交通的第二规划边界的规划监视器，连续采用第一规划边界和第二规划边界，分别反复产生该区域的交通的第一批多个交通移动规划和第二批多个交通移动规划，选择第一批多个交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行，选择第一批和第二批多个交通移动规划之一作为第二优化交通移动规划以供执行，并连续输出第一和第二优化交通移动规划的规划发生器，和连续把第一和第二优化交通移动规划转换成控制该区域中的交通移动的多个命令的规划执行器（plan executive）。

作为本发明的另一方面，用于具有多个交通和所述交通的多个交通条件的区域的交通管理系统包括：输入代表交通条件的信息的装置；执行多种例程的装置，所述例程包括：根据该区域的交通条件，确定交通的第一规划边界，确定该区域的当前交通条件，并根据当前交通条件，更新第一规划边界，从而提供交通的第二规划边界的规划监视器，连续采用第一规划边界和第二规划边界，分别反复产生该区域的交通的第一批多个交通移动规划和第二批多个交通移动规划，选择第一批多个交通移动规划之一作为第一优化交通移动规划以供执行，选择第一批和第二批多个交通移动规划之一作为第二优化交通移动规划以供执行，并连续输出第一和第二优化交通移动规划的规划发生器，和连续把第一和第二优化交通移动规划转换成控制该区域中的交通移

动的多个命令的规划执行器；和执行所述命令，从而控制该区域中的交通移动的装置。

附图说明

5 结合附图，根据优选实施例的下述说明，能够更全面地理解本发明，其中：

图 1 是根据本发明的动态优化交通规划器(DOTP)的示意方框图。

图 2 是根据本发明的一个实施例的产生优化的交通移动规划的方法的方框图。

10 图 3 是表示图 1 的 DOTP 和计算机辅助调度(CAD)系统之间的接口的示意方框图，利用它们之间的接口，DOTP 被分成实时组件和近实时组件。

图 4 是图 3 的规划发生器，规划监视器，规划执行器和 CAD 系统的动作的流程图。

15 图 5A-5B 是表示图 4 的规划和重新规划周期的流程图。

图 6 是图 1 的包括与(关于现场变化)的重新规划分数的计算相差的模块的规划监视器的方框图。

图 7 是图 6 的规划监视器的 TrainGap 和 PublishedPlan 组件的方框图。

20 图 8 是由图 1 的 DOTP 输出的标线火车图的例子，表示由动态增加轨道组(track block)而引起的移动规划。

图 9 表示规划边界和各种保留的例子。

图 10 表示把旧的移动规划调整到新的边界条件的例子。

25 具体实施方式

下面将在产生通过区域铁路网的火车的优化移动规划的方法和软件系统方面说明本发明，不过本发明适用于各种交通应用(例如而不仅限于铁路；通勤铁路；运河)。

参见图 1，表示了动态优化交通规划器系统(DOTP)2。DOTP 2

是产生通过铁路网 10(例如铁路系统轨道网)的火车,例如火车 6,8 的优化移动规划,例如规划 4,随后当铁路系统 12 的状态在一定程度上不同于当前正在执行的移动规划 13 设想的状态时,进行重新规划的软件系统。铁路系统 12 的状态 68 被连续监视,并且每个规划周期,为了规划发生器 56 的利益,铁路系统 12 的状态 68 被更新。DOTP 2 中连接负责实时控制火车 6,8 的移动的恰当交通控制系统,例如计算机辅助调度(CAD)系统 14。DOTP 2 产生初始移动规划,以便填充解决方案池 172(图 5A),并且当系统被启动时,公布优化的移动规划,例如规划 4。在 DOTP 2 运行之后,该系统利用从现场(例如铁路系统 12)接收的实际数据,连续产生优化的移动规划,另外还动态地重新规划,所述实际数据指示现场的当前状态。这自动实现火车 6,8 的移动规划。DOTP 2 还向控制火车 6,8 的人提出建议(例如,分别通过界面 16 和 18,火车图显示器 20(例如恰当的服务器和用户界面(未示出)) and (轨道图)人机界面(MMI)显示器 22)。另一方面, DOTP 2 可与任何其它适当的控制系统(未示出)连接。

DOTP 2 产生多种解决方案(移动规划),并对照它优化的目标,根据优化标准(目标)推荐“最佳”的解决方案。例如,这种标准可以与准时性能,最佳时间,使总时延降至最小,使在地点层面离散的商业目标函数最小化,或者这些和/或其它优化标准的某一组合相关联。选择的具体标准取决于特定铁路系统,例如铁路系统 12 的商业目标。DOTP 2 一般以和更好的准时性能结合的增大的容量利用率的形式,提供显著改进的运行效率,并且由于它避免拥塞,因此 DOTP 2 将通过避免不安全的火车配置,提高安全等级。

动态优化规划(它包括考虑到现场变化)是在不断变化的环境中产生优化的移动规划(例如详细的会车/过车规划)的规划方法。

这里使用的术语“保留”将明白地包括(但不限于)从进入日期/时间到离开日期/时间,特定火车对某一段铁路的计划使用。进入日期/时间与第一节车厢(例如机车;火车头)进入特定一段轨道的时间相一致。离开日期/时间与最后一节车厢(例如车尾)离开特定一段轨道的时

间相一致。所述保留是一个基本的规划人工产物。关于所有被规划火车的所有保留的某一基于时间的组合构成移动规划。

例 1

移动规划的产生遵守各种限制(例如轨道速度限制;永久的速度限制;临时速度限制)和约束(例如火车类型,比如客车,货车;动力类型:柴油,AC,DC;火车高度、长度、重量、宽度和其它组成特征,例如危险货物)。另外,移动规划产生遵守可进一步限制移动规划的产生的铁路设备和线路设备(例如转辙器和立体交叉道路)的固有特征。例如,某一线路区段的使用禁止可能被连接或者不被连接的另一线路区段的使用。作为另一例子,包括位于正常位置的转辙器的某一线路区段持续一段时间阻止包括相同位置中的相同转辙器的另一线路区段的使用,所述一段时间取决于前一线路区段的使用。由于路旁对不同的转辙器施加的条件,立体交叉道路中转辙器的组合限制某些线路区段的使用。例如,使用某些线路区段的较宽火车会妨碍平行线路区段的使用。这些是任何交通规划发生器为了产生可执行的规划而应遵守的条件。另外,应考虑所有运行规则和约束(例如一些火车不被允许通过某些线路;车间时距和列车分离约束;可使用备选站台)。所有这些应反映在构成下面说明的移动规划和规划边界的一组保留中。

($track_i$ 上 $train_j$ 的)保留,列车服务($train_j$)的保留集合,和移动规划(Plan)可分别由等式 1、2 和 3 表示:

$$R_{track_i}^{train_j} = \{Train_j, Track_i, BeginDateTime_i^j, EndDateTime_i^j\}, \quad (Eq. 1)$$

$$R^{train_j} = \bigcup_{i=TrainPosTrack}^{FinalDestTrack} \{R_{track_i}^{train_j}\}, \text{ and} \quad (Eq. 2)$$

$$Plan = \bigcup_{j=1}^{n_{trains}^{horizon}} \{R_{track_i}^{train_j}\}; \quad (Eq. 3)$$

其中:

$$BeginDateTime_i^j = LocoEntryDateTime_i^j,$$

$$EndDateTime_i^j = EndTrainExitDateTime_i^j,$$

$n_{trains}^{horizon}$ 是和当产生移动规划时的规划周期对应的时间间隔(即当前时间到规划远景)中的列车的数目。

如上所示,列车服务($train_j$)的保留集合包含时间表中从当前位置

(TrainPosTrack)到最终目的地(FinalDestTrack)的线路区段(track_i)的所有保留。某一列车服务的两个连续保留的保留间隔重叠,如等式 4 中所示:

$$\begin{aligned} & [BeginDateTime'_i, EndDateTime'_i] \cap [BeginDateTime'_{i+1}, EndDateTime'_{i+1}] = \\ & = [LocoExitDateTime'_i, EndTrainExitDateTime'_i] \end{aligned} \quad (\text{Eq. 4})$$

5 其中:

i 和 *i*+1 是两个连续的线路区段。

LocoExitDateTime'_{*i*} 代表当 train_{*j*} 的第一节车厢(例如机车)离开 track_{*i*} 时的日期和时间,

10 EndTrainExitDateTime'_{*i*} 代表当 train_{*j*} 的最后一节车厢(例如车尾)离开相同 track_{*i*} 时的日期和时间。

(相同线路区段中)两个不同列车服务的保留间隔不重叠,除非列车被允许同时占用相同的线路区段(例如,根据铁路系统的运行规则和约束)。

15 这里使用的术语“规则周期”代表在动态优化交通规划器,例如 DOTP 2 获得最新现场信息(例如它已累积的现场信息),并将其应用于新规划的产生之后的时间量;或者代表在相同的交通和交通条件下,规划器用于产生规划的时间量。例如,(常见的)标准规划周期的持续时间小于重新规则周期的持续时间。重新规则周期可中断当前的规则周期。在规则周期结束时,可公布优化的移动规划,只要它比先前公
20 布的规划好一定的数量。根据要求,可在规划周期结束之前公布移动规划。

这里使用的术语“规则边界”(或者“深度规划边界”)明确地包括(但不限于)执行中的以前保留的集合,提交的保留,和预期在下一规则周期内将提交的保留。

25 这里使用的术语“反复产生”明确包括(但不限于)对应的规划边界的对应规划周期、时段或窗口内多于一个的交通移动规划的顺序和/或并行产生。

例 2

例如，如图 9 中所示，各列列车，例如列车 24(图中只表示了一列列车)已占用执行中的保留 30、32 的线路区段 26、28。提交的保留 3436、38 包括已由 DOTP 2 分配的保留。这样的提交保留未被 DOTP 2 倒转；但是，手动干预可倒转它们，假定执行这样的操作是安全的。

5 预期列车将根据这些保留在不久的将来移动，并且已被允许这样做。一般来说，这意味着允许列车在它们控制的线路区段 40、42、44 内开动的信号灯特征。当预期列车将连续开动时，关于每列列车的多个保留可被包括在该深度规划边界 45 内。列车停止(例如停在某一车站或者由于交通条件的缘故而停止)会导致提交的保留的数目减小(例如降

10 到 0)(甚至预期成为提交保留)。如图 9 中所示，其它保留 46,48 预期将在下一规划周期内提交。其它保留 50、52、54 将在下一规划周期内规划。保留 50、52、54 和到列车服务结束时或者到规划远景的所有其它保留(它们在规划边界之外)可在下一规划周期内规划或修改。

这里使用的术语“规划远景”表示超出动态优化交通规划器，例如

15 图 1 的 DOTP 2 规划列车的开动的规划边界的时间点。规划远景(例如图 9 中的 55)可以是超出规划边界的任何适当的时间点。作为一个非限制性例子，规划远景一般可在从当前时间开始的 1~24 小时之间，不过各种时间也是可能的。

这里使用的术语“交通”明确地包括(但不限于)主要由货车和客车组成的铁路交通，和主要由客车组成的通勤轨道交通，不过它可包括

20 货车。

这里使用的术语“交通条件”明确地包括(但不限于)交通基本设施的状态变化，例如轨道封闭，转辙器封闭速度限制和列车位置间隔(即，铁路网中规划的列车位置和实际的列车位置之间的间距)。

25 这里使用的术语“当前交通条件”明确地包括(但不限于)最好关于恰当的规划窗口，例如当前时间和恰当的规划远景之间的规则窗口确定的某一区域的交通条件的目前已知的和/或预测的状态。

这里使用的术语“重新规则分数”(例如数字值)明确地包括(但不限于)交通条件的改变和时间表改变(不接近当前时间的时间表改变)的

数值表示。例如,考虑到每种事件类型的细节,可评估不同事件类型(变化)的贡献。每种事件类型的相对重要性可由对应的加权因子来量化。

这里使用的术语“特殊事件”明确地包括(但不限于)运行上重要的交通条件,它不是重新规则分数的一部分;当到达规划区域时列车顺序变化;不遵循规定的移动规划的列车;对接近当前时间的列车时间表的变化;和对列车组成的改变(例如增加装有危险货物的一车车厢;明显的列车长度变化)。

这里使用的术语“重新规则周期”明确地包括(但不限于)当重新规划分数到达预定的(例如配置的)重新规划阈值,或者当发生某些特殊事件时触发的规划周期。可根据对环境中的变化的所需响应,设置重新规划阈值。从而,如果交通条件显著变化,以致规划产生过程中采用的假设过时,那么规划周期可被中断,可提供新的规划边界。

这里使用的术语“目标函数值”明确地包括(但不限于)由移动规划的目标函数的值测量的该规划的“优良性”(例如,移动规划优化有多好的相对指示符)。移动规划的目标函数值对照现场的最新状态,反映规则的优良性。在更复杂的环境中,可考虑多个目标。如果目标函数被组合,那么单一值可代表整体目标,这种情况下,每个目标被称为一个目的。当目标未被组合成一个明确的整体目标时,目标函数值可由目标函数值的向量代替。这种情况下,解决方案(即移动规划)的适当性由对照该向量表述的条件确定。

例 3

图 5 中表示了目标函数的一个例子。该目标是根据利用评估点离散模拟的整体商业目标函数使加权迟滞时间最小化。

$$f = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} w_{ij} f_c(\tau_{ij}) \quad (\text{Eq. 5})$$

其中:

w_{ij} =每个列车服务的 $f(\text{date}, \text{time}, \text{direction})$, 就该函数来说,根据商业目标(例如预定的并且在配置表中呈递给规划器的商业目标)确定 f ;

$\tau_{ij}=(-1)(\text{列车 } j \text{ 的评估点 } i \text{ 的预定时间}-\text{实际时间});$

n_j 是列车 j 的评估点(EP)的数目, 在相对简单的实现中, 每个 EP 是预定点(SP)。换句话说, 不是所有的 SP 必须是 EP: $\bigcup_i^{n_j} EP_i \subseteq \bigcup_i^{k_j} SP_i$ 。

在更复杂的实现中, EP 不是 SP, 但是来源于它们;

k_j 是预定点的数目;

5 m 是列车服务的数目, 为物理列车计划所述每个列车服务;

f_c 是取决于延迟的局部成本函数。在简单的情况下, $f_c(\tau_{ij}) = \tau_{ij}$ 。

例 4

等式 6 表示包括多个单独目的的整体目标函数的一个例子。

$$F = F(f_1, f_2, \dots, f_n) \quad (\text{Eq. 6})$$

10 其中:

F 是整体目标;

f_i 是整体目标的一个单个目的;

n 是单个目的的数目; 和

i 介于 1 和 n 之间。

15 例 5

等式 7 表示一个相对简单的例子, 其中整体目标利用线性函数组合目的, 同时向不同的目的分配不同的加权。

$$F(f_1, f_2, \dots, f_n) = \sum_{i=1}^n q_i f_i \quad (\text{Eq. 7})$$

其中:

20 q_i 是对应目的的权重。

单个目的 f_i 可应用于不同的列车组。例如, 一个列车组(即一组列车)可能要求准时到达, 而另一列车组可能要求到达最终目的地的最佳时间。但是, 不同的目的也可应用于特定的列车组。

25 这里使用的术语“执行”明确地包括(但不限于)自动执行和手动执行。借助适当的交通控制系统的支持, 实现自动或手动执行。

这里使用的术语“命令”明确地包括(但不限于)路线清除和用于控制列车的移动的其它控制命令。当前正在执行的移动规划被转换成这种控制命令, 所述控制命令被发送到现场。

DOTP

继续参见图 1, DOTP 2 包括规划发生器 56, 规划监视器 58 和规划执行器 60。规划发生器 56 接收关于铁路系统 12 的输入 62(例如线路布局; 速度限制); 接收关于列车时间表的数据 64; 并产生它所规划的区域的优化移动规划, 例如规划 4。另外, 如图 3 中所示, 通过
5 规划监视器 58, 规划发生器 56 可从 CAD 系统 14 接收和混乱相关的消息 66。

图 1 的用于动态规划的规划监视器 58 连续比较铁路系统 12 的当前状态 68 和当前正在执行的移动规划(即, 规划执行器 60 的规划 13), 以便确定规划发生器 56 是否需要重新规划。列车延误, 包括线路阻塞
10 和速度限制在内的现场 12 中的变化, 或者时间表变化可在 72 触发重新规划。规划监视器 58 执行“间距分析”(例如如下结合图 6 和 7, 以及等式 18 所述), 从而确定规划边界 74(图 3), 以及计算重新规划分数 214(图 6)。

规划执行器 60 把当前移动规划 13 转换成关于路线清除和其它控制命令的请求 76, 以致这些命令可由 CAD 系统 14 执行。当需要手动
15 执行时, 规划执行器 60 向 MMI 22 提供不远的将来的一组提议的保留 78。提出的移动规划 110(图 3)是当前的(或者公布的)移动规划 4 的子集。它只包括列车, 例如列车 6 的提交的保留之前的少数线路区段。根据提出的移动规划 110 的保留 78, 操作员可手动请求路线清除(例如通过 MMI 22 提交给 CAD 系统 14 的请求)。
20

规划发生器 56, 规划监视器 58 和规划执行器 60 采用数据库接口 80, 数据库接口 80 提供对铁路基本设施数据库 82 的访问, 铁路基本设施数据库 82 包含铁路网 10 的基本设施布局和控制设备的表示, 数据库接口 80 还提供对 CAD 系统 14 的直接访问。构成这种网络的设备的状态也可被保存在铁路基本设施数据库 82 中。另外, CAD 系统
25 14 提供传播设备状态的变化的指示。

数据库接口 80 最好处理不同的数据库实现, 从而允许 DOTP 2 连接不同的 CAD 系统(未示出)和/或其它恰当的控制系统(未示出)。为此, DOTP 2 最好保持主要的基本设施和控制设备, 包括(但不限于)

线路区段, 信号和转辙器的内部表现。当需要时, 分离组件(未示出)可被加入到数据库接口 80 中, 以便连接并把在数据库 82 中获得的信息转换成内部表现。例如, 数据库接口 80 可访问本发明的受让人宾夕法尼亚州匹兹堡市的 Union Switch&Signal, Inc. 的 CAD 系统支持的基本设施和控制数据库。

DOTP 2 最好把移动规划输出给一个或多个个人机界面, 例如 16、18。例如, 列车图界面 16 向显示器 20 提供预定列车的规划移动的时间-距离(或者“标线”)列车图表现, 例如 21(如图 8 中所示)。包括时间-距离表现所需的全部详细位置和时间信息的完全公开的移动规划 84 被发送给显示器 20, 显示器 20 支持每次公布移动规划时的列车图表现。另外, CAD 图形界面 18 提供用于使包括提交的保留在内的列车移动形象化的铁路基本设施的图形(例如线路图)表现(未示出)。当自动化执行未被激活时, 规划执行器 60 向 CAD 图形界面 18 提交所提出保留 78 的短期集合(例如, 对一部分的列车或者全部列车, 比如列车 6,8)。位于 MMI 22 的操作员可使用该信息来手动把所需命令提交给 CAD 系统 14 以便执行。

图 2 表示为具有多个车辆, 例如列车 6,8(图 1)和多个交通条件, 106(图 3)的某一区域, 例如铁路系统或现场 12(图 1), 产生优化的交通移动规划, 例如 4,4'的方法。该方法包括在步骤 85 根据该区域的交通条件, 确定交通的第一规划边界 74。随后, 在步骤 85-1, 第一规划边界 74 被用于反复产生该区域的交通的第一批多个交通移动规划 87。随后, 在步骤 85-2, 交通移动规划 87 之一被选为供执行的第一优化交通移动规划 4。随后, 在步骤 85-3, 第一优化交通移动规划 4 被输出, 以便控制该区域中的交通移动。随后, 在步骤 85-4, 对规划窗口确定该区域的当前交通条件。随后, 在步骤 85-5, 第一规划边界 74 被更新, 从而根据当前的交通条件, 提供交通的新的第二规划边界 74'。随后, 在步骤 85-6, 新的第二规划边界 74'被用于反复产生该区域的交通的第二批多个交通移动规划 87'。随后在步骤 85-7, 交通移动规划 87、87'之一被选为供执行的第二优化交通移动规划 4'。之后, 在

步骤 85-8, 第二优化交通移动规划 4'被输出, 以便控制该区域中的交通移动。

步骤 85-4 ~ 步骤 85-8 随后可被重复。例如, 对于正常的规划周期 132(图 4), 多个交通条件与优化的交通移动规划 4,4'一起被采用, 对照优化的交通移动规划(例如 4')设想的对应交通条件, 比较当前的交通条件(来自步骤 85-4), 并基本基于先前的交通移动规划, 例如 87, 利用新近更新的规划边界(例如 74')继续进行规划, 从而反复产生后续的交通移动规划, 例如 87'。

另一方面, 对于重新规划周期 152(图 4), 当当前的交通条件(来自步骤 85-4)显著不同于优化的交通移动规划(例如 4')假设的对应交通条件时, 利用新更新的规划边界(例如 74')响应地进行重新规划, 从而反复产生: (a)基本基于某一在先交通移动规划, 例如 87 的多个(N1)交通移动规划 157(图 5A), 和(b)与在先的交通移动规划无关的多个(N2)交通移动规划, 例如 174(图 5A)。

参见图 3, 表示了图 1 的 DOTP 2 的各种数据交换, 包括与 CAD 系统 14 的交换, CAD 系统 14 控制现场(例如铁路系统 12)。为了恰当地执行战术规划, 规划监视器 58 和规划执行器 60 通过 CAD 系统 14 连续监视现场 12, 并实时地执行它们的对应功能。规划执行器 60 还接收当前的移动规划 4, 并根据作为来自 CAD 系统 14 的输入的信息 88(例如当前交通, 交通条件和现场设备的状态), 实现移动规划 4(例如, 将其转换成恰当的命令 86)。这种实时特征合适地控制列车移动。

规划监视器 58 在 90 评估交通条件, 在 92 评估列车位置与移动规划 4, 在 94 评估列车时间表变化, 并且如果需要, 那么请求规划发生器 56 重新规划(如在图 1 的 72 所示)。当需要重新规划时, 当前的规划周期随后被预占。规划监视器 58 准备常规的(标准)规划周期以及重新规划周期的规划边界 74, 以及重新规划周期的重新规划信息。和于(标准)规划周期(或者重新规划周期)的基本数据被包装到规划边界 74 中。来自 CAD 系统 14 的另外的信息 98, 包括(但不限于)详细的交通条件信息, 例如阻塞的位置和持续时间和速度限制或时间表变化被

缓存在 CAD 接口组件 100 中，并在规划周期开始时，作为消息 66 被转发给规划发生器 56。在规划周期结束时，选择的移动规划 4 被公布以便通过规划执行器 60 执行，规划执行器 60 为选择的移动规划 4 的自动和/或手动执行提供恰当的途径。另外，102，相同的移动规划被公布，以便通过人机界面 16 清楚地呈现。规划监视器 58 还接收公布的规划(未示出)，并且如果需要的话，关于某些列车控制规划的执行(未示出)。

规划发生器 56 以基于当前时间表的规划边界 74 的形式接收用于规划的数据，和规划周期开始时的现场 12 的状态。对于剩余的规划周期，根据该信息产生多个移动规划 104。这里，由于用于产生规划解决方案的计算量相当大，因此真实的“实时”响应是不可能的。虽然利用规划监视器表示规划边界 74 和 CAD 接口(缓存器)100，不过规划边界 74 和 CAD 接口(缓存器)100 之一或者两者可以是规划发生器 56 的一部分。

15 例 6

规划周期应支持有意义的许多规划方案，例如移动规划 104 的计算。例如，对于多达 100 列的列车和各种规划远景(例如从大约 1 小时到大约 24 小时；规划远景根据对应区域，例如图 1 的铁路系统 12 的基本设施的复杂性被定义)，一种方案的确定可能需要例如不到 2 秒的时间。从而，正常的规划周期可能需要大约 30 秒到 1 分钟。于是，当规划或重新规划时，DOTP 2 最好在很短的时间(例如在 1 分钟或者两分钟内)优化列车移动，从而使其能够动态规划。通过减小规划远景，区域大小和/或通过采用更强力的硬件和/或并行处理，能够减少这些时间。

25 总之，当产生或更新移动规划 104 时，DOTP 2 考虑对现场 12 的改变。此外，DOTP 2 与 CAD 系统 14 或者其它适当的控制系统(未示出)通信，以便接收更新的现场信息，例如交通条件 106 和 98，列车位置 108 和基本设备 98 的状态，并发送从当前正在执行的移动规划 13(图 1)产生的控制命令 86，和/或提出的近期移动规划 110。例如，

可利用 CAD 系统 14 或 MMI 22/列车图显示器 20 和规划监视器 58 及规划执行器 60 之间的恰当的消息接发系统 112 进行信息交换。相同的消息接发系统 112, 类似的一个消息接发系统, 或者任何其它适当的通信机构(例如共享存储器)可用在规划监视器 58 和规划发生器 56 之间。

图 4 表示 DOTP 2 和图 3 的 CAD 系统 14 采用的一系列动作。规划发生器 56 在图 3 的 114 的方案(即, 图 3 的交通移动规划 104)的产生一般是连续的, 并由在 116 的对交通和交通条件的更新, 以及在 118 的对规划边界 74 的更新不时打断。当条件被满足时, 规划发生器在 120 公布一个新的移动规划, 比如图 3 的规划 4。该选择的移动规划 4 根据在一个或多个目标函数(例如, 源于商业目标)中建立的标准, 提供优于先前执行的移动规划(未示出)的方案。

继续参见图 4, DOTP 2(图 1)在 122 开始执行, 之后, 规划发生器 56 和规划监视器 58 在 124 初始化。例如, DOTP 2 可包括用于规划监视器 58 和规划发生器 56 的第一处理器(P1)126, 和用于规划执行器 60 的第二处理器(P2)。另一方面, 一个或多个处理器(未示出)可执行规划发生器 56 的例程, 单个处理器(未示出)可执行规划监视器 58 的例程, 单个处理器(未示出)可执行规划执行器 60 的例程; 或者三个处理器(未示出)可执行规划发生器 56, 规划监视器 58 和规划执行器 60 的例程。初始化之后, 规划监视器 58 在 130 定义规划边界 74。

为了便于举例说明, 图 4 表示了数据和处理活动, 但是没有表示发生的同时处理。规划监视器 58 执行 116、118、130、150 和 124 的活动。规划发生器 5 执行 132、152、134、136、120 和 124 的活动。规划执行器 60 执行 140 和 146 的活动。除了当规划监视器 58 正在向规划发生器 56 发送新的边界和交通条件(在新的规划周期的开始), 并从规划发生器 56 接收新规划(在先前的规划周期的结束)时的同步之外, 规划监视器 58 和规划发生器 56 异步工作。规划执行器 60 与其它两个组件完全异步, 并对事件, 例如新公布的规划的到达起反应。

随后在 132, 规划发生器 56 采取正常的规划周期。如下结合图

5A-5B 更详细所述, 规划发生器 56 产生多于一个的移动规划 104(图 3), 并选择一个“最佳”规划 133 进一步评估。随后在 134, 规划发生器 56 利用规划边界 74 的最新更新, 重新评估先前公布的移动规划 4(图 3)。这是因为公布的移动规划 4 已被执行一段时间, 所述一段时间充分大于正常的规划周期。随后在 136, 规划发生器 56 确定是否存在新的优化移动规划。例如, 可由如同上面结合等式 5-7 或下面结合图 5A-5B 说明的适当的目标函数, 在当前的条件下评估最佳规划 133 和公布的移动规划 4(图 3)。随后, 如果最佳规划 133 的目标函数值比所公布规划的目标函数值加上(或者减去, 当最小化时)所公布移动规划 4 的适当阈值(例如 3%; 减少所公布规划的变化数目, 为有益于操作员的更稳定环境创造条件的适当值)更好(例如, 当使目标函数最小化时较小), 那么在 120 公布新的规划 4'以供执行, 只要上述条件被满足。另外, 呈列车图形式的该规划 84 被输出给列车图界面 16。对于初始执行来说, 不存在先前公布的移动规划, 在 120 公布最佳规划 133。在初始化期间, 通过采用初始的规划边界信息创建初始方案池 104(图 3)。如果初始化过程长于正常的规划周期, 那么在创建初始方案池 104 的时候, 规划边界 74 可被更新。

在正常规划周期 132 或重新规划周期 152 结束时, 如果“最佳”规划 133 比当前正在执行的移动规划 13(图 3)好(例如通过采用上面的等式 5 的 f 值)预定的(例如可配置的)相对量, 那么在 120 公布“最佳”规划 133。以包括规划执行器 60(图 3)采用的数据的适当格式 138, 把新公布的规划 4'发出以供执行。相同的规划(图 1 的 70)被规划监视器 58 接收, 并被用地确定和保持新的规划边界 74'。随后, 利用新的边界条件在 132 重新开始规划周期, 同时规划执行器 60 考虑公布的规划(如果有的话)(如下所述)。

响应新公布的规划 4', 规划执行器 60(图 3)确定该区域的执行模式。例如, 规划执行器 60 确定与该区域, 列车和基本设施的部件相关的状态。整个区域可采用手动执行模式, 一些服务可采用手动执行模式, 和/或一些信号可采用手动执行模式。此外, 规划执行器 60 处理

部分自动执行模式(在列车规划或线路区段水平上)。可采用手动执行模式考虑一些列车。即使当列车处于自动执行模式下,根据提出的近期移动规划 110(图 3),仍然手动发出一些命令。在手动执行模式下,对应的提出的移动规划(例如选择的;近期)110(图 3)在 142 被输出给 CAD 图形界面 18 以便在 144 由操作员手动执行。另外,如果存在如在 140 确定的自动规划执行,那么对应的命令 86 在 146 被输出给 CAD 系统 14。另外,提交的保留 148 被输出给 CAD 图形界面 18。

同时,规划监视器 58 在 116 更新来自 CAD 系统 14 的交通和交通条件,并在 118 更新规划边界 74。随后在 150,规划监视器 58 确定是否需要重新规划。例如,如上结合图 1 所述,规划监视器 58 对照当前正在执行的移动规划 70,连续比较铁路系统 12 的当前状态 68,以便确定是否需要规划发生器 56 重新规划。如果在 72(图 1)重新规划被触发,那么规划发生器 56 的正常规划周期 132 被中断,并在 152 被重新规划周期(如下结合图 5A-5B 所述)替换。另一方面,如果重新规划不被触发,那么在 132 继续规划发生器 56 的正常规划周期(如下结合图 5A-5B 所述)。

规划发生器

参见图 3,4 和 5A-5B, DOTP 2 从现场或办公室(未示出)接收并处理更新,例如包括列车位置 108,列车条件 106,比如轨道堵塞和速度限制,列车时间表 64(图 1)和由于规划远景的提前或规划远景内的变化而增加的列车性质。

规划发生器 56 为从当前系统时间开始到规划远景的可配置时间窗口产生多于一个的移动规划 104(图 3)。这些规划 104 的产生是循环的,每个循环试图改进现有的规划,并且每个循环处理现场 12 的新状态。在更新之后, DOTP 2 或者: (1)在图 4 的 132 继续正常的规划周期;或者(2)在 152 采用重新规划周期,取决于现场 12 的状态和列车时间表 64 的变化。

规划发生器 56 为规划时间间隔内的列车构成多于一个的详细移动规划 104(图 3)。这些移动规划是基于被规划的线路的数据的可行规

划(即,不违反任何约束,并且对于任意一段线路,不存在列车之间的任何未解决的冲突的可行规划;不存在任何死锁)。

在正常规划周期的开始,规划边界 74(图 3)被转发给规划发生器 56。来自规划监视器 58 缓存的,并在正常规划周期开始时转发的消息的其它数据(例如,交通条件 106,比如关于临时速度限制和设备阻塞的详细数据)也被用在移动规划产生的过程中。规划边界 74 由规划监视器 58 主动保持。从而,公布的移动规划 4(图 3)满足公布时的当前条件。如果边界条件以这样的方式改变,以致规划产生过程 114(图 3)中使用的假设过时,那么在图 1 的 72,正常的规划周期被中断,在图 4 的 118 提供新的规划边界 74'。

如图 3 中所示,规划发生器 56 采用移动模型 154 来计算一列列车通过特定的一段线路所需的时间。移动模型 154 利用列车特性,基本设施信息,地形信息和来自消息 66(图 3)的干扰(例如临时速度限制和线路堵塞)计算运行时间。规划发生器 56 观察并考虑交通条件方面的动态变化。一些变化(例如临时或紧急速度限制)由移动模型 154 解决。

规划发生器 56 采用下述程序来解决动态环境中规划的产生和传送:(1)根据现场 12(图 3)中的变化的重要性,重新规划 156,158(图 5A);(2)维持多代解决方案池 172,172', 172''(图 5A);(3)根据当前的规划边界 74,74'(图 4),和交通及交通条件(如上结合图 4 的 134、136、120 所述)评估和比较移动规划;和(4)根据新的服务和新的规划边界 74',升级解决方案。

参见图 5A-5B,图中表示了正常的规划周期和重新规划周期。一般来说,除了重新规划周期还包括步骤 156 和 158 之外,重新规划周期和正常规划周期相同。初始的规划周期(冷启动)(未示出)类似于重新规划周期,但是只包括步骤 158。

初始方案的产生,或者某一方案的修改或破坏可由适当的“代理”(例如代理 185)的操作来实现。另上,步骤 156 的重新产生可被用于修改(例如下所述)现有的方案,以便考虑一些新的事件。每个产生、

修改或者重新产生方案时，利用目标函数来评估所述方案，所述目标函数被用于对方案池 172(例如包括移动规划 166、168、170)排序。从而，最好在评估之后立即把方案插入方案池 172 中它的正确排序的位置。

- 5 进行排序或分级，以致相对较低的目标函数值可被认为优于相对较高的目标函数值，以致具有最低目标函数值的方案(例如图 4 的“最佳”规划 133)可在图 4 的 132 或 152 被暂时认为是“最佳的”，从而被置于方案池 172 的一端(例如顶部；底部)。虽然公开了最小化，另一方面，相对较高的目标函数值可被认为优于相对较低的目标函数值，
- 10 以致具有最高目标函数值的方案可被暂时认为是“最佳的”，从而被置于方案池 172 的一端(例如顶部；底部)。

- 规则周期开始于 160，随后在 162，更新列车时间表 64(图 1)，并用新的交通条件更新内部状态，在 164，产生详细的规划边界。规划边界 74(图 3)向规划发生器 56 提供应从其开始提供规划的每列列车的
- 15 空间点和时间点。它还提供由提交的保留施加的其它限制。预期要被提交的保留施加和提交的保留类似的约束。例如，列车时间表 64(图 1)可包括各种变化，例如新的列车正被加入，列车正被开走或者旅程结束，正被加入的列车的新目的地，正被消去或结束的列车的现有目的地，或者对列车组成的改变。如果还未被规划监视器 58 确定，那么
- 20 更多细节可被加入到规划边界 74 中(包括当列车离开边界中的最后的保留地(reservation)时的车头离开时间和速度)，以便帮助支持移动规划的产生和重新产生。从而，在方案池 172 中的方案(例如移动规划 166、168、170)被修改或重新产生之前，在重新规划周期(即在步骤 158)产生新方案(例如移动规划 174)之前，或者可能在正常规划周期(即执行步骤 176、190、192 中的一些)之前，列车时间表 64 和详细的规划
- 25 边界被更新。随后在 178，确定是否要求重新规划，如同在图 4 的 150 确定的那样。如果否，那么在 180 继续正常的规划周期。另一方面，如果要求重新规划，那么在 180 执行后续的正常规划周期之前，执行步骤 156 和 158。

在 156, 来自现有的方案池(例如方案池 172')的多个(例如计数为 N1)的移动规划 157 被重新生成。可采用顶部的 N1 个最佳方案。另一方面, 除了这些方案之外, 可随机选择一个或多个方案。例如, 计数 N1 可被确定为重新规划分数(例如来自下面的等式 18 或 20)乘以方案池 172' 中的方案的计数(例如池大小)的函数(例如下面的等式 8 中的 $f(\text{re-planning score})$)。

特定于重新规划周期的活动的主要原因是处理现场 12(图 3)中的变化, 或者导致发生重新规划周期的输入。移动规划的重新产生考虑了主要的时间表变化和现场中的干扰。重新产生过程从现有的移动规划开始, 并尝试根据现场中的新情形和所述输入修改现有的移动规划。最低限度考虑新的条件, 如果可能, 在指定方案的轮廓内解决所述干扰(例如通过改变对应的保留区间隔, 或者把没有较大变化的列车转移到整个移动规划, 处理速度限制; 所有其它保留区据此被调整)。除了重新产生的主要目的之外, 根据新的时间表和边界条件, 至少一些方案可能需要调整至少一部分它们的现有保留区(例如, 如同对正常规划周期中采用的所有方案进行的那样)。这些重新生成的方案被表示在方案池 172'' 的 157。

当各个目标函数值(OMF)(例如 OFV1, OFV2, OFV3)被确定时(这最好紧跟在任何一个方案的生成或重新生成之后), 方案最好被单独地恰当分散在现有池中, 例如 172, 172'。

随后, 在 158, 根据作为相同方案池(例如更新方案池 172')的一部分的 scratch, 产生多个(例如计数为 N2)新的移动规划(例如 174。例如, 计数 N2 可被确定为重新规划分数(例如来自下面的等式 18 或 20)乘以方案池 172' 中的方案的计数(例如池大小)的函数(例如下面的等式 9 中的 $g(\text{re-planning score})$)。

例证的重新规划策略(图 5A-5B)取决于规划监视器 58 计算的重新规划分数 214(图 6)和/或取决于导致重新规划的各种干扰类型(例如图 3 的消息 66 中的一些)。在 180 把适当的算法应用于每种干扰类型。如上所述, 当通过在 156 重新生成方案池 172' 中的计数为 N1 的最佳

现有方案，以满足在 162, 164 确定的新条件，并在 158 生成计数为 N2 的新方案 174(即，新方案不以现有的陈旧方案，例如 166、168、170 为基础)，进行重新规划时，现有的方案池 172'被修改。当生成或重新生成每种方案时，最好在池 172''内对方案 154、174 分级。

5 例 7

等式 8 和 9 分别表示根据重新规划分数，确定要重新生成的方案的计数 $N1(=f(\text{replanning score}) \cdot \text{Pool Size})$ 和要新生成的方案的计数 $N2(=g(\text{replanning score}) \cdot \text{Pool Size})$ 的两个相关函数的确定。

$$f(\text{重新规划分数}) = k_1 * \frac{\text{重新规划分数} - \text{重新规划阈值}}{\max(\text{重新规划分数}) - \text{重新规划阈值}} \quad (\text{Eq.8})$$

$$10 \quad f(\text{重新规划分数}) = k_2 * \frac{\text{重新规划分数} - \text{重新规划阈值}}{\max(\text{重新规划分数}) - \text{重新规划阈值}} \quad (\text{Eq.9})$$

其中：

$$k_1 + k_2 = 1;$$

replanning threshold 是图 4 的步骤 150 的阈值；

15 *max(replanning score)* 是重新规划分数的预定的最大值，以致超过该值的分数被赋予该极限值。

最好，当不存在时间表变化时，下面的等式 18 和 20 中的具体权重的校准确保：

$$f(\text{重新规划分数}) + g(\text{重新规划阈值}) < 0.5 \quad (\text{Eq.10})$$

例 8

20 例如，如图 5A 中所示，可根据 $x = \text{re-planning score(RS)}$, $f(x)$ 和 $g(x)$ 的恰当离散映射 198, 确定函数 $f(\text{replanning score})$ 和 $g(\text{replanning score})$ 。

例 9

25 另一方面，任何恰当的离散、连续、线性或非线性等式，函数或映射可被用于使计数 N1 和 N2 与重新规划分数及当前方案池(例如 172')的大小相关联。

规划发生器 56 可采用任何恰当的移动规划的发生器(它能够及时在生产这样的规划)，例如利用多个算法的协作计算，分枝限界技术，

和/或搜索方案空间的递归或迭代方法。即使当离线(即非动态)优化时,生成方法不依赖于方案池,通过利用在不同时刻构成的移动规划,可填充方案池。

当然,当重新规划分数(例如来自下面的等式 18 或 20)低于适当的阈值时,并且在缺少特殊事件的情况下,如上结合图 4 的步骤 150 所述,不启动重新规划。另外,当重新规划被启动时,为重新规划分数的较小值提供 N1 和 N2 的较小百分比值,为重新规划分数的较大值提供 N1 和 N2 的较大百分比值。

在 158 之后或者如果不要求重新规划,那么在 180,激活各个特
10 定于干扰的代理(算法)18。稍后,在 186,这样的代理 185 可被用于解决条件,例如阻塞。虽然一些干扰可上升到触发重新规划的特殊事件的水平,不过其它干扰不会上升到该水平,从而即使对于正常的规划周期,也可执行特定事件的激活。这些代理尝试修改现有方案以便计及指定的事件类型。结果,解决方案的概要可变化(例如,它不同于试
15 图计及初始概要内的事件的重新生成)。

随后在 182,当前方案池(例如在下一规划周期之前的池 172;步骤 15、158 之后的池 172')的目标函数值 183 被调整(例如通过采用下面的等式 11),以使相对陈旧的方案降级,如用目标函数值 183'所示。在步骤 156、158 中产生的方案是现时方案,不应被降级。随后在 184,
20 根据新建立的目标函数值 183'对当前的方案池(例如 172; 172')重新排序。最好逐个方案地应用步骤 182 和 184,而不是通过调整所有方案,随后对所有方案重新排序来应用步骤 182 和 184。用一个或多个对应的目标函数评估池 172 中的规划,从而确定最佳规划 133(图 4),例如,所述目标函数可包括诸如测定到最终目的地的最终和最佳时间的最小
25 总和之类的目标。

在该动态规划环境中,移动规划(即方案)池 172 是一个多代池。任何时候池 172 中的这些方案(例如规划 166,168,170)被修改或提出以供执行时,关于新的规划边 74'(图 4)更新它们。另外,当图 1 的时间表 64 被更新时,由于增加或消除服务,根据新的列车时间表,池 172

中的方案被升级。

可根据下面的等式 11 和 12 变更陈旧方案的目标函数值。这表示最近未参与移动规划 104(图 3)的生成的方案被降级(例如, 在等式 11 中, 它们的目标函数值被增大, 因为在本例中, 当方案的目标函数值较小, 并且规划发生器 56 使目标函数最小化时, 该方案较佳)。比规划远景定义的时间窗口陈旧的方案最好从池 172 中被除去(即破坏)。

例 10

可对降级之后的最佳方案进行重新生成。在本例中, 最好在图 5 的步骤 164 之后(未示出)立即实现图 5B 的步骤 182 和 184。最好, 在规划周期开始时执行降级, 以致新降级的目标函数值可供采用这些值的活动使用。例如, 选择池 172 中的最佳方案在 156 进行重新生成。

随后在图 5B 的 186, 利用适合于正在采用的规划生成的适当方法(例如而不限于加权随机选择), 从代理列表 185 选择恰代理, 在 176, 利用适合于正在采用的规划生成的方法(例如考虑池 172 中的方案的目标函数值; 采用目标函数值的加权随机选择), 从调整后的方案池 172' 选择一个(或多个)方案, 如果该代理需要这样的(或多个)方案。代理列表 185 可包括例如根据降级的(如果需要)目标函数值, 或者方案的相似性, 破坏某些方案的代理 A1; 修改方案以便尝试改进其目标函数值的代理 A2; 使用多个方案来产生一个新方案的代理 A3; 尝试解决干扰, 例如线路阻塞或速度限制的代理 A4; 和在不使用现有方案的情况下产生新方案的代理 A5。

例 11

如同已公开的那样, 现有的方案被用于提出新方案。恰当的代理和方案选择可简化多个方案的调整和修改, 并增大找出新的优化规划的机会。在一些规划生成情况中, 存在除了进行调整和修改外, 不进行任何其它操作的唯一一个“代理”(A2), 和在不考虑现有规划的情况下产生新规划的唯一一个代理(A5)。恰当的方法可采用代理列表 185 中的所有代理 A1-A5。

随后, 在 188, 确定来自 176 的选择方案是否为空。如果从 186

选择的代理不需要现有方案，那么会发生选择方案为空的情况。如果不为空，那么在 190，选择的方案可被调整到来自步骤 162 的新时间表，以及调整到来自步骤 164 的新规划边界。在由代理 185 使用之前，选择的移动规划(方案)可能需要考虑时间表的新的或者改变的要素。

- 5. 为新的时间表要素提出部分规划。移动规划的与被除去的时间表要求对应的部分也从移动规划中被除去。

规划边界 74(图 3)中的变化可能要求通过除去属于不对应于当前规划边界的网络分枝的线路区段的部分规划，调整某些移动规划。

例 12

- 10 如图 10 中所示，规划边界中的变化可能要求通过对属于不对应于当前边界(例如如图 10 中所示，从不存在与选择的方案中的各个后续保留的连接边界或内部边界 1001 的尾部开始)的网络分枝的线路区段，除去包括保留 1003 的部分规划和替换它，调整某些规划。包括保留 1004 的新的部分规划被这样形成，以致它很好地与剩余规划混合
- 15 (即，遵循资源分配的恰当顺序)，同时它保留考虑到当前规划边界的线路区段。保留 1003 属于旧移动规划中的列车规划 1002。除去的部分规划可包括属于在先列车规划 1002 的多个列车的保留，例如单个列车的保留 1003。这些保留被新的部分规划的保留 1004 替换。每个服务的部分规划可包括多个线路区段的保留(例如由图 10 中的垂直线
- 20 1006 分隔)，并且可覆盖多个信号灯，例如信号灯 1005(图 10 只表示了一个方向的少许信号灯；这些信号灯与在呈现的列车规划的规划边界附近规划的移动方向相关)。

如果来自 176 的方案为空，或者在 190 之后，那么在 192 根据需要，利用在 176 选择的方案，应用(即执行)在 186 选择的代理。

- 25 随后在 193 和 194，分别在 193 确定规划周期是否应被(重新规划请求)中断，和/或在 194，确定规划周期是否结束。如果在 193，规划周期被中断，那么规划发生器 56 将在 160 继续执行(即，新条件下的新的规划周期)。在 193 的重新规划请求的确定与上面在图 5A 的 178 说明的相同。这允许正常的规划周期被“中断”，而不在图 4 的 134 重

新评估, 以及在图 4 的 120 公布新的规划方案。另一方面, 为了确定周期的结束, 可在 194 比较周期在 160 开始的保存时间和当前时间。如果差值超过预定时间, 那么在 196, 在图 4 的步骤 134 重新开始执行, 以便重新评估公布的移动规划 4。否则, 在 186 重新开始执行, 选择另一代理, 之后选择另一方案。作为一个非限制性例子, 正常的规划周期的循环时间约为 60 秒, 重新规划周期的循环时间约为 90 秒。对于更快的响应, 可在规划周期结束之前公布规划。另外, 需要时, 可采用缩小的规划窗口和/或较小的区域和/或并行处理来改进响应时间。

10 例 13

在步骤 156、158、192, 在产生(新生成), 调整, 修改或者重新生成的方案被加入方案池 172 或者在方案池 172 中被更新之前, 最好为对应的移动规划确定对应的目标函数值。

15 例 14

最好, 在周期结束时, 方案池 172 中的方案的计数(例如 50; 一个适当的数字)和前一周期的计数相同。例如, 除了利用破坏者代理, 例如 A1 破坏规划之外, 方案池 172 最好被保持在方案的最大计数之下。例如, 具有最高目标函数值的一个或多个方案被破坏。

20 例 15

步骤 182 和 184 采用与池 172 中的每个移动规划相关的年龄, 作为年龄的函数, 使池 172 中的对应移动规划的对应目标函数值降级, 并响应所述降级, 对相应的移动规划重新排序。

例 16

陈旧的方案, 例如 166、168、170 的目标函数值可根据等式 11 和 12 被改变。

$$f(n) = \theta(n - (N_0 + n_0))(1 + \frac{|f(N_0)|}{f(N_0)}) D(n) f(N_0) \quad (\text{Eq. 11})$$

$$D(n) = \frac{(n - N_0)T_c}{T} q \quad (\text{Eq. 12})$$

其中:

$\theta(x) = 0$, for $(x < 0)$ or $(x = 0)$;

$\theta(x) = 1$, for $x > 0$;

n 是第 n 个规划周期;

$n < N_0 + \frac{T}{T_c}$;

N_0 是创建特定方案的规划周期;

5 $f(N_0)$ 是创建对应方案时的目标函数的初始值;

n_0 是在创建之后, 并在使方案降级之前的周期的数目;

q 是可配置的乘数;

T 是规划窗口中, $T = \text{规划远景} - \text{当前时间}$;

T_c 是正常的规划周期的持续时间。

10 通过按照所公开的方式采用 θ 函数, 等式 11 允许方案持续几个周期(n_0)保持其值。等式 12 的函数 $D(n)$ 在 n_0 周期之后实现渐进老化。在整个规划窗口过去之后, 条件 $n < N_0 + \frac{T}{T_c}$ 为方案的丢弃创造条件。系

数 $|f(N)|/f(N)$ 被用于允许正目标函数值和负目标函数值被下降 $D(n)$ 。

在例证的实施例中, 即使目标函数值指示陈旧的方案是“最佳”方案, 也不考虑公布陈旧的方案。只考虑利用任意公开的方法在当前的规划周期中形成的方案来替换当前执行的规划。在正常的规划周期中, 当最佳方案是陈旧方案时, 可重新生成该方案, 如果它仍然是最佳的, 那么可考虑用该方案替换执行中的方案。

规划监视器

20 在图 4 的 130 和 118, 规划监视器 58 向规划发生器 56 提供每个规划周期的新的规划边界 74 和 74' (图 4), 并在 150 确定是否需要重新规划。通过分析列车位置定义规划边界, 例如 74, 而重新规划条件的评估还采用现场变化(当前的及在规划远景内的), 例如设备堵塞和速度限制的检查。恰当地选择规划边界(例如它以预期将被提交的保留 46, 48 (图 9) 的形式表征提交的保留 34, 36, 38 (图 9) 结束时的时间缓冲器 (temporal buffer), 以便有效地确定能够被实现的新方案。规划边界缓冲器的大小取决于规划周期和关于提交保留的操作要求。提交某一保留可能要求其它保留被提交(例如, 它等同于为了提供“一路绿灯(high

green)”的连续列车移动，需要被成线状排列的路线的数目)。

参见图 6，通过采用统一建模语言(UML)符号表示了规划监视器 58，其中高级组件取决于低级组件(例如分层设计)。规划监视器 58 包括 Gap Analysis 模块 200 和 PlanBoundaries 模块 208。模块 200 采用最新公布的移动规划 4(图 3)和现场 12(图 3)中的条件之间的差异，并产生重新规划的建议。模块 200 采用 Speed Restriction 模块 202, Blocks 模块 204 和 TrainGap 模块 206。模块 208 也采用 TrainGap 模块 206 来根据在模块 206 中捕捉的列车位置，确定规划边界 74(图 3)。列车的规划位置和该列车的真实位置之间的间距被用于重新定义规划边界 74 的元素。

PlanBoundaries 模块 208 管理每个列车服务的边界。边界延伸到计划的排列路线之外，从而为近期的移动的发生创造条件，而不显著改变边界(例如不改变列车路线)。评估列车的实际速度，以便简化规划边界中保留时间的确定。可根据来自现场的指示(例如从线路区段到线路区段的实际移动)评估速度。精度取决于关于列车位置的输入。借助高级技术，例如采用 GPS 的技术，有关列车的位置和速度的信息变得非常精确，可更精确地计算保留时间。即使利用不太精确的信息，系统也能很好地工作，因为规划边界的最重要特征是不远的将来中列车的路线。

图 7 中表示了 TrainGap 模块 206 和 PublishedPlan 模块 210。为每个列车服务确定间距。在每个规划周期的开始评估每列列车的位置(图 7 中未示出)，并与最新公布的移动规划 4(图 3)比较。该信息由图 6 的 GapAnalysis 模块 200 和 PlanBoundaries 模块 208 使用。

TrainGap 模块 206 包括 TrainGapAnalyzer 组件 216，它总结 TrainGapServiceAnalyzer 组件 218 提供的信息，组件 218 确定每列列车的规划列车位置和实际列车位置之间的间距。

PublishedPlan 模块 210 包括 PlanReservationStore 组件 220，通过集合 ServicePlanReservationStore 组件 222 提供和保持的信息，为规划监视器 58 保持公布的移动规划 4 的完整一组保留，组件 222

又依赖于 TrainReservation 组件 224 来保持保留本身。

在常规操作中，在规划边界 74(图 3)中定义的路径并不改变，因为边界信息包括在新移动规划的生成中不能被变更的子规划(例如定义规划边界的保留的概要)。变更提交的保留 34,36,38(图 9)定义的路径要求手动干预。由于一些干扰的结果，在预期将在不远的将来提交的保留 46,48(图 9)中定义的路径可改变。规划监视器 58 识别对规划边界 74 的外部改变，以及改变缓冲器部分的需要。在多数情况下，这两种情况都伴随重新规划(即图 5A 的步骤 156,158)。

考虑到路径是固定的，相对间距信息包括进入和离开某一铁路区段，例如图 9 的 26、28、40 的时间。当评估列车的位置时，确定某一列车，例如图 9 的 24 离开某一线路区段，进入另一线路区段的时间。当某些线路区段认识到列车的存在(虽然在 CAD 系统 14 中存在一定的传播延迟)时，发送关于列车位置的消息 108(图 3)。根据现场 12 中的列车移动评估的时间随后与当前正在执行的移动规划 13(图 1)比较，并恰当地调整规划边界 74。

延迟可影响规划边界 74 中的各种保留。例如，列车(例如图 9 的 24)最后进入(当前位置)的路线的保留(例如图 9 的 32)被用于计划同一列车的后续保留(例如图 9 的 40、42、44)的延迟。规划的保留基本上被偏移。对于当前位置，计算采用除所述偏移之外的保留的总持续时间的延长(例如，第一车厢在当前占据的线路区段导致的延迟)，所述偏移影响第一节车厢的离开时间，但是不影响其进入时间。

在下面的等式 13-17 中表示的被延误列车的后续保留的影响是最优化的。对于实际的影响来说，考虑列车对规划边界 74 的影响，并根据与其它保留的交互作用，确定规划边界中的计划占用。

$$t_{LocoEntry}^b = t_{LocoEntry}^{planned} + \tau \quad (\text{Eq. 13})$$

$$t_{EndTrainExit}^b = t_{EndTrainExit}^{planned} + \tau \quad (\text{Eq. 14})$$

其中

$$\tau = t_{LocoExit}^{position} - t_{LocoExitPlanned}^{position} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$t_{LocoExit}^{position} = (t_{LocoEntry}^{position} - t_{LocoEntryPlanned}^{position}) + \tau_{extension} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$\tau_{extension} = (t_{EndTrainExit}^{position} - t_{LocoEntry}^{position}) - (t_{EndTrainExitPlanned}^{position} - t_{LocoEntryPlanned}^{position}) \quad (\text{Eq. 17})$$

$t_{LocoEntry}^b$ 和 $t_{EndTrainExit}^b$ 是(除了第一个之外的所有)边界保留的进入/离开时间;

τ 是对应边界保留的恰当优化的预期延迟;

5 $t_{LocoEntry}^{planned}$ 是对除列车当前占用的边界保留之外的边界保留来说, 第一车厢的规划进入时间;

$t_{EndTrainExit}^{planned}$ 是对除列车当前占用的边界保留之外的边界保留来说, 最后一节车厢的规划离开时间;

10 $t_{LocoExitPlanned}^{position}$ 是对第一车厢当前所处的保留区来说, 第一车厢的规划离开时间;

$t_{LocoEntry}^{position}$ 是对第一车厢当前所处的线路区段的保留区来说, 第一车厢的实际进入时间;

$t_{LocoEntryPlanned}^{position}$ 是对第一车厢当前所处的保留区来说, 第一车厢的规划进入时间;

15 $t_{EndTrainExit}^{position}$ 是对第一车厢当前所处的保留区来说, 最后一节车厢的预期离开时间;

$t_{EndTrainExitPlanned}^{position}$ 是对第一车厢当前所处的保留区来说, 第一车厢的规划离开时间;

$\tau_{extension}$ 是第一车厢所处的保留区上的延长。

20 **LocoEntry/Exit** 被认为是列车车头的进入/离开。等式 13-17 意味着列车可能晚于当前的线路区段, 以及它可在当前保留区上得到额外的延误(即延长)。这些观察被用于确定新的规划边界 74'。如果除了晚到和在当前线路区段上的额外延误之外, 确定每列列车的实际速度, 那么更准确地确定规划边界。该信息被用于重新计算规划边界的保留
25 间隔。

可按照类似的方式确定列车早到的影响。这种情况下(具有对未来规划的最大影响), 对其它列车的依赖性限制了对内部边界的影响。

深度规划边界内保留的重新评估保存了当前正在执行的移动规划13(图 1)中的顺序,并遵守永久和当前的临时约束(例如当前速度限制)。该方法考虑了列车的当前位置及其速度。

GapAnalysis 模块 200(图 6)根据堵塞,速度限制和列车位置间距
5 计算重新规划分数 214,如等式 18 和 19 中所示。

$$\begin{aligned} \text{重新规划分数} = & w_{block} * 10^7 * \sum_{i=1}^n \frac{(T-T_i) * n_i^{trains}}{T * n_{horizon}^{trains}} \left(\frac{t_i}{T} * \frac{l_i}{L} \right) + \\ & + w_{speedres} * 10^7 * \sum_{j=1}^m \frac{(T-T_j)}{T * n_{horizon}^{trains}} \sum_{k=1}^r n_k^i \left(\frac{t_i}{T * L} \sum_{j=1}^{p_i} l_j \frac{v_k^i(j) - v_i^{reduced}}{v_k^i(j)} \theta(v_k^i(j) - v_i^{reduced}) \right) + \\ & + w_{posgaps} * \sum_{i=1}^s \frac{|\Delta t_i| * T_s}{T_c^2} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$n_i^{trains} = \sum_{k=1}^r n_k^i \quad (\text{Eq. 19})$$

其中:

w_{block} 是阻塞的具体权重;

$w_{speedres}$ 是速度限制的具体权重;

10 $w_{posgaps}$ 是位置间距的具体权重;

n 是新的或者变化的堵塞(线路; 转辙器堵塞)的数目;

m 是改变的速度限制的数目;

s 是服务的数目;

l_i 是变化所影响的线路的长度;

15 t_i 是变化(堵塞或限制)的持续时间或关于保留的时间偏移;

T 是规划远景(相对于当前时间)或者规划窗口;

L 是规划区域中的主要线路的总长度;

l_j 是线路区段 j 的线路长度;

$v_i^{reduced}$ 是限制 i 的限制速度;

20 p_i 是受速度限制 i 影响的线路区段的数目;

Δt_i 是到达偏差(秒);

$T_s = t(\text{final destination}) - t(\text{expected})$, 它是为服务剩余的时间(分钟);

T_c 是规划周期时间(秒);

25 T_i 是干扰开始时间(相对于当前时间);

$n_{horizon}^{trains}$ 是规划远景中的列车的数目;

$v_k^i(j)$ 是适用于在临时速度限制 i 覆盖的线路区段 j 内的列车类型 k 的最低预存速度限制;

n_k^i 是限制区域 i 内的列车类型 k 的列车的数目;

5 n_i^{trains} 是干扰区域内规划远景中的列车的数目;

W_{block} 、 $W_{speedres}$ 和 $W_{posgaps}$ 介于例如大约 0.5 和 5.0 之间; r 是限制区域内列车类型的数目。

最好根据对规划和规划生成的预期影响, 校准这三个具体权重。在具有多列列车的位置间距的规划中产生相同变化的阻塞提供一种选择这两个对应具体权重的实际值的方式。利用不同的阻塞和被延误列车的数目(位置间距)可多次重复测试。可根据当应用干扰时, 重新生成规划的困难性, 选择对重新规划的不同贡献。如下所述直接在等式 18 中捕捉速度限制之间的相关性。但是, 通常根据重新生成和重新规划困难性, 可选择不同的权重。

15 提出等式 18, 以致当速度限制 $v_i^{reduced}$ 接近于 0 时, 速度限制项(即等式 18 中的第二行)提供和阻塞项(即等式 18 中的第一行)相同的结果(假定在这两种情况下, 在完全相同的条件下应用有效干扰), 如果不存在不同的权重的话。通过利用 18 和 19, 干扰的添加和消除都是一致的。

20 在等式 18 中, 项 $(T-T_i)/T$ 代表由当前公布的移动规划到边界的时间距离引起的干扰对所述移动规划的影响的抑制。类似地, 项 $n_i^{trains} / n_{horizon}^{trains}$ 代表由与被规划列车的总数相比的计划使用干扰区域的列车的数目引起的相对干扰效果的抑制。等式 18 的重新规划分数可被调整, 以便还考虑到列车时间表的变化, 如等式 20 中所示。

重新规划分数 = 重新规划分数 +

$$+ W_{schedule} \left(\frac{n_{change}^{trains}}{n_{horizon}^{trains}} \sum_{i=1}^{n_{change}^{trains}} \frac{T-T_i^{change}}{T} + \frac{n_{new}^{trains}}{n_{horizon}^{trains} + n_{new}^{trains}} \sum_{i=1}^{n_{new}^{trains}} \frac{T-T_i^{start}}{T} \right) \quad (Eq. 20)$$

25

其中:

T_i^{start} 是新列车的起始时间;

T_i^{change} 是时间表中的变化时间;

n_{change}^{trains} 是时间表改变的列车的数目;

n_{new}^{trains} 是增加的列车的数目;

$W_{schedule}$ 是列车时间表变化的具体权重;

重新规划分类影响取决于变化的列车的相对数, $n_{change}^{trains} / n_{horizon}^{trains}$, 和代表复杂因子的新列车的相对数 $n_{new}^{trains} / (n_{horizon}^{trains} + n_{new}^{trains})$ 。对于对重新规划分数的全部影响, 这两项都被乘以改变的或者新的列车时间表的相对总持续时间。

当对应于重新规划分数 214(图 6)的阈值被超过(例如在图 4 的 150 确定), 重新规划周期在 152 发生。规划监视器 58 把伴随有重新规划分数 214 和新规划边界 74'(图 4)的重新规划请求 72(图 1)提交给规划发生器 56。如上结合图 5A 的步骤 156,158 所述, 规划发生器 56 根据重新规划分数 214 考虑重新规划的不同水平。超过重新规划阈值并不意味着对规划边界的改变, 虽然多数时候规划边界受到影响。预期未来将发生的事件不会影响规划边界, 但是会对超出规划边界的移动规划产生重大影响。从而, 不得不立即产生新的移动规划, 以便确保新的移动规划的良好质量。

另外, 当发生当前未被例证的重新规划分数 214, 等式 18 覆盖的特殊事件, 例如列车排序改变(例如进入规划区域的列车; 在规划区域中的车站中组成的列车)和导致使列车离开规划路线的手动操作时, 规划监视器 58 可触发重新规划。上述操作变更规划边界 74。

另外, 一些列车时间表变化可立即触发重新规划, 尤其是当使边界无效时(例如, 对规划边界 74 内的时间表的改变, 或者当大量的列车时间表被修改或增加到当前时间表中, 打算显著变更当前时间表时)。另外, 对时间表的改变对重新规划分数产生影响, 如上在等式 20 中所示。不变更规划边界或者不在规划边界附近的时间表变化不必自己触发重新规划, 但是通过增大重新规划分数, 它们可对重新规划决策产生影响。另一方面, 在(规划发生器 6)做出重新规划决策之后, 重新规划分数可被增大, 以便指导规划周期决策。

当由于对规划边界 74 的改变, 继续执行当前的移动规划 4 不可

取时，规划监视器 58 可请求规划执行器 60 停止执行选择的列车服务(未示出)。例如，朝着最近强加的线路阻塞前进的列车必须被停在某一车站或者枢纽站，如果交通条件和约束禁止它到达下一目的地，以便等待操作员的决策(例如时间表改变)。当干扰拒绝列车到达某一目的地时，操作规则允许 DOTP 2 自动跳过某些车站(由规划发生器 56 执行)。

规划执行器

规划执行器 60(图 3)产生将由 CAD 系统 1 执行的自动控制命令 86 和/或提出的将手动执行(例如，根据由操作员基于提出的移动规划做出的请求)的近期移动规划，例如 110。控制命令 86 和提出的近期移动规划 110 来源于规划发生器 56 公布的移动规划 4。规划执行器 60 可监视路旁条件(例如来自 CAD 系统 14 的内部信息和监视信息 88)，以便(例如根据现场 12 的当前状态)及时地触发一系列的规划执行步骤。规划执行器 60 可采用来自 CAD 系统 14 的监视信息 88 防止规划执行短期内危及列车移动的安全(例如列车路线未被变更，它们的线状排列被暂停)。规划执行器 60 不应导致重新计算，异常中断或修改移动规划。

规划执行器 60 更多着重于操作序列而不是绝对计时地实现从规划发生器 56 接收的移动规划 4。例如，规划执行器 60 将不调整列车的开动来防止早到。早到的列车将被允许继续前行，并保持其早到，只有不违反时间表约束(例如列车联系；发车时间约束)。其次，涉及相对时间的操作被遵守。从而，如果某一列车需要标记在特定位置的停留，那么在 lining 其它信号之前，规划执行器 60 暂停该停留的持续时间。第三，不修改列车移动的顺序。从而，早到列车可能不得等待另一列车，如果移动规划 4(图 3)这样指示的话。

在移动规划 4 的执行中，规划执行器 60 采用四个步骤。首先，从 CAD 系统 14(图 3)输入包括交通条件和现场设备的状态的信息 88。这捕捉铁路系统状态变化，所述状态变化是设备状态转变或者办公室施加的条件(例如线路堵塞)。第二，评定状态变化对移动规划 4 的执

行的可能影响，并确定受影响的保留。第三，随同各个交通要素的进展一起，评定当前保留与整个移动规划执行的可能交互作用。这包括检查列车的当前位置下游的线路条件(例如可用性)。这可能导致对于选择的列车，制止当前移动规划 13(图 1)的进一步执行，而不是改变当前的移动规划。第四，通过请求控制命令 86(例 3)和/或为符合条件的保留准备近期提出的移动规划 110(图 3)，执行当前的移动规划 13。

例 17

图 8 的标线列车图 21 图解说明了由于在位置“Ltest”226 动态增加线路阻塞而得到的移动规划。可使围绕该阻塞移动的列车注意到该列车图，因为它们转变线路(例如，标线的不同绘图线类型或颜色(未示出)表示不同的铁路线路；实线代表双向快速线路；虚线代表双向慢速线路)。本例中，除了一列列车 234 之外，最初打算使用快速线路的所有列车，例如 228、230、232 在 Ltest 226 之前转变线路，并返回它们的初始线路(例如对于列车 228、230、232 来说，线型从实线(快速)变成虚线(慢速)，随后返回实线)。由于对其来说，没有自动绕过该阻塞的途径(即，它需要在阻断的线路上停在被阻断的位置)，在阻塞之前等待的所述一系列列车 234 显示阻断的持续时间(即对应于围绕 Ltest 226 的几乎水平的线路的持续时间)。这里，该线路表示它需要多长时间来通过限制区域(例如，所述限制区域可能长几英里，包括在限制区域之前的等待)。来自相反方向的列车，例如 242 不得不减速，或者甚至转变线路，以便处理由线路的不可用导致的拥塞。

按照相似的方式，对于临时速度限制(未示出)可得到有些类似的结果。

铁路系统的优化交通规划的潜在利益是巨大的。通过动态优化铁路网中列车的移动，公开的方法和系统使铁路系统能够改进其准点列车性能，改进资产利用率，增大容量利用率，增大车厢收益，增大平均列车速度，和增大通过量。

虽然为了清楚起见，这里引用了用于显示信息，例如列车图和线路图的显示器 2022，不过要认识到这样的信息可保存，打印在硬拷贝

上，被计算机修改，或者与其它数据组合。所有这些处理应被认为落入这里使用的术语“显示”的范围中。

虽然详细说明了本发明的具体实施例，不过本领域的技术人员会认识到鉴于本公开的教导，可提出对这些细节的各种修改和备选方案。

- 5 因此，公开的特定方案只是例证性的，而不是对本发明范围的限制，本发明的范围将由附加的权利要求及其所有等同的限定。

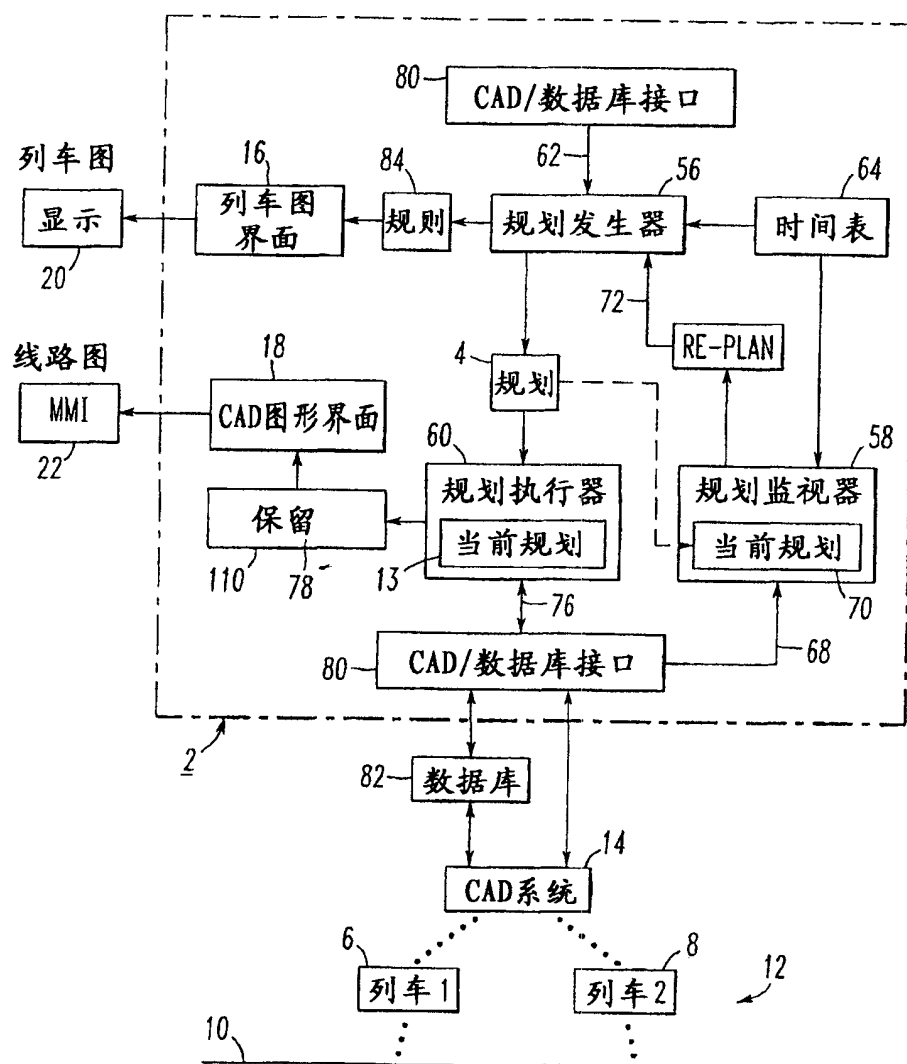
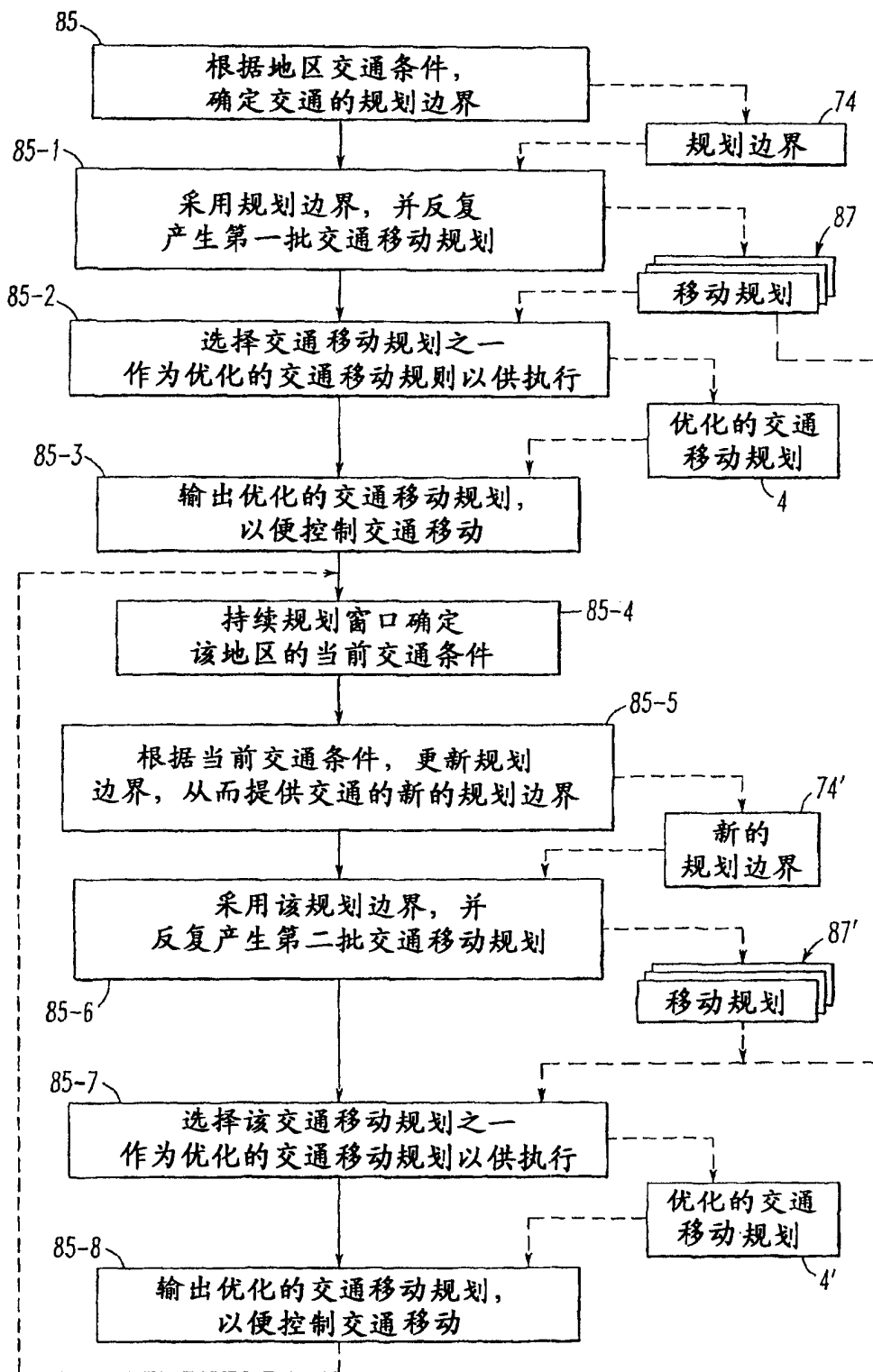


图 1



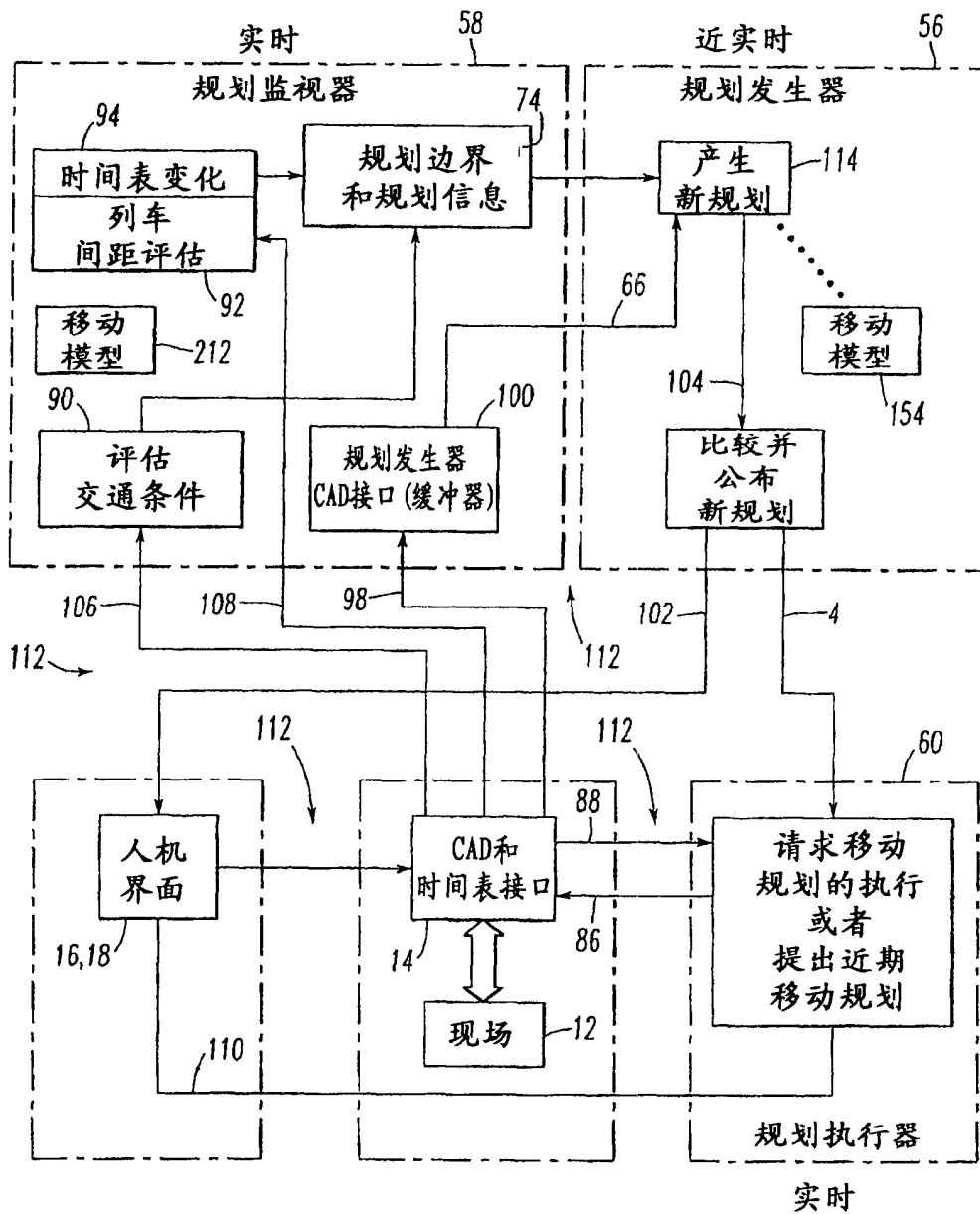
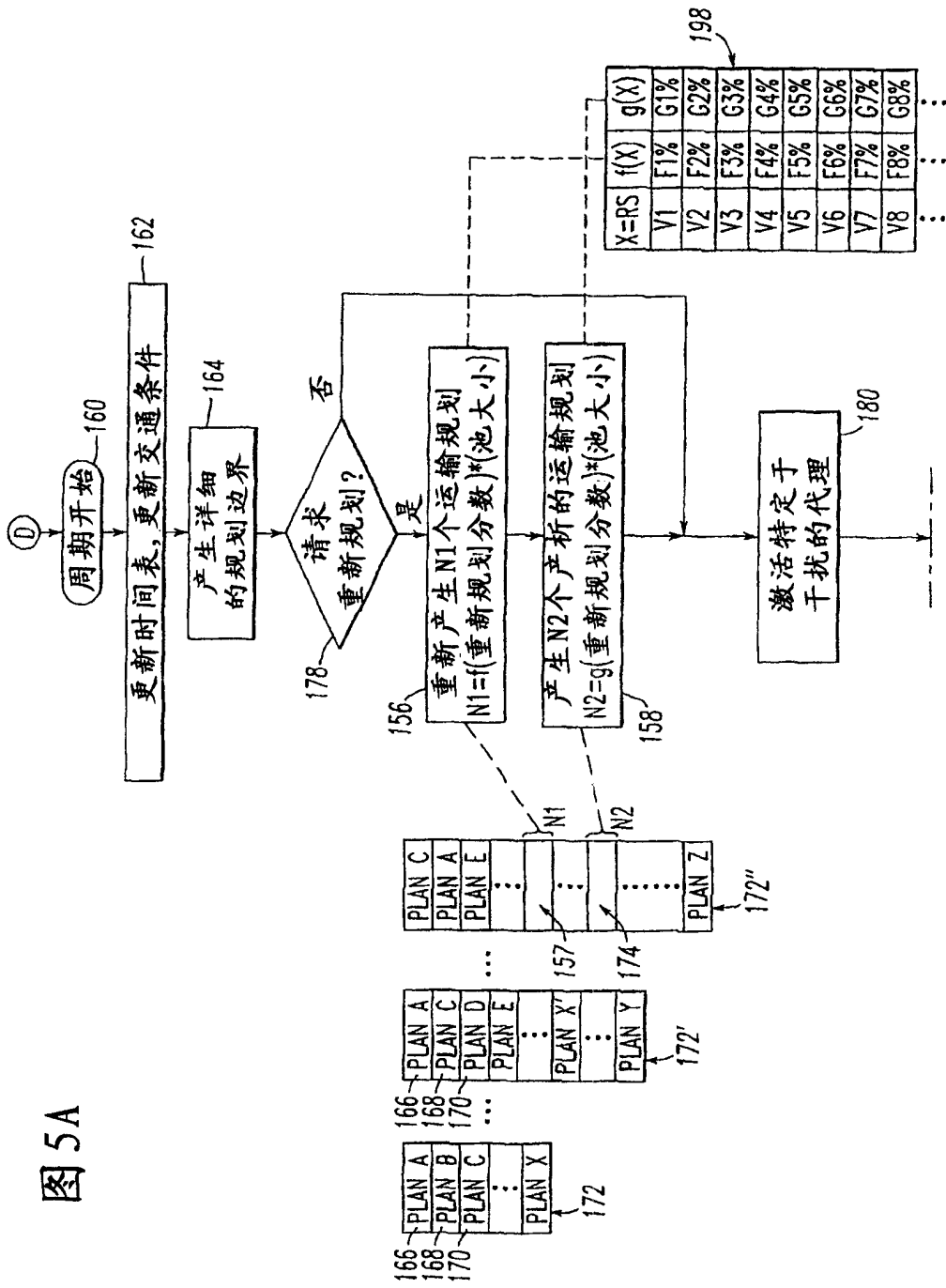


图 3



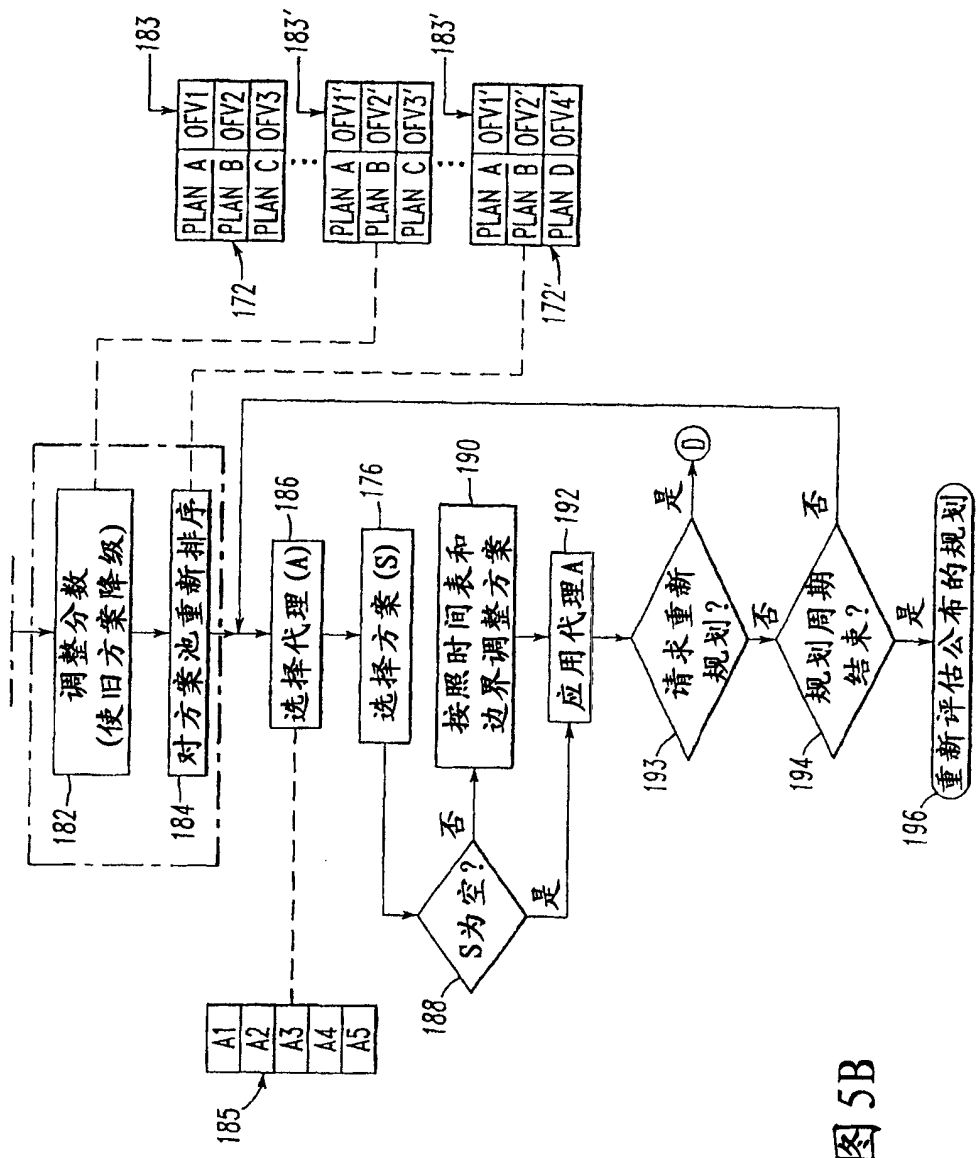


图 5B

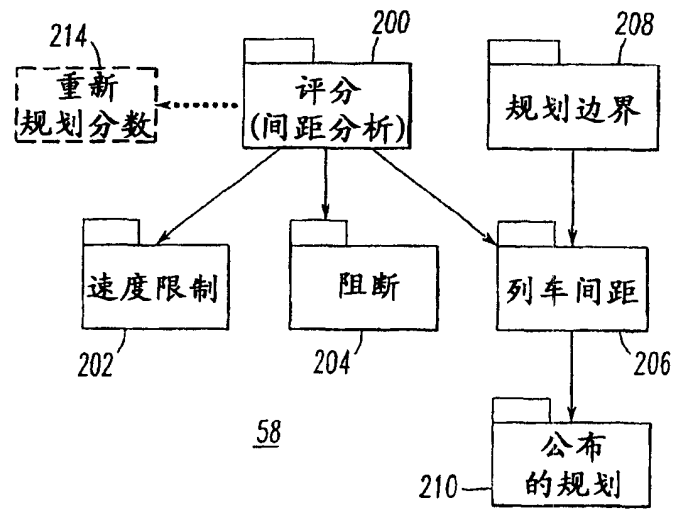


图 6

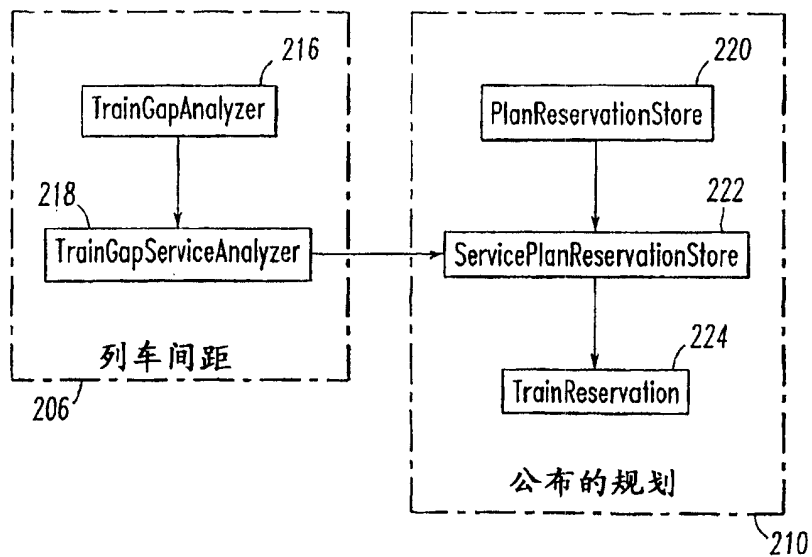


图 7

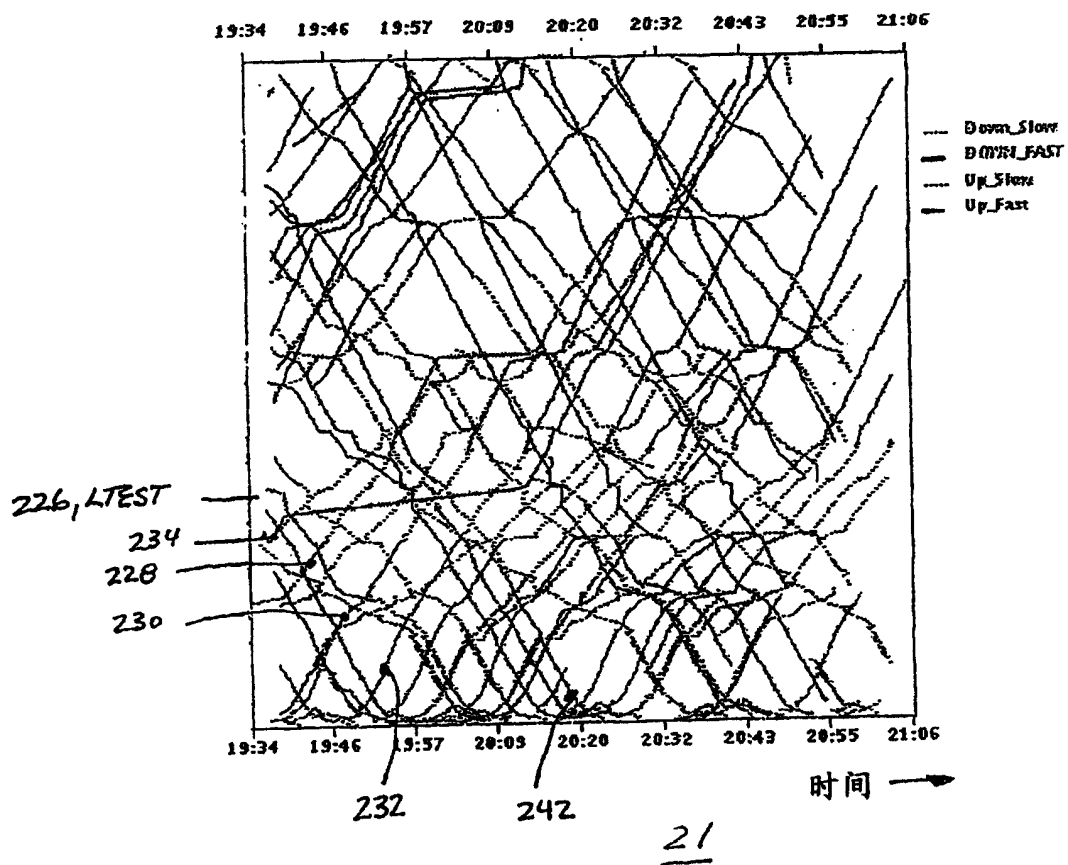


图 8

