



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113867295 A

(43) 申请公布日 2021. 12. 31

(21) 申请号 202111182620.8

(22) 申请日 2021.10.11

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 徐俊 韩文杰 孙铮 梅雪松

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 高博

(51) Int. Cl.

G05B 19/418 (2006.01)

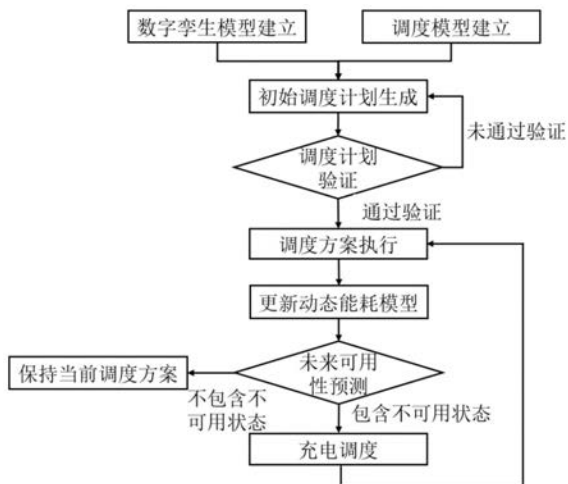
权利要求书4页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法、系统、设备及存储介质

(57) 摘要

本发明公开了一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法、系统、设备及存储介质,主要包括制造车间AGV数字孪生模型建立、AGV调度模型建立、初始调度方案生成、基于数字孪生模型的调度方案仿真与验证、基于动态能耗模型的AGV可用性预测、充电调度6个步骤。将数字孪生技术应用在AGV调度领域,利用数字孪生技术中虚实数据交互的特点,建立准确描述AGV能耗特性的数据模型,为调度方案的生成提供知识支撑;基于数字孪生的动态调度考虑将AGV调度方案的生成分为任务调度与充电调度两个阶段,从而保证调度方案更能贴合实际;数字孪生技术还可以对生成的调度方案的进行仿真验证,使得调度方案能够满足订单任务的需求。



1. 一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、建立AGV调度模型,AGV调度模型包括任务调度模型与充电调度模型;

S2、将给定的订单任务信息作为S1得到的任务调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法求解任务调度模型,获取任务的分配情况以及相对应的执行顺序,生成初始任务调度方案;

S3、判断S2获得的初始任务调度方案的状态:

初始任务调度方案为可用状态,继续执行初始任务调度方案;

执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态,在S2的基础上将给定的订单任务信息作为S1建立的充电调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解充电调度模型,获取每个AGV的充电时机和每次的充电量,从而获得包含充电过程的充电调度方案。

2. 根据权利要求1所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,其特征在于,S1的具体操作步骤如下:

S1.1、任务调度模型与充电调度模型有着不同的决策变量,具体的表示如下:

1)、任务调度模型决策变量

$$O_{ij}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 被分配给运输任务 } O_{ij} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$O_{ij-i'j'}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 先执行运输任务 } O_{ij} \text{ 然后执行运输任务 } O_{i'j'} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

其中, A^a 表示编号为a的AGV, i 表示第*i*个订单, O_{ij} 表示订单*i*的第*j*道运输任务, i 为订单编号; j 为工序编号; i' 和*j'*为与*i*, j 订单编号不相同的数据; O_{ij}^a 表示运输任务的分配情况; $O_{ij-i'j'}^a$ 表示任务的时序管理,即任务的先后顺序;

2)、充电调度模型决策变量

$$C_{ij}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 在执行运输任务 } O_{ij} \text{ 之前执行一次充电任务} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$SOC_{ij}^a \in [0, 10, 20, \dots, 80]$$

其中, SOC_{ij}^a 决定相应的充电任务单次所充的电量;

S1.2、任务调度模型与充电调度模型有着相同的目标函数和约束条件,具体的表示如下:

1) 目标函数

$$\min f = MS + E$$

其中,MS代表任务的完工周期,E代表AGV总的能量消耗;

2) 约束条件

约束1:运输任务的开始时间不得早于上一个任务的结束时间;

$$tSO_{i',j'} \geq O_{ij-i',j'}^a (tSO_{ij} + tCO_{ij} + tO_{ij-i',j'}^a), \forall i, i' \in n, a \in m$$

其中, m 表示AGV的数量, n 表示订单任务的数量, tSO_{ij} 为 O_{ij} 的开始时间, tCO_{ij} 为 O_{ij} 运输时间, $tO_{ij-i',j'}^a$ 为 A^a 执行完 O_{ij} 前往 $O_{i',j'}$ 取货点的所需时间, $tSO_{i',j'}$ 表示的是 $O_{i',j'}$ 的开始时间;

约束2: AGV的开始装货时间不得早于此工序的加工完成时间;

$$tSO_{ij+1} \geq tSO_{ij} + tCO_{ij} + tPO_{ij+1}, \forall j+1 \leq p_i$$

其中, p_i 表示订单 i 的相应的工序数; tSO_{ij+1} 表示为 O_{ij+1} 的开始运输时间, 其中, O_{ij+1} 为 O_{ij} 的下一道工序; tPO_{ij+1} 表示为 O_{ij+1} 所对应的加工时间, 其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上一道工序;

约束3: 每一个运输任务只能分配给一个AGV;

$$\sum_a^m O_{ij}^a = 1, \forall i \in n, j \in p_i$$

约束4: 机床的开始加工时间不得早于上一道工序的加工完成时间;

$$tSPO_{ij} \geq tSO_{ij-1} + tCO_{ij-1}, j=2, \dots, p_i$$

其中, $tSPO_{ij}$ 为 O_{ij} 所对应的工序的加工开始时间, tSO_{ij-1} 为 O_{ij-1} 的开始运输时间, 其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上一道工序; tCO_{ij-1} 为 O_{ij-1} 的完成所需时间, 其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上一道工序;

约束5: AGV执行任务时的电量不得低于最小阈值;

$$SOC_{rt}^a \geq 20 - d^+, \forall a \in m$$

其中, SOC_{rt}^a 为 A^a 实时的电池电量百分比, rt 是一整个下标, 表示实时时间, d^+ 为可调整正数;

约束6: AGV单次充电电量不得高于剩余可充电量;

$$0 \leq SOC_{ij}^a \leq 100 - SOC_{rt}^a, \forall a \in m。$$

3. 根据权利要求2所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法, 其特征在于, S2的具体操作步骤如下:

对于给定的订单任务信息, 将给定的订单任务信息作为任务调度模型的输入, 在满足相关约束条件的前提下, 采用遗传算法进行求解任务调度模型;

S2.1、对任务调度模型解的形式进行染色体编码, 染色体共分为两段, 两段染色体共同决定AGV与任务的对应关系和任务的执行顺序;

S2.2、计算当前种群的适应度函数值 F , 具体表示为:

$$F=1/f$$

其中, f 为调度模型中的优化目标综合值;

S2.3、选择种群中的亲代个体, 采用轮盘赌的方式选取亲代个体;

S2.4、亲代个体在交叉和变异之后产生不符合规定的染色体, 按照给定任务订单信息和AGV的信息进行修复, 使之成为符合规定的染色体;

重复执行S2.2-S2.4得到迭代过程的最优个体, 将最优个体作为初始任务调度方案。

4. 根据权利要求3所述的一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法, 其特征在于, 初始任务调度方案的验证:

1)、AGV数字孪生模型的建立: 采用三维建模软件建立AGV的虚拟实体模型, 定义AGV的虚拟实体模型的运行逻辑, 使AGV的虚拟实体模型能够根据生成的调度方案在虚拟环境中

模拟AGV集群的调度过程；

根据从物理系统中采集的AGV运行速度和载荷数据,采用动态拟合的方式,将AGV的速度和载荷作为输入,将能耗速率为输出,建立AGV的动态能耗模型,可以具体表示为:

$$\hat{\mu} = \beta mass + \kappa v^2 + \chi$$

$$\mu = \frac{\Delta SOC}{\Delta t}$$

$$e = \mu - \hat{\mu}$$

其中, $\hat{\mu}$ 是能耗速率的估计值,mass和v分别为AGV的载荷和速度, β 和 κ 为相应的系数, χ 为偏移量, μ 为真实的能耗速率,SOC为电池荷电状态,e为能耗速率的估计误差;

该动态能耗模型的动态体现在:当能耗速率的估计误差e小于阈值时,动态能耗模型保持不变;当能耗速率的估计误差e大于等于阈值时,动态能耗模型的参数 β 、 κ 、 χ 将会被更新;

建立AGV运行规则模型:定义AGV一次搬运的货物数量,AGV电量阈值,任务的交付时间T,将一次搬运的货物数量、电量阈值和任务的交付时间作为AGV运行规则约束AGV的搬运过程;

2)、数字孪生模型的仿真与验证:

对于产生的初始任务调度方案,基于三维虚拟模型以及设定的运行逻辑,对初始任务调度方案的整个流程进行仿真,获得初始任务调度方案的完工时间 MS_s ;

判断完工时间 MS_s 的值是否超出这批订单的交货时间要求,即是否满足 $MS_s \leq T$;

若满足 $MS_s \leq T$ 订单任务的要求,则将该初始任务调度方案下发至车间的执行系统;

若不满足 $MS_s \leq T$ 订单任务的要求,重新生成初始任务调度方案。

5. 根据权利要求4所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,其特征在于,AGV的动态能耗模型可用性预测:

对正在执行初始任务调度方案的AGV群:首先,更新AGV动态能耗模型;其次,根据获得初始任务调度方案与更新之后的AGV动态能耗模型,预测出每个AGV未来运行过程的电量曲线;若电量低于20%,则初始任务调度方案为不可用状态,继续执行初始任务调度方案;若电量高于20%,则初始任务调度方案为可用状态,从而获得AGV的未来可用性结果;最后,判断初始任务调度方案的过程中是否包含不可用状态;若初始任务调度方案不包含不可用状态,继续执行初始任务调度方案;若初始任务调度方案包含不可用状态,获取包含充电过程的充电调度方案。

6. 根据权利要求5所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,其特征在于,获取包含充电过程的充电调度方案的步骤如下:

充电调度方案求解:采用遗传算法,充电调度的求解在编码阶段中,染色体的两段分别用来表示充电任务的执行时机和单次的充电电量,多次迭代之后,可获得AGV的充电调度方案;

获得包含充电过程中的充电调度方案:基于充电调度方案,将相应的充电过程插入到任务调度方案中,得到包含充电过程的充电调度方案。

7. 采用权利要求1~6中任意一项所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的系统,其特征在于,包括:

模型建立模块,用于建立任务调度模型与充电调度模型;

模型求解模块,用于将给定的订单任务信息作为S1得到的任务调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解任务调度模型,获取任务的分配情况以及相对应的执行顺序,生成初始任务调度方案;

调度方案可用性判断模块,用于在执行初始任务调度方案的过程中初始任务调度方案为可用状态,继续执行初始任务调度方案;执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态,在S2的基础上将给定的订单任务信息作为S1建立的充电调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解充电调度模型,获取每个AGV的充电时机和每次的充电量,从而获得包含充电过程的充电调度方案。

8.一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其特征在于,所述处理器执行计算机程序时实现权利要求1至7中任意一项所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的步骤。

9.一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至7中任意一项所述的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的步骤。

一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法、系统、设备及存储介质

技术领域

[0001] 本发明属于制造车间AGV动态调度领域，涉及一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法、系统、设备及存储介质。

背景技术

[0002] AGV调度优化是制造系统中的一个关键过程。其主要工作是优化运输任务的分配和时序管理，以达到减少完成时间、降低能耗、减少资源闲置率等目标。然而，由于现有的方法存在资源可预测性差、任务执行状态感知困难等缺点，AGV调度依然存在难以避免的瓶颈环节——AGV充电。例如，在现有的车间运输系统中，AGV会持续运行直到低于电量阈值，接着前往充电区进行充电直到充满，但是这一充电行为发生的时机和充电时长通常不可控，多数情况下会严重拖延调度计划。因此，一个合理的AGV调度系统不仅应该分配运输任务，还应该能够灵活的分配AGV的充电过程。然而，灵活分配充电就需要提前对AGV未来的能耗曲线进行预测，从而合理的安排AGV的调度方案，数字孪生技术可以对现场采集的大量真实数据和虚拟模型的数据进行融合分析，建立能准确描述AGV能耗特性的动态能耗模型，来预测AGV运行中的能耗状态；与此同时，利用数字孪生技术可以对生成的AGV调度方案进行仿真验证，使得调度方案能满足任务需求。

发明内容

[0003] 为了克服上述现有技术的缺点，本发明的目的在于提供一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法、系统、设备及存储介质，旨在解决现有技术中在车间运输系统中，AGV会持续运行直到低于电量阈值，接着前往充电区进行充电直到充满，使得充电行为发生的时机和充电时长通常不可控，严重拖延调度计划，任务执行状态感知困难的缺陷性技术问题。

[0004] 为了达到上述目的，本发明采用以下技术方案予以实现：

[0005] 本发明提出的一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法，包括以下步骤：

[0006] S1、建立AGV调度模型，AGV调度模型包括任务调度模型与充电调度模型；

[0007] S2、将给定的订单任务信息作为S1得到的任务调度模型的输入，在满足相关约束条件的前提下，采用遗传算法求解任务调度模型，获取任务的分配情况以及相对应的执行顺序，生成初始任务调度方案；

[0008] S3、判断S2获得的初始任务调度方案的状态：

[0009] 初始任务调度方案为可用状态，继续执行初始任务调度方案；

[0010] 执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态，在S2的基础上将给定的订单任务信息作为S1建立的充电调度模型的输入，在满足相关约束条件的前提下，采用遗传算法进行求解充电调度模型，获取每个AGV的充电时机和每次的充电量，从而获得包含充电过程的充电调度方案。

[0011] 优选地,S1的具体操作步骤如下:

[0012] S1.1、任务调度模型与充电调度模型有着不同的决策变量,具体的表示如下:

[0013] 1)、任务调度模型决策变量

$$[0014] \quad O_{ij}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 被分配给运输任务 } O_{ij} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$[0015] \quad O_{ij-i'j'}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 先执行运输任务 } O_{ij} \text{ 然后执行运输任务 } O_{i'j'} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

[0016] 其中, A^a 表示编号为a的AGV, i 表示第*i*个订单, O_{ij} 表示订单*i*的第*j*道运输任务, i 为订单编号; j 为工序编号; i' 和*j'*为与*i*, j 订单编号不相同的数据; O_{ij}^a 表示运输任务的分配情况; $O_{ij-i'j'}^a$ 表示任务的时序管理,即任务的先后顺序;

[0017] 2)、充电调度模型决策变量

$$[0018] \quad C_{ij}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 在执行运输任务 } O_{ij} \text{ 之前执行一次充电任务} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$[0019] \quad SOC_{ij}^a \in [0, 10, 20, \dots, 80]$$

[0020] 其中, SOC_{ij}^a 决定相应的充电任务单次所充的电量;

[0021] S1.2、任务调度模型与充电调度模型有着相同的目标函数和约束条件,具体的表示如下:

[0022] 1) 目标函数

$$[0023] \quad \min f = MS + E$$

[0024] 其中,MS代表任务的完工周期,E代表AGV总的能量消耗;

[0025] 2) 约束条件

[0026] 约束1:运输任务的开始时间不得早于上一个任务的结束时间;

$$[0027] \quad tSO_{i'j'} \geq O_{ij-i'j'}^a (tSO_{ij} + tCO_{ij} + tO_{ij-i'j'}^a), \quad \forall i, i' \in n, a \in m$$

[0028] 其中, m 表示AGV的数量, n 表示订单任务的数量, tSO_{ij} 为 O_{ij} 的开始时间, tCO_{ij} 为 O_{ij} 运输时间, $tO_{ij-i'j'}^a$ 为 A^a 执行完 O_{ij} 前往 $O_{i'j'}$ 取货点的所需时间, $tSO_{i'j'}$ 表示的是 $O_{i'j'}$ 的开始时间;

[0029] 约束2:AGV的开始装货时间不得早于此工序的加工完成时间;

$$[0030] \quad tSO_{ij+1} \geq tSO_{ij} + tCO_{ij} + tPO_{ij+1}, \quad \forall j+1 \leq p_i$$

[0031] 其中, p_i 表示订单*i*的相应的工序数, $tSPO_{ij}$ 为 O_{ij} 所对应的工序的加工开始时间, tSO_{ij+1} 表示为 O_{ij+1} 的开始运输时间,其中, O_{ij+1} 为 O_{ij} 的下一道工序; tPO_{ij+1} 表示为 O_{ij+1} 所对应的加工时间,其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上道工序;

[0032] 约束3:每一个运输任务只能分配给一个AGV;

$$[0033] \quad \sum_a^m O_{ij}^a = 1, \quad \forall i \in n, j \in p_i$$

[0034] 约束4:机床的开始加工时间不得早于上一道工序的加工完成时间;

$$[0035] \quad tSP0_{ij} \geq tSO_{ij-1} + tCO_{ij-1}, j=2, \dots, p_i$$

[0036] 其中, $tSP0_{ij}$ 为 0_{ij} 所对应的工序的加工开始时间, tSO_{ij-1} 为 0_{ij-1} 的开始运输时间, 其中, 0_{ij-1} 为 0_{ij} 的上一道工序; tCO_{ij-1} 为 0_{ij-1} 的完成所需时间, 其中, 0_{ij-1} 为 0_{ij} 的上一道工序;

[0037] 约束5:AGV执行任务时的电量不得低于最小阈值;

$$[0038] \quad SOC_{rt}^a \geq 20 - d^+, \forall a \in m$$

[0039] 其中, SOC_{rt}^a 为 A^a 实时的电池电量百分比, rt 是一整个下标, 表示实时时间, d^+ 为可调整正数;

[0040] 约束6:AGV单次充电电量不得高于剩余可充电量;

$$[0041] \quad 0 \leq SOC_{ij}^a \leq 100 - SOC_{rt}^a, \forall a \in m。$$

[0042] 优选地, S2的具体操作步骤如下:

[0043] 对于给定的订单任务信息, 将给定的订单任务信息作为任务调度模型的输入, 在满足相关约束条件的前提下, 采用遗传算法进行求解任务调度模型;

[0044] S2.1、对任务调度模型解的形式进行染色体编码, 染色体共分为两段, 两段染色体共同决定AGV与任务的对应关系和任务的执行顺序;

[0045] S2.2、计算当前种群的适应度函数值 F , 具体表示为:

$$[0046] \quad F = 1/f$$

[0047] 其中, f 为调度模型中的优化目标综合值;

[0048] S2.3、选择种群中的亲代个体, 采用轮盘赌的方式选取亲代个体;

[0049] S2.4、亲代个体在交叉和变异之后产生不符合规定的染色体, 按照给定任务订单信息和AGV的信息进行修复, 使之成为符合规定的染色体;

[0050] 重复执行S2.2-S2.4得到迭代过程的最优个体, 将最优个体作为初始任务调度方案。

[0051] 优选地, 初始任务调度方案的验证:

[0052] 1)、AGV数字孪生模型的建立: 采用三维建模软件建立AGV的虚拟实体模型, 定义AGV的虚拟实体模型的运行逻辑, 使AGV的虚拟实体模型能够根据生成的调度方案在虚拟环境中模拟AGV集群的调度过程;

[0053] 根据从物理系统中采集的AGV运行速度和载荷数据, 采用动态拟合的方式, 将AGV的速度和载荷作为输入, 将能耗速率为输出, 建立AGV的动态能耗模型, 可以具体表示为:

$$[0054] \quad \hat{\mu} = \beta mass + \kappa v^2 + \chi$$

$$[0055] \quad \mu = \frac{\Delta SOC}{\Delta t}$$

$$[0056] \quad e = \mu - \hat{\mu}$$

[0057] 其中, $\hat{\mu}$ 是能耗速率的估计值, $mass$ 和 v 分别为AGV的载荷和速度, β 和 κ 为相应的系数, χ 为偏移量, μ 为真实的能耗速率, SOC 为电池荷电状态, e 为能耗速率的估计误差;

[0058] 该动态能耗模型的动态体现在: 当能耗速率的估计误差 e 小于阈值时, 动态能耗模

型保持不变;当能耗速率的估计误差 e 大于等于阈值时,动态能耗模型的参数 β 、 κ 、 x 将会被更新;

[0059] 建立AGV运行规则模型:定义AGV一次搬运的货物数量,AGV电量阈值,任务的交付时间 T ,将一次搬运的货物数量、电量阈值和任务的交付时间作为AGV运行规则约束AGV的搬运过程;

[0060] 2)、数字孪生模型的仿真与验证:

[0061] 对于产生的初始任务调度方案,基于三维虚拟模型以及设定的运行逻辑,对初始任务调度方案的整个流程进行仿真,获得初始任务调度方案的完工时间 MS_s ;

[0062] 判断完工时间 MS_s 的值是否超出这批订单的交货时间要求,即是否满足 $MS_s \leq T$;

[0063] 若满足 $MS_s \leq T$ 订单任务的要求,则将该初始任务调度方案下发至车间的执行系统;

[0064] 若不满足 $MS_s \leq T$ 订单任务的要求,重新生成初始任务调度方案。

[0065] 优选地,AGV的动态能耗模型可用性预测:

[0066] 对正在执行初始任务调度方案的AGV群:首先,更新AGV动态能耗模型;其次,根据获得初始任务调度方案与更新之后的AGV动态能耗模型,预测出每个AGV未来运行过程的电量曲线;若电量低于20%,则初始任务调度方案为不可用状态,继续执行初始任务调度方案;若电量高于20%,则初始任务调度方案为可用状态,从而获得AGV的未来可用性结果;最后,判断初始任务调度方案的过程中是否包含不可用状态;若初始任务调度方案不包含不可用状态,继续执行初始任务调度方案;若初始任务调度方案包含不可用状态,获取包含充电过程的充电调度方案。

[0067] 优选地,获取包含充电过程的充电调度方案的步骤如下:

[0068] 充电调度方案求解:采用遗传算法,充电调度的求解在编码阶段中,染色体的两段分别用来表示充电任务的执行时机和单次的充电电量,多次迭代之后,可获得AGV的充电调度方案;

[0069] 获得包含充电过程中的充电调度方案:基于充电调度方案,将相应的充电过程插入到任务调度方案中,得到包含充电过程的充电调度方案。

[0070] 优选地,根据适应度函数的数值来对个体进行排序,数值最大的为迭代过程的最优个体。

[0071] 本发明还提出了一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的系统,其特征在于,包括:

[0072] 模型建立模块,用于建立任务调度模型与充电调度模型;

[0073] 模型求解模块,用于将给定的订单任务信息作为S1得到的任务调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解任务调度模型,获取任务的分配情况以及相对应的执行顺序,生成初始任务调度方案;

[0074] 调度方案可用性判断模块,用于在执行初始任务调度方案的过程中初始任务调度方案为可用状态,继续执行初始任务调度方案;执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态,在S2的基础上将给定的订单任务信息作为S1建立的充电调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解充电调度模型,获取每个AGV的充电时机和每次的充电量,从而获得包含充电过程的充电调度方案。

[0075] 一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行计算机程序时实现基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的步骤。

[0076] 一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的步骤。

[0077] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0078] 本发明提出了一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,首先建立AGV调度模型,AGV调度模型包括任务调度模型和充电调度模型,将给定的订单信息作为任务调度模型的输入数据,再结合约束条件和遗传算法求解该任务调度模型,从而获取包含任务分配情况及对应执行顺序的任务调度方案;其次再判断任务调度方案的可用情况,能够满足不同状态的调度方案,当任务调度方案为可用状态时能够继续AGV能够继续执行初始的任务调度方案;当执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态时,将给定订单信息作为最初建立的充电调度模型的输入数据,再结合相关的约束条件和遗传算法求解该充电调度模型,从而获取包含每个AGV充电时机和充电量的充电调度方案,本发明提出的动态调度方法通过以上方案能够实现AGV的动态调度,也能够保证调度方案更能贴合实际,解决了现有技术存在的在车间运输系统中,AGV会持续运行直到低于电量阈值,接着前往充电区进行充电直到充满,使得充电行为发生的时机和充电时长通常不可控,严重拖延调度计划,任务执行状态感知困难的技术问题。

[0079] 进一步地,基于数字孪生平台,可以建立能准确描述AGV能耗特性的动态能耗模型,为AGV调度方案的生成提供知识支撑;

[0080] 进一步地,任务调度模型和充电调度模型有相同的目标函数和约束条件,任务调度模型和充电调度模型均属于AGV的调度模型,因此具有相同的目标函数和约束条件,将两者分开进行考虑可以更加完整的描述AGV运行的过程;如果两个模型的目标函数和约束条件不同,则获得的调度解不能保证其质量和性能,也不符合实际。

[0081] 进一步地,运行规则模型是隶属于数字孪生模型下的模块。运行规则模型是对AGV调度方案进行仿真验证的前提和基础。是本专利中数字孪生部分的重要内容,不建立该模型无法对AGV调度方案进行验证,不利于本专利的申请。

[0082] 进一步地,将一次搬运的货物数量、电量阈值和任务的交付时间作为AGV运行规则约束AGV的搬运过程,此部分内容为运行规则模型,细化了数字孪生仿真在AGV调度的应用。

[0083] 进一步地,不满足约束条件,不能称为准确描述AGV调度行为的调度模型。

[0084] 进一步地,在调度模型中不仅可以分配运输任务,还可以分配合理的充电任务,使获得的调度方案更贴近真实的场景;调度方案在执行之前能够借助数字孪生技术进行仿真验证,使得调度方案能够满足订单任务的需求。

[0085] 进一步地,实现对AGV能耗的准确预测,充电过程的合理分配以及调度方案的仿真验证,能够解决调度中AGV的充电瓶颈问题,有效提高车间物流效率。

[0086] 本发明还提出了一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的系统,采用模块化思想来实现初至拾取,使各个模块之间相互独立,便于实现对各个模块的统一管理。

附图说明

[0087] 图1为本发明的基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法流程示意图;

- [0088] 图2为本发明验证案例中初始调度方案的甘特图；
- [0089] 图3为本发明采用传统AGV动态调度方法时的最终调度方案甘特图；
- [0090] 图4为本发明基于数字孪生的AGV动态调度方法时的最终调度方案甘特图。

具体实施方式

[0091] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例，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做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的范围。

[0092] 需要说明的是，本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0093] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

[0094] 本发明可以以许多不同的形式实现，而不应当认为限于这里所述的实施例。相反，提供这些实施例以便使本公开透彻且完整，并且将向本领域技术人员充分表达本发明的范围。在附图中，为了清楚起见放大了组件。如图1所示，本发明提出的一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法，包括以下步骤：

[0095] S1、建立AGV调度模型，AGV调度模型包括任务调度模型与充电调度模型；

[0096] S2、将给定的订单任务信息作为S1得到的任务调度模型的输入，在满足相关约束条件的前提下，采用遗传算法求解任务调度模型，获取任务的分配情况以及相对应的执行顺序，生成初始任务调度方案；

[0097] S3、判断S2获得的初始任务调度方案的状态：

[0098] 初始任务调度方案为可用状态，继续执行初始任务调度方案；

[0099] 执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态，在S2的基础上将给定的订单任务信息作为S1建立的充电调度模型的输入，在满足相关约束条件的前提下，采用遗传算法进行求解充电调度模型，获取每个AGV的充电时机和每次的充电量，从而获得包含充电过程的充电调度方案。

[0100] 优选地，S1、AGV调度模型建立，调度模型包括任务调度模型与充电调度模型，首先，建立以完工时间最短和AGV能耗最小为优化目标的任务调度模型，任务与AGV的对应关系以及任务的执行顺序作为决策变量；接着，建立同样以完工时间最短和AGV能耗最小为优化目标的充电调度模型，充电任务的分配与充电量的分配作为决策变量；任务调度模型与充电调度模型都以机床加工的顺序、AGV的工作电量阈值、AGV电池最大容量作为约束条件；

[0101] S2、初始任务调度方案生成：对于一批给定的订单任务信息，将给定的订单任务信息作为任务调度模型的输入，在满足相关约束条件的前提下，对任务调度模型采用遗传算

法进行求解,从而得到任务的分配情况以及相对应的执行顺序,生成初始的任务调度方案;

[0102] S3、制造车间AGV数字孪生模型建立:首先,采用三维建模软件建立AGV的虚拟实体模型,定义其运行逻辑;接着,根据AGV运行速度和载荷,建立准确描述AGV能耗特性的动态能耗模型;最后,建立AGV运行的规则模型,定义AGV一次搬运的货物数量,AGV电量阈值,任务的交付时间T,将其作为AGV运行规则约束AGV的搬运过程;

[0103] 基于数字孪生模型的调度方案仿真与验证,对于生成的初始任务调度方案,首先基于三维实体模型模拟调度方案执行的流程,从而得到仿真环境下的任务完成时间;然后对仿真环境下得到的完成时间进行评估;若满足订单任务的要求,则将该初始任务调度方案下发至车间的执行系统;若不满足订单任务的要求,需要重新生成新的初始任务调度方案;

[0104] 基于动态能耗模型的AGV可用性预测:对正在执行初始任务调度方案的AGV群,首先更新建立的AGV动态能耗模型;接着,根据初始任务调度方案与更新之后的AGV动态能耗模型,预测出每个AGV未来的电量曲线;若电量低于20%,判定初始任务调度方案为不可用状态,若电量高于20%,判定初始任务调度方案为可用状态,从而获得AGV的未来可用性结果;最后,判断执行S2的初始任务调度方案的过程中是否包含不可用状态;若初始任务调度方案包含不可用状态,则需要执行下一步;初始任务调度方案不包含不可用状态,维持原有初始任务调度方案;

[0105] 充电调度:在S2初始任务调度方案的基础上,首先,将该批给定的订单任务信息作为充电调度模型的输入,在满足相应约束的前提下,采用遗传算法进行求解充电调度模型,得到每个AGV的充电时机与每次的充电量,从而获得包含充电过程的充电调度方案。

[0106] 本发明提供的一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,包括如下具体的操作步骤:其中,制造车间AGV调度涉及多个机床,m台AGV,以及n个订单任务的数量;

[0107] S1、AGV调度模型建立,调度模型包括任务调度模型与充电调度模型,任务调度模型与充电调度模型的优化目标均为完工时间最短和AGV能耗最小,任务调度与充电调度都以机床加工的顺序、AGV的工作电量阈值、AGV电池最大容量作为约束条件。任务调度模型中任务与AGV的对应关系以及任务的执行顺序作为决策变量;充电调度模型中充电任务的分配与单次充电量大小作为决策变量,具体的实施方式如下:

[0108] S1.1、任务调度模型与充电调度模型有着不同的决策变量,具体的表示如下:

[0109] 1)、任务调度模型决策变量

$$[0110] \quad O_{ij}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 被分配给运输任务 } O_{ij} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$[0111] \quad O_{ij-i'j'}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 先执行运输任务 } O_{ij} \text{ 然后执行运输任务 } O_{i'j'} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

[0112] 其中, A^a 表示编号为a的AGV,i表示第i个订单, O_{ij} 表示订单i的第j道运输任务,i为订单编号;j为工序编号;i'和j'为与i,j订单编号不相同的数据; O_{ij}^a 表示运输任务的分配情况; $O_{ij-i'j'}^a$ 表示任务的时序管理,即任务的先后顺序;

[0113] 2)、充电调度模型决策变量

$$[0114] \quad C_{ij}^a = \begin{cases} 1, & A^a \text{ 在执行运输任务 } O_{ij} \text{ 之前执行一次充电任务} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$$

$$[0115] \quad SOC_{ij}^a \in [0, 10, 20, \dots, 80]$$

[0116] 其中, SOC_{ij}^a 决定相应的充电任务单次所充的电量;

[0117] S1.2、任务调度模型与充电调度模型有着相同的目标函数和约束条件,具体的表示如下:

[0118] 1)、目标函数

$$[0119] \quad \min f = MS + E$$

[0120] 其中,MS代表任务的完工周期,E代表AGV总的能量消耗。

[0121] 2)、约束条件

[0122] 约束1:运输任务的开始时间不得早于上一个任务的结束时间。

$$[0123] \quad tSO_{i'j'} \geq O_{ij}^a (tSO_{ij} + tCO_{ij} + tO_{ij-i'j'}^a), \quad \forall i, i' \in n, a \in m$$

[0124] 其中,m表示AGV的数量,n表示订单任务的数量, tSO_{ij} 为 O_{ij} 的开始时间, tCO_{ij} 为 O_{ij} 运输时间, $tO_{ij-i'j'}^a$ 为 A^a 执行完 O_{ij} 前往 $O_{i'j'}$ 取货点的所需时间, $tSO_{i'j'}$ 表示的是 $O_{i'j'}$ 的开始时间;

[0125] 约束2:AGV的开始装货时间不得早于此工序的加工完成时间

$$[0126] \quad tSO_{ij+1} \geq tSO_{ij} + tCO_{ij} + tPO_{ij+1}, \quad \forall j+1 \leq p_i$$

[0127] 其中, p_i 表示订单i的相应的工序数; tSO_{ij+1} 表示为 O_{ij+1} 的开始运输时间,其中, O_{ij+1} 为 O_{ij} 的下一道工序; tPO_{ij+1} 表示为 O_{ij+1} 所对应的加工时间,其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上一道工序;

[0128] 约束3:每一个运输任务只能分配给一个AGV

$$[0129] \quad \sum_a^m O_{ij}^a = 1, \quad \forall i \in n, j \in p_i$$

[0130] 约束4:机床的开始加工时间不得早于上一道工序的加工完成时间

$$[0131] \quad tSPO_{ij} \geq tSO_{ij-1} + tCO_{ij-1}, \quad j=2, \dots, p_i$$

[0132] 其中, $tSPO_{ij}$ 为 O_{ij} 所对应的工序的加工开始时间, tSO_{ij-1} 为 O_{ij-1} 的开始运输时间,其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上一道工序; tCO_{ij-1} 为 O_{ij-1} 的完成所需时间,其中, O_{ij-1} 为 O_{ij} 的上一道工序;

[0133] 约束5:AGV执行任务时的电量不得低于最小阈值

$$[0134] \quad SOC_{rt}^a \geq 20 - d^+, \quad \forall a \in m$$

[0135] 其中, SOC_{rt}^a 为 A^a 实时的电池电量百分比,rt是一整个下标,表示实时时间, d^+ 为可调整正数,一般在1~2左右,此约束为软约束。

[0136] 约束6:AGV单次充电电量不得高于剩余可充电量

$$[0137] \quad 0 \leq SOC_{ij}^a \leq 100 - SOC_{rt}^a, \quad \forall a \in m$$

[0138] S2、初始任务调度方案生成:对于给定的订单任务信息,将给定的订单任务信息作

为任务调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解任务调度模型,具体的实施方式如下:

[0139] S2.1、对任务调度模型解的形式进行染色体编码,染色体总共分为两段,两段染色体共同决定着AGV与任务的对应关系和任务的执行顺序;

[0140] S2.2、计算当前种群的适应度函数值,可具体表示为:

[0141] $F=1/f$

[0142] 其中, f 为调度模型中的优化目标综合值;

[0143] S2.3、选择种群中的亲代个体,采用轮盘赌的方式选取亲代个体;

[0144] S2.4、交叉和变异:亲代个体在交叉和变异之后会产生不符合规定的染色体,需按照订单信息和AGV的信息进行修复,使之成为符合规定的染色体;

[0145] 如此,重复执行S2.2-S2.4得到迭代过程的最优个体,将最优个体作为初始的任务调度方案。

[0146] 初始任务调度方案的验证:

[0147] 1)、建立制造车间AGV的数字孪生模型,具体实施方式如下:

[0148] 采用三维建模软件建立AGV的虚拟实体模型,定义其运行逻辑,使其能够根据生成的调度方案在虚拟环境中模拟AGV集群的调度过程;根据从物理系统中采集的AGV运行速度、载荷数据,采用动态拟合的方式,将AGV的速度和载荷作为输入,将能耗速率为输出,建立准确描述AGV能耗特性的动态能耗模型,具体可表示为:

[0149] $\hat{\mu} = \beta mass + \kappa v^2 + \chi$

[0150] $\mu = \frac{\Delta SOC}{\Delta t}$

[0151] $e = \mu - \hat{\mu}$

[0152] 其中, $\hat{\mu}$ 是能耗速率的估计值, $mass$ 和 v 分别为AGV的载荷和速度, β 和 κ 为相应的系数, χ 为偏移量, μ 为真实的能耗速率SOC为电池荷电状态, e 为能耗速率的估计误差。

[0153] 该动态能耗模型的动态体现在:当能耗速率的估计误差 e 小于阈值时,动态能耗模型保持不变,当能耗速率的估计误差 e 大于等于阈值时,动态能耗模型的参数 β 、 κ 、 χ 将会被更新;

[0154] 建立AGV运行规则模型:定义AGV一次搬运的货物数量,AGV电量阈值,任务的交付时间 T ,将一次搬运的货物数量、电量阈值和任务的交付时间作为AGV运行规则约束AGV的搬运过程;

[0155] 2)、数字孪生模型的调度方案仿真与验证:对于S2生成的初始任务调度方案进行仿真验证;若满足订单任务的要求,则将该初始任务调度方案下发至车间的执行系统;否则,需要重新生成新的任务调度方案;

[0156] 具体的:对于产生的调度方案,基于三维虚拟模型以及建立的规则模型,对初始任务调度方案的整个流程进行仿真,获得初始任务调度方案的完工时间 MS_s ;

[0157] 判断完工时间 MS_s 的值是否超出这批订单的交货时间要求,即是否满足 $MS_s \leq T$;

[0158] 若满足 $MS_s \leq T$ 订单任务的要求,则将该初始任务调度方案下发至车间的执行系统;否则若不满足 $MS_s \leq T$ 订单任务的要求,需要重新生成初始任务调度方案。

[0159] 基于动态能耗模型的AGV可用性预测:对正在执行初始任务调度方案的AGV群:首先根据以上方法更新AGV动态能耗模型;接着,根据S2所获得初始任务调度方案与更新之后的AGV动态能耗模型,预测出每个AGV未来运行过程的电量曲线;若电量低于20%,判定初始任务调度方案为不可用状态,继续执行初始任务调度方案;若电量高于20%,则初始任务调度方案为可用状态,从而获得AGV的未来可用性结果;最后,判断初始任务调度方案的过程中是否包含不可用状态;若初始任务调度方案包含不可用状态,则需要触发以下步骤获取包含充电过程的充电调度方案;若初始任务调度方案不包含不可用状态,维持原有初始任务调度方案。

[0160] 充电调度:在S2初始任务调度方案的基础上,获得包含充电过程的调度方案,将此新的调度方案下发至调度系统,具体的实施方式如下:

[0161] 充电调度方案求解:同样采用遗传算法,区别于任务调度方案的求解,充电调度的求解在编码阶段中,染色体的两段分别用来表示充电任务的执行时机和单次的充电电量,遗传算法的其他阶段与任务调度求解基本一致,多次迭代之后,可获得AGV的充电调度方案。

[0162] 获得包含充电过程中的充电调度方案:基于所得到的充电调度方案,将相应的充电过程插入到原始的任务调度方案中,得到包含充电过程的充电调度方案。值得注意的是,为保证在充电调度过程中能得到可行解,应当适度放宽对于任务交付时间的要求。

[0163] 综上所述,本发明公开一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法,此方法包含制造车间AGV数字孪生模型建立、AGV调度模型建立、初始调度方案生成、基于数字孪生模型的调度方案仿真与验证、基于动态能耗模型的AGV可用性预测、充电调度6个步骤。本发明建立了基于数字孪生技术的AGV动态能耗模型,可以为AGV调度方案的生成提供知识支撑;建立了包含任务调度与充电调度的调度模型,在调度方案生成过程中不仅可以分配运输任务,还可以分配合理的充电任务,使获得的调度方案更贴近真实的场景;调度方案在执行之前借助数字孪生技术进行仿真验证,使得调度方案能够满足订单任务的需求。

[0164] 为了验证本方法的可行性与有效性,对一个订单实例进行求解,并将基于数字孪生的AGV动态调度结果与传统AGV动态调度结果进行了对比。

[0165] 如图2所示,为此订单实例的初始调度方案的甘特图,订单实例中包含9个订单,包含29个运输任务,由3辆AGV来执行。其中3号AGV的初始电量不足以支撑其完成任务列表,电量低于规定阈值之后会前往充电区充电直到充满,因此,为了减少拖延时间,初始调度方案必须调整。采用传统的AGV动态调度调整后的方案如图3所示,采用基于数字孪生的动态调度调整后的方案如图4所示。

[0166] 如图3所示,3号AGV在前往充电区充电时,订单任务会被重新调度,剩余未被执行的订单任务将会由其他两辆AGV来执行,此方法可以在一定程度上减少由于充电过程所导致任务延期,但仍不能满足本订单实例的交付要求。

[0167] 如图4所示,基于数字孪生的AGV动态调度方法在AGV发生电量警告之前触发了充电调度,得到了一个包含充电任务的新的调度方案,在此调度方案中,3号AGV在电量低于规定阈值之前的一个空闲时段(完成了5-1运输任务)中进行了一次充电,并且只充了部分电量,该调度方案的完工时间可以满足本订单实例的交付要求。与传统的AGV动态调度相比,本发明的调度方案可以有效提升AGV运行的效率,更能贴近真实的AGV运行场景。

[0168] 本发明还提出了一种基于数字孪生的制造车间AGV动态调度方法的调度系统,包括:

[0169] 模型建立模块,用于建立任务调度模型与充电调度模型;

[0170] 模型求解模块,用于将给定的订单任务信息作为S1得到的任务调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解任务调度模型,获取任务的分配情况以及相对应的执行顺序,生成初始任务调度方案;

[0171] 调度方案可用性判断模块,用于在执行初始任务调度方案的过程中初始任务调度方案为可用状态,继续执行初始任务调度方案;执行初始任务调度方案的过程中存在不可用状态,在S2的基础上将给定的订单任务信息作为S1建立的充电调度模型的输入,在满足相关约束条件的前提下,采用遗传算法进行求解充电调度模型,获取每个AGV的充电时机和每次的充电量,从而获得包含充电过程的充电调度方案。

[0172] 本发明一实施例提供的终端设备的示意图。该实施例的终端设备包括:处理器、存储器以及存储在所述存储器中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计算机程序时实现上述各个方法实施例中的步骤。或者,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能。

[0173] 所述计算机程序可以被分割成一个或多个模块/单元,所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器中,并由所述处理器执行,以完成本发明。

[0174] 所述终端设备可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备。所述终端设备可包括,但不仅限于,处理器、存储器。

[0175] 所述处理器可以是中央处理单元(CentralProcessingUnit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(DigitalSignalProcessor,DSP)、专用集成电路(ApplicationSpecificIntegratedCircuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-ProgrammableGateArray,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。

[0176] 所述存储器可用于存储所述计算机程序和/或模块,所述处理器通过运行或执行存储在所述存储器内的计算机程序和/或模块,以及调用存储在存储器内的数据,实现所述终端设备的各种功能。

[0177] 所述终端设备集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时,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,本发明实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(ROM,Read-OnlyMemory)、随机存取存储器(RAM,RandomAccessMemory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括电载波信号和电信信号。

[0178] 本技术领域技术人员可以理解的是,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样定义,不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0179] 以上内容仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明权利要求书的保护范围之内。

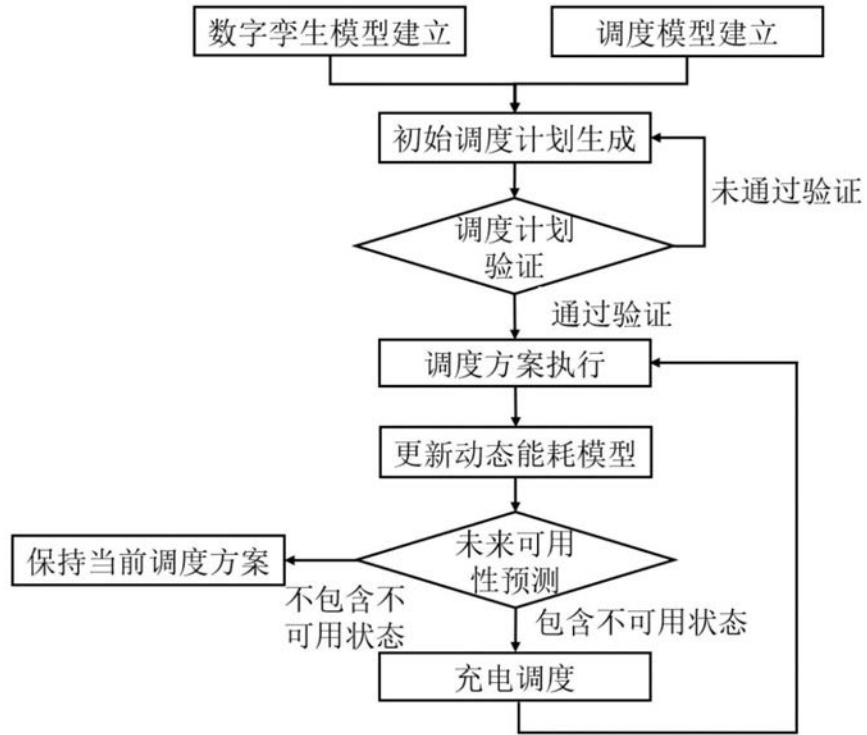


图1

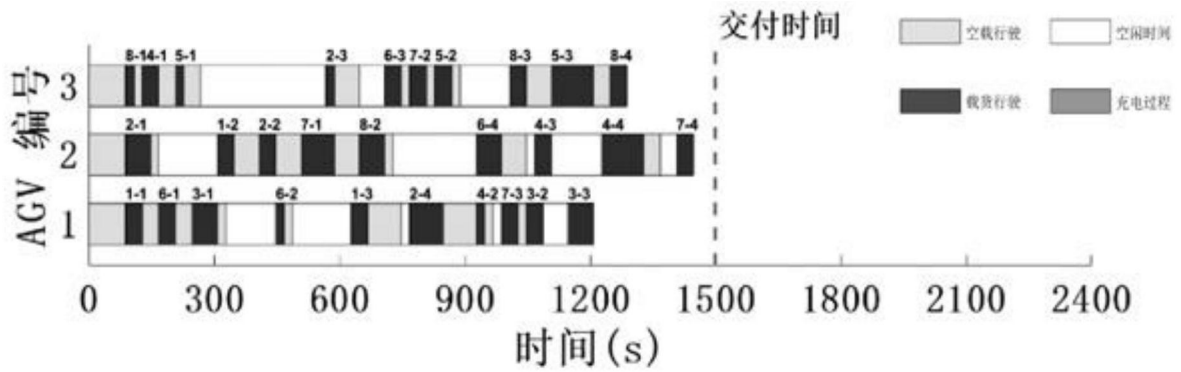


图2

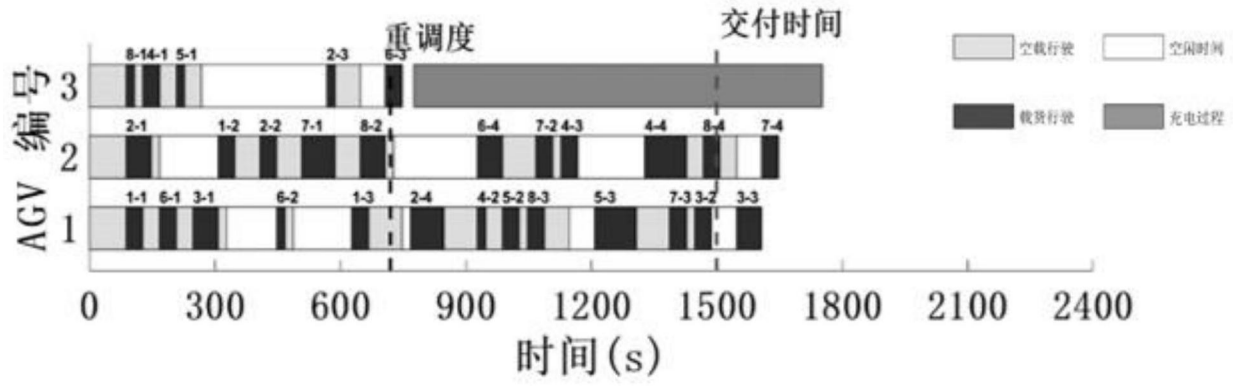


图3

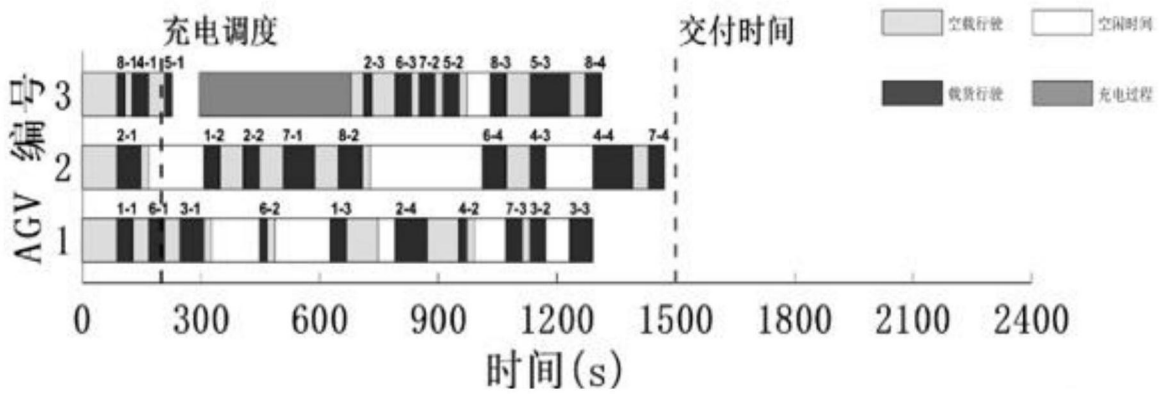


图4