



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110501512 A

(43)申请公布日 2019. 11. 26

(21)申请号 201910780201.0

(22)申请日 2019.08.22

(71)申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 张梅 朱金辉 袁鹏 谭映彤

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 何淑珍 陈伟斌

(51)Int.Cl.

G01N 35/00(2006.01)

G01N 33/53(2006.01)

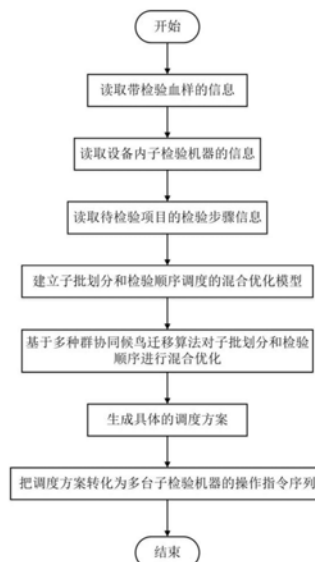
权利要求书5页 说明书14页 附图4页

(54)发明名称

一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法

(57)摘要

本发明公开了一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,包括以下步骤:S1、读取待检验血样的信息,读取设备内子检验机器的信息,从数据库读取待检验项目的检验步骤信息;S2、根据步骤S1获取的数据建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型;S3、基于多种群协同候鸟迁移算法的子批划分和检验顺序调度进行混合优化,得到检验总时长最短的子批划分序列和检验顺序序列;S4、根据子批划分序列和检验顺序序列生成具体的调度方案;S5、把调度方案转化为对设备内若干台子检验机器的操作指令序列,使设备内所有检验机器在统一调度下进行检验。本发明通过候鸟迁移算法来计算较优的子批划分,提高检验的灵活性,提高批量检验的效率。



1. 一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、读取待检验血样的信息和设备内子检验机器的信息,从数据库读取待检验项目的检验步骤信息;

S2、建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型;

S3、基于多种群协同候鸟迁移算法对子批划分序列和检验顺序序列调度进行混合优化,得到检验总时长最短的子批划分序列和检验顺序序列;

S4、根据子批划分序列和检验顺序序列生成调度方案;

S5、把调度方案转化为对设备内若干台子检验机器的操作指令序列,使设备内所有检验机器在统一调度下进行检验。

2. 根据权利要求1所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,步骤S1具体包括以下步骤:

步骤S1-1、读取待检验血样的信息,把相同检验项目的血样定义为一个批次,每批次定义为 L_i , L_i 所包含的血样总数为批量 SL_i ,其中 $i=0,1,2,\dots,NL-1$, NL 为批次总数;

步骤S1-2、读取设备内子检验机器的信息,该信息包括设备内子检验机器的总数和每台子检验机器 M_l 的检验的步骤,其中 $l=0,1,2,\dots,NM-1$, NM 为每台子检验机器 M_l 检验的步骤总数;

步骤S1-3、从设备的数据库获取待检验项目的检验步骤信息,该信息包括每个批次 L_i 的检验步骤信息、批次 L_i 中每个血样的检验步骤总数 NO_i 、 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤的能选子检验机器的集合 SM_{ik} 、 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤在 M_l 中检验的检验时长 T_{ikl} 和 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤在 M_l 中的准备操作时长 PT_{ikl} ,其中 $k=0,1,2,\dots,NO_i-1$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,步骤S2,所述的建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型是结合步骤S1所读取的数据,建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型,该模型的优化目标是通过安排每个批次的子批划分,即找到合适的子批数量 NS_i 和血样总数 SS_{ij} ,以及安排每个子批在子检验机器上的检验顺序,使得所有批次血样的检验总时长最小化。

4. 根据权利要求3所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,所述混合优化模型的建立如下:

定义混合优化模型的参数: O_{ijk} 代表 S_{ij} 的第 k 个检验步骤; T_{ijk}^S 表示 O_{ijk} 的检验开始时刻; T_{ijk}^F 表示 O_{ijk} 的检验完成时刻; PT_{ijk}^S 表示 O_{ijk} 的准备操作开始时刻; PT_{ijk}^F 表示 O_{ijk} 的准备操作完成时刻; T_{ijk}^{LF} 表示 O_{ijk} 的子检验机器; O_{ijk} 表示前一个子批的完成相应检验步骤的时刻;每个批次 L_i 划分为 NS_i 个子批,其中 NS_i 为批次 L_i 的子批数量; S_{ij} 表示批次 S_i 中的第 j 个子批次,其所包含的血样总数即子批量为 SS_{ij} ,其中 $j=0,1,2,\dots,NS_i-1$,不同批次有不同的子批数量和子批量;

该混合优化模型如下,其中 T_{ij,NO_i}^F 表示 S_{ij} 的最后一个检验步骤的完成时刻:

$$\min Z = \max_{i=1}^{NL} \left\{ \max_{j=1}^{NS_i} \left\{ T_{ij,NO_i}^F \right\} \right\} \quad (1)$$

模型的决策变量描述如式(2)-式(4)所示:

$$\alpha_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (2)$$

$$\beta_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验需要准备操作,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (3)$$

$$\delta_{l_ijk_i'j'k'} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 紧接着 } O_{i'j'k'} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (4)。$$

5. 根据权利要求3所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征
在于,混合优化模型的约束条件和特征归纳为:

(1) 子批量约束:对某个批次 L_i ,所有子批量 NS_i 之和等于该批次的批量 SL_i ,如式(5)所示:

$$SL_i = \sum_{j=1}^{NS_i} SS_{ij}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, NL-1 \quad (5)$$

(2) 工序约束:对某个子批步骤 O_{ijk} ,其所有血样的上一个检验步骤都完成后,才能开始
 O_{ijk} 的下一个检验步骤,如式(6)所示:

$$T_{ijk-1}^F \leq T_{ijk}^S \quad (6)$$

(3) 不可抢占:即某个子批的某个检验步骤 O_{ijk} 在某台子检验机器 M_l 未完成检验的时候,
其他子批不允许抢占 M_l , O_{ijk} 的加工结束时刻等于开始时刻加上该子批 SS_{ij} 个工件的检验时
长 T_{ikl} ,如式(7)所示:

$$T_{ijk}^F = \sum_{l \in SM_{ik}} (\alpha_{ijkl} \cdot T_{ikl} \cdot SS_{ij}) + T_{ijk}^S, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (7)$$

(4) 每个子批的第一个检验步骤 O_{ij1} 都在零时刻进入待检验状态,如式(8)所示:

$$T_{ij0}^F = 0, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1 \quad (8)$$

(5) 每个子批的每个步骤 O_{ijk} 只能从可选子检验机器集合 SM_{ik} 中选择一台子检验机器 M_l
来加工,如式(9)所示:

$$\sum_{l \in SM_{ik}} \alpha_{ijkl} = 1, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (9)$$

(6) 批次 L_i 的某个子批的检验步骤 O_{ijk} ,如果在子检验机器 M_l 上检验,在检验之前至少需
要进行一次准备操作;如果 M_l 检验的上一个子批也属于批次 L_i ,那么 O_{ijk} 不需要进行准备操
作,如式(10)所示:

$$0 \leq \sum_{l \in SM_{ik}} \beta_{ijkl} \leq 1, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (10)$$

(7) 如果 O_{ijk} 需要准备操作,即 $\beta_{ijk1} = 1$,那么 O_{ijk} 的准备操作结束时刻 PT_{ijk}^F 等于开始时刻
 PT_{ijk}^S 加上准备操作时长 PT_{ikl} ,如果不需要准备操作,那么 PT_{ijk}^F 等于 PT_{ijk}^S ,如式(11)所示:

$$PT_{ijk}^F = \sum_{l \in SM_{ik}} (\beta_{ijkl} \cdot PT_{ikl}) + PT_{ijk}^S, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (11)$$

(8) 如果 O_{ijk} 需要准备操作,即 $\beta_{ijk1} = 1$,那么检验步骤要在准备操作之后开始,如式(12)

所示,式(13)是计算 0_{ijk} 的子检验机器 M_1 上 0_{ijk} 前一个子批完成相应检验步骤的时刻 T_{ijk}^{LF} :

$$PT_{ijk}^F \leq PT_{ijk}^S, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (12)$$

$$T_{ijk}^{LF} = \sum_{l \in SM_{ik}} (\delta_{l_ijk_i'j'k'} \cdot T_{i'j'k}^F) \quad (13)$$

(9) 准备操作的分离,即对 0_{ijk} 的子检验机器 M_1 ,上一个子批离开之后,开始 0_{ijk} 的准备操作,如式(14)所示:

$$T_{ijk}^{LF} \leq PT_{ijk}^S \quad (14)。$$

6. 根据权利要求1所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,步骤S3所述的子批划分序列用于描述批量血样的子批划分,检验顺序序列用于描述子批血样在机器上的检验顺序;

子批划分序列是将每个批次 L_i 划分为若干个子批,每个批次 L_i 有不同的批次划分,每个 L_i 都有其子批划分序列,其中,每个子批划分序列包含的两部分信息,分别为子批数 NS_i 和子批量 SS_{ij} ;子批划分序列的第一位数字为子批数,子批划分序列的第二位起为该批次所有子批的子批量;

检验顺序序列表示属于不同批次的子批通过优先顺序进入各台机器,每台机器 M_1 有不同的检验顺序序列,每个检验顺序序列的第一位数代表最优先进入该机器的批次号,第二位数代表第二优先的批次号,以此类推。

7. 根据权利要求1所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,步骤S3所述的多种群协同候鸟迁移算法主要包含三个并行进化的子鸟群,各自使用不同的邻域算子进行邻域搜索;第一个子鸟群 $G1$ 使用子批划分邻域算子进行邻域搜索,第二个子鸟群 $G2$ 使用检验顺序邻域算子进行邻域搜索,第三个子鸟群 $G3$ 同时使用子批划分邻域算子和检验顺序邻域算子进行邻域搜索;经过 K 次迭代之后,进行一次子鸟群迁移;每个子鸟群选出 $r\%$ 个最优个体,即 $r\%$ 个检验总时长最小的鸟个体,与其他子鸟群中任意 $r\%$ 个体交换;子鸟群迁移之后, $G1$ 、 $G2$ 和 $G3$ 继续进行 K 次迭代,直到迭代次数达到 K_{max} 次,子鸟群迁移的详细步骤如下:

- 1)、分别选出 $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 最优的 $r\%$ 个体,分别标记为 $G1b$ 、 $G2b$ 、 $G3b$;
- 2)、分别从 $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 中未被选择的个体中随机选择 $r\%$ 个体,分别记为 $G1r$ 、 $G2r$ 、 $G3r$;
- 3)、令 $G1b$ 与 $G2r$ 交换,令 $G2b$ 与 $G3r$ 交换,令 $G3b$ 与 $G1r$ 交换。

8. 根据权利要求1所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,步骤S4所述的根据子批划分序列和检验顺序序列生成调度方案,首先根据式(15)引入柔性指数 FI_1 来定量描述子检验机器 M_1 的灵活程度,其中 θ_{ikl} 表示子检验机器 M_1 是否能检验 L_i 的第 k 个检验步骤:

$$FI_1 = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{k=1}^{NO_i} \theta_{ikl} \cdot SL_i \quad (15)$$

$$\theta_{ikl} = \begin{cases} 1, & l \in SM_{ik} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (16)$$

设 $\bar{l}$ 为被选择的子检验机器序号, $\bar{i}$ 为被选择的批次数号, $\bar{j}$ 为被选择的子批序号, $\bar{k}$ 为

被选择的检验步骤序号, T_1^I 代表 M_1 开始空闲的时刻; CF_{ijk} 代表每个子批的每个检验步骤的完成状态, 如果步骤 0_{ijk} 已经完成检验, 则为1, 否则为0; ACF 表示所有子批的所有检验步骤的完成状态, 如果都完成, 则为1, 否则为0; 如果步骤 0_{ijk} 在子检验机器 M_T 上检验, T_{ijk}^{EF} 为 0_{ijk} 的预估完成时间, PL_{li} 代表在 M_l 的检验顺序序列中, 批次 L_i 的优先顺序, 1 为最高优先级;

生成调度方案包括以下步骤:

step1、根据式 (17) 和 (18) 初始化所有子检验机器的开始空闲时刻 T_1^I 和每个检验步骤的完成状态 CF_{ijk} :

$$T_1^I = 0, l = 0, 1, \dots, NM-1 \quad (17)$$

$$CF_{ijk} = 0, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (18)$$

step2、把最早空闲的子检验机器的序号组成集合, 如式 (19) 所示, 其中 SI 是最早空闲的子检验机器集合, 如果 $|SI| < 2$, 则最早空闲的子检验机器只有一台, 直接选择子检验机器 M_T , 如式 (20) 所示, 其中 u 表示其中一台机器的序号, u 的取值为 $1, 2, \dots, NM$, T_u^I 表示序号为 u 的子检验机器的开始空闲时刻; 否则选择柔性指数最小的子检验机器为 M_T , 如式 (21) 所示:

$$SI = \left\{ l \mid T_l^I = \min_{u=1}^{NM} \{T_u^I\} \right\} \quad (19)$$

$$\bar{l} = \arg \min_{u=1}^{NM} \{T_u^I\} \quad (20)$$

$$\bar{l} = \arg \min_{l \in SI} \{FI_l\} \quad (21)$$

step3、生成在 $M_{\bar{l}}$ 中检验的待检验步骤集合 RO , 如式 (22) 所示:

$$RO = \{(i, j, k) \mid \bar{l} \in SM_{ik}, CF_{ijk} = 0, T_{ijk-1}^F - \beta_{ijk\bar{l}} \cdot PT_{ik\bar{l}} \leq T_{\bar{l}}^I\}. \quad (22)$$

step4、根据式 (23) 找到 RO 中偏好度最前的批次 $\bar{i}$, 根据式 (24) 计算批次 $\bar{i}$ 的待检验步骤在子检验机器 $M_{\bar{l}}$ 上预估检验完成时间 T_{ijk}^{EF} , 根据式 (25) 找到最早能完成检验的子批 $\bar{j}$ 检验步骤 $\bar{k}$:

$$\bar{i} = \arg \min_{i \in \{i \mid (i, j, k) \in RO\}} \{PL_{\bar{i}}\} \quad (23)$$

$$T_{ijk}^{EF} = T_{\bar{l}}^I + \beta_{ijk\bar{l}} \cdot PT_{ik\bar{l}} + T_{ik\bar{l}} \quad (24)$$

$$\bar{j}, \bar{k} = \arg \min_{j, k \in \{j, k \mid (\bar{i}, j, k) \in RO\}} \{T_{ijk}^{EF}\} \quad (25)$$

step5、根据式 (26) 和式 (27) 更新 O_{ijk} 的准备操作开始时刻 PT_{ijk}^S 和结束时刻 PT_{ijk}^F ; 根据式 (28) 和式 (29) 更新 O_{ijk} 的检验步骤开始时刻 T_{ijk}^S 和结束时刻 T_{ijk}^F ; 根据式 (30) 和式 (31) 更新 $M_{\bar{l}}$ 的空闲时刻 $T_{\bar{l}}^I$ 和更新 O_{ijk} 的完成状态 CF_{ijk} :

$$PT_{ijk}^S = T_{\bar{l}}^I \quad (26)$$

$$PT_{ijk}^F = PT_{ijk}^S + \beta_{ijk} \cdot PT_{ikl} \quad (27)$$

$$T_{ijk}^S = PT_{ijk}^F \quad (28)$$

$$T_{ijk}^F = T_{ijk}^S + T_{ikl} \quad (29)$$

$$T_l^I = T_{ijk}^F \quad (30)$$

$$CF_{ijk} = 1 \quad (31)$$

step6、根据式 (32) 计算ACF,如果ACF=0则返回step2,否则调度方案生成过程完成:

$$ACF = \prod CF_{ijk}, i=0,1,\dots,NL-1, j=0,1,\dots,NS_i-1, k=0,1,\dots,NO_i-1 \quad (32)。$$

9. 根据权利要求1所述的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,其特征在于,步骤S5所述的把调度方案转化为对设备内若干台机器的操作指令序列,具体如下:

根据调度方案中每个子批的每个检验步骤的准备操作开始时刻 PT_{ijk}^S ,准备操作结束时刻 PT_{ijk}^F ,检验步骤开始时刻 T_{ijk}^S 和检验步骤结束时刻 T_{ijk}^F ,获得检验过程的甘特图;

使用甘特图将调度方案转化为每台子检验机器的操作指令序列,操作指令序列是由若干个指令组成的时间序列,每个操作指令的格式为 T_s-T_f-C-N ,其中 T_s 代表子检验机器的工作开始时刻, T_f 代表子检验机器的工作结束时刻, C 代表子批的检验类型, N 代表子批所包含的血样总数;子检验机器根据 M 和 N 来自动设置工作的参数,为每台子检验机器都生成专属的操作指令序列,其格式为 $[(T_{s1}-T_{f1}-C_1-N_1), (T_{s2}-T_{f2}-C_2-N_2), \dots]$,每个子检验机器都按照操作指令序列的顺序来执行每个指令,直到最后一个指令完成,其中 T_{s1} 、 T_{f1} 、 C_1 和 N_1 都是代表在该子检验机器中检验的第一个子批的信息, T_{s1} 表示在该子检验机器中检验的第一个子批在该机器检验开始的时刻, T_{f1} 表示在该子检验机器中检验的第一个子批在该机器检验结束的时刻, C_1 代表在该子检验机器中检验的第一个子批的检验类型, N_1 代表在该子检验机器中检验的第一个子批包含的血样总数,类似地, T_{s2} 、 T_{f2} 、 C_2 、 N_2 代表在该子检验机器中检验的第二个子批的信息。

一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于生物医疗设备技术领域,具体涉及一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法。

背景技术

[0002] 目前,全自动免疫检验设备已被应用于医院和检验机构的免疫检验中。免疫检验的步骤复杂,人工检验操作效率低、精度差,而全自动免疫检验设备将可自动完成所有检验步骤,并保持较高的检验精度。该设备主要包含三种子检验机器,即温育震荡子检验机器、洗板子检验机器、酶联检测子检验机器,分别完成免疫检验过程中的温育震荡、洗板、酶联检测这三个步骤。在批量检验的背景下,全自动免疫检验设备可替代人工检验操作,然而仅将检验过程自动化还难以满足临床检验的效率要求。临床的免疫检验通常需要对多批血样进行检验,给检验效率带来极大的考验。批量血样往往导致较长的等待时间,严重影响了检验效率。因此,需要进一步提高批量检验下全自动免疫检验设备的检验效率。

[0003] 与其他简单检验不同,批量免疫检验的分批调度问题需要同时解决子批划分和顺序调度这两个问题才能提高检验效率,子批划分,简称为分批,是将每一批血样划分为多个子批,以有效利用并行的子检验机器,减少等待时间,提高检验的灵活性。检验顺序调度,简称为调度,是为设备内的子检验机器分配待检验的子批,并合理多个子批在子检验机器上的检验顺序,从而尽早完成检验。然而分批调度问题的复杂度很高。想要有效提高全自动免疫检验设备检验效率,就需要使用高效的优化算法进行分批和调度。

发明内容

[0004] 鉴于全自动免疫检验设备在批量免疫检验中存在检验效率低的问题,本发明提供一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法。

[0005] 本发明至少通过如下技术方案之一实现。

[0006] 一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,包括以下步骤:

[0007] S1、读取待检验血样的信息和设备内子检验机器的信息,从数据库读取待检验项目的检验步骤信息;

[0008] S2、建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型;

[0009] S3、基于多种群协同候鸟迁移算法对子批划分序列和检验顺序序列调度进行混合优化,得到检验总时长最短的子批划分序列和检验顺序序列;

[0010] S4、根据子批划分序列和检验顺序序列生成调度方案;

[0011] S5、把调度方案转化为对设备内若干台子检验机器的操作指令序列,使设备内所有检验机器在统一调度下进行检验。

[0012] 进一步的,步骤S1具体包括以下步骤:

[0013] 步骤S1-1、读取待检验血样的信息,把相同检验项目的血样定义为一个批次,每批次定义为 L_i , L_i 所包含的血样总数为批量 SL_i ,其中 $i=0,1,2,\dots,NL-1$, NL 为批次总数;

[0014] 步骤S1-2、读取设备内子检验机器的信息,该信息包括设备内子检验机器的总数和每台子检验机器 M_l 的检验的步骤,其中 $l=0,1,2,\dots,NM-1$, NM 为每台子检验机器 M_l 的检验的步骤总数;

[0015] 步骤S1-3、从设备的数据库获取待检验项目的检验步骤信息,该信息包括每个批次 L_i 的检验步骤信息、批次 L_i 中每个血样的检验步骤总数 NO_i 、 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤的能选子检验机器的集合 SM_{ik} 、 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤在 M_l 中检验的检验时长 T_{ikl} 和 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤在 M_l 中的准备操作时长 PT_{ikl} ,其中 $k=0,1,2,\dots,NO_i-1$ 。

[0016] 进一步的,所述的建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型是结合步骤S1所读取的数据,建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型,该模型的优化目标是通过合理安排每个批次的子批划分,即找到合适的子批数量 NS_i 和血样总数 SS_{ij} ,以及合理安排每个子批在子检验机器上的检验顺序,使得所有批次血样的检验总时长最小化。

[0017] 进一步的,所述混合优化模型的建立如下:

[0018] 定义混合优化模型的参数: O_{ijk} 代表 S_{ij} 的第 k 个检验步骤; T_{ijk}^S 表示 O_{ijk} 的检验开始时刻; T_{ijk}^F 表示 O_{ijk} 的检验完成时刻; PT_{ijk}^S 表示 O_{ijk} 的准备操作开始时刻; PT_{ijk}^F 表示 O_{ijk} 的准备操作完成时刻; T_{ijk}^{LF} 表示 O_{ijk} 的子检验机器; O_{ijk} 表示前一个子批的完成相应检验步骤的时刻;每个批次 L_i 划分为 NS_i 个子批,其中 NS_i 为批次 L_i 的子批数量; S_{ij} 表示批次 S_i 中第 j 个子批次,其所包含的血样总数即子批量为 SS_{ij} ,其中 $j=0,1,2,\dots,NS_i-1$,不同批次有不同的子批数量和子批量;

[0019] 该混合优化模型如下,其中 T_{ij,NO_i}^F 表示 S_{ij} 的最后一个检验步骤的完成时刻:

$$[0020] \quad \min Z = \max_{i=1}^{NL} \left\{ \max_{j=1}^{NS_i} \left\{ T_{ij,NO_i}^F \right\} \right\} \quad (1)$$

[0021] 模型的决策变量描述如式(2)-式(4)所示,其中如果检验步骤 O_{ijk} 在子检验机器 M_l 上检验,那么 α_{ijkl} 为1,否则为0,如果检验步骤 O_{ijk} 在子检验机器 M_l 检验之前需要准备操作,那么 β_{ijkl} 为1,否则为0,如果检验步骤 O_{ijk} 与 $O_{i,j,k}$,先后在子检验机器 M_l 上检验,且 O_{ijk} 紧接着 $O_{i,j,k}$,那么 $\delta_{l_ijk_i,j,k}$ 为1,否则为0;

$$[0022] \quad \alpha_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (2)$$

$$[0023] \quad \beta_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验需要准备操作,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (3)$$

$$[0024] \quad \delta_{l_ijk_i,j,k} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 紧接着 } O_{i,j,k} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (4)。$$

[0025] 进一步的,混合优化模型的约束条件和特征归纳为:

[0026] (1) 子批量约束:对某个批次 L_i ,所有子批量 NS_i 之和等于该批次的批量 SL_i ,如式(5)所示:

$$[0027] \quad SL_i = \sum_{j=1}^{NS_i} SS_{ij}, i = 0, 1, 2, \dots, NL-1 \quad (5)$$

[0028] (2) 工序约束:对某个子批步骤 0_{ijk} ,其所有血样的上一个检验步骤都完成后,才能开始 0_{ijk} 的下一个检验步骤,如式(6)所示:

$$[0029] \quad T_{ijk-1}^F \leq T_{ijk}^S \quad (6)$$

[0030] (3) 不可抢占:即某个子批的某个检验步骤 0_{ijk} 在某台子检验机器 M_l 未完成检验的时候,其他子批不允许抢占 M_l , 0_{ijk} 的加工结束时刻等于开始时刻加上该子批 SS_{ij} 个工件的检验时长 T_{ikl} ,如式(7)所示:

$$[0031] \quad T_{ijk}^F = \sum_{l \in SM_{ik}} (\alpha_{ijkl} \cdot T_{ikl} \cdot SS_{ij}) + T_{ijk}^S, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (7)$$

[0032] (4) 每个子批的第一个检验步骤 0_{ij1} 都在零时刻进入待检验状态,如式(8)所示:

$$[0033] \quad T_{ij0}^F = 0, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1 \quad (8)$$

[0034] (5) 每个子批的每个步骤 0_{ijk} 只能从可选子检验机器集合 SM_{ik} 中选择一台子检验机器 M_l 来加工,如式(9)所示:

$$[0035] \quad \sum_{l \in SM_{ik}} \alpha_{ijkl} = 1, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (9)$$

[0036] (6) 批次 L_i 的某个子批的检验步骤 0_{ijk} ,如果在子检验机器 M_l 上检验,在检验之前至少需要进行一次准备操作;如果 M_l 检验的上一个子批也属于批次 L_i ,那么 0_{ijk} 不需要进行准备操作,如式(10)所示:

$$[0037] \quad 0 \leq \sum_{l \in SM_{ik}} \beta_{ijkl} \leq 1, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (10)$$

[0038] (7) 如果 0_{ijk} 需要准备操作,即 $\beta_{ijk1} = 1$,那么 0_{ijk} 的准备操作结束时刻 PT_{ijk}^F 等于开始时刻 PT_{ijk}^S 加上准备操作时长 PT_{ikl} ,如果不需要准备操作,那么 PT_{ijk}^F 等于 PT_{ijk}^S ,如式(11)所示:

$$[0039] \quad PT_{ijk}^F = \sum_{l \in SM_{ik}} (\beta_{ijkl} \cdot PT_{ikl}) + PT_{ijk}^S, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (11)$$

[0040] (8) 如果 0_{ijk} 需要准备操作,即 $\beta_{ijk1} = 1$,那么检验步骤要在准备操作之后开始,如式(12)所示,式(13)是计算 0_{ijk} 的子检验机器 M_l 上 0_{ijk} 前一个子批完成相应检验步骤的时刻 T_{ijk}^{LF} :

$$[0041] \quad PT_{ijk}^F \leq PT_{ijk}^S, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (12)$$

$$[0042] \quad T_{ijk}^{LF} = \sum_{l \in SM_{ik}} (\delta_{l_ijk_i'j'k'} \cdot T_{i'j'k}^F) \quad (13)$$

[0043] (9) 准备操作的分离,即对 0_{ijk} 的子检验机器 M_l ,上一个子批离开之后,就开始 0_{ijk} 的准备操作,而不一定要等待该子批的上一个步骤 $0_{ij,k-1}$ 完成,如式(14)所示:

$$[0044] \quad T_{ijk}^{LF} \leq PT_{ijk}^S \quad (14)$$

[0045] 进一步的,步骤S3所述的子批划分序列用于描述批量血样的子批划分,检验顺序序列用于描述子批血样在机器上的检验顺序;

[0046] 子批划分序列是将每个批次 L_i 划分为若干个子批,每个批次 L_i 有不同的批次划分,每个 L_i 都有其子批划分序列,其中,每个子批划分序列包含的两部分信息,分别为子批数 NS_i 和子批量 SS_{ij} ;子批划分序列的第一位数字为子批数,子批划分序列的第二位起为该批次所有子批的子批量;

[0047] 具体的,子批划分序列是将每个批次 L_i 划分为若干个子批,每个批次 L_i 有不同的批次划分,每个 L_i 都有其子批划分序列,其中,每个子批划分序列包含的两部分信息分别为子批数 NS_i 和子批量 SS_{ij} ;子批划分序列的第一位数字为子批数,子批划分序列的第二位起为该批次所有子批的子批量;

[0048] 检验顺序序列表示属于不同批次的子批通过优先顺序进入各台机器,每台机器 M_l 有不同的检验顺序序列,每个检验顺序序列的第一位数代表最先进入该机器的批次号,第二位数代表第二优先的批次号,以此类推;

[0049] 多种群协同候鸟迁移算法是基于群体智能的进化计算方法,鸟群中的每一只鸟个体都代表一个解,每个解都由一个子批划分序列和一个检验顺序序列来表示。多种群协同候鸟迁移算法包含三个并行进化的子鸟群,各自使用不同的邻域算子进行邻域搜索,该算法求解较优的子批划分序列和检验顺序序列包括以下步骤:

[0050] a1、随机初始化3个子鸟群,每个子鸟群包含 n 只鸟(n 个解),并把这 n 个解按照随机顺序排列成V字型,排在最前的一只鸟称为领头鸟,排在后面的鸟称为跟随鸟, $cnt=1$, cnt 表示算法迭代的代数;

[0051] a2、每只领头鸟生成 k 个邻域解,并各自使用最优的邻域解来更新自己。三个子鸟群使用的邻域算子各不相同,分别是子批划分邻域算子,检验顺序邻域算子,子批划分和检验顺序邻域算子;

[0052] a3、每一只鸟都将自己已生成但未被使用的 s 个邻域解分享给紧跟着它的跟随鸟,并与该跟随鸟自己生成的 $(k-s)$ 个邻域解组成候选解集,从该解集中选取最优的解来更新此跟随鸟。三个子鸟群使用的邻域算子依然各不相同,分别是子批划分邻域算子,检验顺序邻域算子,子批划分和检验顺序邻域算子;

[0053] a4、 $cnt=cnt+1$,如果 $cnt \% 10=0$ 且 $cnt < 1000$,那么每一个子鸟群都更换领头鸟,具体来说,领头鸟退到队伍的最后,排最前的其中一只跟随鸟成为新的领头鸟;而且进行一次子鸟群迁移。如果 $cnt \% 10 > 0$ 且 $cnt < 1000$,回到步骤a2;如果且 $cnt \geq 1000$,那么结束迭代,输出三个子鸟群中最优的鸟个体的子批划分序列和检验顺序序列。

[0054] 多种群协同候鸟迁移算法包含三个并行进化的子鸟群,各自使用不同的邻域算子进行邻域搜索;第一个子鸟群G1使用子批划分邻域算子进行邻域搜索,第二个子鸟群G2使用检验顺序邻域算子进行邻域搜索,第三个子鸟群G3同时使用子批划分邻域算子和检验顺序邻域算子进行邻域搜索;经过 K 次迭代之后,进行一次子鸟群迁移;每个子鸟群选出最优的 $r\%$ 个体,与另一个子鸟群中任意 $r\%$ 个体交换;子鸟群迁移之后,G1、G2和G3继续进行 K 次迭代,直到迭代次数达到 K_{max} 次,子鸟群迁移的详细步骤如下:

[0055] 1)、分别选出G1、G2、G3最优的 $r\%$ 个体,分别标记为G1b、G2b、G3b;

[0056] 2)、分别从G1、G2、G3中未被选择的个体中随机选择r%个体,分别记为G1r、G2r、G3r;

[0057] 3)、令G1b与G2r交换,令G2b与G3r交换,令G3b与G1r交换。

[0058] 进一步的,步骤S4所述的根据子批划分序列和检验顺序序列生成调度方案,首先根据式(15)引入柔性指数 FI_l 来定量描述子检验机器 M_l 的灵活程度,其中 θ_{ikl} 表示子检验机器 M_l 是否能检验 L_i 的第k个检验步骤:

$$[0059] \quad FI_l = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{k=1}^{NO_i} \theta_{ikl} \cdot SL_i \quad (15)$$

$$[0060] \quad \theta_{ikl} = \begin{cases} 1, & l \in SM_{ik} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (16)$$

[0061] 设 $\bar{l}$ 为被选择的子检验机器序号, $\bar{i}$ 为被选择的批次数号, $\bar{j}$ 为被选择的子批序号, $\bar{k}$ 为被选择的检验步骤序号, T_1^I 代表 M_1 开始空闲的时刻; CF_{ijk} 代表每个子批的每个检验步骤的完成状态,如果步骤 O_{ijk} 已经完成检验,则为1,否则为0; ACF 表示所有子批的所有检验步骤的完成状态,如果都完成了,则为1,否则为0;如果步骤 O_{ijk} 在子检验机器 $M_{\bar{l}}$ 上检验, T_{ijk}^{EF} 为 O_{ijk} 的预估完成时间, PL_{li} 代表在 M_l 的检验顺序序列中,批次 L_i 的优先顺序,1为最高优先级;

[0062] 生成调度方案包括以下步骤:

[0063] step1、根据式(17)和(18)初始化所有子检验机器的开始空闲时刻 T_1^I 和每个检验步骤的完成状态 CF_{ijk} :

$$[0064] \quad T_1^I = 0, l = 0, 1, \dots, NM-1 \quad (17)$$

$$[0065] \quad CF_{ijk} = 0, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (18)$$

[0066] step2、把最早空闲的子检验机器的序号组成集合,如式(19)所示,其中SI是最早空闲的子检验机器集合,如果 $|SI| < 2$,则最早空闲的子检验机器只有一台,直接选择子检验机器 $M_{\bar{l}}$,如式(20)所示,其中u表示其中一台机器的序号,u的取值为 $1, 2, \dots, NM$, T_u^I 表示序号为u的子检验机器的开始空闲时刻;否则选择柔性指数最小的子检验机器为 $M_{\bar{l}}$,如式(21)所示:

$$[0067] \quad SI = \left\{ l \mid T_l^I = \min_{u=1}^{NM} \{ T_u^I \} \right\} \quad (19)$$

$$[0068] \quad \bar{l} = \arg \min_{u=1}^{NM} \{ T_u^I \} \quad (20)$$

$$[0069] \quad \bar{l} = \arg \min_{l \in SI} \{ FI_l \} \quad (21)$$

[0070] step3、生成在 $M_{\bar{l}}$ 中检验的待检验步骤集合R0,如式(22)所示:

$$[0071] \quad RO = \left\{ (i, j, k) \mid \bar{l} \in SM_{ik}, CF_{ijk} = 0, T_{ijk-1}^F - \beta_{ijk\bar{l}} \cdot PT_{ik\bar{l}} \leq T_{\bar{l}}^I \right\}. \quad (22)$$

[0072] step4、根据式(23)找到R0中偏好度最前的批次 $\bar{i}$,根据式(24)计算批次 $\bar{i}$ 的待检

验步骤在子检验机器 $M_{\bar{l}}$ 上预估检验完成时间 $T_{\bar{y}k}^{EF}$,根据式(25)找到最早能完成检验的子批 $\bar{j}$ 检验步骤 $\bar{k}$:

$$[0073] \quad \bar{l} = \arg \min_{i \in \{l(i,j,k) \in RO\}} \{PL_{\bar{l}i}\} \quad (23)$$

$$[0074] \quad T_{\bar{y}k}^{EF} = T_{\bar{l}}^I + \beta_{\bar{y}k\bar{l}} \cdot PT_{\bar{l}k} + T_{\bar{l}k} \quad (24)$$

$$[0075] \quad \bar{j}, \bar{k} = \arg \min_{j,k \in \{j,k | (\bar{l}, j, k) \in RO\}} \{T_{\bar{y}k}^{EF}\} \quad (25)$$

[0076] step5、根据式(26)和式(27)更新 $O_{\bar{y}k}$ 的准备操作开始时刻 $PT_{\bar{y}k}^S$ 和结束时刻 $PT_{\bar{y}k}^F$;根据式(28)和式(29)更新 $O_{\bar{y}k}$ 的检验步骤开始时刻 $T_{\bar{y}k}^S$ 和结束时刻 $T_{\bar{y}k}^F$;根据式(30)和式(31)更新 $M_{\bar{l}}$ 的空闲时刻 $T_{\bar{l}}^I$ 和更新 $O_{\bar{y}k}$ 的完成状态 $CF_{\bar{y}k}$:

$$[0077] \quad PT_{\bar{y}k}^S = T_{\bar{l}}^I \quad (26)$$

$$[0078] \quad PT_{\bar{y}k}^F = PT_{\bar{y}k}^S + \beta_{\bar{y}k\bar{l}} \cdot PT_{\bar{l}k} \quad (27)$$

$$[0079] \quad T_{\bar{y}k}^S = PT_{\bar{y}k}^F \quad (28)$$

$$[0080] \quad T_{\bar{y}k}^F = T_{\bar{y}k}^S + T_{\bar{l}k} \quad (29)$$

$$[0081] \quad T_{\bar{l}}^I = T_{\bar{y}k}^F \quad (30)$$

$$[0082] \quad CF_{\bar{y}k} = 1 \quad (31)$$

[0083] step6、根据式(32)计算ACF,如果 $ACF=0$ 则返回step2,否则调度方案生成过程完成:

$$[0084] \quad ACF = \prod CF_{ijk}, i=0,1,\dots,NL-1, j=0,1,\dots,NS_i-1, k=0,1,\dots,N0_i-1 \quad (32)。$$

[0085] 进一步的,步骤S5所述的把调度方案转化为对设备内若干台机器的操作指令序列,具体如下:

[0086] 根据调度方案中每个子批的每个检验步骤的准备操作开始时刻 $PT_{\bar{y}k}^S$,准备操作结束时刻 $PT_{\bar{y}k}^F$,检验步骤开始时刻 $T_{\bar{y}k}^S$ 和检验步骤结束时刻 $T_{\bar{y}k}^F$,获得检验过程的甘特图;

[0087] 使用甘特图将调度方案转化为每台子检验机器的操作指令序列,操作指令序列是由若干个指令组成的时间序列,每个操作指令的格式为 T_s-T_f-C-N ,其中 T_s 代表子检验机器的工作开始时刻, T_f 代表子检验机器的工作结束时刻, C 代表子批的检验类型, N 代表子批所包含的血样总数;子检验机器根据 M 和 N 来自动设置工作的参数,为每台子检验机器都生成专属的操作指令序列,其格式为 $[(T_{s1}-T_{f1}-C_1-N_1), (T_{s2}-T_{f2}-C_2-N_2), \dots]$,每个子检验机器都按照操作指令序列的顺序来执行每个指令,直到最后一个指令完成,其中 T_{s1} 、 T_{f1} 、 C_1 和 N_1 都是代表在该子检验机器中检验的第一个子批的信息, T_{s1} 表示在该子检验机器中检验的第一个子批在该机器检验开始的时刻, T_{f1} 表示在该子检验机器中检验的第一个子批在该机器检验结束的时刻, C_1 代表在该子检验机器中检验的第一个子批的检验类型, N_1 代表在该子检验机器中检验的第一个子批包含的血样总数,类似地, T_{s2} 、 T_{f2} 、 C_2 、 N_2 代表在该子检验机器中检验的第二个子批的信息。

[0088] 与现有的技术相比,本发明的有益效果为:本发明能有效提高免疫检验设备的检验效率。传统方法并没有对批量的检验样本划分子批,造成较长的等待时间。而本发明使用了分批的划分方式,并通过候鸟迁移算法来计算较优的子批划分,并且同时优化各个子批的检验顺序,从而减少检验所需时间,提高检验的灵活性,提高批量检验的效率。

附图说明

[0089] 图1本发明一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法流程图;

[0090] 图2a为本实施例子种群迁移前的示意图;

[0091] 图2b为本实施例子种群迁移后的示意图;

[0092] 图3为本实施例子生成调度方案的流程图;

[0093] 图4为本实施例子检验过程中的甘特图;

[0094] 图5为本实施例子批划分序列和检验顺序序列示意图;

[0095] 图6为本实施例子批划分邻域算子示意图;

[0096] 图7为本实施例子检验顺序邻域算子示意图。

具体实施方式

[0097] 前面发明内容部分已对本发明作了详细描述,下面再结合附图进一步说明本发明的实现,以下内容只作为实施例,并不是对本发明保护范围的限定。

[0098] 如图1所示的一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法,包括以下步骤:

[0099] S1、读取待检验血样的信息,读取设备内子检验机器的信息,从数据库读取待检验项目的检验步骤信息;

[0100] 步骤S1-1读取待检验血样的信息,把相同检验项目的血样定义为一个批次,每批次定义为 L_i , L_i 所包含的血样总数为批量 SL_i ,其中 $i=0,1,2,\dots,NL-1$, NL 为批次总数;

[0101] 步骤S1-2读取设备内子检验机器的信息,即设备内子检验机器的总数为 NM ,每台子检验机器 M_l 的可检验的步骤,其中 $l=0,1,2,\dots,NM-1$;

[0102] 步骤S1-3从设备的数据库获取待检验项目的检验步骤信息,包括每个批次 L_i 的检验步骤信息、批次 L_i 中每个血样的检验步骤总数 NO_i 、 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤的能选子检验机器的集合 SM_{ik} 、 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤在 M_l 中检验的检验时长 T_{ikl} 和 L_i 中每个血样的第 k 个检验步骤在 M_l 中的准备操作时长 PT_{ikl} ,其中 $k=0,1,2,\dots,NO_i-1$ 。

[0103] S2、根据步骤S1获取的数据建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型;

[0104] 每个批次 L_i 都划分为 NS_i 个子批,其中 NS_i 为批次 L_i 的子批数量,每个子批定义为 S_{ij} ,其所包含的血样总数即子批量为 SS_{ij} ,其中 $j=0,1,2,\dots,NS_i-1$,不同批次有不同的子批数量和子批量;

[0105] O_{ijk} 代表 S_{ij} 的第 k 个检验步骤, T_{ijk}^S 表示 O_{ijk} 的检验开始时刻, T_{ijk}^F 表示 O_{ijk} 的检验完成时刻, PT_{ijk}^S 表示 O_{ijk} 的准备操作开始时刻, PT_{ijk}^F 表示 O_{ijk} 的准备操作完成时刻, T_{ijk}^{LF} 表示 O_{ijk} 的子检验机器上, O_{ijk} 前一个子批的完成相应检验步骤的时刻;

[0106] 结合检验信息输入接口模块所读取的数据,建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型,模型的优化目标是通过合理安排每个批次的子批划分,即找到合适的 NS_i 和 SS_{ij} ,

以及合理安排每个子批在子检验机器上的检验顺序,使得所有批次血样的检验总时长最小化;该混合优化模型的描述如式(1)所示,其中 T_{ij,NO_i}^F 表示 $S_{i,j}$ 的最后一个检验步骤的完成时刻:

$$[0107] \quad \min Z = \max_{i=1}^{NL} \left\{ \max_{j=1}^{NS_i} \{ T_{ij,NO_i}^F \} \right\} \quad (1)$$

[0108] 模型的决策变量描述如式(2)-式(4)所示,其中如果检验步骤 O_{ijk} 在子检验机器 M_l 上检验,那么 α_{ijkl} 为1,否则为0,如果检验步骤 O_{ijk} 在子检验机器 M_l 检验之前需要准备操作,那么 β_{ijkl} 为1,否则为0,如果检验步骤 O_{ijk} 与 $O_{i'j'k'}$ 先后在于子检验机器 M_l 上检验,且 O_{ijk} 紧接着 $O_{i'j'k'}$ 那么 $\delta_{l-ijk-i'j'k'}$ 为1,否则为0。

$$[0109] \quad \alpha_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (2)$$

$$[0110] \quad \beta_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验需要准备操作,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (3)$$

$$[0111] \quad \delta_{l-ijk-i'j'k'} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } O_{ijk} \text{ 紧接着 } O_{i'j'k'} \text{ 在 } M_l \text{ 上检验,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (4)$$

[0112] 模型的约束条件和特征归纳为:

[0113] (1) 子批量约束:对某个批次 L_i ,所有子批量 NS_i 之和等于该批次的批量 SL_i ,如式(5)所示:

$$[0114] \quad SL_i = \sum_{j=1}^{NS_i} SS_{ij}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, NL-1 \quad (5)$$

[0115] (2) 工序约束:对某个子批步骤 O_{ijk} ,其所有血样的上一个检验步骤都完成后,才能开始 O_{ijk} 的下一个检验步骤,如式(6)所示:

$$[0116] \quad T_{ij,k-1}^F \leq T_{ijk}^S \quad (6)$$

[0117] (3) 不可抢占:即某个子批的某个检验步骤 O_{ijk} 在某台子检验机器 M_l 未完成检验的时候,其他子批不允许抢占 M_l , O_{ijk} 的加工结束时刻等于开始时刻加上该子批 SS_{ij} 个工件的检验时长 T_{ikl} ,如式(7)所示:

$$[0118] \quad T_{ijk}^F = \sum_{l \in SM_{ik}} (\alpha_{ijkl} \cdot T_{ikl} \cdot SS_{ij}) + T_{ijk}^S, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1, \quad (7)$$

[0119] (4) 每个子批的第一个检验步骤 O_{ij1} 都在零时刻进入待检验状态,如式(8)所示:

$$[0120] \quad T_{ij0}^F = 0, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, \quad (8)$$

[0121] (5) 每个子批的每个步骤 O_{ijk} 只能从可选子检验机器集合 SM_{ik} 中选择一台子检验机器 M_l 来加工,如式(9)所示:

$$[0122] \quad \sum_{l \in SM_{ik}} \alpha_{ijkl} = 1, \quad i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1, \quad (9)$$

[0123] (6) 批次 L_i 的某个子批的检验步骤 O_{ijk} ,如果在子检验机器 M_l 上检验,在检验之前至

少需要进行一次准备操作。如果 M_1 检验的上一个子批也属于批次 L_i ,那么 O_{ijk} 不需要进行准备操作,如式(10)所示:

$$[0124] \quad 0 \leq \sum_{l \in SM_{ik}} \beta_{ijkl} \leq 1, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1, \quad (10)$$

[0125] (7) 如果 O_{ijk} 需要准备操作,即 $\beta_{ijkl} = 1$,那么 O_{ijk} 的准备操作结束时刻 PT_{ijk}^F 等于开始时刻 PT_{ijk}^S 加上准备操作时长 PT_{ikl} ,如果不需要准备操作,那么 PT_{ijk}^F 等于 PT_{ijk}^S ,如式(11)所示:

[0126]

$$PT_{ijk}^F = \sum_{l \in SM_{ik}} (\beta_{ijkl} \cdot PT_{ikl}) + PT_{ijk}^S, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1, \quad (11)$$

[0127] (8) 如果 O_{ijk} 需要准备操作,即 $\beta_{ijkl} = 1$,那么检验步骤要在准备操作之后开始,如式(12)所示,式(13)是计算 O_{ijk} 的子检验机器 M_1 上, O_{ijk} 前一个子批完成相应检验步骤的时刻:

$$[0128] \quad PT_{ijk}^F \leq T_{ijk}^S, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1, \quad (12)$$

$$[0129] \quad T_{ijk}^{LF} = \sum_{l \in SM_{ik}} (\delta_{l_ijk_ijk'} \cdot T_{ijk'}^F) \quad (13)$$

[0130] (9) 准备操作的分离,即对 O_{ijk} 的子检验机器 M_1 ,上一个子批离开之后,就开始 O_{ijk} 的准备操作,而不一定要等待该子批的上一个步骤 $O_{ij,k-1}$ 完成,如式(14)所示:

$$[0131] \quad T_{ijk}^{LF} \leq PT_{ijk}^S \quad (14)$$

[0132] 步骤S3、基于多种群协同候鸟迁移算法的子批划分和检验顺序调度进行混合优化,得到检验总时长最短的子批划分序列和检验顺序序列;

[0133] 所述的基于多种群协同候鸟迁移算法的子批划分和检验顺序调度进行混合优化,其中,使用子批划分序列描述批量血样的子批划分,使用检验顺序序列描述子批血样在机器上的检验顺序,如图5所示,子批划分序列的每一行代表每批血样的所有子批的大小,检验顺序序列的每一行代表所有批次在某台子检验机器上检验的顺序。

[0134] 子批划分序列是将每个批次 L_i 划分为若干个子批,每个批次 L_i 有不同的批次划分,每个 L_i 都有其子批划分序列,其中,每个子批划分序列包含的两部分信息分别为子批数 NS_i 和子批量 SS_{ij} ;子批划分序列的第一位数字为子批数,子批划分序列的第二位起为该批次所有子批的子批量;

[0135] 检验顺序序列表示属于不同批次的子批通过优先顺序进入各台机器,每台机器 M_1 有不同的检验顺序序列,每个检验顺序序列的第一位数代表最优先进入该机器的批次号,第二位数代表第二优先的批次号,以此类推;

[0136] 多种群协同候鸟迁移算法包含三个并行进化的子鸟群,各自使用不同的邻域算子;第一个子鸟群 G_1 使用子批划分邻域算子进行邻域搜索,第二个子鸟群 G_2 使用检验顺序邻域算子进行邻域搜索,第三个子鸟群 G_3 同时使用子批划分邻域算子和检验顺序邻域算子进行邻域搜索;子鸟群 G_1 所使用的子批划分邻域算子如图6所示,在进行邻域搜索的时候,只改变子批划分序列。具体来说,在子批划分序列中随机选出一行,从该行中随机选出两个

数字,进行随机调整。子鸟群G2所使用的检验顺序邻域算子如图7所示,在进行邻域搜索的时候,只改变检验顺序序列。具体来说,在检验顺序序列中随机选出一行,从该行中随机选出两个数字,把排在后面的数字插入到排在前面的数字的前一个位置。子鸟群G3同时使用上述两种邻域算子,即同时改变子批划分序列和检验顺序序列。

[0137] 经过K次迭代之后,进行一次子鸟群迁移;每个子鸟群选出最优的r%个体,与另一个子鸟群中任意r%个体交换;子鸟群迁移之后,G1、G2和G3继续进行K次迭代,直到迭代次数达到 $K_{\max}$ 次,子鸟群迁移的详细步骤如下:

[0138] step1、分别选出G1、G2、G3最优的r%个体,分别标记为G1b、G2b、G3b;

[0139] step2、分别从G1、G2、G3中未被选择的个体中随机选择r%个体,分别记为G1r、G2r、G3r;

[0140] step3、令G1b与G2r交换,令G2b与G3r交换,令G3b与G1r交换。

[0141] 如图2a和图2b所示,通过子鸟群迁移,各个子种群得以进行信息交流。在进化的过程中,如图2a所示,子鸟群内部的个体可能会趋于相近,使子鸟群难以继续寻找更优的解。如果定期进行子鸟群迁移,如图2b所示,则可以让其他子鸟群的个体进入,提高子鸟群的种群多样性。当某个个体在它的子种群内得不到进化,迁移到另一个子鸟群可以给它一个新的进化环境,促进它朝不同方向进化

[0142] S4、根据子批划分序列和检验顺序序列生成具体的调度方案,具体描述如下:

[0143] 首先引入柔性指数 FI_l 来定量描述子检验机器 M_l 的灵活程度,如式(15)所示,其中 θ_{ikl} 表示子检验机器 M_l 是否能检验 L_i 的第k个检验步骤,其定义如式(16)所示

$$[0144] \quad FI_l = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{k=1}^{NO_i} \theta_{ikl} \cdot SL_i \quad (15)$$

$$[0145] \quad \theta_{ikl} = \begin{cases} 1, & l \in SM_{ik} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (16)$$

[0146] 设 $\bar{l}$ 为被选择的子检验机器序号, $\bar{i}$ 为被选择的批次序号, $\bar{j}$ 为被选择的子批序号, $\bar{k}$ 为被选择的检验步骤序号, T_1^l 代表 M_l 开始空闲的时刻; CF_{ijk} 代表每个子批的每个检验步骤的完成状态,如果步骤 O_{ijk} 已经完成检验,则为1,否则为0; ACF 表示所有子批的所有检验步骤的完成状态,如果都完成了,则为1,否则为0;如果步骤 O_{ijk} 在 $M_{\bar{l}}$ 上检验, T_{ijk}^{EF} 为 O_{ijk} 的预估完成时间, PL_{l1} 代表在 M_l 的检验顺序序列中,批次 L_i 的优先顺序,1为最高优先级;

[0147] 生成调度方案具体为:先选择一台子检验机器 $M_{\bar{l}}$,再为该子检验机器分配子批的某个检验步骤 O_{ijk} ,选择检验机器时结合柔性指数 FI 进行选择,优先给可加工机器中 FI 值最小(即检验总时长最小的鸟个体)的子检验机器分配;然后按照子批划分序列生成能够在 $M_{\bar{l}}$ 检验的待检验子批集合 R_0 ,通过 L_i 中每个血样的第k个检验步骤的能选子检验机器的集合 SM_{ik} 来判断,如果 $M_{\bar{l}} \in SM_{ik}$,那么步骤 O_{ijk} 就可以在 $M_{\bar{l}}$ 中检验;接着按照 $M_{\bar{l}}$ 的检验顺序序列选优先顺序最高的所有子批,并估算这些子批的检验步骤完成时刻,从中选择最早完成的子批检验步骤 O_{ijk} ,分配给该检验机器 $M_{\bar{l}}$,如图3所示,生成调度方案的过程为:

[0148] step1、初始化所有子检验机器的开始空闲时刻 T_1^I 和每个检验步骤的完成状态 CF_{ijk} ,如式(17)和(18)所示:

$$[0149] \quad T_1^I = 0, l = 0, 1, \dots, NM-1 \quad (17)$$

$$[0150] \quad CF_{ijk} = 0, i = 0, 1, \dots, NL-1, j = 0, 1, \dots, NS_i-1, k = 0, 1, \dots, NO_i-1 \quad (18)$$

[0151] step2、把最早空闲的子检验机器的序号组成集合,如式(19)所示,其中SI是最早空闲的子检验机器集合,如果 $|SI| < 2$,说明最早空闲的子检验机器只有一台,直接选择为 $M_{\bar{l}}$,如式(20)所示,其中 u 表示其中一台机器的序号, u 的取值可以是 $1, 2, \dots, NM$, T_u^I 为序号为 u 的子检验机器的开始空闲时刻;否则就选择柔性指数最小的为 $M_{\bar{l}}$,如式(21)所示:

$$[0152] \quad SI = \left\{ l \mid T_l^I = \min_{u=1}^{NM} \{ T_u^I \} \right\} \quad (19)$$

$$[0153] \quad \bar{l} = \arg \min_{u=1}^{NM} \{ T_u^I \} \quad (20)$$

$$[0154] \quad \bar{l} = \arg \min_{l \in SI} \{ FI_l \} \quad (21)$$

[0155] step3、生成在 $M_{\bar{l}}$ 中检验的待检验步骤集合 RO ,如式(22)所示:

$$[0156] \quad RO = \left\{ (i, j, k) \mid \bar{l} \in SM_{ik}, CF_{ijk} = 0, T_{ij,k-1}^F - \beta_{ijk\bar{l}} \cdot PT_{ik\bar{l}} \leq T_{\bar{l}}^I \right\}. \quad (22)$$

[0157] step4、找到 RO 中偏好度最前的批次 $\bar{i}$,如式(23)所示,计算批次 $\bar{i}$ 的待检验步骤在子检验机器 $M_{\bar{l}}$ 上预估检验完成时间 $T_{ij\bar{k}}^{EF}$,如式(24)所示,找到最早能完成检验的子批 $\bar{j}$ 检验步骤 $\bar{k}$,如式(25)所示:

$$[0158] \quad \bar{i} = \arg \min_{i \in \{i \mid (i, j, k) \in RO\}} \{ PL_{\bar{i}} \}. \quad (23)$$

$$[0159] \quad T_{ij\bar{k}}^{EF} = T_{\bar{l}}^I + \beta_{ijk\bar{l}} \cdot PT_{ik\bar{l}} + T_{ik\bar{l}}. \quad (24)$$

$$[0160] \quad \bar{j}, \bar{k} = \arg \min_{j, k \in \{j, k \mid (\bar{i}, j, k) \in RO\}} \{ T_{ij\bar{k}}^{EF} \}. \quad (25)$$

[0161] step5、更新 $O_{ij\bar{k}}$ 的准备操作开始时刻 $PT_{ij\bar{k}}^S$ 和结束时刻 $PT_{ij\bar{k}}^F$,如式(26)和式(27)所示;更新 $O_{ij\bar{k}}$ 的检验步骤开始时刻 $T_{ij\bar{k}}^S$ 和结束时刻 $T_{ij\bar{k}}^F$,如式(28)和式(29)所示;更新 $M_{\bar{l}}$ 的空闲时刻 $T_{\bar{l}}^I$ 和更新 $O_{ij\bar{k}}$ 的完成状态 $CF_{ij\bar{k}}$,如式(30)和式(31)所示:

$$[0162] \quad PT_{ij\bar{k}}^S = T_{\bar{l}}^I, \quad (26)$$

$$[0163] \quad PT_{ij\bar{k}}^F = PT_{ij\bar{k}}^S + \beta_{ijk\bar{l}} \cdot PT_{ik\bar{l}}, \quad (27)$$

$$[0164] \quad T_{ij\bar{k}}^S = PT_{ij\bar{k}}^F, \quad (28)$$

$$[0165] \quad T_{ij\bar{k}}^F = T_{ij\bar{k}}^S + T_{ik\bar{l}}, \quad (29)$$

$$[0166] \quad T_{\bar{l}}^I = T_{ij\bar{k}}^F, \quad (30)$$

$$[0167] \quad CF_{ij\bar{k}} = 1. \quad (31)$$

[0168] step6、计算ACF,如式(32)所示,如果 $ACF=0$ 则返回step2,否则调度方案生成过程完成:

[0169] $ACF = \prod CF_{ijk}, i=0,1,\dots,NL-1, j=0,1,\dots,NS_i-1, k=0,1,\dots,NO_i-1$ (32)。

[0170] S5、把调度方案转化为对设备内若干台子检验机器的操作指令序列,使设备内所有检验机器在统一调度下进行检验,过程具体如下:

[0171] 根据调度方案中每个子批的每个检验步骤的准备操作开始时刻 PT_{ijk}^S ,准备操作结束时刻 PT_{ijk}^F ,检验步骤开始时刻 T_{ijk}^S 和检验步骤结束时刻 T_{ijk}^F ,可以获得检验过程的甘特图,如图4所示,横轴表示时间,纵轴M0~M7表示所有子检验机器,每个长方体表示一个子批的某个检验步骤,带有*的长方体代表准备操作,带有数字的长方体代表检验步骤,其中数字的第一位代表批次序号i,第二位代表子批序号j,第三位代表检验步骤序号k,其长度代表检验所需时长。

[0172] 使用甘特图将调度方案转化为每台子检验机器的操作指令序列,操作指令序列是由若干个指令组成的时间序列,每个操作指令的格式为 T_s-T_f-C-N ,其中 T_s 代表子检验机器的工作开始时刻, T_f 代表子检验机器的工作结束时刻, C 代表子批的检验类型, N 代表子批所包含的血样总数;子检验机器根据 M 和 N 来自动设置工作的参数,为每台子检验机器都生成专属的操作指令序列,其格式为 $[(T_{s1}-T_{f1}-C_1-N_1), (T_{s2}-T_{f2}-C_2-N_2), \dots]$,每个子检验机器都按照操作指令序列的顺序来执行每个指令,直到最后一个指令完成,其中 T_{s1} 、 T_{f1} 、 C_1 和 N_1 都是代表在该子检验机器中检验的第一个子批的信息, T_{s1} 表示在该子检验机器中检验的第一个子批在该机器检验开始的时刻, T_{f1} 表示在该子检验机器中检验的第一个子批在该机器检验结束的时刻, C_1 代表在该子检验机器中检验的第一个子批的检验类型, N_1 代表在该子检验机器中检验的第一个子批包含的血样总数,类似地, T_{s2} 、 T_{f2} 、 C_2 、 N_2 代表在该子检验机器中检验的第二个子批的信息。

[0173] 本实施例采用8台子检验机器检验3批血样的实例,每批包含15个血样,即 $NL=3$, $NM=8$, $SL_i=15$ 。多种群协同候鸟迁移算法每个子鸟群大小为17,一共又个鸟群,迭代次数为500代,独立运行20次。进行对比的为未采用多种群协同的候鸟迁移算法,鸟群大小为51,迭代次数为500代,独立运行20次,具体步骤如下:

[0174] S1、读取待检验血样的信息: $SL_0=15, SL_1=15, SL_2=15$

[0175] 读取设备内子检验机器的信息: $NM=6$

[0176] 获取待检验项目的检验步骤信息:

[0177] $NO_0=6, NO_1=6, NO_2=6$

[0178] $SM_{00}=\{0,1,2,3,4\}, SM_{01}=\{5,6\}, SM_{02}=\{0,1,2,3,4\}, \dots$

[0179] $T_{000}=10, T_{001}=11, T_{002}=9, T_{003}=8, T_{004}=9, \dots$

[0180] $PT_{000}=1, PT_{001}=2, PT_{002}=1, PT_{003}=2, PT_{004}=2, \dots$

[0181] S2、根据步骤S1获取的数据建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型,即把上述变量带入式子(1)到式子(14)中

[0182] S3、基于多种群协同候鸟迁移算法的子批划分和检验顺序调度进行混合优化:

[0183] step1、随机初始化3个子鸟群,每个子鸟群包含17只鸟(17个解),并把这17个解按照随机顺序排列成V字型,排在最前的一只鸟称为领头鸟,排在后面的鸟称为跟随鸟,cnt=

1;

[0184] step2、每只领头鸟生成3个邻域解,并各自使用最优的邻域解来更新自己。三个子鸟群使用的邻域算子各不相同,分别是子批划分邻域算子,检验顺序邻域算子,子批划分和检验顺序邻域算子;

[0185] step3、每一只鸟都将自己已生成但未被使用的1个邻域解分享给紧跟着它的跟随鸟,并与该跟随鸟自己生成的2个邻域解组成候选解集,从该解集中选取最优的解来更新此跟随鸟。三个子鸟群使用的邻域算子依然各不相同,分别是子批划分邻域算子,检验顺序邻域算子,子批划分和检验顺序邻域算子;

[0186] step4、 $\text{cnt}=\text{cnt}+1$,如果 $\text{cnt}\%10=0$ 且 $\text{cnt}<1000$,那么每一个子鸟群都更换领头鸟,具体来说,领头鸟退到队伍的最后,排最前的其中一只跟随鸟成为新的领头鸟;而且进行一次子鸟群迁移。如果 $\text{cnt}\%10>0$ 且 $\text{cnt}<1000$,回到step2;如果且 $\text{cnt}\geq 1000$,那么结束迭代,输出三个子鸟群中最优的鸟个体的子批划分序列和检验顺序序列。

[0187] 经过上述算法求解,得到的解为

[0188] 子批划分序列:

[0189] 3,3,3,3,3

[0190] 3,3,3,3,3

[0191] 3,1,3,3,3,2

[0192] 检验顺序序列:

[0193] 2,0,1

[0194] 1,0,2

[0195] 1,0,2

[0196] 2,0,1

[0197] 0,1,2

[0198] 0,1,2

[0199] 0,2,1

[0200] 1,0,2

[0201] S4、根据子批划分序列和检验顺序序列生成具体的调度方案

[0202] 根据上述子批划分序列和检验顺序序列,可以计算得到检验时长为216。

[0203] S5、把调度方案转化为对设备内若干台子检验机器的操作指令序列:

[0204] $M_0: [(0-1-2-1), (1-8-2-1), (8-29-2-3), \dots]$

[0205] $M_1: [(0-2-1-3), (2-23-1-3), (23-44-1-3), \dots]$

[0206] ...

[0207] 其中在S3的过程中,使用多种群协同候鸟迁移算法求得的分批调度方案的检验时长平均值为216.23,方差为1.33,最优值为215,而未采用多种群协同的候鸟迁移算法求得的分批调度方案的检验时长平均值为219.30,方差为1.81,最优值为217。可见,基于多种群协同候鸟迁移算法的解的平均值、方差、最优值均优于未采用多种群协同的候鸟迁移算法,因此其具有更强的搜索解的能力且寻优精度更好,表明本发明是可靠的。

[0208] 综上所述,以上仅是本发明的优选实施方式,应当指出对于本领域的技术人员来说,在不脱离本发明结构的前提下,还可以作出若干变形和改进,这些都不会影响本发明实

施的效果和实用性。

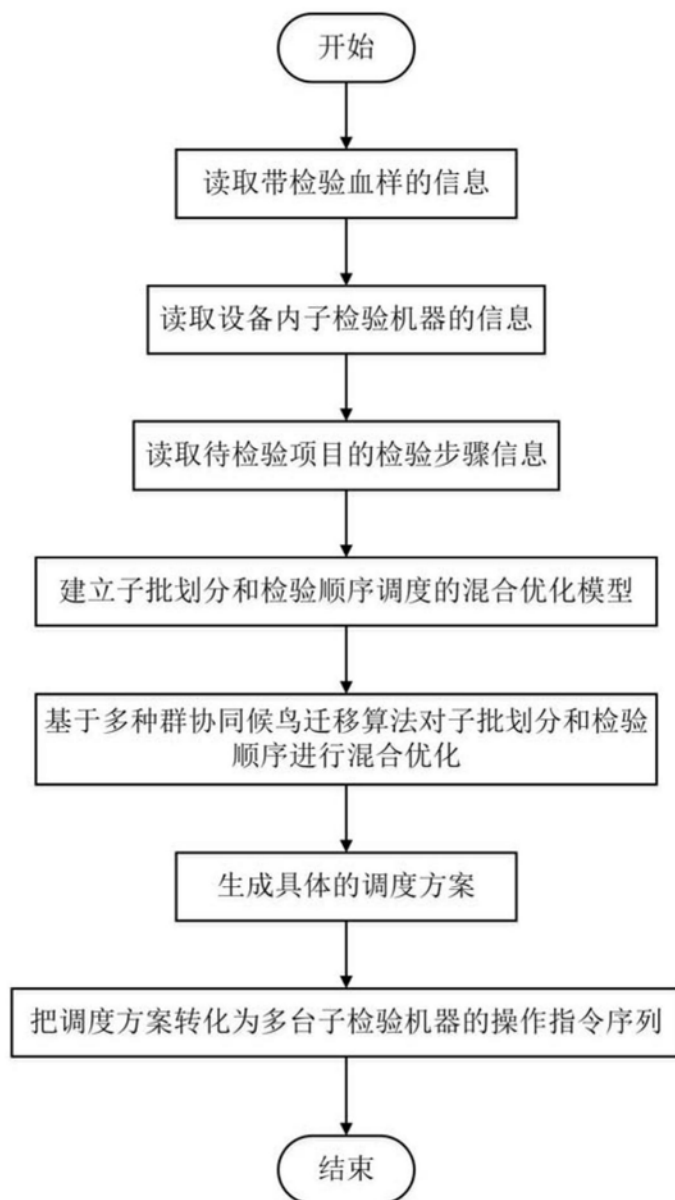


图1

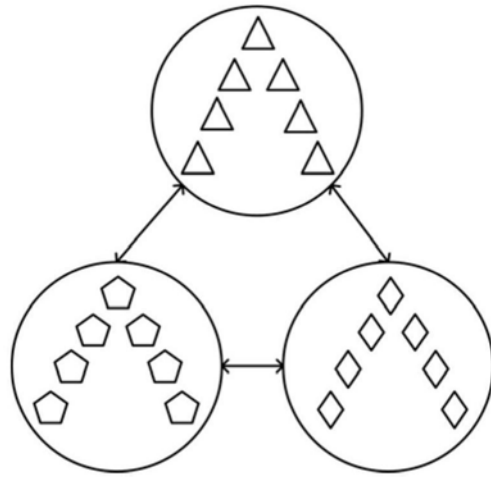


图2a

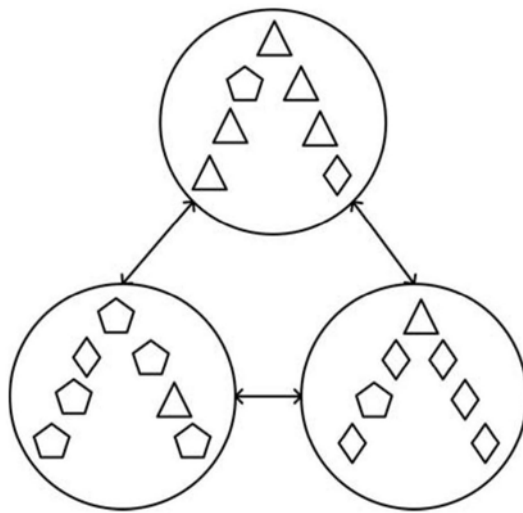


图2b

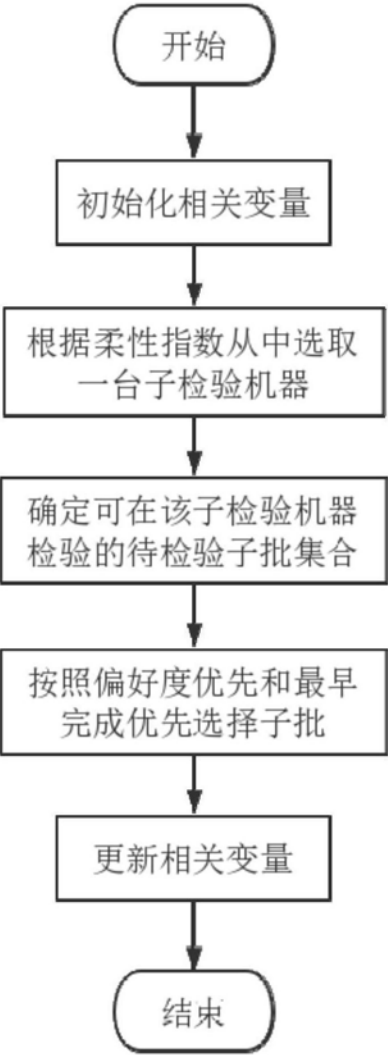


图3

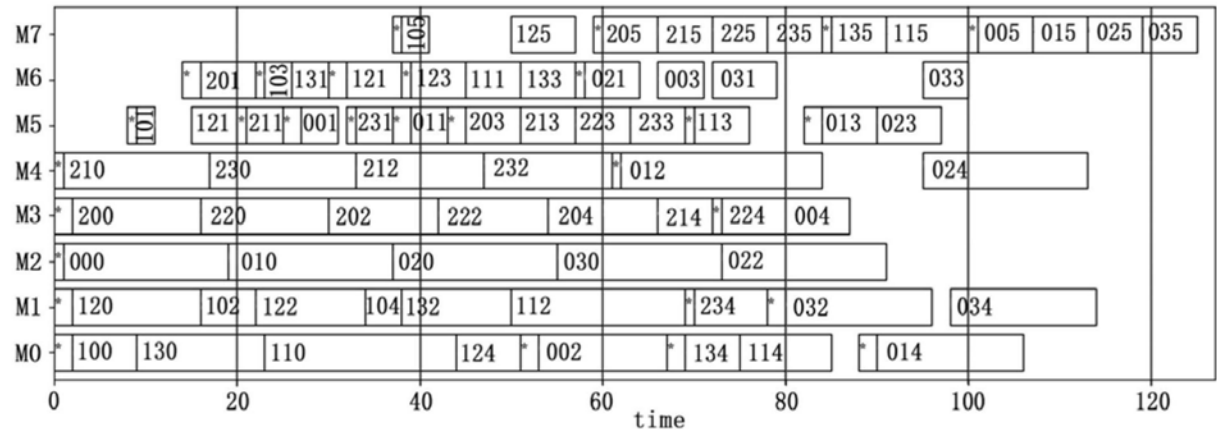


图4

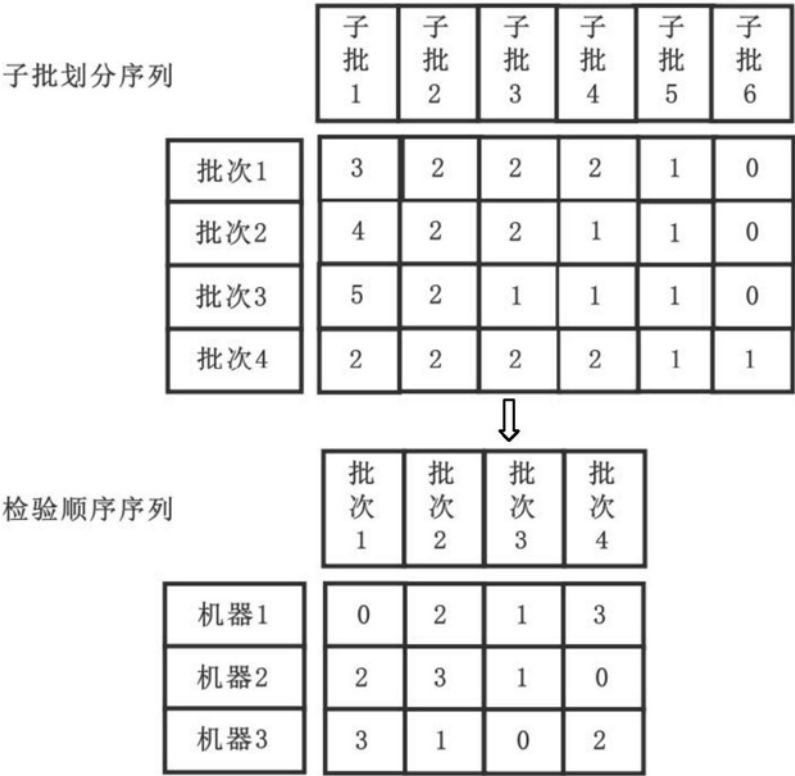


图5

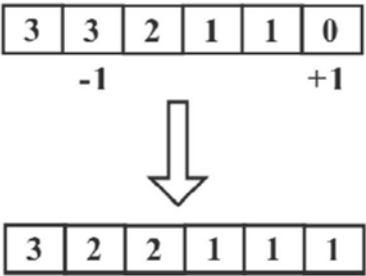


图6

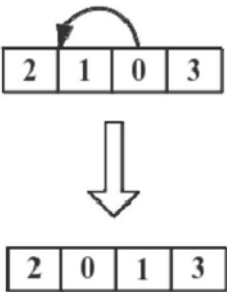


图7

专利名称(译)	一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法		
公开(公告)号	CN110501512A	公开(公告)日	2019-11-26
申请号	CN201910780201.0	申请日	2019-08-22
[标]申请(专利权)人(译)	华南理工大学		
申请(专利权)人(译)	华南理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	华南理工大学		
[标]发明人	张梅 朱金辉 袁鹏		
发明人	张梅 朱金辉 袁鹏 谭映彤		
IPC分类号	G01N35/00 G01N33/53		
CPC分类号	G01N33/5302 G01N35/0092		
代理人(译)	何淑珍 陈伟斌		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种全自动免疫检验设备分批和调度混合优化方法，包括以下步骤：S1、读取待检验血样的信息，读取设备内子检验机器的信息，从数据库读取待检验项目的检验步骤信息；S2、根据步骤S1获取的数据建立子批划分和检验顺序调度的混合优化模型；S3、基于多种群协同候鸟迁移算法的子批划分和检验顺序调度进行混合优化，得到检验总时长最短的子批划分序列和检验顺序序列；S4、根据子批划分序列和检验顺序序列生成具体的调度方案；S5、把调度方案转化为对设备内若干台子检验机器的操作指令序列，使设备内所有检验机器在统一调度下进行检验。本发明通过候鸟迁移算法来计算较优的子批划分，提高检验的灵活性，提高批量检验的效率。

