



基于微粒群优化算法的高效电装生产管理模式探讨

孙晓凤^{1,2} 马力³ 曹熙丹³ 王扶东¹ 罗世杰³

(1. 东华大学, 上海 201600; 2. 上海航天精密机械研究所, 上海 201600; 3. 上海卫星装备研究所, 上海 201600)



摘要: 在当前高强度任务状态下, 电装中心生产能力受到诸多因素的制约, 通过分析得出制约生产的主要矛盾为多型号任务下发后的车间生产调度瓶颈问题。提出了基于微粒群优化算法(PSO)的车间调度综合解决方案, 以电装中心某月生产任务为例, 根据算法流程进行了仿真和实际应用。结果表明, 该方法能迅速高效地形成车间任务调度计划, 特别对于多任务系统, PSO算法确实能给出宏观最优解, 得出保证车间所有任务全部完成所需要的最短时间。

关键词: 车间调度; 微粒群优化算法; 最优解; 电装生产管理

Discussion on Efficient Production Management Mode of Denso Based on Particle Swarm Optimization Algorithm

Sun Xiaofeng^{1,2} Ma Li³ Cao Xidan³ Wang Fudong¹ Luo Shijie³

(1. Donghua University, Shanghai 201600; 2. Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600; 3. Shanghai Institute of Satellite Equipment, Shanghai 201600)

Abstract: With the current state of high-intensity tasks, denso center's capacity is constrained by many factors. The main contradiction of restricting production is the problem of workshop production scheduling bottlenecks under the multi-model task. In this paper, shop scheduling algorithm based on particle swarm optimization (PSO) is proposed, taking a monthly production task of denso center for example, with simulation and practical application of the algorithm flow. The results show that shop scheduling plan can be formed by this method quickly and efficiently, especially for multi-tasking systems, which can really give the macro optimal solution by PSO algorithm, giving the minimum time to guarantee all the tasks are completed.

Key words: shop scheduling; particle swarm optimization algorithm; optimal solution; denso production management

1 引言

在航天事业发展的今天, 航天产品任务量不断加大, 型号多、状态复杂, 型号科研进入“多型号并举研制、多品种组批生产”的关键阶段, “高密度、短周期”成为航天产品型号研制和生产的显著特点。在这种科研生产格局下, 作为航天企业的电子产品研制

生产责任部门, 对提升产能, 有效缩短研制周期提出了十分迫切的需求。

2 现有生产模式及存在主要问题

目前, 单机及电缆网的生产主要是依据设计单位的设计图纸和技术条件, 科研生产部门依据图纸或技

作者简介: 孙晓凤(1981-), 工程师, 项目管理工程专业; 研究方向: 总装工艺管理。

收稿日期: 2013-10-16

术要求下达生产计划,电装中心根据科研生产处下达的任务计划要求进行工艺文件的编制以及开展后续的生产制造工作。作为任务源头,科研生产部门负责生产任务指令的下达与生产相关配套的落实。电装中心则是依据科研生产部门下达的生产指令,进行与生产相关的一系列作业活动,是整个任务的核心与主要责任部门。除此之外,任务周期内,需要物资处提供生产物料的配套,质量处参与产品检验与进行产品生产过程质量控制。

作为以型号需求为主要服务对象的生产型事务,电装中心最主要的责任就是及时高效、优质保量完成航天电子产品的生产,部门内需要协调工艺与生产的衔接,以完成生产任务为第一优先,对外同样要求以生产任务单为指向,由电装中心向兄弟部门提出配套、协作要求,指定各细分任务的完成节点。

单一型号或正常工作量的前提下,部门内部以及部门间能够很好进行配合继而按时完成节点。然而,目前的任务量及整体环境导致多型号同步运行,除此之外,上游研发环节的不确定性,传递至中心就会产生交付节点短、穿插生产任务多、时间要求紧等一系列问题。总体看,电装中心面临的问题主要分为两类:

a. 型号任务间缺乏横向协调。当前,多型号研制并行的态势已成常态,各型号每年下达到电装中心的计划任务多达上百条,且在时间分布上极不平均。当多型号任务同时到达后,对于产能有限的车间,会立刻陷入生产能力瓶颈的制约,由此会连锁导致计划完成率低下。缺乏横向平衡调配的型号纵向计划会严重制约了电装中心产能的有效释放。

b. 生产信息沟通不畅。电装生产所需的物料涉及电子元器件、标准件、外协件、化工品及各种辅料,品种繁多,且加上严格的质量管控程序,对于快速滚动生产的制约因素有很多。除此之外,诸如工艺技术状态不能确定、物料结构清单(BOM)未及时上传、质量问题处理没有答复,物资配套缺料少证等一系列问题,这些信息在车间生产时若得不到及时、快速的反馈解决,势必导致生产节奏放缓,影响计划节点按时完成。

3 解决方法

针对上述两类问题,可以看到:第一类问题主要归结为如何调度,作为一线生产部门的电装中心经常陷入短时间内任务量激增,交货周期短的被动局面,

为应对突发的生产瓶颈,中心目前更多的是采用一种基于交付节点往前倒排的作业计划,这种策划属于针对单一任务的单线程规划。而这种传统的倒排计划方式,在“十二五”高强研制任务的背景下愈发显出不足,同时在处理多任务同时下达的情况时,自然会陷入难以取舍的困境,因此,如何更主动地把下达到车间的任务,科学、优化、合理、快速地调度是摆在目前一线生产部门面前的一个重要课题。第二类问题主要归纳为如何沟通,各部门间的配合,部门内部的工作传递,上下游间的工序交接等一系列生产活动的信息流通对于高效完成任务至关重要,特别是跨部门间的工序交接,往往时间长、状态确定慢,尤其需要良好的沟通与信息反馈机制。本文着重于论述第一类问题的解决方案。

3.1 调度方法

生产任务调度问题解决方案是:一线部门会同科研生产部门一起协调,一方面要求车间放宽任务节点,另一方面需要科研生产部门确立任务优先投产原则,然后部门依据原则按任务优先级安排生产序列。

由此,问题简化为如何进行排序,从而使整体周期最短的优化问题。电装中心的生产问题具有一定的代表性,其主要是属于置换流水车间的调度问题(Flow Shop Problem, FSP),而解决FSP问题可以采取多种手段,其中微粒群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)就是典型且高效的一种。

3.1.1 FSP问题

为方便后面讨论,我们对电装中心生产的模式做出如下简化:每个任务在生产流程上的流转次序是给定的;每道流程同时只能制作一个任务;一个任务不能同时在不同流程上进行;任务的制作顺序提前不能确定;工序的准确时间与制作顺序无关,且包含在制作时间中;任务在每个流程上的制作顺序相同,且是确定的。

3.1.2 电装中心调度问题特点

电装中心的生产基本流程为:领料、配套、生产、检验、入库,此五步工序串联进行,相互衔接。以这种生产过程类比置换流水线调度模型,不妨设:一项任务为一个工件、领料为机器一、配套为机器二、生产为机器三、检验入库为机器四、入库为机器五,工件只在上道机器上加工完成,才能交接进入下道机器,而通过最后机器的工件(即任务)则意味着完工。因此,对于先领料后生产最终检验入库的电装中心生产模式而言,生产任务的调度问题可以归于置换流水

线调度一类，即在给定的工艺路线下，各任务间最优化的排序问题，使得在该排序下，所有任务总体的完工时间能够最短，也可称为最小化最大完成时间的典型置换式流水线调度问题。

3.1.3 置换流水线调度的数学描述

若 $\pi = (j_1, j_2, \dots, j_n)$ 为全部产品的一个排列顺序，而 $p_{i,j}$ 为产品 i 在工位上的加工制作时间， Π 为全部排序的集合， $C(j_i, k)$ 为产品 j_i 在工位 k 的加工制作完成时间。同时，假设各工位按产品 1 至产品 m 的次序制作，则各产品在每个工位上的完成时间可描述成如下数学公式：

$$C(j_1, 1) = p_{j_1, 1} \quad (1)$$

$$C(j_i, 1) = C(j_{i-1}, 1) + p_{j_i, 1} \quad i = 2, \dots, n \quad (2)$$

$$C(j_1, k) = C(j_1, k-1) + p_{j_1, k} \quad k = 2, \dots, m \quad (3)$$

$$C(j_i, k) = \max\{C(j_{i-1}, k), C(j_i, k-1)\} + p_{j_i, k}$$

$$i = 2, \dots, n; k = 2, \dots, m \quad (4)$$

$$C_{\max}(\pi) = C(j_n, m) \quad (5)$$

$$\pi^* = \arg \min_{\pi \in \Pi} \{C_{\max}(\pi) = C(j_n, m)\} \rightarrow \min \forall \pi \in \Pi \quad (6)$$

其中，式 (5) 为最大完成所需的全部时间，式 (6) 则表示最小化最大完成时间的调度排序的方案。

以电装中心生产的单机、电缆网为例，其基本加工工序可以分为：领料、配套（或下线）、电缆制作（或电子装联）以及检验四个步骤，即 $m=4$ ，假设有 6 项任务下达，那么， $n=6$ 。

3.1.4 PSO 算法

PSO 算法是一种基于群体智能理论的新兴演化计算技术。1995 年由 Kennedy 和 Eberhart 受到鸟类觅食行为的启发而提出的。PSO 算法为单个微粒制定了相当于鸟类运动的简单行为规则，使整个微粒群的运动表达为鸟类觅食相似的特性，从而用于解决比较复杂的优化问题。

微粒群算法是具有多条搜索通道的基本迭代模式的优化技术。算法中原始的粒子通过随机算子生成并跟踪个体极值点和全局极值点的迭代中进行更新。个体极值点是微粒本身所能搜索到的最优值，而全局极值点是种群中所能搜索到的最优值。

在获得个体极值点和全局极值点后，粒子通过下式更新自身：

$$v_{i,j}(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1r_1[p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2r_2[p_{g,j} - x_{i,j}(t)] \quad (7)$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1) \quad j = 1, \dots, d \quad (8)$$

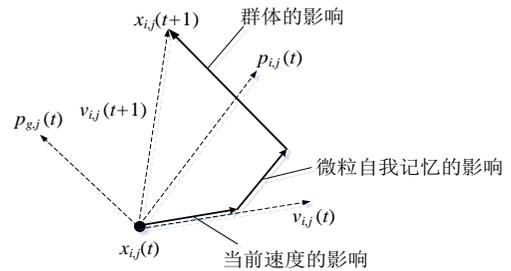


图 1 微粒位置更新示意图

在 PSO 中，我们把某一项任务的调度顺序看作是一个粒子，在这项任务的调度顺序下形成的流程总时间看作是粒子的适应值，适应值越小越好。我们对微粒的位置和速度进行重新定义，即每一个微粒的位置就是该项任务的加工顺序，而速度就是对加工次序的修正数。

POS 算法流程：通过随机算子对种群中的微粒进行初始化；对所有微粒进行评价，获得个体极值点和全局极值点；根据个体极值点和全局极值点对微粒进行更新；评价比较各微粒的当前目标值和个体极值点目标值、全局极值点目标值，更新全局极值点；满足停止迭代条件后结束算法。

现以一个 4 工序 6 任务的 FSP 为例，进行仿真运算实验。该问题的加工任务时间如表 1 所示。运行 MATLAB 程序求解，经多次迭代得到表 2 结果。

表 1 制作任务时间表

任务 j	制作时间 $t_{j,i}$ /天			
	t_{j1}	t_{j2}	t_{j3}	t_{j4}
1	12	2	7	3
2	5	4	6	2
3	3	3	2	1
4	9	5	10	5
5	18	7	21	7
6	7	2	3	4

表 2 最优解数据

最优任务生产序列	4-5-1-6-2-3
迭代次数	最小化最大完成时间
10	74

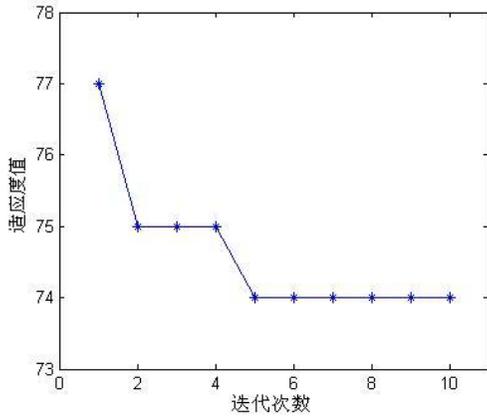


图2 最优粒子收敛图

由图2可以看到,在经过5次迭代后,适应度值趋于稳定,收敛于74。这表明,经过五次种群的更新后,函数整体搜寻到最优值。适应度值即是 PSO 算法优化得到的最优任务生产序列的所需要的最小化最大完成时间。

图3给出了以最优任务生产序列为计划编排依据的车间投产任务甘特图,其中显示出以所有6个任务为调度对象,整体最短的完工交付时间节点。

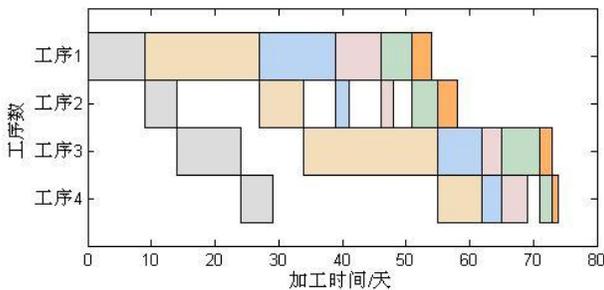


图3 6任务4工序甘特图

4 PSO 算法在电装中心实际调度中的应用

以电装中心某月生产为实例,当月电装中心共承接了7批电缆网制作的生产任务,下面以上述任务为调度目标进行排序优化。

4.1 输入参数

电装的制作工艺路线为:领料、下线、电缆制作、检验、入库,共五个步骤。由上文讨论可知, $m=5$, 领料时间表示为 t_{j1} ; 下线时间 t_{j2} ; 电缆制作时间为 t_{j3} ; 检验时间 t_{j4} ; 入库时间 t_{j5} ; 当月生产共涉及7个型号9项任务,即 $n=9$ 。相关的输入如表3所列。

表3 某月电装制作任务时间表

任务 j	加工时间 t_{ij} /天				
	t_{j1}	t_{j2}	t_{j3}	t_{j4}	t_{j5}
1	5	12	4	10	2
2	5	15	6	9	2
3	2	5	2	2	1
4	1	1	1	1	1
5	0	0	5	2	1
6	3	6	7	8	2
7	3	10	4	6	2
8	0	0	5	3	1
9	3	2	1	1	1

4.2 优化计算

对于上述生产的调度可以抽象为5工序9任务的最优排序问题。运用 PSO 算法对上述问题求解,得到表4结果。

表4 最优解数据

最优任务生产序列	4-5-1-6-2-3
迭代次数	适应度值
20	61

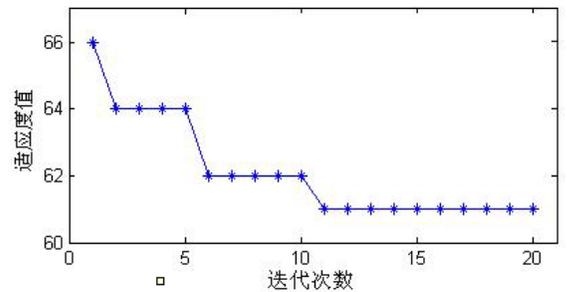


图4 电装任务调度最优粒子收敛图

由图4可以看到,经过11次迭代后,适应度值开始收敛,表明粒子整体寻到最优值,该最小化最大完成时间为61天,其任务排序为:8-5-6-2-1-7-9-4-3,调度甘特图如图5所示。

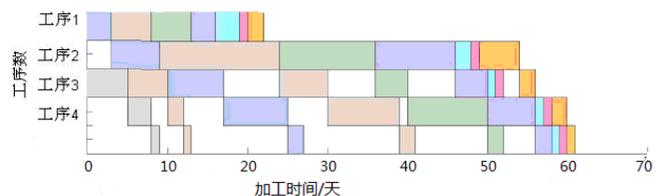


图5 某月份电装中心生产任务最优化调度甘特图

优化后的结果表明,经过61个正常工作日,所

有9项任务能够全部完成,经过54个工作日,能够完成电缆制作,以电装中心20名操作人员计算,等效制作工时为 $54 \times 20 \times 8 = 8640$ 小时。对比实际情况,9项任务完成总工时为10400小时。优化后的调度方案比实际安排缩短制作时间16.9%。

因此,调度仿真方案优于实际方案,表明优化有效,但优化效果会由于多变的实际状况受到影响。

5 结束语

本文采用了PSO算法对与置换流水车间多任务调度问题进行了优化求解。仿真实验结果表明,该方法能迅速高效地形成车间任务调度计划,虽然对于特定单项任务,该方法不能给出最优解,但对于多任务系统,PSO算法确实能给出宏观最优解,即保证车间所有任务全部完成所需要的必要的最短时间。采用此

算法进行车间调度,有利于保证型号任务的准时完成;有利于提升职工的劳动效率;更有利于快速提升管控能力以适应“企业化、市场化”战略转型。

参考文献

- 1 Turner W C, 等. 工业工程概论(第3版)[M]. 张绪柱,译. 北京:清华大学出版社,2007
- 2 王陵,刘波. 微粒群优化与调度算法[M]. 北京:清华大学出版社,2008
- 3 Steven Nahmias. 生产与运作分析(第5版)[M]. 高杰,贺竹馨,孙林岩,译. 北京:清华大学出版社,2008
- 4 王万良,吴启迪. 生产调度智能算法及其应用[M]. 北京:科学出版社,2007
- 5 高尚,杨静宇. 求解流水作业调度问题的混合粒子群优化算法[C]. 2006中国控制与决策学术年会论文集. 沈阳:东北大学出版社,2006:1037~1039

(上接第57页)

利用文字描述说明该标注所代表的程序名称,并与该程序对应的加工部位几何特征建立关联关系,当点击具有关联关系的标注时,加工部位能够高亮显示,如图5所示。

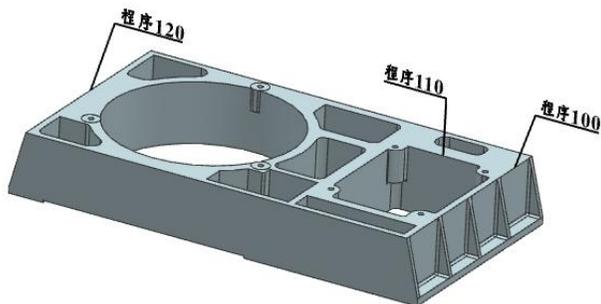


图5 标注信息与几何实体的关联

4 应用

三维数控工艺文件以电子化形式在生产现场使用。为提高查看的便捷性,将数控工艺要素按类别集中显示,以工艺结构树组织管理,并对显示界面进行合理布局。基于Teamcenter系统构建的三维工艺车间看板作为基于Web的在线作业指导,直接从Teamcenter服务器获取工艺内容,支持文字、图片、三维模型、仿真动画等多种类型信息的显示,满足三维制造要求,同时当工艺文件发生换版操作时,车间

看板的工艺内容自动更新,保持两者的一致。将计算机、手持面板等终端设备连接到工位,车间操作人员通过显示终端对授权的内容进行查看使用。

5 结束语

三维数控工艺设计改变了传统的工艺设计模式,为数控工艺要素的全面展示提供了新的途径与形式,提高了工艺文件对于生产现场的指导性;基于三维设计模型的数控编程方式完全避免了多次重复建模劳动,实现了基于统一数据源的生产方式,满足航天器产品小批量、结构复杂特点下的快速生产要求;同时,数控工艺要素的结构化组织为系统间的集成应用奠定了重要基础。经过实际生产验证,三维数控工艺能够有效提升航天器产品的数控加工质量与效率。

参考文献

- 1 周代忠. 面向航空发动机PLM数控程序管理系统研究与应用:[学位论文]. 大连理工大学,2009
- 2 吕俊林,江平宇. 智能三维CAPP技术的发展及核心技术. CAD/CAM与制造业信息化,2011(11):93~95
- 3 肖珺,谢曦鹏. 数字化三维工艺设计. 数字技术与应用,2010(12):9

