



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116485062 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 25

(21) 申请号 202310725063.2

(22) 申请日 2023.06.19

(71) 申请人 江苏集萃清联智控科技有限公司  
地址 214124 江苏省无锡市经济开发区高浪东路999-8-D1-603

(72) 发明人 王晓伟 戴琪 谢国涛 秦晓辉  
徐彪 秦兆博

(74) 专利代理机构 北京汇智胜知识产权代理事务所(普通合伙) 11346  
专利代理师 赵立军

(51) Int. Cl.

G06Q 10/047 (2023.01)

G06N 3/126 (2023.01)

G06Q 10/0631 (2023.01)

G06Q 50/02 (2012.01)

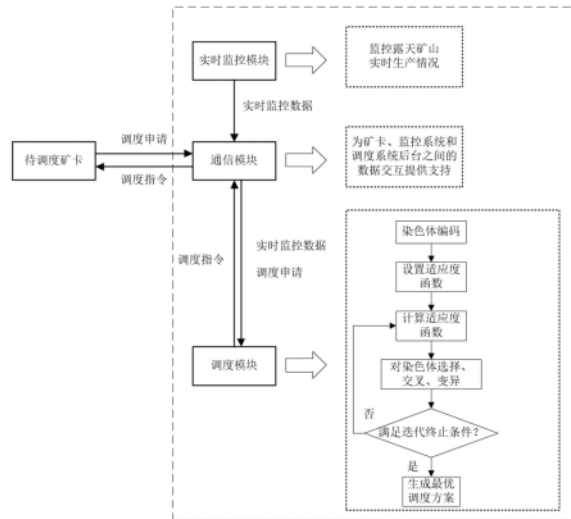
权利要求书4页 说明书14页 附图2页

(54) 发明名称

一种露天矿卡车调度方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种露天矿卡车调度方法及装置,包括:步骤1,根据露天矿卡车申请调度指令,用多目标露天矿卡车调度车流规划模型获得目标流率;步骤2,将实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率和目标流率偏差最大路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案;步骤3,将卡车调度方案基因编码,生成染色体,初始化;步骤4,设置适应度函数;步骤5,将染色体解码为原始调度方案,代入适应度函数,计算染色体适应度函数值;步骤6,选择上一轮迭代适应度最好的染色体,搜索最优解;步骤7,重复步骤5和6,直到满足结束条件,输出卡车调度方案的最优解。本发明能够实现高效节能的调度目标。本发明适用于大型露天矿所在区域开采自动化。



1. 一种露天矿卡车调度方法,其特征在于,包括:

步骤1,根据露天矿卡车申请调度指令,利用多目标露天矿卡车调度车流规划模型计算各路径最佳流率,并将该流率作为目标流率;其中,多目标露天矿卡车调度车流规划模型将最大化班次内的矿石生产产量、最小化露天矿卡车运行成本和最小化生产设备等待时间同时作为优化目标;

步骤2,通过露天矿卡车调度系统获取实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率,再将实际流率和目标流率之间差值最大所对应的路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案;

步骤3,将步骤2的卡车调度方案进行基因编码,生成染色体,并初始化;

步骤4,设置适应度函数;

步骤5,将步骤3的染色体解码为原始的调度方案,并代入适应度函数中,计算染色体适应度函数值;

步骤6,选择上一轮迭代中适应度最好的染色体,并通过交叉、变异搜索最优解;

步骤7,重复步骤5和步骤6,直到满足结束条件,输出卡车调度方案的最优解;

多目标露天矿卡车调度车流规划模型设置为如下:

$$\min F = -P_1\bar{F}_1 + P_2\bar{F}_2 + P_3\bar{F}_3$$

约束设置如下:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I c_k x_{kji} \leq S_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_k x_{kji} \geq Q_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} \leq R_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} \leq R_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$\sum_{j=1}^J x_{kpj} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$\sum_{i=1}^I y_{kip} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip} \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

式中, $F$ 表示目标函数, $F_1$ 表示班次内露天矿卡车运输总量, $F_2$ 表示班次内露天矿卡车运行成本, $F_3$ 表示班次内生产设备等待时间, $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 、 $\bar{F}_3$ 分别表示 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 归一化处理后的结果, $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 分别表示 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 的权重系数, $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ , $c_k$ 表示露天矿卡车 $k$ 的额

定载重量,  $K$  为露天矿卡车  $k$  的总数,  $I$  为卸载点  $i$  的总数,  $J$  为装载点  $j$  的总数,  $S_j$  表示装载点  $j$  的矿石与废土的储存量,  $Q_i$  表示卸载点  $i$  的生产要求产量,  $R_j$  表示装载点  $j$  的承受容量,  $R_i$  表示卸载点  $i$  的承受容量,  $x_{kpj}$  表示露天矿卡车  $k$  从停车区  $p$  至装载点  $j$  的行驶次数,  $y_{kip}$  表示露天矿卡车  $k$  从停车区  $p$  至卸载点  $i$  的行驶次数,  $x_{kji}$  表示露天矿卡车  $k$  从装载点  $j$  到卸载点  $i$  的行驶次数。

2. 如权利要求1所述的露天矿卡车调度方法, 其特征在于, 步骤1中的多目标露天矿卡车调度车流规划模型的获取方法具体包括:

步骤11, 确定露天矿所在区域各生产要素基本信息和设备历史运行数据;

步骤12, 建立多目标露天矿卡车调度车流规划模型, 确定随机变量, 根据采集到的历史运行数据, 对随机变量进行拟合, 并将该变量的期望值代入目标函数进行计算;

其中, 步骤12具体包括:

步骤121, 将班次内的矿石生产产量作为第一个子目标;

步骤122, 将班次内露天矿卡车运行成本作为第二个子目标;

步骤123, 将班次内生产设备等待时间作为第三个子目标;

步骤124, 对第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标进行归一化处理;

步骤125, 根据第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标, 确定多目标露天矿卡车调度车流规划目标函数;

步骤126, 据露天矿所在区域开采实际情况, 确定目标函数的约束条件;

步骤127, 在步骤125的目标函数中, 将最大化第一个子目标、最小化第二个子目标和最小化第三个子目标, 作为优化目标, 同时, 根据步骤126确定的约束条件, 设置多目标露天矿卡车调度车流规划模型。

3. 如权利要求2所述的露天矿卡车调度方法, 其特征在于, 步骤12中“确定随机变量”包括: 将露天矿卡车调度过程中的露天矿卡车和电铲的参数设置为随机变量。

4. 如权利要求1-3中任一项所述的露天矿卡车调度方法, 其特征在于, 步骤3具体步骤如下:

步骤31, 设置一条染色体作为卡车调度方案的解, 每个基因代表一个决策变量并使用实数编码, 每个基因对应一个非负整数, 数值表示一辆露天矿卡车从一个起点到一个目的地的行驶次数, 同时, 将染色体分为4个基因片段, 分别表示从装载点到卸载点、从卸载点到装载点、从停车区到装载点和从卸载点到停车区的行驶次数;

步骤32, 生成  $n$  条染色体, 作为初始化种群。

5. 如权利要求4所述的露天矿卡车调度方法, 其特征在于, 对于包含  $J$  个装载点、 $I$  个卸载点、 $K$  辆露天矿卡车、1个停车区的露天矿所在区域的情形下, 染色体长度为  $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ , 染色体分为4个基因片段, 第一个基因片段从序号1至序号  $J \times I \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个装载点运输矿石和废土到每个卸载点的行驶次数  $x_{kji}$ ; 染色体中第二个基因片段从序号  $J \times I \times K + 1$  至序号  $2 \times J \times I \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个卸载点空车行驶到每个装载点的行驶次数  $y_{kij}$ ; 染色体中第三个基因片段从序号  $2 \times J \times I \times K + 1$  至序号  $2 \times J \times I \times K + J \times K$ , 表示所有露天矿卡车从停车区行驶到每个装载点的行驶次数  $x_{kpj}$ , 染色体中第四个基因片段从序号  $2 \times J \times I \times K + J \times K + 1$  至序号  $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个卸载点行驶到停车区的行驶次

数  $Y_{kip}$ 。

6. 一种露天矿卡车调度装置,其特征在于,包括:

实时监控模块,其用于监控露天矿所在区域实时生产情况;

调度模块,其用于根据露天矿卡车申请调度指令,首先用多目标露天矿卡车调度车流规划模型计算各路径最佳流率,并将该流率作为目标流率,再获取实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率,再将实际流率和目标流率之间差值最大所对应的路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案,最后将卡车调度方案进行基因编码,生成染色体,并初始化,再将染色体解码为原始的调度方案,并代入适应度函数中,计算染色体适应度函数值,选择上一轮迭代中适应度最好的染色体,并通过交叉、变异搜索最优解;

其中,多目标露天矿卡车调度车流规划模型将班次内的最大化矿石生产产量、最小化露天矿卡车运行成本和最小化生产设备等待时间同时作为优化目标;

其中,多目标露天矿卡车调度车流规划模型的获取方法具体包括:

步骤11,确定露天矿所在区域各生产要素基本信息和设备历史运行数据;

步骤12,建立多目标露天矿卡车调度车流规划模型,确定随机变量,根据采集到的历史运行数据,对随机变量进行拟合,并将该变量的期望值代入目标函数进行计算;

其中,步骤12具体包括:

步骤121,将班次内的矿石生产产量作为第一个子目标;

步骤122,将班次内露天矿卡车运行成本作为第二个子目标;

步骤123,将班次内生产设备等待时间作为第三个子目标;

步骤124,对第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标进行归一化处理;

步骤125,根据第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标,确定多目标露天矿卡车调度车流规划目标函数;

步骤126,据露天矿所在区域开采实际情况,确定目标函数的约束条件;

步骤127,在步骤125的目标函数中,将最大化第一个子目标、最小化第二个子目标和最小化第三个子目标,作为优化目标,同时,根据步骤126确定的约束条件,设置多目标露天矿卡车调度车流规划模型;

通信模块,其用于为露天矿卡车和调度系统后台建立通信连接,在露天矿卡车完成装载或卸载任务后由通信模块向调度模块进行调度申请,在调度模块生成调度指令后再由通信模块将调度指令下发至露天矿卡车;

多目标露天矿卡车调度车流规划模型设置为如下:

$$\min F = -P_1 \bar{F}_1 + P_2 \bar{F}_2 + P_3 \bar{F}_3$$

约束设置如下:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I c_k x_{kji} \leq S_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_k x_{kji} \geq Q_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} &\leq R_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, J\} \\ \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} &\leq R_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, I\} \\ \sum_{j=1}^J x_{kpj} &\leq 1, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \\ \sum_{i=1}^I y_{kip} &\leq 1, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \\ x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip} &\in \{0, 1, 2, \dots\} \end{aligned}$$

式中,  $F$ 表示目标函数,  $F_1$ 表示班次内露天矿卡车运输总量,  $F_2$ 表示班次内露天矿卡车运行成本,  $F_3$ 表示班次内生产设备等待时间,  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_3$ 分别表示 $F_1, F_2, F_3$ 归一化处理后的结果,  $P_1, P_2, P_3$ 分别表示 $F_1, F_2, F_3$ 的权重系数,  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ ,  $c_k$ 表示露天矿卡车 $k$ 的额定载重量,  $K$ 为露天矿卡车 $k$ 的总数,  $I$ 为卸载点 $i$ 的总数,  $J$ 为装载点 $j$ 的总数,  $S_j$ 表示装载点 $j$ 的矿石与废土的储存量,  $Q_i$ 表示卸载点 $i$ 的生产要求产量,  $R_j$ 表示装载点 $j$ 的承受容量,  $R_i$ 表示卸载点 $i$ 的承受容量,  $x_{kpj}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从停车区 $p$ 至装载点 $j$ 的行驶次数,  $y_{kip}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从停车区 $p$ 至卸载点 $i$ 的行驶次数,  $x_{kji}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从装载点 $j$ 到卸载点 $i$ 的行驶次数。

7. 如权利要求6所述的露天矿卡车调度装置, 其特征在于, 调度模块具体包括:

染色体设置子单元, 其用于设置一条染色体作为卡车调度方案的解, 每个基因代表一个决策变量并使用实数编码, 每个基因对应一个非负整数, 数值表示一辆露天矿卡车从一个起点到一个目的地的行驶次数, 同时, 将染色体分为4个基因片段, 分别表示从装载点到卸载点、从卸载点到装载点、从停车区到装载点和从卸载点到停车区的行驶次数;

种群初始化子单元, 其用于生成 $n$ 条染色体, 作为初始化种群。

8. 如权利要求7所述的露天矿卡车调度装置, 其特征在于, 对于包含 $J$ 个装载点、 $I$ 个卸载点、 $K$ 辆露天矿卡车、1个停车区的露天矿所在区域的情形下, 染色体长度为 $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ , 染色体分为4个基因片段, 第一个基因片段从序号1至序号 $J \times I \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个装载点运输矿石和废土到每个卸载点的行驶次数 $x_{kji}$ ; 染色体中第二个基因片段从序号 $J \times I \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个卸载点空车行驶到每个装载点的行驶次数 $y_{kij}$ ; 染色体中第三个基因片段从序号 $2 \times J \times I \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K + J \times K$ , 表示所有露天矿卡车从停车区行驶到每个装载点的行驶次数 $x_{kpj}$ , 染色体中第四个基因片段从序号 $2 \times J \times I \times K + J \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个卸载点行驶到停车区的行驶次数 $y_{kip}$ 。

## 一种露天矿卡车调度方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及工业自动化技术领域,特别是关于一种露天矿卡车调度方法及装置。

### 背景技术

[0002] 大型露天矿所在区域开采工艺通常包括穿爆、采装、运输、排卸等步骤。其中的运输过程一般指露天矿卡车在装载点由电铲装载材料后,将材料运输到相应的卸载点进行卸载,卸载完成后继续返回装载点准备下一轮运输的过程,其中还包含了露天矿卡车在装载点和卸载点的排队等待等过程。

[0003] 研究表明,运输过程所占的成本占露天矿总运营成本的60%,所以降低运输过程中的成本是降低露天矿所在区域运营成本的关键所在。在理想的条件下,露天矿卡车在到达装载点的电铲时,上一辆正在该处进行作业的露天矿卡车在同一时刻完成装载,此时卡车和电铲都无需等待而造成能源和时间的浪费。

[0004] 在实际的生产中,由于车队数量与电铲数量可能并不完美匹配以及随机事件的发生,如卡车行驶时间的不确定性、装载时间的不确定性和卸载时间的不确定性,可能会造成某些装载点电铲或卡车存在空闲等待的情况,因此对露天矿卡车运输过程进行合理调度对于提高露天矿生产效率、降低生产成本而言是非常重要的。与此同时,由于以往的人工调度方法具有很大的随机性,对露天矿卡车行程选择并不一定达到最优,仍无法避免露天矿卡车有效利用率低等情况。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种露天矿卡车调度方法及装置来克服或至少减轻现有技术的上述缺陷中的至少一个。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供一种露天矿卡车调度方法,其包括:

[0007] 步骤1,根据露天矿卡车申请调度指令,利用多目标露天矿卡车调度车流规划模型计算各路径最佳流率,并将该流率作为目标流率;其中,多目标露天矿卡车调度车流规划模型将最大化班次内的矿石生产产量、最小化露天矿卡车运行成本和最小化生产设备等待时间同时作为优化目标;

[0008] 步骤2,通过露天矿卡车调度系统获取实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率,再将实际流率和目标流率之间差值最大所对应的路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案;

[0009] 步骤3,将步骤2的卡车调度方案进行基因编码,生成染色体,并初始化;

[0010] 步骤4,设置适应度函数;

[0011] 步骤5,将步骤3的染色体解码为原始的调度方案,并代入适应度函数中,计算染色体适应度函数值;

[0012] 步骤6,选择上一轮迭代中适应度最好的染色体,并通过交叉、变异搜索最优解;

- [0013] 步骤7,重复步骤5和步骤6,直到满足结束条件,输出卡车调度方案的最优解。
- [0014] 进一步地,步骤1中的多目标露天矿卡车调度车流规划模型的获取方法具体包括:
- [0015] 步骤11,确定露天矿所在区域各生产要素基本信息和设备历史运行数据;
- [0016] 步骤12,建立多目标露天矿卡车调度车流规划模型,确定随机变量,根据采集到的历史运行数据,对随机变量进行拟合,并将该变量的期望值代入目标函数进行计算;
- [0017] 其中,步骤12具体包括:
- [0018] 步骤121,将班次内的矿石生产产量作为第一个子目标;
- [0019] 步骤122,将班次内露天矿卡车运行成本作为第二个子目标;
- [0020] 步骤123,将班次内生产设备等待时间作为第三个子目标;
- [0021] 步骤124,对第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标进行归一化处理;
- [0022] 步骤125,根据第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标,确定多目标露天矿卡车调度车流规划目标函数;
- [0023] 步骤126,据露天矿所在区域开采实际情况,确定目标函数的约束条件;
- [0024] 步骤127,在步骤125的目标函数中,将最大化第一个子目标、最小化第二个子目标和最小化第三个子目标,作为优化目标,同时,根据步骤126确定的约束条件,设置多目标露天矿卡车调度车流规划模型。
- [0025] 进一步地,多目标露天矿卡车调度车流规划模型设置为如下:

[0026] 
$$\min F = -P_1\bar{F}_1 + P_2\bar{F}_2 + P_3\bar{F}_3$$

[0027] 约束设置如下:

[0028] 
$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I c_k x_{kji} \leq S_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

[0029] 
$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_k x_{kji} \geq Q_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

[0030] 
$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} \leq R_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

[0031] 
$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} \leq R_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

[0032] 
$$\sum_{j=1}^J x_{kpj} \leq 1, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

[0033] 
$$\sum_{i=1}^I y_{kip} \leq 1, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

[0034] 
$$x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip} \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

[0035] 式中, $F$ 表示目标函数, $F_1$ 表示班次内露天矿卡车运输总量, $F_2$ 表示班次内露天矿卡车运行成本, $F_3$ 表示班次内生产设备等待时间, $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 、 $\bar{F}_3$ 分别表示 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 归一化处理

后的结果,  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 分别表示 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 的权重系数,  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ ,  $c_k$ 表示露天矿卡车 $k$ 的额定载重量,  $K$ 为露天矿卡车 $k$ 的总数,  $I$ 为卸载点 $i$ 的总数,  $J$ 为装载点 $j$ 的总数,  $S_j$ 表示装载点 $j$ 的矿石与废土的储存量,  $Q_i$ 表示卸载点 $i$ 的生产要求产量,  $R_j$ 表示装载点 $j$ 的承受容量,  $R_i$ 表示卸载点 $i$ 的承受容量,  $x_{kpj}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从停车区 $p$ 至装载点 $j$ 的行驶次数,  $y_{kip}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从停车区 $p$ 至卸载点 $i$ 的行驶次数,  $x_{kji}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从装载点 $j$ 到卸载点 $i$ 的行驶次数。

[0036] 进一步地,步骤12中“确定随机变量”包括:将露天矿卡车调度过程中的露天矿卡车和电铲的参数设置为随机变量。

[0037] 进一步地,步骤3具体步骤如下:

[0038] 步骤31,设置一条染色体作为卡车调度方案的解,每个基因代表一个决策变量并使用实数编码,每个基因对应一个非负整数,数值表示一辆露天矿卡车从一个起点到一个目的地的行驶次数,同时,将染色体分为4个基因片段,分别表示从装载点到卸载点、从卸载点到装载点、从停车区到装载点和从卸载点到停车区的行驶次数;

[0039] 步骤32,生成 $n$ 条染色体,作为初始化种群。

[0040] 进一步地,对于包含 $J$ 个装载点、 $I$ 个卸载点、 $K$ 辆露天矿卡车、1个停车区的露天矿所在区域的情形下,染色体长度为 $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ ,染色体分为4个基因片段,第一个基因片段从序号1至序号 $J \times I \times K$ ,表示所有露天矿卡车从每个装载点运输矿石和废土到每个卸载点的行驶次数 $x_{kji}$ ;染色体中第二个基因片段从序号 $J \times I \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K$ ,表示所有露天矿卡车从每个卸载点空车行驶到每个装载点的行驶次数 $y_{kij}$ ;染色体中第三个基因片段从序号 $2 \times J \times I \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K + J \times K$ ,表示所有露天矿卡车从停车区行驶到每个装载点的行驶次数 $x_{kpj}$ ,染色体中第四个基因片段从序号 $2 \times J \times I \times K + J \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ ,表示所有露天矿卡车从每个卸载点行驶到停车区的行驶次数 $y_{kip}$ 。

[0041] 本发明还提供一种露天矿卡车调度装置,其包括:

[0042] 实时监控模块,其用于监控露天矿所在区域实时生产情况;

[0043] 调度模块,其用于根据露天矿卡车申请调度指令,首先用多目标露天矿卡车调度车流规划模型计算各路径最佳流率,并将该流率作为目标流率,再获取实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率,再将实际流率和目标流率之间差值最大所对应的路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案,最后将卡车调度方案进行基因编码,生成染色体,并初始化,再将染色体解码为原始的调度方案,并代入适应度函数中,计算染色体适应度函数值,选择上一轮迭代中适应度最好的染色体,并通过交叉、变异搜索最优解;

[0044] 其中,多目标露天矿卡车调度车流规划模型将班次内的最大化矿石生产产量、最小化露天矿卡车运行成本和最小化生产设备等待时间同时作为优化目标;

[0045] 其中,多目标露天矿卡车调度车流规划模型的获取方法具体包括:

[0046] 步骤11,确定露天矿所在区域各生产要素基本信息和设备历史运行数据;

[0047] 步骤12,建立多目标露天矿卡车调度车流规划模型,确定随机变量,根据采集到的历史运行数据,对随机变量进行拟合,并将该变量的期望值代入目标函数进行计算;

[0048] 其中,步骤12具体包括:

[0049] 步骤121,将班次内的矿石生产产量作为第一个子目标;



[0050] 步骤122,将班次内露天矿卡车运行成本作为第二个子目标;

[0051] 步骤123,将班次内生产设备等待时间作为第三个子目标;

[0052] 步骤124,对第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标进行归一化处理;

[0053] 步骤125,根据第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标,确定多目标露天矿卡车调度车流规划目标函数;

[0054] 步骤126,据露天矿所在区域开采实际情况,确定目标函数的约束条件;

[0055] 步骤127,在步骤125的目标函数中,将最大化第一个子目标、最小化第二个子目标和最小化第三个子目标,作为优化目标,同时,根据步骤126确定的约束条件,设置多目标露天矿卡车调度车流规划模型;

[0056] 通信模块,其用于为露天矿卡车和调度系统后台建立通信连接,在露天矿卡车完成装载或卸载任务后由通信模块向调度模块进行调度申请,在调度模块生成调度指令后再由通信模块将调度指令下发至露天矿卡车。

[0057] 进一步地,

[0058] 多目标露天矿卡车调度车流规划模型设置为如下:

$$[0059] \quad \min F = -P_1\bar{F}_1 + P_2\bar{F}_2 + P_3\bar{F}_3$$

[0060] 约束设置如下:

$$[0061] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I c_k x_{kji} \leq S_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$[0062] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_k x_{kji} \geq Q_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$[0063] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} \leq R_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$[0064] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} \leq R_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$[0065] \quad \sum_{j=1}^J x_{kpj} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$[0066] \quad \sum_{i=1}^I y_{kip} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$[0067] \quad x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip} \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

[0068] 式中, $F$ 表示目标函数, $F_1$ 表示班次内露天矿卡车运输总量, $F_2$ 表示班次内露天矿卡车运行成本, $F_3$ 表示班次内生产设备等待时间, $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 、 $\bar{F}_3$ 分别表示 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 归一化处理后的结果, $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 分别表示 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 的权重系数, $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ , $c_k$ 表示露天矿卡车 $k$ 的额定载重量, $K$ 为露天矿卡车 $k$ 的总数, $I$ 为卸载点 $i$ 的总数, $J$ 为装载点 $j$ 的总数, $S_j$ 表示装载点 $j$ 的矿石与废土的储存量, $Q_i$ 表示卸载点 $i$ 的生产要求产量, $R_j$ 表示装载点 $j$ 的承受容

量,  $R_i$  表示卸载点  $i$  的承受容量,  $x_{kpj}$  表示露天矿卡车  $k$  从停车区  $p$  至装载点  $j$  的行驶次数,  $y_{kip}$  表示露天矿卡车  $k$  从停车区  $p$  至卸载点  $i$  的行驶次数,  $x_{kji}$  表示露天矿卡车  $k$  从装载点  $j$  到卸载点  $i$  的行驶次数。

[0069] 进一步地, 调度模块具体包括:

[0070] 染色体设置子单元, 其用于设置一条染色体作为卡车调度方案的解, 每个基因代表一个决策变量并使用实数编码, 每个基因对应一个非负整数, 数值表示一辆露天矿卡车从一个起点到一个目的地的行驶次数, 同时, 将染色体分为4个基因片段, 分别表示从装载点到卸载点、从卸载点到装载点、从停车区到装载点和从卸载点到停车区的行驶次数;

[0071] 种群初始化子单元, 其用于生成  $n$  条染色体, 作为初始化种群。

[0072] 进一步地, 对于包含  $J$  个装载点、 $I$  个卸载点、 $K$  辆露天矿卡车、1个停车区的露天矿所在区域的情形下, 染色体长度为  $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ , 染色体分为4个基因片段, 第一个基因片段从序号1至序号  $J \times I \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个装载点运输矿石和废土到每个卸载点的行驶次数  $x_{kji}$ ; 染色体中第二个基因片段从序号  $J \times I \times K + 1$  至序号  $2 \times J \times I \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个卸载点空车行驶到每个装载点的行驶次数  $y_{kij}$ ; 染色体中第三个基因片段从序号  $2 \times J \times I \times K + 1$  至序号  $2 \times J \times I \times K + J \times K$ , 表示所有露天矿卡车从停车区行驶到每个装载点的行驶次数  $x_{kpj}$ , 染色体中第四个基因片段从序号  $2 \times J \times I \times K + J \times K + 1$  至序号  $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ , 表示所有露天矿卡车从每个卸载点行驶到停车区的行驶次数  $y_{kip}$ 。

[0073] 本发明针对露天矿所在区域所需高效、低能耗的生产目标, 构建了同时融合最大生产目标产量、最小生产成本、最小设备等待时间作为优化目标的多目标露天矿卡车调度车流规划模型, 再通过多目标露天矿卡车调度车流规划模型获得卡车调度方案, 最后利用遗传算法生成卡车调度方案的最优解, 在露天矿卡车完成装载后, 向露天矿卡车调度系统申请重车调度, 将露天矿卡车派往最合适的卸载点进行卸载; 在露天矿卡车完成卸载后, 向露天矿卡车调度系统申请空车调度, 将露天矿卡车派往最合适的装载点进行装载, 因此, 本发明能够实现高效节能的调度目标。

## 附图说明

[0074] 图1为本发明实施例提供的染色体交叉操作的原理示意图。

[0075] 图2为本发明实施例提供的染色体变异操作的原理示意图。

[0076] 图3为本发明实施例提供的露天矿卡车调度系统模块框图。

## 具体实施方式

[0077] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0078] 本发明实施例提供的露天矿卡车调度方法包括:

[0079] 步骤1, 根据露天矿卡车申请调度指令, 利用多目标露天矿卡车调度车流规划模型计算各路径最佳流率, 并将该流率作为目标流率。其中, 多目标露天矿卡车调度车流规划模型将班次内的最大化矿石生产产量、最小化露天矿卡车运行成本和最小化生产设备等待时

间同时作为优化目标。

[0080] 步骤2,通过露天矿卡车调度系统获取实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率,再将实际流率和目标流率和偏差最大的路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案。

[0081] 步骤3,将步骤2的卡车调度方案进行基因编码,生成染色体,并初始化。

[0082] 步骤4,设置反映目标函数大小的适应度函数。选取多目标露天矿卡车调度车流规划模型的目标函数的倒数作为适应度函数去评价可行解的优劣,适应度函数越大,目标函数越小,可行解越满足优化目标。

[0083] 步骤5,将步骤3的染色体解码为原始的调度方案,并代入适应度函数中,计算染色体适应度函数值,适应度越高,则目标函数越小,越接近优化目标。

[0084] 步骤6,选择上一轮迭代中适应度最好的染色体,并通过交叉、变异搜索最优解。

[0085] 步骤7,重复步骤5和步骤6,直到满足结束条件,输出卡车调度方案的最优解,表示方式如步骤31的染色体结构方案。其中,结束条件可以为迭代次数,也可以设置遗传算法迭代的结束条件为适应度函数达到最大值,即多目标露天矿卡车调度车流规划模型目标函数达到最小值时结束迭代,此时的最优染色体即为露天矿卡车调度问题最优解。

[0086] 在一个实施例中,步骤1中的多目标露天矿卡车调度车流规划模型的获取方法具体包括:

[0087] 步骤11,确定露天矿所在区域各生产要素基本信息和设备历史运行数据。

[0088] 在一个实施例中,露天矿所在区域各生产要素基本信息包括露天矿的基本生产参数和历史生产数据,具体由 $\{i, j, d_{ji}, k, p\}$ 进行表示。其中, $i$ 表示露天矿所在区域(露天矿所在区域包括装载点、卸载点、破碎站、排土场、停车区)的卸载点的序号,下文将第 $i$ 个卸载点简称为卸载点 $i, i = 1, 2, \dots, l', \dots, l, l$ 表示露天矿所在区域的卸载点的总数, $l'$ 表示破碎站的总数, $l - l'$ 表示排土场的总数; $j$ 表示露天矿所在区域的装载点的序号,下文将第 $j$ 个装载点简称为装载点 $j, j = 1, 2, \dots, j, j$ 表示露天矿所在区域的装载点的总数,装载点在经过爆破作业后产生矿石以及岩石,矿石和岩石经过分离后每个装载点中有一个装露天矿所在区域和一个装土区,因此装露天矿所在区域和装土区的数量相同; $d_{ji}$ 表示装载点 $j$ 到卸载点 $i$ 的最短路径; $k$ 表示露天矿所在区域运输车队车辆的序号,下文将第 $k$ 辆露天矿所在区域运输车队车辆简称为露天矿卡车 $k, k = 1, 2, \dots, K', \dots, K, K$ 表示露天矿卡车 $k$ 的总数, $K'$ 表示第一种车型的露天矿卡车的总数, $K - K'$ 表示第二种车型的露天矿卡车的总数; $p = 1, \dots, P, p$ 表示露天矿所在区域的停车区序号,在一个露天矿所在区域中停车区数量为一个, $P$ 表示破碎站的总数。

[0089] 在一个实施例中,露天矿设备历史运行数据由 $\{v_{ek}, v_{fk}, t_{ik}, t_{ak}\}$ 进行表示。其中, $v_{ek}$ 表示露天矿卡车 $k$ 在历史生产数据中的空载速度, $v_{fk}$ 表示露天矿卡车 $k$ 在历史生产数据中的满载速度, $t_{ik}$ 表示露天矿卡车 $k$ 在历史生产数据中的装载时间量, $t_{ak}$ 表示露天矿卡车 $k$ 在历史生产数据中的卸载时间。

[0090] 在一个实施例中,为了提高模型准确性,可以在上述实施例给出的参数的基础上,用随机变量表示发生变化的参数。

[0091] 步骤12,建立多目标露天矿卡车调度车流规划模型,确定随机变量,根据采集到的历史运行数据,对随机变量进行拟合,并将该变量的期望值代入目标函数进行计算。其中,随机变量通过概率分布函数拟合采集到的历史生产数据获得。

[0092] 在一个实施例中,步骤12中“确定随机变量”包括:将露天矿卡车调度过程中的露天矿卡车和电铲的参数设置为随机变量。步骤12具体包括:

[0093] 步骤121,将班次内的矿石生产产量作为第一个子目标。

[0094] 在一个实施例中,根据在露天矿生产的一个班次内所生产的矿石与岩土均由露天矿卡车运输至对应的卸载点,因此步骤121的矿石生产产量可以由班次内露天矿卡车运输总量 $F_1$ 予以表示,如下式(1):

$$[0095] \quad F_1 = \sum_j^J \sum_i^I \sum_k^K c_k x_{kji} \quad (1)$$

[0096] 式(1)中, $c_k$ 表示露天矿卡车 $k$ 的额定载重量, $x_{kji}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从装载点 $j$ 到卸载点 $i$ 的运输次数。

[0097] 当然,步骤121的矿石生产产量也可以采用其他参数进行表示,还可以用空载行驶次数 $y_{kij}$ 进行表示。

[0098] 步骤122,将班次内露天矿卡车运行成本作为第二个子目标。

[0099] 在一个实施例中,在一个生产班次内,露天矿卡车从停车区出发行驶至装载点,由电铲进行装载矿石和岩土,将矿石和岩土运输至破碎站或排土场后,返回装载点进行下一轮装载运输。通常,在班次结束后露天矿卡车将返回停车区。因此,本实施例可以将第二个子目标可以包括:

[0100] (一)露天矿卡车从停车区出发行驶至装载点运行成本 $F(a)$ 。

[0101] 在一个实施例中,露天矿卡车从停车区出发行驶至装载点运行成本 $F(a)$ 考虑了不同类型露天矿卡车的燃油消耗成本和不同类型露天矿卡车运行时的固定成本,计算如下式(2)所示:

$$[0102] \quad F(a) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kpj} (m_{ke1} + m_{ke2}) d_{pj} \quad (2)$$

[0103] 式(2)中, $x_{kpj}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从停车区 $p$ 至装载点 $j$ 的行驶次数, $d_{pj}$ 表示停车区 $p$ 与装载点 $j$ 之间的最短路径距离, $m_{ke1}$ 表示露天矿卡车 $k$ 空载时的燃油消耗成本, $m_{ke2}$ 表示露天矿卡车 $k$ 空载时的固定成本,该固定成本同时考虑了露天矿卡车损耗成本和维修成本,也可以分开考虑,还可以只考虑燃油成本。

[0104] (二)露天矿卡车从装载点到卸载点的运输成本 $F(b)$ 。

[0105] 在一个实施例中, $F(b)$ 的计算如下式(3)所示,其考虑了露天矿卡车从装载点到卸载点的运输成本:

$$[0106] \quad F(b) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I x_{kji} (m_{kf1} + m_{kf2}) d_{ji} \quad (3)$$

[0107] 式(3)中, $x_{kji}$ 表示露天矿卡车 $k$ 从装载点 $j$ 到卸载点 $i$ 的行驶次数, $d_{ji}$ 表示从装载

点  $j$  到卸载点  $i$  之间的最短路径距离,  $m_{kf1}$  表示露天矿卡车  $k$  满载时的燃油消耗成本,  $m_{kf2}$  表示露天矿卡车  $k$  满载时的固定成本, 该固定成本同时考虑了露天矿卡车损耗成本和维修成本, 也可以分开考虑, 还可以只考虑燃油成本。

[0108] (三) 露天矿卡车从卸载点到装载点的空载行驶成本  $F(c)$ 。

[0109] 在一个实施例中,  $F(c)$  的计算如下式 (4) 所示, 其考虑了露天矿卡车从卸载点到装载点的空载行驶成本:

$$[0110] \quad F(c) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I y_{kij} (m_{ke1} + m_{ke2}) d_{ji} \quad (4)$$

[0111] 式 (4) 中,  $y_{kij}$  表示露天矿卡车  $k$  从卸载点  $i$  到装载点  $j$  的行驶次数。

[0112] (四) 露天矿卡车从卸载点返回停车区的行驶成本  $F(d)$ 。

[0113] 在一个实施例中,  $F(d)$  的计算如下式 (5) 所示:

$$[0114] \quad F(d) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I y_{kip} (m_{ke1} + m_{ke2}) d_{pi} \quad (5)$$

[0115] 式 (5) 中,  $y_{kip}$  表示露天矿卡车  $k$  从停车区  $p$  至卸载点  $i$  的行驶次数,  $d_{pi}$  表示停车区  $p$  与卸载点  $i$  之间的最短路径距离。

[0116] 综上, 第二个子目标的计算公式如下式 (6) 所示, 同时考虑上述实施例中出现的  $F(a)$ 、 $F(b)$ 、 $F(c)$  和  $F(d)$ :

$$[0117] \quad F_2 = F(a) + F(b) + F(c) + F(d) \quad (6)$$

[0118] 也可以如现有技术一样, 只考虑露天矿卡车在装载点和卸载点之间循环的运输成本, 还可以上述成本中的其他一个或两个, 均可以实现本发明目的。

[0119] 步骤123, 将班次内生产设备等待时间作为第三个子目标。

[0120] 在一个实施例中, 班次内生产设备一直在循环工作运行, 在理想状态下, 一辆露天矿卡车在上一辆露天矿卡车刚好完成装载的时刻到达装载点, 在上一辆露天矿卡车刚好完成卸载的时刻到达卸载点, 此时露天矿卡车和电铲的利用率均为100%, 而实际生产中由于随机变量的存在, 往往会出现露天矿卡车过早或过晚到达装载点和卸载点, 此时会出现生产设备等待的情况, 此时生产设备等待时间可以反映生产设备利用率。因此, 本实施例可以将第三个子目标可以包括:

[0121] (一) 露天矿卡车在班次内的等待时间  $F(e)$ 。

[0122] 在一个实施例中, 对每辆露天矿卡车而言, 班次内的等待时间即为班次总时间减去工作运行时间, 而工作运行时间包括从停车区开往装载点路程上的时间、装载点卸载点之间往返时间、从卸载点返回停车区时间、装载时间以及卸载时间, 因此班次内露天矿卡车等待时间, 则计算公式如下式 (7) 所示:

$$[0123] \quad F(e) = \sum_{k=1}^K \left\{ T - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left[ x_{kji} \left( \frac{d_{ji}}{v_{fk}} + t_{ak} \right) + y_{kij} \left( \frac{d_{ji}}{v_{ek}} + t_{lk} \right) \right] - \sum_{j=1}^J x_{kpj} \left( \frac{d_{pj}}{v_{ek}} + t_{lk} \right) - \sum_{i=1}^I y_{kip} \frac{d_{pi}}{v_{ek}} \right\} \quad (7)$$

[0124] 式 (7) 中,  $T$  表示班次总时间,  $t_{ak}$  表示序号为  $k$  的露天矿卡车的卸载时间,  $v_{fk}$  表示序号为  $k$  的露天矿卡车的满载速度,  $v_{ek}$  表示序号为  $k$  的露天矿卡车的空载速度,  $t_{lk}$  表示序号

为 $k$ 的露天矿卡车的装载时间。

[0125] (二)电铲在班次内的等待时间 $F(f)$ 。

[0126] 在一个实施例中,对每台电铲而言,电铲在班次内的等待时间即为班次总时间减去电铲为露天矿卡车装载的工作时间,因此,电铲在班次内的等待时间计算如下式(8)所示:

$$[0127] \quad F(f) = \sum_{j=1}^J [T - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} t_{lk} - \sum_{k=1}^K x_{kpj} t_{lk}] \quad (8)$$

[0128] 露天矿卡车 $k$ 空载速度 $v_{ek}$ 为随机变量。

[0129] 在一个实施例中,露天矿卡车 $k$ 的空载速度 $v_{ek}$ 的历史统计数据符合正态分布规律,如下式(9)所示:

$$[0130] \quad P_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}} \quad (9)$$

[0131] 式(9)中, $P_1(x)$ 为空载速度 $v_{ek}$ 的概率密度函数, $\mu_1$ 为露天矿卡车 $k$ 的空载速度 $v_{ek}$ 的历史统计数据的平均值, $\sigma_1^2$ 为露天矿卡车 $k$ 空载速度 $v_{ek}$ 的历史统计数据的方差。

[0132] 通过近似分布生成12个 $[0,1]$ 区间内均匀分布随机数 $U_1, U_2, U_3, \dots, U_{12}$ ,根据中心极限定理,则露天矿卡车 $k$ 的空载速度 $v_{ek}$ 可以由下式(10)计算得到:

$$[0133] \quad v_{ek} = \mu_1 + \left( \sum_{i=1}^{12} U_i - 6 \right) \sigma_1 \quad (10)$$

[0134] 露天矿卡车 $k$ 满载速度 $v_{fk}$ 为随机变量。

[0135] 在一个实施例中,露天矿卡车 $k$ 满载速度 $v_{fk}$ 的历史统计数据符合正态分布规律,如下式(11)所示:

$$[0136] \quad P_2(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}} \quad (11)$$

[0137] 式(11)中, $P_2(x)$ 为露天矿卡车 $k$ 满载速度 $v_{fk}$ 的概率密度函数, $\mu_2$ 为露天矿卡车 $k$ 满载速度 $v_{fk}$ 的历史统计数据的平均值, $\sigma_2^2$ 为露天矿卡车 $k$ 满载速度 $v_{fk}$ 的历史统计数据的方差。

[0138] 通过近似分布生成12个 $[0,1]$ 区间内均匀分布随机数 $U_1, U_2, U_3, \dots, U_{12}$ ,则随机变量露天矿卡车 $k$ 的满载速度 $v_{fk}$ 可以由下式(12)计算得到:

$$[0139] \quad v_{fk} = \mu_2 + \left( \sum_{i=1}^{12} U_i - 6 \right) \sigma_2 \quad (12)$$

[0140] 露天矿卡车 $k$ 的装载时间 $t_{lk}$ 为随机变量。

[0141] 在一个实施例中,露天矿卡车 $k$ 的装载时间 $t_{lk}$ 的历史统计数据符合负指数分布规律,即:

$$[0142] \quad P_3(x) = \lambda_1 e^{-\lambda_1 x} \quad (13)$$

[0143] 式(13)中, $P_3(x)$ 为装载时间 $t_{lk}$ 的概率密度函数, $\lambda_1$ 为露天矿卡车 $k$ 在装载时间 $t_{lk}$ 的历史统计数据平均值的倒数。

[0144] 生成 $[0,1]$ 区间内均匀分布随机数 $U$ ,则随机变量露天矿卡车 $k$ 的装载时间 $t_{lk}$ 可以由下式(14)计算得到:

[0145]  $t_{lk} = -\frac{\ln U}{\lambda_1}$  (14)

[0146] 露天矿卡车 $k$ 的卸载时间 $t_{dk}$ 为随机变量。

[0147] 在一个实施例中,露天矿卡车 $k$ 的卸载时间 $t_{dk}$ 的历史统计数据符合负指数分布规律,如下式(15)所示:

[0148]  $P_4(x) = \lambda_2 e^{-\lambda_2 x}$  (15)

[0149] 式(15)中, $\lambda_2$ 为卸载时间 $t_{dk}$ 的历史统计数据平均值的倒数。

[0150] 生成 $[0, 1]$ 区间内均匀分布随机数 $U$ ,则随机变量露天矿卡车 $k$ 卸载时间为:

[0151]  $t_{dk} = -\frac{\ln U}{\lambda_2}$  (16)

[0152] 综上,第三个子目标的计算公式如下式(17)所示,同时考虑上述实施例中的露天矿卡车等待时间 $F(e)$ 与电铲等待时间 $F(f)$ 之和:

[0153]  $F_3 = F(e) + F(f)$  (17)

[0154] 在一个实施例中,第三个子目标可以在上式(17)的基础之上,还可以考虑如下的破碎站在班次内的等待时间 $F(g)$ ,即为班次总时间减去破碎站的工作时间;

[0155] 
$$F(g) = \sum_{i=1}^I [T - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J y_{kij} t_{dk} - \sum_{k=1}^K y_{kip} t_{dk}]$$

[0156] 此时,

[0157]  $F_3 = F(e) + F(f) + F(g)$ 。

[0158] 步骤124,对第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标进行归一化处理。

[0159] 由于3个子目标函数具有不同的量纲和量纲单位,为了消除指标间的量纲影响,需要进行数据归一化处理。采取常用的 $min-max$ 归一化方法,对子目标函数进行归一化处理,对两个子目标函数进行归一化处理得到 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 、 $\bar{F}_3$ ,如下式(18)所示:

[0160] 
$$\begin{cases} \bar{F}_1 = \frac{F_1 - F_{1min}}{F_{1max} - F_{1min}} \\ \bar{F}_2 = \frac{F_2 - F_{2min}}{F_{2max} - F_{2min}} \\ \bar{F}_3 = \frac{F_3 - F_{3min}}{F_{3max} - F_{3min}} \end{cases} \quad (18)$$

[0161] 式(18)中, $F_{1max}$ 、 $F_{2max}$ 、 $F_{3max}$ 分别为 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 可达到的最大值,可以手动设置决策变量,分别使每个子目标函数分别达到最大值的极端情况, $F_{1min}$ 、 $F_{2min}$ 、 $F_{3min}$ 分别为 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 可达到的最小值,可以手动设置决策变量,分别使每个子目标函数分别达到最小值的极端情况。

[0162] 步骤125,根据第一个子目标、第二个子目标、第三个子目标,确定多目标露天矿卡车调度车流规划目标函数。

[0163] 目标函数由三个子目标组成:最大化产量、最小化运输成本和最小化设备等待时间,即可以描述为下式(19)所示:

[0164]  $MinF = -P_1 \bar{F}_1 + P_2 \bar{F}_2 + P_3 \bar{F}_3$  (19)

[0165] 式(19)中,  $P_1, P_2, P_3$ 表示各个子目标的权重系数,可根据实际作业情况和生产需求进行调整,且  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ 。

[0166] 步骤126,据露天矿所在区域开采实际情况,确定目标函数的约束条件。

[0167] 在一个实施例中,约束条件需要根据露天矿所在区域开采实际情况进行设计,可以考虑如下条件:

[0168] 1. 装载点储存量约束。

[0169] 例如:装载点矿石与废土的运输量小于装载点  $j$  的矿石与废土的储存量  $S_j$ ,如下式(20)所示:

$$[0170] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I c_k x_{kji} \leq S_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\} \quad (20)$$

[0171] 2. 卸载点生产要求约束。

[0172] 例如:卸载点产量不低于卸载点  $i$  的生产要求产量  $Q_i$ ,如下式(21)所示:

$$[0173] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_k x_{kji} \geq Q_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\} \quad (21)$$

[0174] 3. 装载点的工作能力约束。

[0175] 例如:装载点装车数不能超过该装载点承受容量  $R_j$ ,如下式(22)所示:

$$[0176] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} \leq R_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\} \quad (22)$$

[0177] 4. 卸载点的工作能力约束。

[0178] 例如:卸载点卸车数不能超过该卸载点承受容量  $R_i$ ,如下式(23)所示:

$$[0179] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} \leq R_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\} \quad (23)$$

[0180] 5. 发车调度约束。

[0181] 例如:每个班次每台露天矿卡车最多发车一次并最多到一个装载点,如下式(24)所示:

$$[0182] \quad \sum_{j=1}^J x_{kpj} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (24)$$

[0183] 6. 收车调度约束。

[0184] 例如:每个班次每台露天矿卡车最多收车一次并最多从一个卸载点收车,如下式(25)所示:

$$[0185] \quad \sum_{i=1}^I y_{kip} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (25)$$

[0186] 7. 整数约束。

[0187] 例如:决策变量  $x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip}$  均为整数,如下式(26)所示:

$$[0188] \quad x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip} \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (26)$$



[0189] 还例如：在 $F_2$ 考虑  $F(c)$ 的时候，那么，决策变量 $x_{kji}$ 、 $y_{kij}$ 、 $x_{kpj}$ 、 $y_{kip}$ 均为整数，此时的 $x_{kji}$ 、 $y_{kij}$ 、 $x_{kpj}$ 、 $y_{kip} \in \{0, 1, 2, \dots\}$ 。

[0190] 在一个实施例例中，约束条件可以在上述实施例的基础之上，还考虑如矿石品位偏差等其他因素。

[0191] 步骤127，在步骤125的目标函数中，将最大化第一个子目标、最小化第二个子目标和最小化第三个子目标，作为优化目标，同时，根据步骤126确定的约束条件，设置

[0192] 多目标露天矿卡车调度车流规划模型设置为如下：

$$[0193] \quad \min F = -P_1\bar{F}_1 + P_2\bar{F}_2 + P_3\bar{F}_3$$

[0194] 约束设置如下：

$$[0195] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I c_k x_{kji} \leq S_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$[0196] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_k x_{kji} \geq Q_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$[0197] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{kji} \leq R_j, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}$$

$$[0198] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} \leq R_i, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, I\}$$

$$[0199] \quad \sum_{j=1}^J x_{kpj} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$[0200] \quad \sum_{i=1}^I y_{kip} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}$$

$$[0201] \quad x_{kji}, x_{kpj}, y_{kip} \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

[0202] 在上述实施例例中，通过步骤1、2和3处理随机变量时，使用机会约束模型、相关机会规划也可以实现类似的效果。

[0203] 在一个实施例例中，步骤3具体步骤如下：

[0204] 步骤31，设置一条染色体作为卡车调度方案的解，每个基因代表一个决策变量并

使用实数编码,每个基因对应一个非负整数,数值表示一辆露天矿卡车从一个起点到一个目的地的行驶次数,同时,将染色体分为4个基因片段,分别表示从装载点到卸载点、从卸载点到装载点、从停车区到装载点和从卸载点到停车区的行驶次数,因此方便计算,避免了出现不可行解。

[0205] 步骤31,对染色体进行编码的方法具体包括:

[0206] 设置一条染色体作为卡车调度方案的解,每个基因代表一个决策变量并使用实数编码,每个基因对应一个非负整数,数值表示一辆露天矿卡车从一个起点到一个目的地的行驶次数。对于包含 $J$ 个装载点, $I$ 个卸载点, $K$ 辆露天矿卡车,1个停车区的露天矿所在区域而言,染色体长度为 $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ ,染色体分为4个基因片段,第一个基因片段从序号1至序号 $J \times I \times K$ ,表示所有露天矿卡车从每个装载点运输矿石和废土到每个卸载点的行驶次数 $x_{kji}$ ;染色体中第二个基因片段从序号 $J \times I \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K$ ,表示所有露天矿卡车从每个卸载点空车行驶到每个装载点的行驶次数 $y_{kij}$ ;染色体中第三个基因片段从序号 $2 \times J \times I \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K + J \times K$ ,表示所有露天矿卡车从停车区行驶到每个装载点的行驶次数 $x_{kpj}$ ,染色体中第四个基因片段从序号 $2 \times J \times I \times K + J \times K + 1$ 至序号 $2 \times J \times I \times K + (J + I) \times K$ ,表示所有露天矿卡车从每个卸载点行驶到停车区的行驶次数 $y_{kip}$ 。

[0207] 步骤31反映了辆露天矿卡任意两点之间的行驶次数,计算方便,避免出现不可行解。当然,也可以采用现有技术中的实数编码和二进制编码实现。

[0208] 上述实施例中,在遗传算法染色体编码中,使用二进制编码代替实数编码也能实现上述实施例类似效果,同样地,使用多条染色体,每条染色体代表一辆露天矿卡车的调度方案也能实现类似效果。

[0209] 步骤32,生成 $n$ 条染色体,作为初始化种群。

[0210] 在一个实施例中,步骤6具体包括:

[0211] 步骤61,对染色体进行选择操作。使用轮盘赌算法,根据个体的适应度函数的值与种群所有个体适应度的总和的比值作为选择的依据,该值大的个体更易被选择。对适应度为 $Q_k$ 的个体 $k$ 而言,其被选择的概率为 $\frac{Q_k}{\sum_{i=1}^n Q_i}$ ,即其适应度越高,被选中的概率越大。

[0212] 步骤62,对染色体进行交叉操作。在迭代的过程中,将某一父代个体染色体的某些基因值以某一概率作变动,形成新个体,从而能够在跳出局部搜索范畴,可实现全区搜索。

[0213] 如图1所示,本实施例使用两点交叉,在个体染色体中随机设置了两个交叉点,然后再进行部分基因交换,一对染色体中第2位至第5位基因进行了交叉操作。

[0214] 步骤63,对染色体进行变异操作。以一定概率通过互换两个父代个体的部分染色体产生新个体,目的是基于优良父代基因的基础上进一步扩展有限个体的覆盖面积。

[0215] 如图2所示,本实施例使用多点变异对进行变异的个体随机选择变异位进行变异,使用随机生成的实数对该点的基因值进行替换,对该染色体的第4位基因进行了变异操作。

[0216] 本发明提出了一种应用上述方法的露天矿卡车调度系统,具体过程如下:

[0217] 如图3所示,卡车调度系统主要包括实时监控模块、调度模块和通信模块。

[0218] 实时监控模块可以监控露天矿所在区域实时生产情况,包括每条路径上露天矿卡车行驶次数、装载点和卸载点生产的矿石和废土数量等实时参数。并可以通过通信模块接收露天矿卡车状态数据,为调度算法提供数据支持。

[0219] 调度模块用于根据露天矿卡车申请调度指令和实时监控模块的输入数据,首先用多目标露天矿卡车调度车流规划模型计算各路径最佳流率,并将该流率作为目标流率,再获取实际生产中每条路径在与目标流率相同时刻的实际流率,再将实际流率和目标流率之间差值最大所对应的路径作为卡车调度路径,形成卡车调度方案,最后将卡车调度方案进行基因编码,生成染色体,并初始化,再将染色体解码为原始的调度方案,并代入适应度函数中,计算染色体适应度函数值,选择上一轮迭代中适应度最好的染色体,并通过交叉、变异搜索最优解。调度模块还用于将调度指令通过通信模块下发至露天矿卡车使其前往下一个目的地。

[0220] 通信模块为露天矿卡车和调度系统后台建立通信连接,在露天矿卡车完成装载或卸载任务后由通信模块向调度模块进行调度申请,在调度模块生成调度指令后再由通信模块将调度指令下发至露天矿卡车。

[0221] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明充分考虑露天矿所在区域所需高效、低能耗的生产目标,以露天矿生产所关注的成本、时间和产量为优化目标进行计算,从而可以实现多目标的同时优化,在提高产能、提高设备利用率的同时降低生产能耗。同时,本发明考虑了露天矿卡车调度过程中露天矿卡车运行速度、露天矿卡车装卸载时间等随机变量,可以减少计算偏差,使优化计算结果更加符合露天矿生产实际情况。

[0222] 最后需要指出的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制。本领域的普通技术人员应当理解: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;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。

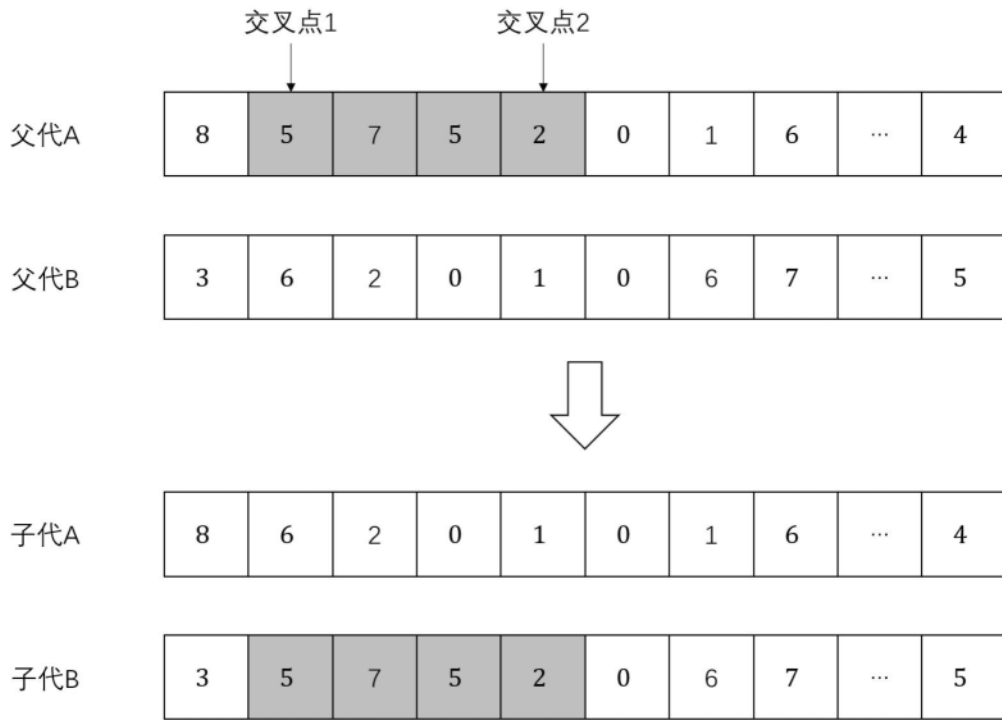


图 1

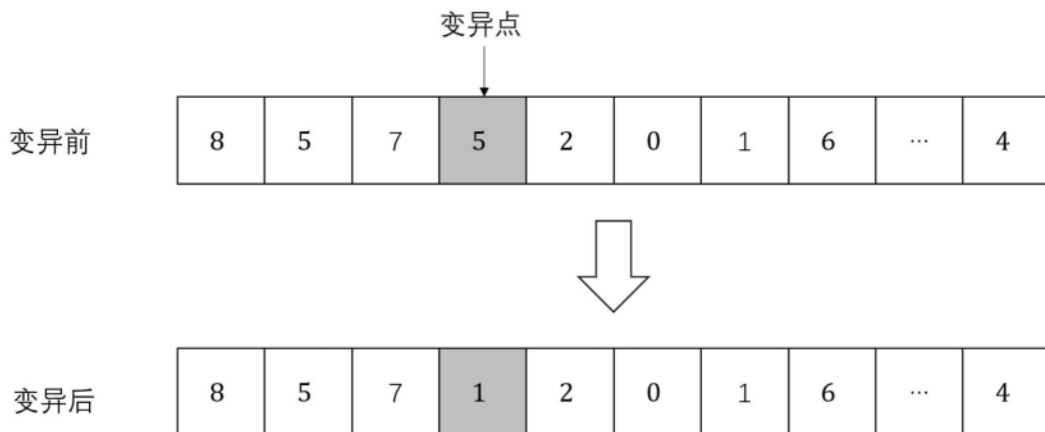


图 2

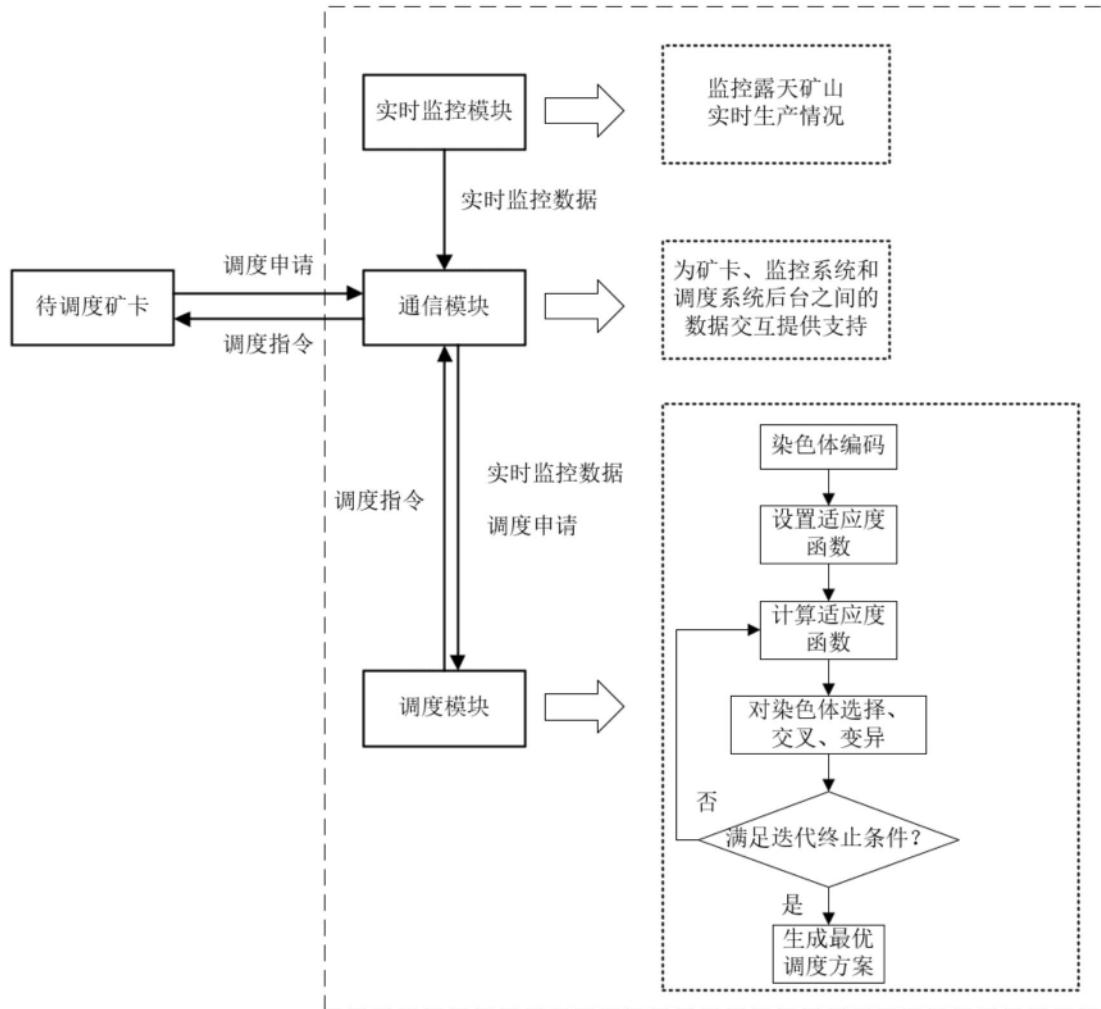


图 3