

基于多 Agent 的蚁群算法在车间动态调度中的应用研究*

陈文¹ 王时龙² 黄河¹

1. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学 软件学院, 重庆 400044

摘要:文章提出了基于多代理的车间动态调度结构模型,并分析了此结构模型的工作原理。对应用蚁群算法如何实现车间的具体调度进行了分析与实现,从而为制造系统中的动态调度提供了一种新方法。通过仿真,验证了此方法在车间动态调度问题的求解中具有很好的可行性与有效性。

关键词:车间动态调度;多代理;蚁群算法;全局优化

中图分类号:F273 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2265(2004)06-0056-03

Research on ant colony algorithm for multi-agent based workshop dynamic scheduling

CHEN Wen WANG Shilong HUANG He

Abstract: A novel multi-agent-based workshop dynamic scheduling(WDS) model is presented and the principle of this model is given. Then the realization of ant colony algorithm for WDS and a new dynamic scheduling approach are introduced. Finally, the feasibility and effectivity of this model and algorithm is confirmed by simulation.

Key words: workshop dynamic scheduling; multi-agent; ant colony algorithm; global optimization

1 前言

生产调度是制造系统中最关键环节之一,但是车间级生产调度及优化已被证明为完全 NP 复杂问题,传统的制造系统多数是采用集中式决策的方法,多年来广大研究者研究出了大量简化算法,如离散寻优算法、启发式算法等,但都只能解决局部问题,很难实现在全局控制下的最优化,而且某些规则算法只适合于一种场合,很难保证其解的有效性^[1]。文献[1]中提出了运用生物遗传算法来实现生产调度算法。文献[2]中提出了基于现场总线的多 Agent 车间动态调度算法。针对上述问题,本文提出了一种基于多 Agent 的车间动态调度模型,并运用蚁群算法来构造车间动态调度算法。运用多 Agent 结构可以实现全局协调作业,从而使生产系统在满足一定约束条件下,实现资源的合理配置和有效利用,达到成本最低的目标。通过这种方法不仅可以有效解决自动化生产系统中车间调度的具体寻优问题而且可以实现全局动态调度及协同控制的目标。

2 基于多 Agent 的车间动态调度结构模型

实际的车间生产系统是一个动态生产环境,生产计划、加工设备、调度目标等任何因素的变化都会引起生产调度的变化。为了实现车间的协调运作,同时实现全局优化目标,从而更好地完成车间调度任务,实现资源的合理配置,本文提出了基于多代理的车间动态调度系统,并运用蚁群算法来构造车间的动态调度算法。Agent 的原意是“代理”,在文献[3]中, Lane 将 Agent 定义为一种具有问题推理求解机制以及可以自主发挥作用的计算实体。之所以要运用到多 Agent 结构,是由于多 Agent 系统是由多个 Agent 组成的可以协调作业的网络与计算系统,系统中的各个代理各自有自己不同的求解问题与求解方法,但是 Agent 间可以通过约定好的统一通信协议进行车间的动态调度,以投标、谈判等方式进行决策。采用多 Agent 结构可以使系统

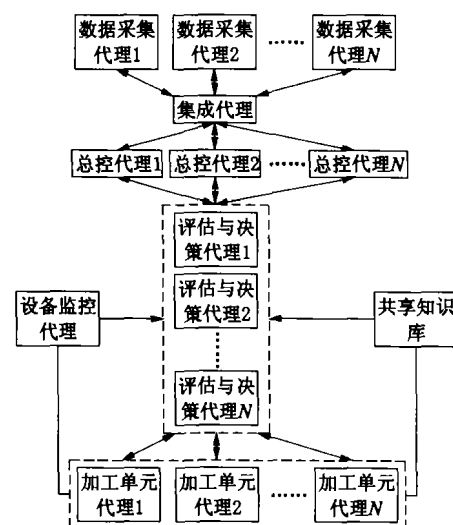


图1 基于多 Agent 的车间动态调度系统结构

不会因为系统的某个部分出错而导致整个系统的崩溃,有利于提高系统的稳定性,同时实现制造系统的分布式决策,使系统具有很强的鲁棒性与可扩展性。

本文构造的体系结构模型如图1所示,其基本的工作原理如下:

(1) 首先数据采集代理起到实时生产监控的作用,采集生产过程中的现场数据,如机床状态、路线的运行情况等,并结合生产计划,为评估与决策代理提供原始数据。

(2) 集成代理将各个数据采集代理送出的各种数据进行有序组合,并将其集成,通过代理中的预处理算法将各个数据转换为系统可以识别的统一格式,从而有利于提高整个系统的计算性能。

(3) 总控代理不仅要向决策代理提供各种数据以及可供选

* 基金项目:重庆市科技项目(7210,7362)及回国人员启动基金资助

用的各种评估与分析算法,如相关性算法、平均值算法等,而且总控代理要负责对整个系统的运行进行实时监控。若数据出现错误,可以发出要求数据采集代理改变其提供数据频率的指令,从而实现在监控基础上的全局优化目标。

(4) 评估与决策代理是整个系统的核心,是调度任务完成的主要执行者,可以要求总控代理提供实时数据,并选用合适的算法进行车间的具体资源配置。由于评估与决策代理起到车间调度代理的作用,它可以通过谈判、投标等方式进行决策,并将决策结果及时地发送给合适的加工单元代理。当调度期间出现问题(如某条路线运行的等待时间过长或出现返工现象等)可以向总控代理发出处理命令,使系统暂时停止调度与加工,并及时从共享知识库中调出错误信息,供决策者分析与解决。当要处理的加工任务过大时,可将任务进行分解,并由多个评估与决策代理进行分布式决策,最后经过预处理算法将处理信息转化为统一的决策结果并发布给合适的加工单元代理。随着决策事件的不断增多,共享知识库中的数据信息将朝着更加有利于车间动态调度的方向发展。

(5) 加工单元代理可以不间断地向评估与决策代理发出接收加工任务的指令。若某机床在加工过程中出现问题,则设备监控代理会将所有经过此机床的加工路线定为不可用,并及时将信息发布给决策代理,使决策代理重新对车间内的实时状态进行评估与决策,从而从剩余的可行加工路径中选择出一条可行路径来完成加工任务,当机床的故障被排除了,则所有经过此机床的加工路线又会重新被定义为可用。

3 蚁群算法

人们通过研究发现:蚂蚁虽然视觉功能较差,但具有寻找蚁穴和食物源之间最短(最优)路径的能力。根据蚂蚁的觅食原理,发现了一种可以应用于各种优化组合问题求解的群体智能算法,这就是蚁群算法(Ant Colony Algorithm),它是由 Dorigo 等人^[4]首先提出的。蚂蚁之所以具有如此强的能力,是由于它在寻找食物的过程中会释放出信息激素(pheromone),这种信息激素会随后续蚂蚁的经过而增加,但也会随着时间的推移而不断减少,从而依靠这种信息激素形成一种自组织行为,使得从最初的随机加工路径搜索,最终达到蚁群整体寻优最佳化。当蚂蚁在寻找食物的过程中存在着多条可行路线时,在相同条件下,蚂蚁在较短路线上往返的时间较少,从而使较短路线上遗留的信息激素要比其它路线多,则后续的蚂蚁会沿着信息激素高的路线前进。随着最短路径上的蚂蚁越来越多,使这条路径上的信息激素也越来越高,从而越来越多的蚂蚁选择了这条最短路径^[5]。

设 t 时刻在连接第 i, j 两路径上留下的信息激素为 $I_{ij}(t)$, 第 m 只蚂蚁从 i 节点(本文中指的是机床)到 j 节点的概率:

$$p_{ij}^m = \frac{I_{ij}(t)}{\sum_{j \in E \text{ 所经过的设备}} I_{ij}(t)}$$

当完成一次搜索后时间更新为 $t+k$, 则此时更新的信息素的计算公式如下:

$$I_{ij}(t+k) = \epsilon I_{ij}(t) + \Delta I_{ij}(t)$$

式中: $0 < \epsilon < 1$ 并且是常数; $1 - \epsilon$ 为 $I_{ij}(t)$ 在时间 t 和 $t+k$ 间的挥发程度; $\Delta I_{ij}(t)$ 为蚂蚁在时间 t 和 $t+k$ 之间引起路径 ij 上信息素的增加值。

由于存在着许多可行加工路线,而且在一条路线上是由一群蚂蚁在工作的,从而会有许多不同的 $I_{ij}(t+k)$ 值。通过比较各个路径上的 $I_{ij}(t+k)$ 值,若某条路径上的 $I_{ij}(t+k)$ 值最大,

则在相同的约束条件下,可以判断出这条加工路径就是最短(最优)的。

4 蚁群算法在车间动态调度系统中的应用

由于蚁群算法具有自适应、分布式并行化等特征,并且不需要进行大量的概率演算以及建立复杂的数学模型,对于求解具体的车间动态调度问题具有很好的可行性。

本文采用如下方法实现车间的动态调度:首先通过蚂蚁泛滥^[6]的方法,在整个车间网络中寻找所有可行加工路线,并将其作成工艺表。在每条工艺路线上放入一群蚂蚁,并将每只蚂蚁看作一个 Agent^[7],当它经过每条工艺路线时,要记下各条路线上的各种信息,如各个区间的运行时间 t 、设备状态以及所经过的节点(机床)等。当蚂蚁沿原路返回到原先的节点时,蚂蚁可以根据前进时所采集到的路线状态信息,作出增加(或减少)通过某段路线的概率值,如某路线过于拥挤时,则蚂蚁通过的时延相应增加,从而使选择这条路线的概率降低,通过这种方法可以更好地为后续的蚂蚁提供信息。本文通过正比关系将平均运行时间映射成成本量。通过比较所有可行工艺路线上的成本,依据“成本越低,则该路线被选择的概率越高”的原则,选出最优路线。

当选出了最优路线后,第一个工件就可以进行加工。由于最优路线上的机床此刻正处于加工阶段,若待加工工件再在这条路径上进行加工,必然需要花费许多等待时间,而且会缩短这条路径上机床的使用寿命,但是此刻其它可行路径却处于空闲状态,从而出现了机床闲置的问题。因此此时可以再插入一群蚂蚁进行搜索,搜索出此时的所有可行加工路径,并通过蚁群算法得出此刻的最优路径,通过上述重复搜索方法,使工件在满足一定的约束条件下,都可以在当前最优路径上进行加工。

5 仿真结果及分析

为了验证本文所提出的基于多 Agent 的蚁群算法在车间动态调度中应用的可行性与有效性,我们对车间调度系统进行了仿真实验。我们考虑 8 个都具有 4 条($d1$ 、 $d2$ 、 $d3$ 、 $d4$)可供选用的可行加工路线的车间,每个工件的加工由若干个工序完成,每个工序由一个机床来完成,并且作业过程是不间断进行的,并假设当加工过程中出现刀具使用矛盾时,处于最优路径上的机床具有优先使用刀具的权利。将信息素的挥发度定为 0.2,移动速度 $v = 2.0\text{cm/s}$,常量 $p = 10$,仿真结果如表 1 所示。

表 1 仿真结果汇总

车间	各生产线距离				各生产线加工的工件数			
	$d1$	$d2$	$d3$	$d4$	$n1$	$n2$	$n3$	$n4$
1	15	16	30	25	38	37	29	32
2	20	16	23	26	51	54	49	46
3	10	8	14	30	51	53	47	37
4	25	17	13	28	38	44	47	36
5	22.4	14.8	19.5	16.2	26	31	28	29
6	8.4	5.7	18.4	6.9	59	65	49	62
7	12	21	20	15	51	44	44	49
8	40	21	28	12	22	29	26	34

从表 1 中可以直观地看出:加工路线越短,它所加工的工件数就越多,从而满足了实际的车间调度要求,而且可以看出最短路径加工的工件数最多,但是其它加工路径上的机床也不会处于空闲状态,不会使得加工工件都拥挤在最优(下转第 59 页)



图 2 创建变量框图

相互转换,适应工作的不同要求。

单击表格驱动设置对话框中的创建按钮,选择正确的路径,并为这个文件命名。Excel 自动打开该电子表格,其中仅包含规格为“一般”的设计变量值。也就是刚才所创建的设计变量。你可以为不同规格的气缸命名,例如 CLIR50-50B 表示 50 缸径和 50 行程的气缸,然后相应的填入表 1 中的数据,如图 4。

双击每一种规格的图标,零件将自动按照对应的设计变量的值更新显示如图 5 所示。



图 3 表格驱动设置对话框

3 结论

实践表明,利用 MDT 中参数设计法和表驱动技术可使设计者以零件的尺寸、几何形状和相互位置等关系来进行产品造型设计,进而创建三维素材库,大大缩短了绘图时间。

作者在进行三维汽车焊接夹具设计中在制作气缸效果图时使用了 MDT 参数化实体造型技术。在完成参数化种子零件模型的基础上,借助零件族数据库,可快速准确地生成系列中的任何一个零件,与传统设计方法相比,减少了绘图工作量,缩短了设计周期。

[参考文献]

- [1] 邱宣怀. 机械设计(第四版). 北京: 高等教育出版社, 1999
[2] TAIYO 产品技术手册, 2001



图4 气缸零件的驱动表

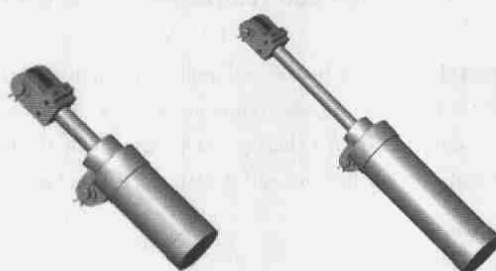


图 5 CL1R50-50B 和 CL1R63-150B 对应气缸

- [3] 李晗. Autodesk Mechanical Desktop 6.0 零件造型实训教程
北京:希望电子出版社,2002
- [4] 赵景亮,王妍风,郑铁. 中文 MDT6.0 基础与实例教程.
北京:希望电子出版社,2002
- [5] 二代龙震工作室编著. AutoCAD & MDT 立体三维设计实
作. 北京:电子工业出版社,2002
- 收稿日期:2003-10-27
- 作者简介:张杨(1979-),男,天津工业大学机械工程及自
动化学院硕士研究生。

(编辑 江复)

(上接第 57 页)路径上,这样不仅可以有效地提高机床的使用寿命,而且可以在最大程度上减少等待时间,实现在全局控制下的最优化及协同控制的目标。当无法在规定的交货时间内完成加工任务时,系统会将任务作外包处理。

6 结束语

本文采用了多 Agent 结构,从而使车间动态调度系统在调度决策时能了解全局情况,避免了单个 Agent 对全局不了解的情况,使系统不致于陷入局部优化的缺陷,同时采用多 Agent 结构可以使系统不会因某个部分出错而导致整个系统的崩溃,从而有利于提高系统的稳定性,同时可以有效地解决调度系统在有限时间、有限资源情况下的资源分配与任务调度。而且应用到蚁群算法来构造车间动态调度算法,由于蚁群算法不需要进行大量的概率计算与建立复杂的数学模型,因此可以明显地提高整个调度系统的计算性能,利用蚁群算法为车间动态调度问题提供了一种新的解决思路。通过仿真,验证了本文所提出的方法具有很好的可行性与有效性。

〔参考文献〕

- [1] 李郝林. 基于生物遗传算法的 FMS 生产调度算法. 机械工程学报, 2000(9): 91 ~ 93
- [2] 廖强, 周凯等. 基于现场总线多 Agent 作业车间动态调度

问题的研究, 中国机械工程, 2000(7): 757 ~ 759

- [3] Lane D M, Mcfadzean A G. Distributed Problem Solving And Real - Time Mechanisms in Robot Architecture. Engineering Application Artificial Intelligence, 1994, 7(2): 105 ~ 117
 - [4] Dorigo M, Maniezzo V, Coloni A. The ant system optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernet. 1996, B(26): 29 ~ 41
 - [5] Brendan Jennings, Rob Brennan, Rune Gustavsson et al. FI-PA - compliant agents for real - time control of intelligent network traffic. Computer Network, 1999, 31(19): 2017 ~ 2036
 - [6] 林国辉, 马正新等. 基于蚂蚁算法的拥塞规避路由算法. 清华大学学报, 2003(1): 1 ~ 4
 - [7] Gianni Di Carro, Marco Dorigo. Mobile Agents for Adaptive Routing. Proc. 31st Annual Hawaii International Conference on System Science: 74 ~ 83
- 收稿日期: 2003 - 10 - 16

作者简介:陈文(1981-),男,福建福清人,重庆大学机械工程学院硕士研究生。

王时龙(1966-),男,重庆大学教授,博士研究生导师,

(编辑 江复)