两道工序无故障的 RGV 动态调度模型算法研究

龚忠伟[1] 李 璐[2] 陈景生[3] 王姗姗[3] 莫文君[4]

(1. 天津工业大学机械工程学院,天津 300387; 2. 天津工业大学经济与管理学院,天津 300387;
3. 天津工业大学数学科学学院,天津 300387; 4. 安徽农业大学资源与环境学院,安徽 合肥 230036)

摘要:智能加工系统的出现,使得物料加工更加快捷有效,极大地减少了人工生产过程的成本. 本文通过对 RGV 动态调度问题的研究,建立了优化模型和仿真模型. 同时利用计算机仿真技术,给出了 RGV 在两道工序加工且无故障发生时的调度方案,并且做了简单的评价.

关键词:计算机模拟仿真;调度方案;算法设计;RGV 调度
中图分类号:TP23 **DOI**:10. 19789/j. 1004-9398. 2020. 03. 005

0 引 言

RGV 智能小车是智能加工系统的主要载体,集各种高新技术于一体[1]. 许多学者对其实用性进行了研究,吴长庆等[2]采用基于双重着色赋时 Petri 网的小车模型,考虑了有轨制导车辆(rail guided vehicle,RGV)的实时调度;甘剑锋和周晓光[3]利用排队论的思想,对自动化立体仓库 AGV 调度效率进行了分析;陈华和孙启元[4]则在禁忌算法的基础上,研究了 RGV 出入库的分派策略.

已知智能加工系统的组成与作业流程,智能加工系统由 1 台带机械手和清洗槽的 RGV、8 台计算机数控技术(computerized numerical control,CNC)、1 条RGV 直线轨道、1 条上料传送带和 1 条下料传送带等附属设备构成. RGV 可以根据指令控制移动的方向和距离,同时自带 1 个机械手臂、2 只机械手爪和物料清洗槽,完成上下料及清洗物料等任务. 具体的系统加工图如图 1 所示:

1 两道工序无故障的分析

在两道工序加工物料的情况下,每件物料的第一道和第二道工序分别需要由 2 台不同的 CNC 依次加工完成,并且在加工过程中 CNC 安装的刀具不可以进行更换. 由于不同组生料在进行第一、二道工序加工时所花费的时间不同,需要确定 CNC 进行第一、二道工序的数量比. 假定已知不同组物料分别

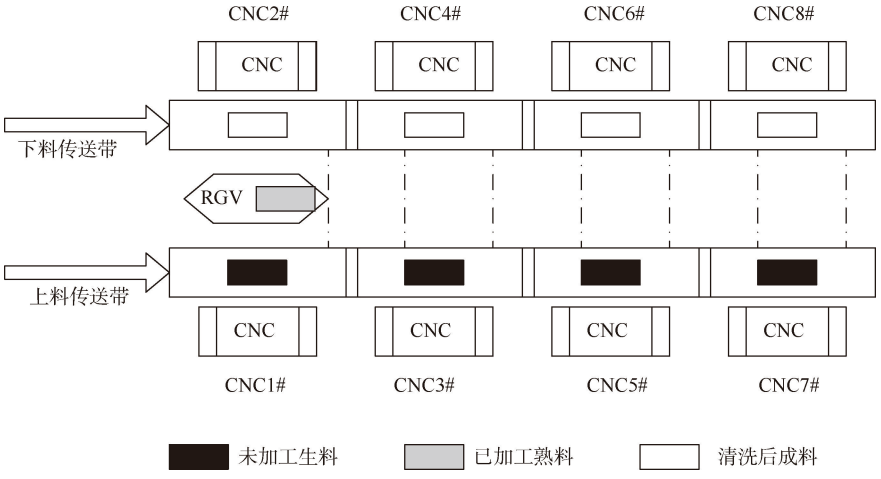


图 1 智能加工系统的示意

收稿日期:2019-03-27

进行第一道和第二道工序的加工时间,便可利用物料分别进行第一道和第二道工序的加工时间比来确定 CNC 进行第一、二道工序的数量比.

设第 k 组物料经过 CNC 完成一道工序的加工时间为 T_k^1,第 k 组物料经过 CNC 完成二道工序的加工时间为 T_k^2,则智能加工系统上第一、二道工序 CNC 分配的数量比为:

$$\left|8\times\frac{T_k^1}{T_k^2}+0.5\right|:\left(8-\left|8\times\frac{T_k^1}{T_k^2}+0.5\right|\right).$$

由此便可计算出第 k 组物料在智能加工系统上第一、二道工序 CNC 分配的数量比(表 1).

表 1　不同组物料所使用第一、二道工序的数量比

第 k 组物料	第一、二道工序数量比
1	4∶4
2	3∶5
3	5∶3

建立将工序具体分配到 CNC 上,并给出每个 CNC 搭配关系的优化模型,使得整个智能加工系统可以在 8 h 内生产的熟料数量达到最大值.

为确定每台 CNC 匹配加工物料的工序,可采用以下步骤:

首先,将智能加工系统上第一、二道工序 CNC 分配的数量比表示为 $m:n$,且 $m+n=8$.

其次,优先将位置相对、序号相邻的 CNC 分别分配或匹配为工序 1 和 2,即可得到对工序 i,$i=1$,2 的加工时间 (T_{ij}^{gxi}).

最后,计算与之对应 CNC 的上下料时间 (T_{sxij}) 之和,遍历匹配得出 $\min\{T_{ij}^{gxi}+T_{sxij}\}$,此时第 j 台 CNC 对应的加工工序 i 即为最佳的分配结果. 由此便可得到各组物料在智能加工系统中的相应的 CNC 对应的工序匹配结果(表 2).

表 2　工作台对应的工序匹配

第 k 组物料	工序 1	工序 2
1	1,3,5,7	2,4,6,8
2	2,3,5	1,4,6,7,8
3	2,4,5,6,7	1,3,8

其中 $j^i(i=1,2,j=1,2,\cdots,8)$ 表示第 j 台 CNC 完成第 i 道工序的加工.

通过上述分析得到每个 CNC 具体分配的工序和 CNC 对应的工序最佳匹配结果,便可建立优化模型.

2　模型的建立

2.1　目标函数的确定

要实现的目标是,在每班次连续作业 8 h 中,经过第一道工序成为半成品,再经过第二道工序变成熟料件数的最大值,即:

$$\max f=\sum_{i=1}^{n_0}\left(\frac{1}{2}\sum_{j\in\{工序1\}}F_{ij}+\frac{1}{2}\sum_{j'\in\{工序2\}}F_{ij}\right),\quad(1)$$

其中,

$$\sum_{j\in\{工序1\}}F_{ij}=\begin{cases}0,第\ i\ 件生料在第\ j\ 台\ CNC\ 上没有\\ \quad 经过工序\ 1\ 加工成半成品\\ 1,第\ i\ 件生料在第\ j\ 台\ CNC\ 上\\ \quad 经过工序\ 1\ 加工成半成品\end{cases},$$

$$\sum_{j'\in\{工序2\}}F_{ij}=\begin{cases}0,第\ i\ 件生料在第\ j'\ 台\ CNC\ 上没有\\ \quad 经过工序\ 2\ 加工成半成品\\ 1,第\ i\ 件生料在第\ j'\ 台\ CNC\ 上\\ \quad 经过工序\ 2\ 加工成半成品\end{cases}.$$

2.2　同一台 CNC 加工 2 件第 k 道工序的物料的时间间隔约束

考虑到第 i 个物料在第 j 台 CNC 进行第 k 道工序的时刻为 $t_{ij}^k=F_{ij}^k\times t_{下料i}^k$,则 1 台 CNC 加工 2 件第 k 道工序的物料的时间间隔 $(\Delta T_j^k)=t_{i+r,j}^k-t_{ij}^k$,必须满足:

$$\Delta T_j^k\geqslant T_{ij}^k+T_{sxij}^k\quad(2)$$

式中 t_{ij}^k 表示第 j 台 CNC 对 i 个物料进行第 k 道工序的时刻,T_{ij}^k 表示第 j 台 CNC 对 i 个物料进行第 k 道工序花费的时间,而 T_{sxij}^k 为第 j 台 CNC 对 i 个物料进行第 k 道工序后进行上下料的时间.

2.3　前后 2 件物料加工顺序时间的约束

RGV 在第 j 台 CNC 上对第 i 件物料进行第 k 道工序加工后,移动到下一个离其距离最近的已经发出需求信号的第 j' 台 CNC 上完成第 i' 件物料进行第 k' 道工序加工,若前者刚完成第一道工序的加工,则 RGV 将去协助进行第二道工序加工;若前者刚完成第二道工序的加工,则 RGV 将去协助进行第一道或者第二道工序加工. 而这 2 件物料的时间间隔 $(\Delta T_{jj'}^k)=t_{i+1,j}^k-t_{i,j}^k$,需要满足:

$$\Delta T_{jj'}^k\geqslant T_{sxqij}^k+T_{CNCij}^k,\quad(3)$$

式中 T_{CNCij}^k 表示进行第 k 道工序时 RGV 在第 i 个 CNC 与第 j 个 CNC 之间移动花费的时间,

$$T^{k}_{\text{sxqij}} = \begin{cases} 0, k = 1 \text{ 表示进行第一道工序后只用} \\ \quad \text{上下料不用进行清洗;} \\ T_{\text{sxq0}}, k = 2, \text{表示进行第二道工序后除了} \\ \quad \text{需要上下料还需要进行清洗.} \end{cases}$$

2.4　总时间约束

一个班次为 8 h,故有:

$$T_{\text{RGV}} \leqslant 28\ 800\ s. \tag{4}$$

2.5　每件物料完成两道工序完整加工的约束

第 i 个工件在第 j 台 CNC 上完成第一道工序的加工,经过等待后经过上下料,移动到第 j' 台 CNC 上上下料,完成第二道工序的加工后,立即向 RGV 发出信号,整个过程需要满足的时间约束为

$$t^{k}_{ij} = t^{1}_{\text{上料}i} + t^{1}_{ij} + T^{\text{wait1}}_{ij} + T^{1}_{\text{sx}ij} + T^{2}_{\text{sx}ij'} + t^{2}_{ij'} + T^{\text{wait2}}_{ij'}, \tag{5}$$

式中 $t^{k}_{\text{上料}ij}$ 表示第 j 台 CNC 对第 i 个物料进行第 k 道工序刚进行上料的时刻,

$$T^{\text{wait}k}_{ij} = \begin{cases} k = 1, \text{对第一道工序加工完成后等待} \\ \quad \text{RGV 进行上下料作业等待的时间;} \\ k = 2, \text{对第二道工序加工完成后等待} \\ \quad \text{RGV 进行上下料作业等待的时间.} \end{cases}$$

综上所述,可建立两道工序无故障的优化模型为:

$$\max f = \sum_{i=1}^{n_0} \left(\frac{1}{2} \sum_{j \in \{\text{工序1}\}} F_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j' \in \{\text{工序2}\}} F_{ij} \right)$$

$$s.t \begin{cases} \Delta T^{k}_{j} \geqslant T^{k}_{ij} + T^{k}_{\text{sx}ij}, \\ \Delta T^{k}_{jj'} \geqslant T^{k}_{\text{sxq}ij} + T^{k}_{\text{CNC}ij}, \\ T_{\text{RGB}} \leqslant 28\ 800\ s, \\ t^{k}_{ij} = t^{1}_{\text{上料}i} + t^{1}_{ij} + T^{\text{wait1}}_{ij} + T^{1}_{\text{sx}ij} + T^{2}_{\text{sx}ij'} + t^{2}_{ij'} + T^{\text{wait2}}_{ij'}. \end{cases}$$

3　模型的求解

3.1　两道工序无故障模型的求解算法

考虑到模型约束条件的复杂性和非线性,将优化模型通过化简,建立动态仿真模型,然后利用仿真的思想进行求解. 则两道工序无故障动态模型的具体求解算法如下:

第一步,初始化工作总时间 T, 从 CNCi# 移动到 CNCj# 所花费的时间为 TM_{ij}, RGV 所在位置 S = 1,CNC1i# 用于加工第一道工序, CNC2j# 用于加工第二道工序, CNC1i# 剩余加工时间 ($T_{\text{D1}i}$) = 0, CNC2i# 剩余加工时间 $T_{\text{D2}i}$ = 0, 工作总时间 (Total) 28 800 s, RGV 初始状态 (Total)0;

第二步,当 Flag = 0 时,若对于任意的 i,j, 都有 $T_{\text{D1}i} \neq 0$, $T_{\text{D2}i} \neq 0$, 则 RGV 需要在 S 位置等待,等待时间 $T_{\text{W}} = \min\{\min\{T_{\text{D1}i}\}, \min\{T_{\text{D2}j}\}\}$, 更新总工作时间 $T = T + T_{\text{W}}$, 更新 CNC 的剩余加工时间 $\begin{cases} T_{\text{D1}i} = T_{\text{D1}i} - T_{\text{W}} \\ T_{\text{D2}j} = T_{\text{D2}j} - T_{\text{W}} \end{cases}$, 否则转到第三步,当 Flag = 1 时,若对于任意的 j, 都有 $T_{\text{D2}i} \neq 0$, 则 RGV 需要在 S 位置等待,等待时间 $T_{\text{W}} = \min\{T_{\text{D2}j}\}$, 更新 CNC$i$# 的剩余加工时间 ($T_{\text{D}i}$) = $T_{\text{D}i} - T_{\text{W}}$, 否则转到第三步;

第三步,当 Flag = 0 时,当 RGV 移动到 CNCi# 时, CNC1i# 的剩余加工时间 (Temp_i) = $T_{\text{D1}i} - T_{\text{M}si}$, RGV 下一个时间段位移耗时 ($D$) = $\{\min\{T_{\text{M}si}\} \mid \text{Temp}_i \leqslant 0\}$, 并更新下一时段位置 ($S$); 当 Flag = 1 时,当 RGV 移动到 CNCj# 时, CNC2j# 的 Temp_j = $T_{\text{D1}j} - T_{\text{M}sj}$, RGV 的 D = $\{\min\{T_{\text{M}sj}\} \mid \text{Temp}_j \leqslant 0\}$, 并更新下一时段 S, 更新 Flag = 0;

第四步,更新剩余加工时间 $T_{\text{D}i} = T_{\text{D}i} - D$, 若 $T_{\text{D}i} < 0$, 则使 $T_{\text{D}i} = 0$. 更新总时间 (T) = $T + D + T_{\text{S}s}$, 其中 $T_{\text{S}s}$ 为 RGV 在 S 位置上下料及清洗物料所耗费的时间,若 $T \geqslant$ Total, 算法结束,否则转到第二步.

3.2　结果展示

通过计算机仿真技术,可以得到一个班次内 3 组无故障发生时可完成加工的熟料零件数,分别为 235、196 和 240 件.

计算得到每个班次内加工物料在不同 CNC 上进行加工的时间,以第 2 组参数的加工作业情况为例,选取部分结果,如表 3 所示:

表 3　第 2 组数据两道工序无故障加工物料时间

加工物料序号	工序 1 的 CNC 编号	上料开始时间/s	下料开始时间/s	工序 2 的 CNC 编号	上料开始时间/s	下料开始时间/s
1	2	0	356	1	391	1 217
2	3	58	474	4	504	1 094
3	5	111	592	6	622	1 348

4　结束语

RGV 智能小车的使用使得仓库管理合理化、存取自动化、操作简便化,可以将本文建立的模型做一些改善,应用到医药生产、汽车制造、机械制造、烟草配送、机场货运、军事等有类似需要物流分配的领域.

参 考 文 献

[1] 江唯,何非,童一飞,等. 基于混合算法的环形轨道 RGV 系统调度优化研究[J]. 计算机工程与应用,2016,52(22):242 - 247.

[2] 吴长庆,罗键,陈火国,等. 基于 Petri 网的 RGVs 系统中环路死锁研究[J]. 计算机科学,2009,36(4):250 - 253 + 260.

[3] 甘剑锋,周晓光. 基于排队论的自动化立体仓库 AGV 调度效率分析[J]. 计算机测量与控制,2004(7):657 - 659.

[4] 陈华,孙启元. 基于 TS 算法的直线往复 2-RGV 系统调度研究[J]. 工业工程与管理,2015,20(5):80 - 88.

Research on RGV Dynamic Scheduling Model Algorithm for Two Processes in the Case of No Fault

GONG Zhongwei[1]　LI Lu[2]　CHEN Jingsheng[3]　WANG Shanshan[3]　MO Wenjun[4]

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin　300387;
2. School of Economics and Management, Tianjin Polytechnic University, Tianjin　300387;
3. School of Mathematical Sciences, Tianjin Polytechnic University, Tianjin　300387;
4. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui　230036)

Abstract: The emergence of intelligent processing systems makes material processing faster and more efficient. At the same time, it greatly reduces the cost of the manual production process. In this paper, the optimization model and simulation model are established by studying the dynamic scheduling problem of RGV. In addition, we use computer simulation technology to give a scheduling scheme for RGV processing in two processes without failure, and make a simple evaluation.

Keywords: computer simulation; scheduling scheme; algorithm design; RGV scheduling