



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116384596 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 04

(21) 申请号 202310653976.8

(22) 申请日 2023.06.05

(71) 申请人 交控科技股份有限公司

地址 100070 北京市丰台区智成北街3号院  
交控大厦1号楼1层101室

(72) 发明人 周旭 赵兴东 孙铭 王伟  
郜春海

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限  
公司 11002

专利代理师 李文清

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04 (2023.01)

G06F 17/10 (2006.01)

G06Q 50/26 (2012.01)

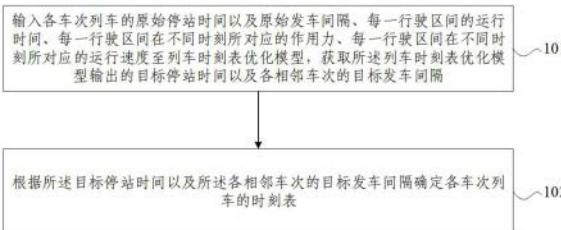
权利要求书3页 说明书15页 附图7页

## (54) 发明名称

列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介  
质

## (57) 摘要

本发明提供一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质，涉及轨道交通领域，该方法包括：输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型，获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔；根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表，本发明从再生制动能利用和发车间隔所关联的客流需求这两个角度出发，构建列车时刻表优化模型，能够为城轨列车时刻表的制定提供参考，在降低能耗的同时不降低乘客服务质量。



1. 一种列车时刻表优化方法,其特征在于,包括:

输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;

所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;

所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

2. 根据权利要求1所述的列车时刻表优化方法,其特征在于,所述输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔,包括:

在所述第二预设迭代中,重复执行如下步骤:

根据预设停站时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定所述第一目标函数的第一目标解;

根据预设发车间隔确定所述第二目标函数的第二目标解;

归一化处理所述第一目标解以及所述第二目标解,将所述第一目标解与所述第二目标解的和值取倒数后作为所述适应度函数;

直至达到预设次数后确定所有适应度函数,并从所述所有适应度函数中筛选出适应度函数最大的预设停站时间以及预设发车间隔,作为待输出停站时间以及待输出发车间隔;

在所述第一预设迭代中,重复执行预设次数的所述第二预设迭代;

确定每一次的第二预设迭代中,所述第二预设迭代所输出的待输出停站时间以及待输出发车间隔;

将适应度函数最大的待输出停站时间以及待输出发车间隔确定为目标停站时间以及目标发车间隔。

3. 根据权利要求2所述的列车时刻表优化方法,其特征在于,所述根据预设停站时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定所述第一目标函数的第一目标解,包括:

确定任一时刻下不同车次列车所在的行驶区间、供电分区以及列车工况;

根据不同车次列车所在的行驶区间、供电分区、列车工况、每一行驶区间在所述时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在所述时刻所对应的运行速度确定所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能;

根据所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能确定所述第一目标函数的第一

目标解。

4. 根据权利要求2所述的列车时刻表优化方法,其特征在于,所述根据预设发车间隔确定所述第二目标函数的第二目标解,包括:

根据预设发车间隔以及所述原始发车间隔确定相邻车次之间发车间隔变化量以及与原始发车间隔的偏差;

根据所述相邻车次之间发车间隔变化量以及所述与原始发车间隔的偏差确定所述第二目标函数的第二目标解。

5. 根据权利要求1所述的列车时刻表优化方法,其特征在于,所述列车时刻表优化模型包括决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数;

在输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型之前,所述方法还包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数构建所述列车时刻表优化模型;

所述决策变量包括预设停站时间以及预设发车间隔。

6. 根据权利要求5所述的列车时刻表优化方法,其特征在于,所述列车时刻表优化模型还包括模型假设参数;

所述根据所述决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数构建所述列车时刻表优化模型,包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数构建所述列车时刻表优化模型;

所述模型假设参数包括:

在同一供电分区内的列车利用处于制动工况的列车产生的再生制动能;

机械能转换为电能的转换系数、电能转换为机械能的转换系数以及再生制动能传递的损失系数为常数;

各车次在同一车站停站时间相同,各相邻车次发车间隔不相同或相同。

7. 根据权利要求6所述的列车时刻表优化方法,其特征在于,所述列车时刻表优化模型还包括约束条件;

所述根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数构建所述列车时刻表优化模型,包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数、所述约束条件构建所述列车时刻表优化模型;

所述约束条件包括停站时间约束、发车间隔约束、到发时间约束、追踪间隔约束、折返时间约束、折返作业约束以及车底接续约束。

8. 一种列车时刻表优化装置,其特征在于,包括:

获取单元:用于输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

确定单元:用于根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;

所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;

所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

9. 一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1-7中任一项所述的列车时刻表优化方法。

10. 一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1-7中任一项所述的列车时刻表优化方法。

## 列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及轨道交通领域,尤其涉及一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质。

### 背景技术

[0002] 目前对于列车时刻表优化,大多以再生制动能利用为主,但即便能耗得到一定程度的降低,发车间隔却又无法保证用户出行需求,进而降低了乘客服务质量。

### 发明内容

[0003] 本发明提供一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质,用以解决现有技术中乘客服务质量降低的技术缺陷,提供了一种列车时刻表优化的技术方案。

[0004] 第一方面,本发明提供了一种列车时刻表优化方法,包括:

输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;

所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;

所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0005] 根据本发明提供的列车时刻表优化方法,所述输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔,包括:

在所述第二预设迭代中,重复执行如下步骤:

根据预设停站时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定所述第一目标函数的第一目标解;

根据预设发车间隔确定所述第二目标函数的第二目标解;

归一化处理所述第一目标解以及所述第二目标解,将所述第一目标解与所述第二目标解的和值取倒数后作为所述适应度函数;

直至达到预设次数后确定所有适应度函数,并从所述所有适应度函数中筛选出适

应度函数最大的预设停站时间以及预设发车间隔,作为待输出停站时间以及待输出发车间隔;

在所述第一预设迭代中,重复执行预设次数的所述第二预设迭代:

确定每一次的第二预设迭代中,所述第二预设迭代所输出的待输出停站时间以及待输出发车间隔;

将适应度函数最大的待输出停站时间以及待输出发车间隔确定为目标停站时间以及目标发车间隔。

[0006] 根据本发明提供的列车时刻表优化方法,所述根据预设停站时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定所述第一目标函数的第一目标解,包括:

确定任一时刻下不同车次列车所在的行驶区间、供电分区以及列车工况;

根据不同车次列车所在的行驶区间、供电分区、列车工况、每一行驶区间在所述时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在所述时刻所对应的运行速度确定所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能;

根据所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能确定所述第一目标函数的第一目标解。

[0007] 根据本发明提供的列车时刻表优化方法,所述根据预设发车间隔确定所述第二目标函数的第二目标解,包括:

根据预设发车间隔以及所述原始发车间隔确定相邻车次之间发车间隔变化量以及与原始发车间隔的偏差;

根据所述相邻车次之间发车间隔变化量以及所述与原始发车间隔的偏差确定所述第二目标函数的第二目标解。

[0008] 根据本发明提供的列车时刻表优化方法,所述列车时刻表优化模型包括决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数;

在输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型之前,所述方法还包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数构建所述列车时刻表优化模型;

所述决策变量包括预设停站时间以及预设发车间隔。

[0009] 根据本发明提供的列车时刻表优化方法,所述列车时刻表优化模型还包括模型假设参数;

所述根据所述决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数构建所述列车时刻表优化模型,包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数构建所述列车时刻表优化模型;

所述模型假设参数包括:

在同一供电分区内的列车利用处于制动工况的列车产生的再生制动能;

机械能转换为电能的转换系数、电能转换为机械能的转换系数以及再生制动能传

递的损失系数为常数；

各车次在同一车站停站时间相同，各相邻车次发车间隔不相同或相同。

[0010] 根据本发明提供的列车时刻表优化方法，所述列车时刻表优化模型还包括约束条件；

所述根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数构建所述列车时刻表优化模型，包括：

根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数、所述约束条件构建所述列车时刻表优化模型；

所述约束条件包括停站时间约束、发车间隔约束、到发时间约束、追踪间隔约束、折返时间约束、折返作业约束以及车底接续约束。

[0011] 第二方面，本发明还提供了一种列车时刻表优化装置，包括：

获取单元：用于输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型，获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔；

确定单元：用于根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表；

所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数，并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔；

所述适应度函数是在第二预设迭代中，以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数，以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数，处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的；

所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力，以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0012] 第三方面，本发明还提供一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述程序时实现所述的列车时刻表优化方法。

[0013] 第四方面，本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现如上述任一种所述列车时刻表优化方法。

[0014] 本发明提供了一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质，通过以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数，以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数，处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定所述适应度函数，从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔，最后根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表，本发明从再生制动能利用和发车间隔所关联的客流需求这两个角度出发，构建列车时刻表优化模型，能够为城轨列车时刻表的制定提供参考，在降低能耗的同时不降低乘客服务质量。

## 附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本发明或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0016] 图1是本发明提供的列车时刻表优化方法的流程示意图之一;  
图2是本发明提供的获取目标停站时间以及目标发车间隔的流程示意图之一;  
图3是本发明提供的获取目标停站时间以及目标发车间隔的流程示意图之二;  
图4是本发明提供的确定第一目标解的流程示意图;  
图5是本发明提供的确定第二目标解的流程示意图;  
图6是本发明提供的列车时刻表优化方法的流程示意图之二;  
图7是本发明提供的列车时刻表优化方法的流程示意图之三;  
图8是本发明提供的列车时刻表优化装置的结构示意图;  
图9是本发明提供的电子设备的结构示意图。

## 具体实施方式

[0017] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明中的附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0018] 有效降低能耗是在城市轨道交通中实现可持续发展的重要途径,现有研究大多以再生制动能利用为主、未结合乘客出行需求,并且在计算再生制动能利用时通常需要分为前车制动后车牵引、前车牵引后车制动等几种情况,计算方法较为复杂,为了解决上述技术问题,本发明提供了一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质,图1是本发明提供的列车时刻表优化方法的流程示意图之一,一种列车时刻表优化方法,包括:

步骤101、输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

步骤102、根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;

所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;

所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0019] 在步骤101中,根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间



在不同时刻所对应的运行速度确定所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值,其对应于本发明的第一目标函数,旨在通过从再生制动能利用的角度出发降低列车时刻表优化后的能耗;而各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔对应于本发明中的第二目标函数,旨在通过从客流需求的角度出发保障用户出行质量,本发明以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,即使得优化后的列车时刻表在降低能耗的同时,不降低乘客服务水平。

[0020] 在步骤102中,在本发明中所获取的列车时刻表中包括所有车次列车的停站时间,以及各相邻车次间的发车间隔,本发明在获取到目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔后,即可根据初始车次的首发时间,确定出后续所有车次列车对应的时刻表。

[0021] 可选地,所述列车时刻表优化模型包括决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数;

在输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型之前,所述方法还包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数构建所述列车时刻表优化模型;

所述决策变量包括预设停站时间以及预设发车间隔。

[0022] 可选地,所述预设停站时间 $t_{s,j}$ 以及预设发车间隔 $h_{i,i+1}$ 会在嵌套遗传算法的循环过程中,以第一目标函数以及第二目标函数为目标函数,不断趋近于最优输出而发生改变。

[0023] 可选地,所述列车时刻表优化模型还包括模型假设参数;

所述根据所述决策变量、所述第一目标函数以及所述第二目标函数构建所述列车时刻表优化模型,包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数构建所述列车时刻表优化模型;

所述模型假设参数包括:

在同一供电分区内的列车利用处于制动工况的列车产生的再生制动能;

机械能转换为电能的转换系数、电能转换为机械能的转换系数以及再生制动能传递的损失系数为常数;

各车次在同一车站停站时间相同,各相邻车次发车间隔不相同或相同。

[0024] 可选地,本发明所公开的模型假设参数将作为构建所述列车时刻表优化模型的限制条件,从而使得列车时刻表优化结果更加准确,具体地,包括:

首先,在同一供电分区内的列车均可以利用处于制动工况的列车产生的再生制动能,不区分上下行,多余的再生制动能将被电阻消耗;

其次,机械能转换为电能的转换系数、电能转换为机械能的转换系数、再生制动能传递的损失系数为常数,不考虑不同车次之间由于传送距离的差异造成的损耗区别;

再次,同一方向上所有列车区间运行时间相同,在各区间的工况、能耗均相同,列车每个时刻在每个区间的工况、受力情况和运行速度为已知;各车次在同一车站停站时间相同,各相邻车次发车间隔可以不相同;

再然后,在本发明中,折返站只允许一个车次的列车进行折返,待本车次列车完成折返作业后,下一车次列车才能开始折返作业;

最后,在本发明中,共设有I个车次,车次编号为*i*;线路共有J个车站,车站编号为*j*;编号从小到大为上行方向,反之为下行方向。

[0025] 可选地,所述列车时刻表优化模型还包括约束条件;

所述根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数构建所述列车时刻表优化模型,包括:

根据所述决策变量、所述第一目标函数、所述第二目标函数、所述模型假设参数、所述约束条件构建所述列车时刻表优化模型;

所述约束条件包括停站时间约束、发车间隔约束、到发时间约束、追踪间隔约束、折返时间约束、折返作业约束以及车底接续约束。

[0026] 可选地,所述停站时间约束为停站时间变化量不能大于5s,且停站时间必须符合地铁停站时间限制,具体地,可以参考如下公式:

$$t_{s,j}^y - 5 \leq t_{s,j} \leq t_{s,j}^y + 5 \quad (1)$$

$$t_{s,j}^{\min} \leq t_{s,j} \leq t_{s,j}^{\max} \quad (2)$$

在式(1)以及式(2)中, $t_{s,j}$ 为车站*j*的停站时间; $t_{s,j}^y$ 为原始时刻表中车站*j*的停站时间; $t_{s,j}^{\min}$ 为地铁规定的最小停站时间; $t_{s,j}^{\max}$ 为地铁规定的最大停站时间。

[0027] 可选地,所述发车间隔约束:发车间隔必须符合地铁发车间隔时间限制,最小发车间隔为90s,最大发车间隔为10min,可以参考如下公式:

$$h^{\min} \leq h_{i,i+1} \leq h^{\max} \quad (3)$$

在式(3)中, $h^{\min}$ 为地铁规定的最小发车间隔时间; $h^{\max}$ 为地铁规定的最大发车间隔时间。

[0028] 可选地,所述到发时间约束为各车次到站时间为上一车站离站时间与区间运行时间之和;各车次离站时间为到站时间与停站时间之和,具体地:

$$a_{i,j}^{up} = d_{i,j-1}^{up} + r_{j-1} \quad (4)$$

$$d_{i,j}^{up} = a_{i,j}^{up} + t_{s,j} \quad (5)$$

$$a_{i,j}^{dn} = d_{i,j-1}^{dn} + r_{j-1} \quad (6)$$

$$d_{i,j}^{dn} = a_{i,j}^{dn} + t_{s,j} \quad (7)$$

在式(4)、式(5)、式(6)以及式(7)中, $r_{j-1}$ 为列车在第*j-1*个区间的运行时间, $a_{i,j}^{up}$ 为上行方向车次*i*到达*j*站的时间, $d_{i,j-1}^{up}$ 为上行方向车次*i*离开*j-1*站的时间, $d_{i,j}^{up}$ 为上行方向车次*i*离开*j*站的时间, $d_{i,j}^{dn}$ 为下行方向车次*i*离开*j*站的时间, $a_{i,j}^{dn}$ 为下行方向车次*i*到达*j*站的时间。

[0029] 可选地,所述追踪间隔约束为各车次到发时间与上一车次到发时间之差为发车间隔,具体地:

$$a_{i+1,j}^{up} = a_{i,j}^{up} + h_{i,i+1} \quad (8)$$

$$d_{i+1,j}^{up} = d_{i,j}^{up} + h_{i,i+1} \quad (9)$$

$$a_{i+1,j}^{dn} = a_{i,j}^{dn} + h_{i,i+1} \quad (10)$$

$$d_{i+1,j}^{dn} = d_{i,j}^{dn} + h_{i,i+1} \quad (11)$$

在式(8)、式(9)、式(10)以及式(11)中, $h_{i,i+1}$ 为车次*i*和车次*i+1*的发车间隔。

[0030] 可选地,所述折返时间约束为各车次在终点站折返作业(上行折返至下行)时间应大于最小折返时间,具体地:

$$a_{i,J}^{dn} - d_{i,J}^{up} \geq t_z^{\min} \quad (12)$$

其中,在式(12)中, $t_z^{\min}$ 为列车最小折返时间。

[0031] 可选地,所述折返作业约束为同一时间只能有一列车进行折返作业,当本车次完成折返到达下行车站J之后,下一车次才能离开上行车站J开始进行折返作业,具体地:

$$d_{i,J}^{up} \geq a_{i,J}^{dn} \quad (13)$$

可选地,所述车底接续约束为:

$$a_{i',1}^{up} - d_{i,1}^{dn} \geq t_z^{\min} - M(1 - \alpha_{i,i'}) \quad (14)$$

$$d_{i+1,1}^{dn} \geq a_{i',1}^{up} - M(1 - \alpha_{i,i'}) \quad (15)$$

$$\alpha_{i,i'} = \begin{cases} 1, \text{车次} i \text{和车次} i' \text{接续} \\ 0, \text{车次} i \text{和车次} i' \text{不接续} \end{cases} \quad (16)$$

在式(14)、式(15)以及式(16)中, $\alpha_{i,i'}$ 为0-1变量,若车次*i*和车次*i'*接续为1,否则为0;M为极大值。

[0032] 本发明以线路列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数;以各车站停站时间、各相邻车次的发车间隔为决策变量;考虑停站时间、发车间隔、到发时间、折返时间等约束条件,采用嵌套遗传算法求解模型,最终输出结果为各车站停站时间、各相邻车次的发车间隔、各车次时刻表。

[0033] 本发明不用分场景计算再生制动能的利用情况,同时考虑同一供电分区内上下行列车的再生制动能利用,提出根据时刻判断每列车所在区间、所在供电分区、所处工况的方法,再依次对研究时段、供电分区进行求和,从而计算线路上所有列车运行需要的净能耗。

[0034] 本发明考虑不等间隔发车,同时考虑乘客候车时间,相邻车次发车时间变化、各车次发车间隔与原发车间隔偏差最小时乘客候车时间短。

[0035] 本发明提供了一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质,通过以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定所述适应度函数,从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔,最后根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表,本发明从再生制动能利用和发车间隔所关联的客流需求这两个角度出发,构建列车时刻表优化模型,能够为城轨列车时刻表的制定提供参考,在降低能耗的同时不降低乘客服务质量。

[0036] 图2是本发明提供的获取目标停站时间以及目标发车间隔的流程示意图之一,所述输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔,包括:

在所述第二预设迭代中,重复执行如下步骤:

步骤201、根据预设停站时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定所述第一目标函数的第一目标解;

步骤202、根据预设发车间隔确定所述第二目标函数的第二目标解;

步骤203、归一化处理所述第一目标解以及所述第二目标解,将所述第一目标解与所述第二目标解的和值取倒数后作为所述适应度函数;

步骤204、直至达到预设次数后确定所有适应度函数,并从所述所有适应度函数中筛选出适应度函数最大的预设停站时间以及预设发车间隔,作为待输出停站时间以及待输出发车间隔;

在步骤201中,本发明根据 $t$ 时刻判断每列车所在区间、所在供电分区、所处工况,计算 $t$ 时刻线路上列车牵引能耗、再生制动能,依次对供电分区和研究时段求和,得到列车线路上所有列车的牵引能耗、再生制动能,从而得到净能耗 $E$ ,确定所述第一目标函数的第一目标解。

[0037] 在步骤202中,根据预设发车间隔计算相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差 $W$ ,确定所述第二目标函数的第二目标解。

[0038] 在步骤203中,本发明将原始停站时间、原始发车间隔、各区间运行时间,以及各区间每个时刻对应的作用力及运行速度作为输入数据,输入至所述列车时刻表优化模型,在所述列车时刻表优化模型中,采用嵌套遗传算法求解本模型,将所述决策变量进行编码,所述决策变量即为预设停站时间以及预设发车间隔,进而获取到多个决策变量对应的初始解,例如初始解1为停站时间1分钟,发车间隔2分钟;初始解2为停站时间1.2分钟,发车间隔2.2分钟,对于每一个初始解而言,将所述初始解代入模型中,都能计算得到其对应的目标函数,对应于本发明中,所述第一目标函数为列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化,所述第二目标函数为相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小,因此每个初始解对应两个目标函数的目标解,即第一目标解以及第二目标解。

[0039] 可选地,对每个初始解对应的两个目标函数分别进行归一化操作,例如:

$$E_{norm} = \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} \quad (17)$$

$$W_{norm} = \frac{W - W_{min}}{W_{max} - W_{min}} \quad (18)$$

在式(17)中,  $E_{norm}$  为归一化处理后的列车运行所需要的能量与再生制动能量之差, 即净能耗; 在式(18)中,  $W_{norm}$  为归一化处理后的相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差。

[0040] 可选地, 将所述第一目标解与所述第二目标解的和值取倒数后作为所述适应度函数

$$\frac{1}{E_{norm} + W_{norm}}。$$

[0041] 在步骤204中, 本发明在所述第二预设迭代中, 重复执行步骤201至步骤203, 通过选择、交叉、变异, 产生出代表新的解集的群体, 所述选择为根据个体适应度大小, 按照优胜劣汰的原则, 淘汰不合理的个体; 所述交叉为编码的交叉重组, 类似于染色体的交叉重组; 所述变异为编码按小概率扰动产生的变化, 计算所述适应度函数, 进行下一次遗传操作。

[0042] 在执行完预设次数的重复计算后, 将获取到多个适应度函数, 将进化过程中得到的适应度最大的个体作为最优解输出, 终止计算, 即从所述所有适应度函数中筛选出适应度函数最大的预设停站时间以及预设发车间隔, 作为待输出停站时间以及待输出发车间隔。

[0043] 图3是本发明提供的获取目标停站时间以及目标发车间隔的流程示意图之二, 在所述第一预设迭代中, 重复执行预设次数的所述第二预设迭代:

步骤301、确定每一次的第二预设迭代中, 所述第二预设迭代所输出的待输出停站时间以及待输出发车间隔;

步骤302、将适应度函数最大的待输出停站时间以及待输出发车间隔确定为目标停站时间以及目标发车间隔。

[0044] 在步骤301中, 本发明在所述第一预设迭代中, 重复执行步骤201至步骤204预设次数, 从而获取到每一次的第二预设迭代中, 所述第二预设迭代所输出的待输出停站时间以及待输出发车间隔。

[0045] 在步骤302中, 将所有第二预设迭代所输出的待输出停站时间以及待输出发车间隔中, 适应度函数最高的待输出停站时间以及待输出发车间隔作为最终结果输出, 即将适应度函数最大的待输出停站时间以及待输出发车间隔确定为目标停站时间以及目标发车间隔。

[0046] 图4是本发明提供的确定第一目标解的流程示意图, 所述根据预设停站时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力, 以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定所述第一目标函数的第一目标解, 包括:

步骤401、确定任一时刻下不同车次列车所在的行驶区间、供电分区以及列车工况;

步骤402、根据不同车次列车所在的行驶区间、供电分区、列车工况、每一行驶区间

在所述时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在所述时刻所对应的运行速度确定所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能;

步骤403、根据所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能确定所述第一目标函数的第一目标解。

[0047] 在步骤401中,确定任一时刻下不同车次列车所在的行驶区间包括:

t时刻列车所在区间判断:若t时刻在上行方向车次*i*离开车站*j*和到达车站*j+1*的时刻之间,则车次*i*处于上行方向*j*区间;若t时刻在下行方向车次*i*离开车站*j+1*和到达车站*j*的时刻之间,则车次*i*处于下行方向*j*区间。

$$[0048] \quad s_{i,j} = \begin{cases} 1, d_{i,j}^{up} < t \leq a_{i,j+1}^{up} \text{ 或 } d_{i,j+1}^{dn} < t \leq a_{i,j}^{dn} \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (19)$$

式(19)中, $s_{i,j}$ 为0-1变量,若车次*i*在第*j*个区间为1,否则为0; $d_{i,j}^{up}$ 为上行方向车次*i*离开*j*站的时间; $a_{i,j+1}^{up}$ 为上行方向车次*i*到达*j+1*站的时间; $d_{i,j+1}^{dn}$ 为下行方向车次*i*离开*j+1*站的时间; $a_{i,j}^{dn}$ 为下行方向车次*i*到达*j*站的时间。

[0049] 确定任一时刻下不同车次列车所在的供电分区:

t时刻列车所在供电分区为:若t时刻车次*i*所在区间*j*属于供电分区*q*所包含区间的集合,则车次*i*处于供电分区*q*。

$$[0050] \quad q_j = \begin{cases} 1, j \in M_q \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (20)$$

在式(20)中, $q_j$ 为0-1变量,若第*j*个区间在*q*供电分区内为1,否则为0; $M_q$ 为供电分区*q*所包含区间的集合。

[0051] 确定任一时刻下不同车次列车所在的列车工况:

t时刻列车所处工况判断:若t时刻车次*i*处于第*j*个区间牵引开始时间和牵引结束时间之间,则车次*i*处于牵引工况;若t时刻车次*i*处于第*j*个区间制动开始时间和制动结束时间之间,则车次*i*处于牵引工况。各区间的工况储存时间从0开始,例如牵引工况为[0,50],即  $t_{j,start}^f = 0$ ,  $t_{j,end}^f = 50$ ;制动工况为[80,100],即  $t_{j,start}^b = 80$ ,  $t_{j,end}^f = 100$ ,因此需要将t时刻转换为*j*区间从0开始的时刻。

[0052] 若  $t = 08:20:30$ ,  $d_{i,j}^{up} = 08:21:05$ ,则  $t - d_{i,j}^{up} = 35$ ,属于[0,50]区间,因此车次*i*在t时刻处于牵引工况,此时  $f_j = 1$ ;若  $t = 08:20:30$ ,  $d_{i,j}^{up} = 08:21:55$ ,则  $t - d_{i,j}^{up} = 85$ ,属于[80,100]区间,因此车次*i*在t时刻处于制动工况,此时  $b_j = 1$ 。

$$[0053] \quad f_j = \begin{cases} 1, t_{j,start}^f < t - d_{i,j}^{up} \leq t_{j,end}^f \text{ 或 } t_{j,start}^f < t - d_{i,j+1}^{dn} \leq t_{j,end}^f \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (21)$$

$$b_j = \begin{cases} 1, t_{j,start}^b < t - d_{i,j}^{up} \leq t_{j,end}^b \text{ 或 } t_{j,start}^b < t - d_{i,j+1}^{dn} \leq t_{j,end}^b \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (22)$$

在式(21)以及式(22)中,  $f_j$  为0-1变量, 若车次  $j$  处于牵引工况为1, 否则为0;  $t_{j,start}^f$  为第  $j$  个区间牵引开始的时间;  $t_{j,end}^f$  为第  $j$  个区间牵引结束的时间;  $b_j$  为0-1变量, 若车次  $j$  处于制动工况为1, 否则为0;  $t_{j,start}^b$  为第  $j$  个区间制动开始的时间;  $t_{j,end}^b$  为第  $j$  个区间制动结束的时间。

[0054] 在步骤402中,  $t$ 时刻列车受力及运行速度判断为:

各区间的受力情况及运行速度储存时间从0开始, 因此需要将  $t$ 时刻转换为  $j$ 区间从0开始的时刻, 具体地, 参考如下公式:

$$F_j(t) = \begin{cases} F_j(t - d_{i,j}^{up}), t_{j,start}^f < t - d_{i,j}^{up} \leq t_{j,end}^f \\ F_j(t - d_{i,j+1}^{dn}), t_{j,start}^f < t - d_{i,j+1}^{dn} \leq t_{j,end}^f \end{cases} \quad (23)$$

$$V_j(t) = \begin{cases} V_j(t - d_{i,j}^{up}), t_{j,start}^f < t - d_{i,j}^{up} \leq t_{j,end}^f \\ V_j(t - d_{i,j+1}^{dn}), t_{j,start}^f < t - d_{i,j+1}^{dn} \leq t_{j,end}^f \end{cases} \quad (24)$$

在式(23)以及式(24)中,  $F_j(t)$  为  $t$ 时刻列车在第  $j$  个区间受到的牵引力;  $V_j(t)$  为  $t$ 时刻列车在第  $j$  个区间的运行速度。

[0055] 可选地,  $t$ 时刻线路所有列车运行所需牵引能耗:

$$E_t^q = \sum_{i=1}^I F_j(t) \cdot V_j(t) \cdot \Delta t \cdot s_{i,j} \cdot q_j \cdot f_j / \rho_1 \quad (25)$$

在式(25)中,  $E_t^q$  为  $t$ 时刻  $q$  供电分区内列车运行所需能量,  $\rho_1$  为电能转换为机械能的转换系数。

[0056] 可选地,  $t$ 时刻线路所有列车产生的再生制动能为:

$$G_t^q = \sum_{i=1}^I B_j(t) \cdot V_j(t) \cdot \Delta t \cdot s_{i,j} \cdot q_j \cdot b_j \cdot \rho_2 \cdot (1 - \theta) \quad (26)$$

在式(26)中,  $G_t^q$  为  $t$ 时刻  $q$  供电分区内列车产生的再生制动能;  $B_j(t)$  为  $t$ 时刻列车在第  $j$  个区间受到的制动力;  $\rho_2$  为机械能转换为电能的转换系数;  $\theta$  为再生制动能在线网上传递的损失系数。

[0057] 在步骤403中, 根据所述时刻所对应的列车牵引能耗以及再生制动能确定所述第一目标函数的第一目标解, 以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为目标可以参考如下公式:

$$\min E = \sum_{t=1}^T \sum_{q=1}^Q |(E_t^q - G_t^q)| \quad (27)$$

式(27)中,  $E_t^q$  为  $t$  时刻  $q$  供电分区内列车运行所需能量,  $G_t^q$  为  $t$  时刻  $q$  供电分区内列车产生的再生制动能。

[0058] 图5是本发明提供的确定第二目标解的流程示意图, 所述根据预设发车间隔确定所述第二目标函数的第二目标解, 包括:

步骤501、根据预设发车间隔以及所述原始发车间隔确定相邻车次之间发车间隔变化量以及与原始发车间隔的偏差;

步骤502、根据所述相邻车次之间发车间隔变化量以及所述与原始发车间隔的偏差确定所述第二目标函数的第二目标解。

[0059] 在步骤501中, 所述预设发车间隔是区别于所述原始发车间隔所设置的决策变量, 在编码所述决策变量后, 确定所述预设发车间隔, 在确定了所述预设发车间隔后, 即会产生相邻车次之间发车间隔变化量以及与原始发车间隔的偏差, 本发明旨在使得相邻车次之间发车间隔变化量以及与原始发车间隔的偏差最小。

[0060] 在步骤502中, 以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为目标, 可以参考如下公式:

$$\min W = \sum_{i=1}^{I-2} (h_{i+1,i+2} - h_{i,i+1}) + \sum_{i=1}^{I-1} (h_{i,i+1} - h_y) \quad (28)$$

式(28)中,  $h_{i,i+1}$  为车次  $i$  和车次  $i+1$  的发车间隔;  $h_y$  为原始发车间隔。

[0061] 本发明提出从再生制动能利用和乘客出行需求两个角度出发, 制定目标函数, 求解最优时刻表。同时, 本发明不对供电分区中的列车运行情况进行分类, 只根据时刻判断每列车所在区间、所在供电分区、所处工况的方法, 再依次对研究时段、供电分区进行求和, 从而计算线路上所有列车运行需要的净能耗。另外, 现有研究通常以固定发车间隔作为决策变量, 而本发明能够实现在不等间隔的发车方式作为决策变量。

[0062] 图6是本发明提供的列车时刻表优化方法的流程示意图之二, 首先将原始停站时间、原始发车间隔、区间运行时间以及各区间每个时刻的受力和运行速度作为输入数据, 进行模型求解, 通过嵌套遗传算法, 将停站时间、相邻车次发车间隔以及各车次时刻表作为输出结果。

[0063] 本发明从再生制动能利用和客流需求两个角度出发, 构建时刻表优化模型, 能够为城轨列车时刻表的制定提供参考, 在降低能耗的同时不降低乘客服务水平; 还提出根据时刻判断每列车所在区间、所在供电分区、所处工况的方法, 再依次对研究时段、供电分区的能耗进行求和, 能够不用分场景计算再生制动能的利用情况, 提高计算再生制动能利用的简洁性。

[0064] 图7是本发明提供的列车时刻表优化方法的流程示意图之三, 本发明在嵌套遗传算法中, 首先生成初始种群, 经过计算适应度函数、选择、交叉、变异, 直至达到预设次数后, 输出最优解, 并重复执行输出最优解的步骤, 从而生成多个最优解, 对比这些最优解, 从而输出最终解。

[0065] 图8是本发明提供的列车时刻表优化装置的结构示意图, 本发明提供了一种列车时刻表优化装置, 包括获取单元1: 用于输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在



不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔,所述获取单元1的工作原理可以参考前述步骤101,在此不予赘述。

[0066] 所述列车时刻表优化装置还包括确定单元2:用于根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表,所述确定单元2的工作原理可以参考前述步骤102,在此不予赘述。

[0067] 所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;

所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;

所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0068] 本发明提供了一种列车时刻表优化方法、装置、电子设备及介质,通过以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定所述适应度函数,从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔,最后根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表,本发明从再生制动能利用和发车间隔所关联的客流需求这两个角度出发,构建列车时刻表优化模型,能够为城轨列车时刻表的制定提供参考,在降低能耗的同时不降低乘客服务质量。

[0069] 图9是本发明提供的电子设备的结构示意图。如图9所示,该电子设备可以包括:处理器(processor)910、通信接口(Communications Interface)920、存储器(memory)930和通信总线940,其中,处理器910,通信接口920,存储器930通过通信总线940完成相互间的通信。处理器910可以调用存储器930中的逻辑指令,以执行列车时刻表优化方法,该方法包括:输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0070] 此外,上述的存储器930中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以

软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0071] 另一方面,本发明还提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括计算机程序,计算机程序可存储在非暂态计算机可读存储介质上,所述计算机程序被处理器执行时,计算机能够执行上述各方法所提供的一种列车时刻表优化方法,该方法包括:输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0072] 又一方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以执行上述各方法提供的列车时刻表优化方法,该方法包括:输入各车次列车的原始停站时间以及原始发车间隔、每一行驶区间的运行时间、每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力、每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度至列车时刻表优化模型,获取所述列车时刻表优化模型输出的目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;根据所述目标停站时间以及所述各相邻车次的目标发车间隔确定各车次列车的时刻表;所述列车时刻表优化模型用于在第一预设迭代中确定所有适应度函数,并从所有适应度函数中筛选出目标停站时间以及各相邻车次的目标发车间隔;所述适应度函数是在第二预设迭代中,以列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值最小化作为第一目标函数,以相邻车次之间发车间隔变化量及与原始发车间隔的偏差最小为第二目标函数,处理所述原始停站时间以及所述原始发车间隔后确定的;所述列车运行所需要的能量与再生制动能量之差的绝对值是根据每一行驶区间在不同时刻所对应的作用力,以及每一行驶区间在不同时刻所对应的运行速度确定的。

[0073] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0074] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。基于这样的理解,上

述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中,如ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0075] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

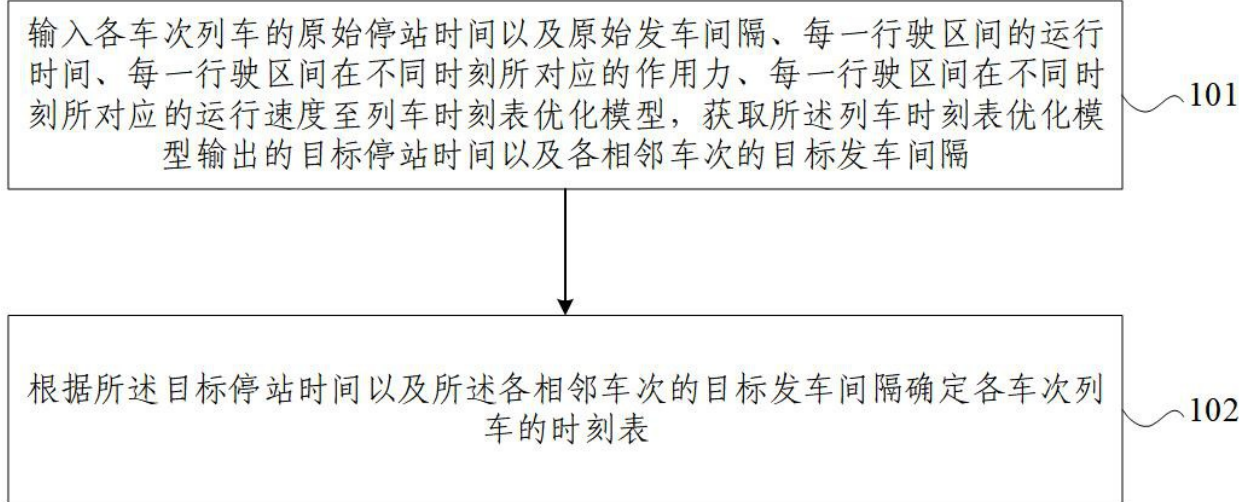


图 1

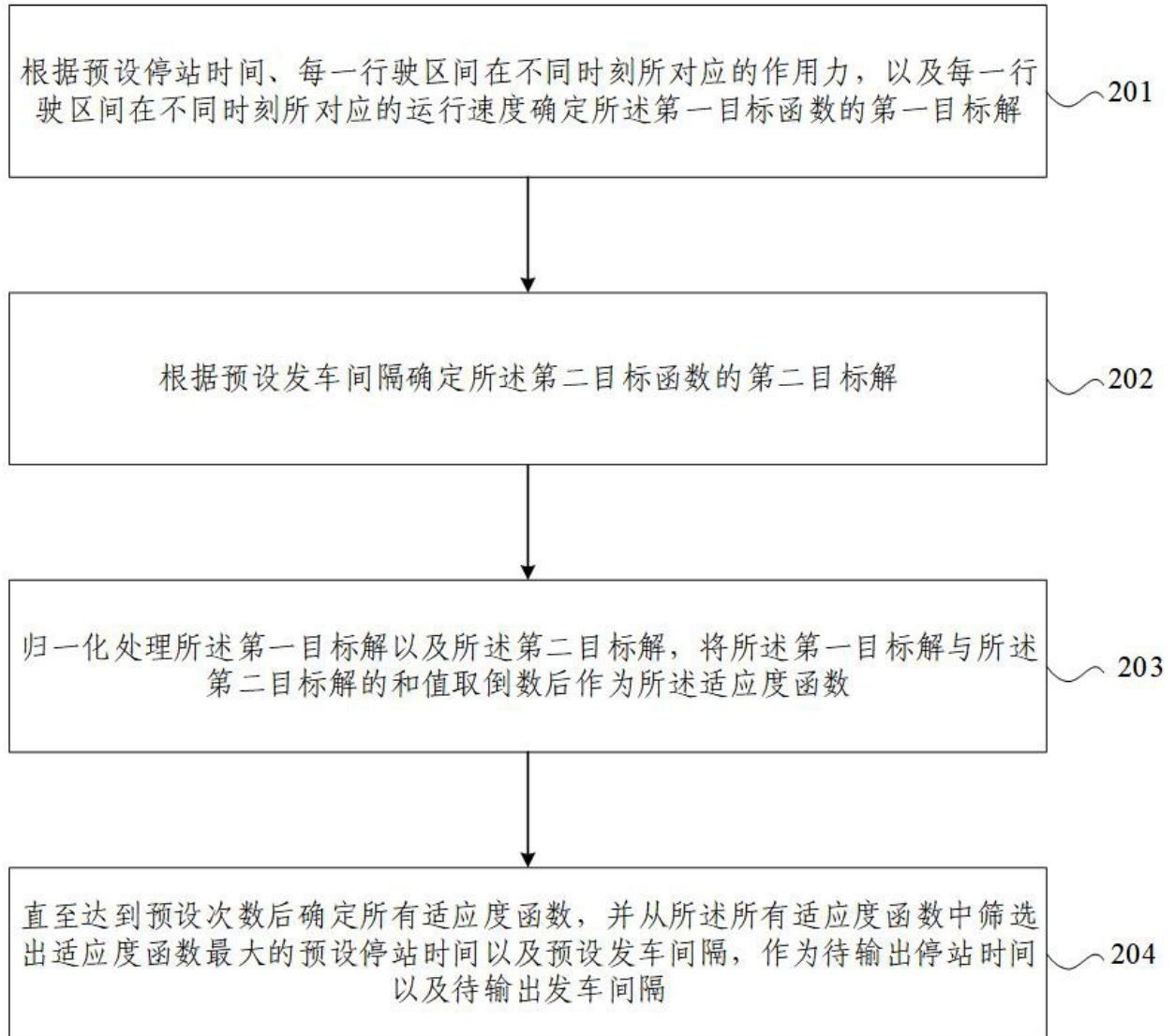


图 2

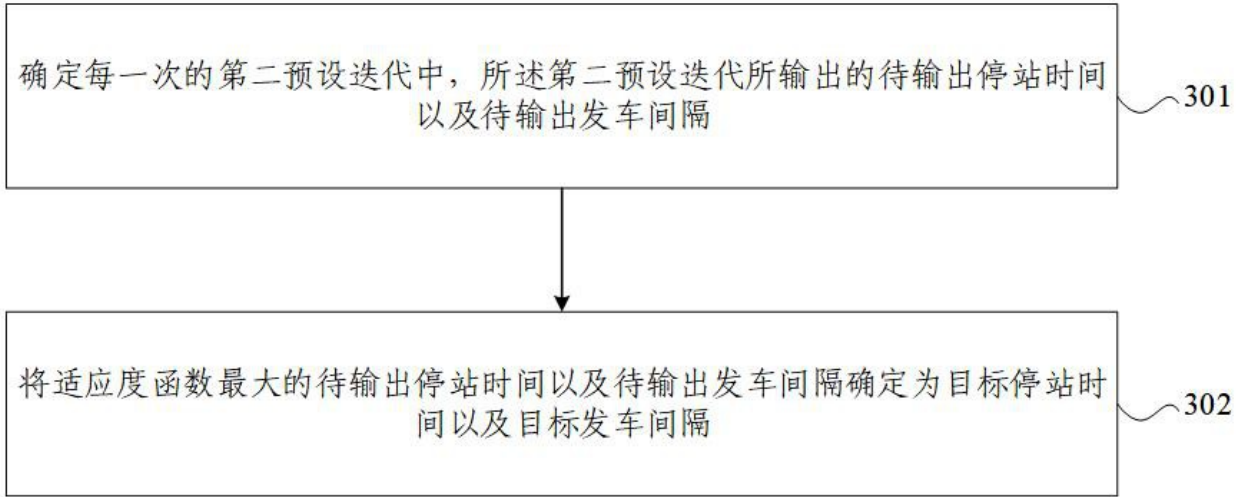


图 3

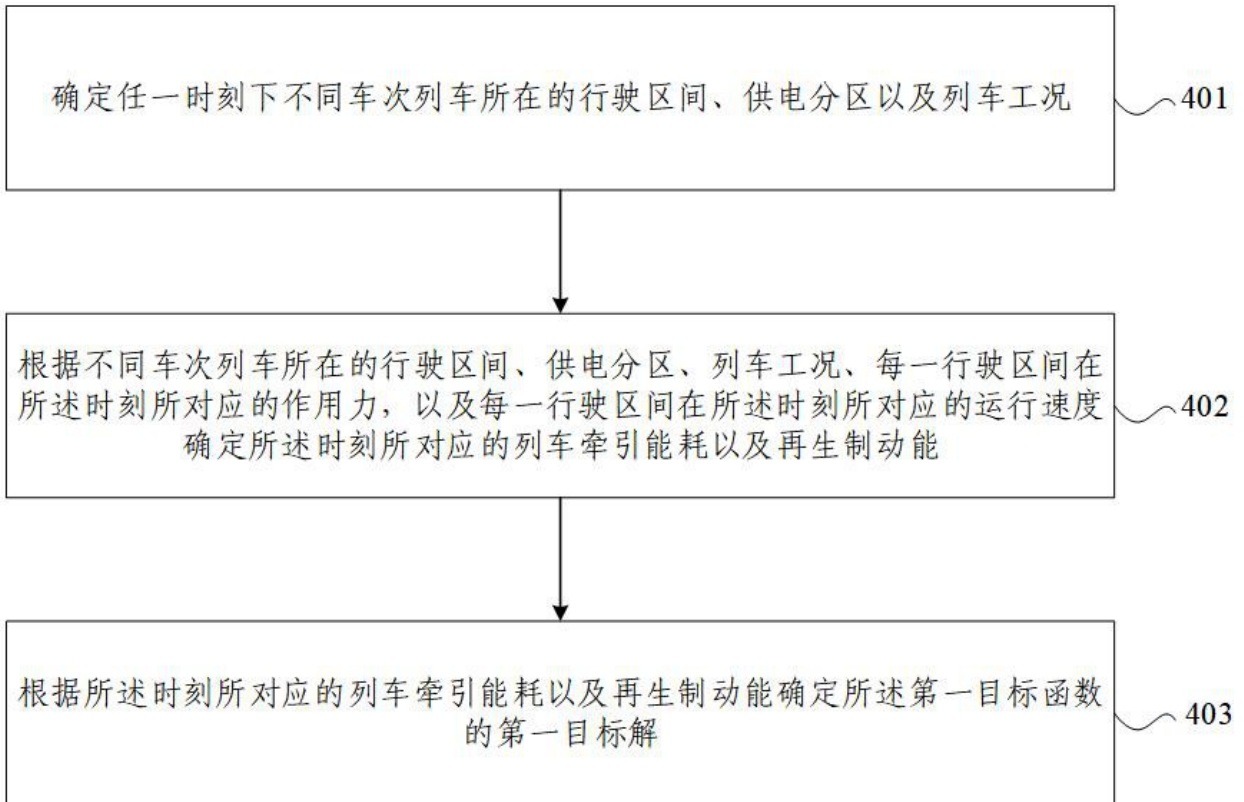


图 4

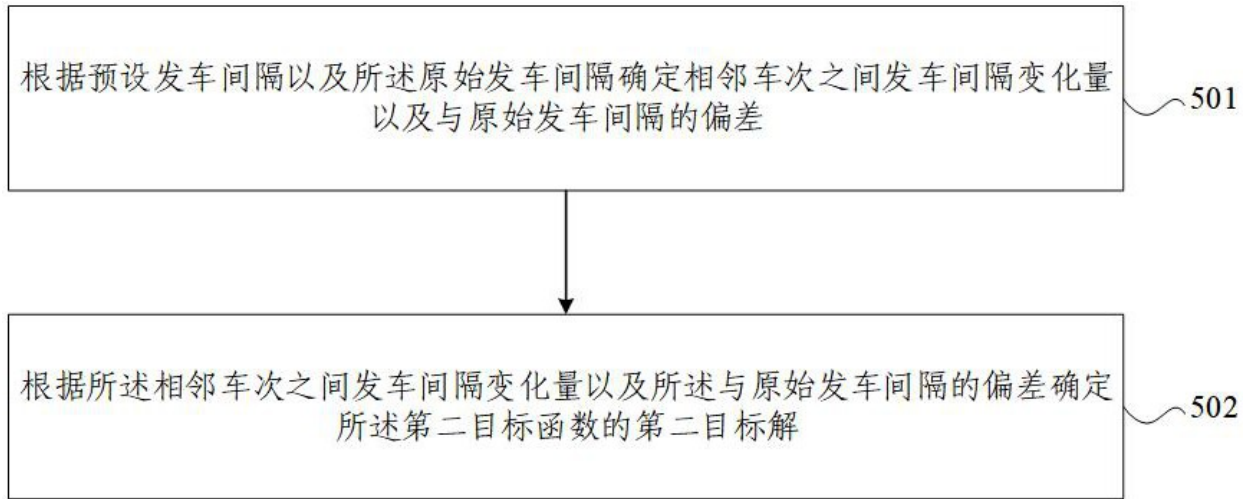


图 5

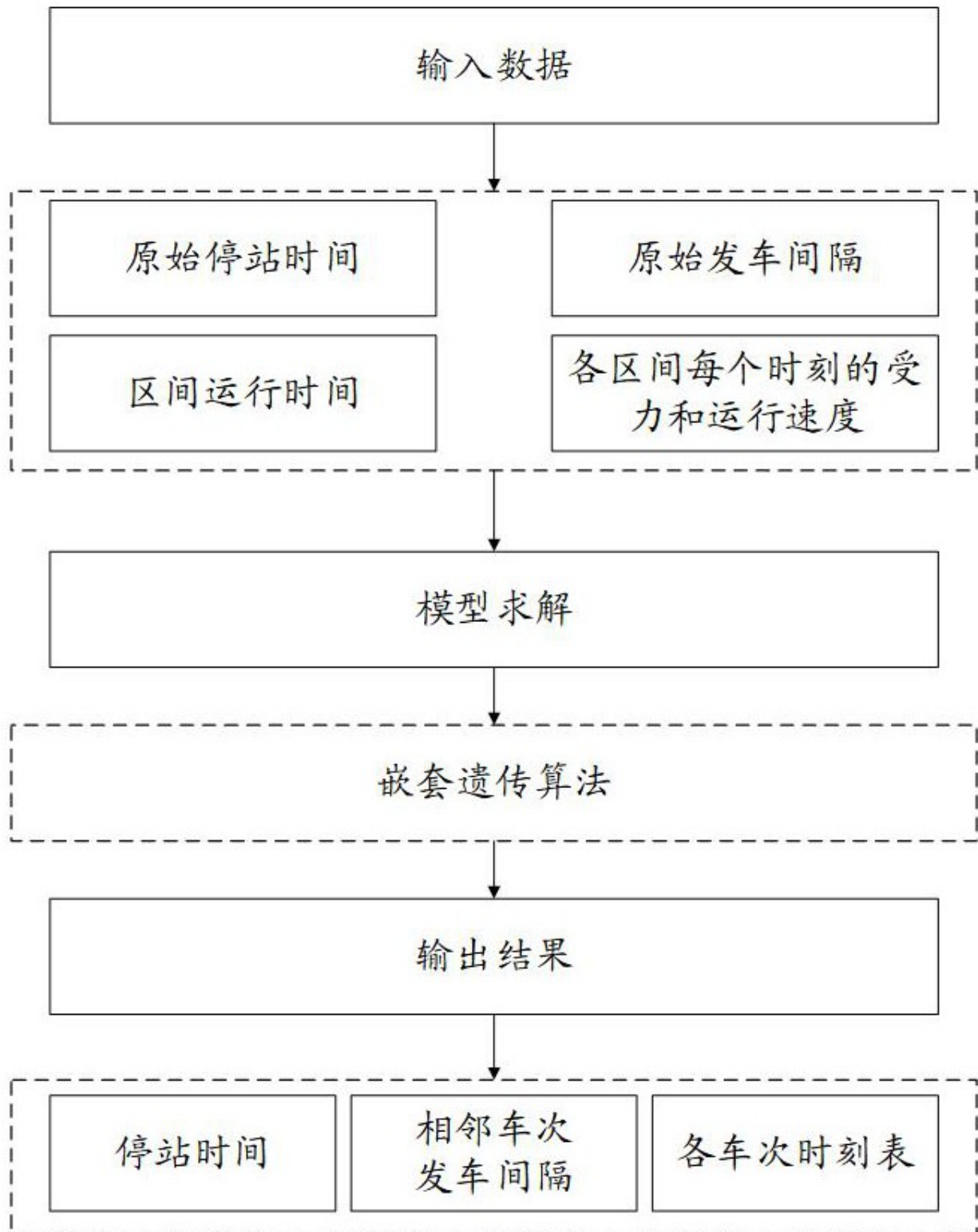


图 6



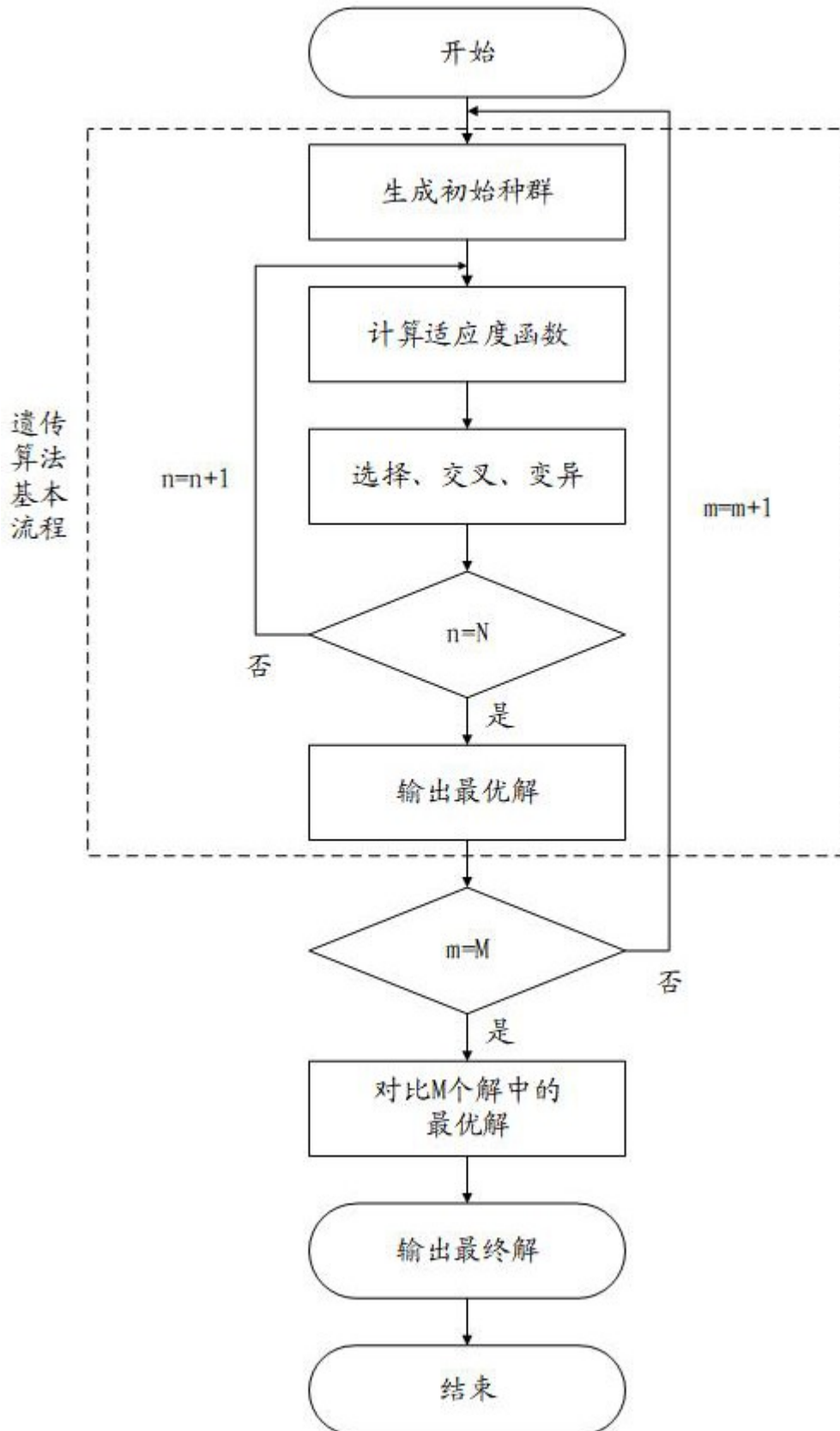


图 7

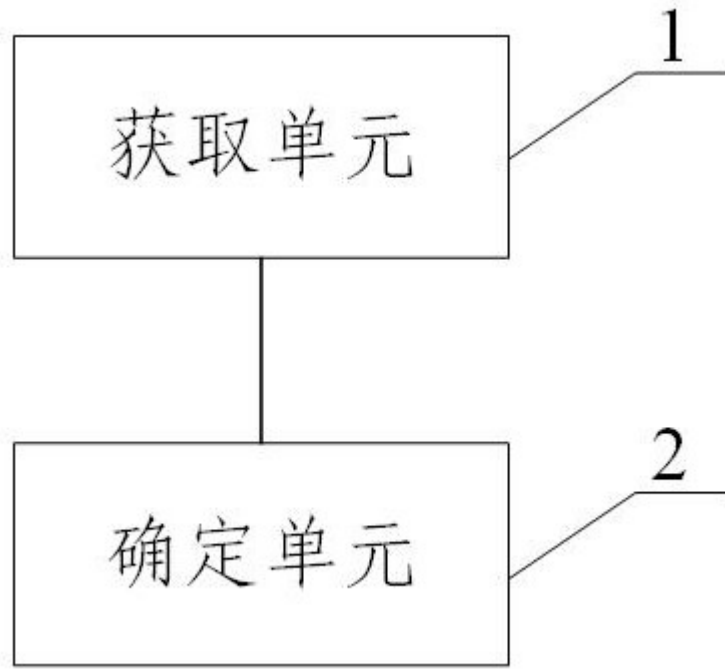


图 8

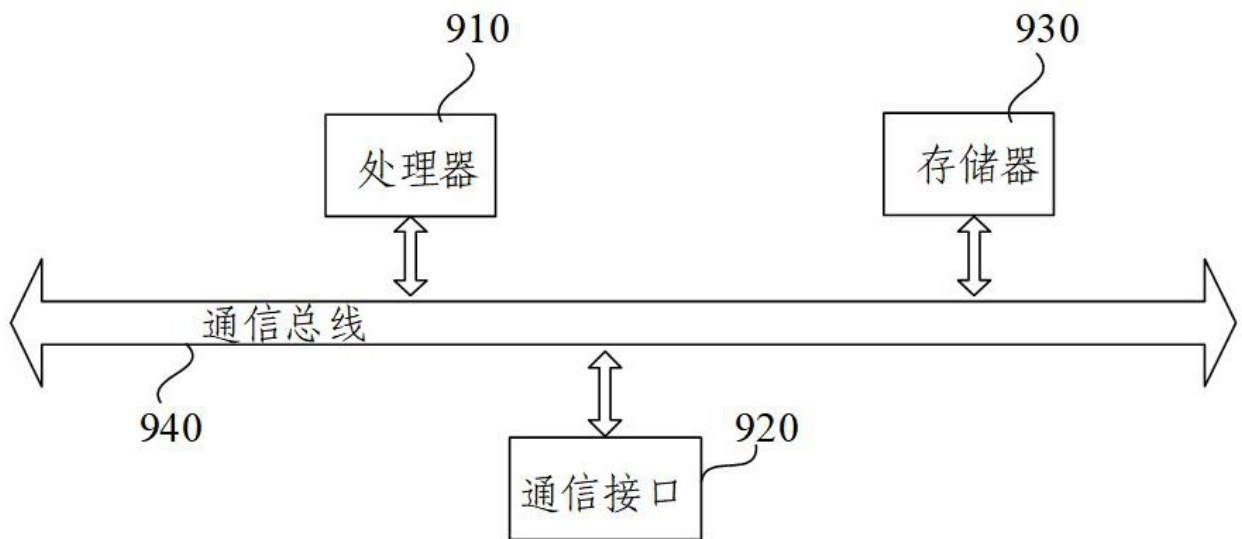


图 9