

基于 Flexsim 的车间调度优化

余晓光, 严洪森, 殷乾坤

(东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 江苏 南京 210096;

东南大学 自动化学院, 江苏 南京 210096)

摘 要:基于三维动画仿真软件 Flexsim, 文中对航空附件加工车间这种多品种、小批量生产的作业车间(Job-Shop)进行了调度优化研究。介绍了 Flexsim 连接数据库的技术与遗传算法求解生产调度的方法;在 Flexsim 中建立虚拟生产车间模型,并且在 Flexsim 虚拟车间模型内部嵌入 C++ 数据库操纵程序,将仿真模型与生产管理数据库连接,使模型可以实时采集生产数据;最后通过实例说明 Flexsim 仿真与调度优化相结合的方法可以有效地提高航空附件加工车间的效益,证明了方法的有效性。

关键词:Flexsim;遗传算法;作业车间调度;数据库连接

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)03-0044-04

Workshops Scheduling Optimization Based on Flexsim Simulation

YU Xiao-guang, YAN Hong-sen, YIN Qian-kun

(Ministry of Education Key Lab. of Measurement and Control of CSE, Southeast Univ.,

Nanjing 210096, China;

School of Automation, Southeast Univ., Nanjing 210096, China)

Abstract:On the basis of Flexsim simulation, this paper studies aircraft accessory job-shop scheduling optimization problems, which is multi-categories and small batch. First of all, the Flexsim database link method and genetic algorithm in job-shop scheduling are introduced. And then, the virtual workshop model is built in Flexsim environment, and embedded by database operation C++ program which could access production management database. The virtual workshop could update data from manufacturing database in real time. In the end, the simulation example confirms the method of Flexsim simulation in conjunction with scheduling optimization can improve the workshop's benefit, and is effective.

Key words:Flexsim;genetic algorithm;job-shop scheduling;database link

0 引 言

现代生产车间中为了适应多变的需求,逐渐形成了多品种、小批量的生产方式。在多品种、小批量的生产方式下选择合适的生产调度策略显得尤为重要^[1]。采用合适的生产调度可以提高机器的利用率,平衡各生产工位负荷,保证按时按需生产。

遗传算法是一种解决生产调度问题的有效算法,文献[2]使用的 GASA 混合策略求解 Job-Shop 调度问题和文献[3]使用的自适应遗传算法解决作业车间

调度问题都取得了良好的效果。

Flexsim 是一种面向对象的可视化 3D 仿真软件,可以方便地建立生产线模型并通过仿真进行效能评价^[4],文献[5]采用 Flexsim 对冲压车间进行了调度优化,并介绍了 Flexsim 调用 Excel 进行数据交换的方法,但未实现 Flexsim 调用数据库,进行与数据库的实时数据交换。文献[6]采取计划与调度同时优化的方法首先建立粗生产计划并在粗生产计划的基础上求解调度,并成功应用于汽车装配车间。但是求解速度较慢,并且采用文字界面,没有建立可视化的车间模型。而文中的研究对象是航空附件生产车间,由于其产品的特殊性必须按订单生产。因此首先在约束(订单需求和机器可利用时间)下使用遗传算法求解最优调度;然后在 Flexsim 中建立 3D 虚拟车间模型,并通过该模型访问生产管理数据库获得虚拟车间的调度与工时数据;最后通过仿真对方案进行比较。

收稿日期:2009-06-13;修回日期:2009-09-01

基金项目:国家 863 计划资助项目(2007AA04Z112);国家自然科学基金资助项目(50875046)

作者简介:余晓光(1984-),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为车间生产计划调度与仿真;严洪森,教授,博士生导师,研究方向为生产计划与调度、知识化制造、并行工程等。

1 Flexsim 简介

Flexsim 是美国 Flexsim 公司开发的一种基于对象 (Objects) 的 3D 仿真软件, 可对生产车间进行 3D 仿真。在 Flexsim 图形开发环境中, 用户可以方便地搭建三维仿真模型, 并且仿真对象中内置了大量的可设置参数。如果可以实现复杂逻辑, 还可以使用 C++ 或 Flexsim Script 嵌入式编程扩展已有的参数功能。Flexsim 中集成了 C++ IDE 和编译器, 用户可以对已有的仿真对象进行二次开发, 建立新的模拟对象 (Objects) 满足个性化需求。在数据交换上, Flexsim 可以由 Excel 或数据库导入导出数据, 使用 Flexsim 和生产管理数据库连接可以实现调度的实时仿真。目前 Flexsim 已成为一款流行的生产仿真软件, 根据统计约有一半的《财富》500 强企业使用了 Flexsim 软件。

2 Flexsim 数据库连接技术

Flexsim 通过 Borland 公司的 BDE (Borland Database Engine) 连接到数据库^[4]。BDE 是 Borland 公司开发的数据库引擎, 它可以通过内置的驱动程序、SQL Links 驱动、ODBC 链接访问各种数据库。Flexsim 使用基于 BDE 中 ODBC 的驱动的方式访问数据库。Flexsim 有两种访问数据库模式, 分别为 Table Mode 和 SQL Mode。在 Table Mode 下, 整个数据库表会被载入 Flexsim 全局表, 用户可通过访问全局表的方式来读取数据, 但不能执行 SQL 命令。SQL Mode 是提供 SQL 支持的模式。可以通过 SQL 命令或 Flexsim 访问数据库命令来完成对数据库的操作。

Flexsim 提供了 22 条访问数据库的命令, 这些命令实质是 C++ 编写的函数。下面以具体程序说明数据库访问操作:

这是在 Source 对象的 OnReset() 事件中的一段 C++ 编写的程序, 将数据库中调度结果 1 添加进 Source 的零件到达表中。

```
if (dbgetmode() != 1)
//如果数据库以 SQL Mode 方式打开执行下面语句
{
dbclose();
//关闭数据库连接
dbopen("databasename", "select ArrivalTime, ItemName, Item-
Type, Quantity from ScheduleResult where Schedule = 1 order by
ArrivalTime ASC", 0);
//以 SQL 模式打开数据库别名 (Database Alias) 为 databasename
的数据库并执行 SQL 查询
}
else
dbsqlquery("select ArrivalTime, ItemName, ItemType, Quantity
```

```
from ScheduleResult where Schedule = 1");
```

```
//执行 sql 查询语句
```

```
dbimportnode (node ("/Source1 > variables/schedule", model()),
startrow, startcol, numRows, numcols);
```

```
//将 SQL 查询结果导入 Source 对象的 schedule 表中
```

3 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 是一种模拟自然界生物进化过程的仿生算法。它通过模仿生物的进化过程来优化解的集合, 其基本操作是通过选择、交叉和变异搜索解的空间。其对空间的搜索具有隐含并行性, 它不同于随机搜索 (解空间中的枚举搜索), 它的选择机制可以大大减小搜索空间, 因而可以在有限时间内得到一个最优解或较优解, 并且遗传算法还是一种具有全局优化能力的搜索方法^[2]。1985 年 Davis 首次将之用于解决调度问题以来, 遗传算法不断得到改进发展, 是一种比较成熟的调度算法。文中采用改进遗传算法 (禁忌搜索 - 遗传混合算法, Tabu-GA)^[7] 对生产调度进行优化。

文中以最长完工时间 (makespan) 优化目标函数:

$$J = \min_{1 \leq i \leq n} \{ \max C_{im} \}$$

$$\text{s.t. } C_{ij} - T_{ij} \geq C_{ij-1} \quad (1)$$

$$C_{ij} \geq 0 \quad (2)$$

$$J \leq T \quad (3)$$

式中 n 为生产的零件种数, m 为机器数, C_{ij} 表示第 i 种零件在第 j 个机器完成加工的时间。约束条件 (1) 为加工顺序约束, $i = 1, 2, \dots, n; j = 2, 3, \dots, m$ 。约束条件 (2) 中 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。约束条件 (3) 为工时约束, 其中 T 为调度周期中机器可利用工时。

4 Flexsim 仿真模型建立

4.1 建立模型框架

文中研究的航空附件加工车间属于 Job-Shop 类问题。其产品特点是: 品种多、批量小, 并且工艺路线固定。由于在限定时间内车间的生产能力是固定的, 所以对投产顺序进行优化, 协调多种零件的生产, 提高机器资源的利用率, 平衡各工位的负荷就显得十分必要。

在车间中, 零件生产是由零件图纸和工艺流程卡控制的。通过图纸和工艺流程卡可以获得生产准备时间, 标准工艺时间 (STD Time), 一批所包含的零件数量信息。由此可以计算每批零件在每台机器上的加工时间, 实际生产中也是以累计加工零件的标准工艺时间来计算工人工作量。

在建立模型前做如下假设:

1. 零件在各机器上的加工工序确定;
2. 每台机器一次只能加工一批零件,一旦加工开始就不能发生中断;
3. 一批零件不能同时在不同机器上加工;
4. 批的大小不一致,但每一批零件视为一个工件进行仿真,由其标准工艺时间 \times 数量+准备时间计算其加工时间;
5. 不考虑机器故障。

根据现场的机器布局在 Flexsim 中搭建虚拟生产车间如图 1 所示:机器成二列摆放,在机器中间为生产库存摆放正在加工的零件。

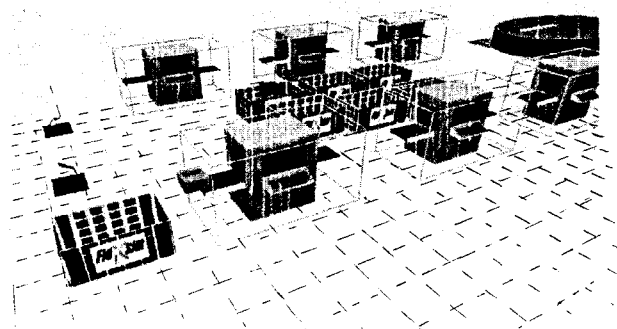


图 1 Flexsim 车间模型

4.2 填充现场数据

完成生产线布局建模后,使用 Flexsim 中嵌入 C++ 程序的方法载入生产车间数据。首先在 BDE 中设置数据库别名。然后使用 C++ 语言实现在 Source1 对象和 Machine 对象的参数表中编写所需逻辑以完成调度和参数载入,具体数据载入程序流程为:获得 Run/Reset 按键消息、检查/建立数据库连接、从数据库读入调度结果表填充到 Source1 对象的调度表中、从数据库中读取工时数据填充到 Flexsim 全局表 TimeFromDB 中,机器从全局表 TimeFromDB 中获取工时数据。

这样就实现了调度与工时数据的载入,体现了 Flexsim 仿真的灵活性,可以实现模型数据与生产数据库的同步更新。体现了调度与仿真的柔性,进一步提高了车间的信息集成度。

5 优化算例

5.1 问题分析

文中研究的车间目前采用月度订单调度、10 日订单调度和 5 日订单调度三重订单调度安排。采用这种方法是因为该车间目前采用的是以大量在制品库存来提高机器利用率的方法。这种方法的优点是可以提高机器的利用率,调度简单;缺点是需要提前一个月对订单进行备料,对订单的响应慢,对于加急订单需要特殊处理并且会打乱已有的生产调度安排,在投产时不能

确定零件的交付期,更加不能保证零件按期交付。在这种情况下为了尽量保证零件可以按期交付,生产控制部门在制定月度计划后还需要不断地更新调度以明确哪些产品需要“按时”生产。实际生产中,人工制定的调度经常与目前在产的产品不一致,反而降低了生产效率,增加了产品切换成本和库存成本。

针对以上缺陷文中采用遗传算法对 5 日和 10 日后需交货的产品在生产能力的限制下进行 5 日内排产调度,在产品全部投产后对后续订单进行滚动的生产调度。这样免去了月度和 10 日的订单调度,对订单的反应速度加快。

具体方法是:考虑到 5 日内交货的产品必须安排在当期生产,10 日后交货的产品可以在满足生产能力限制的前提下选择生产以提高机器的利用率和下次排产时的订单完成能力。在所有产品投产前安排下期订单的生产调度,如此对生产进行滚动调度。

这样生产调度只需考虑 10 日内交付的订单,可以事先确定投产顺序和产品交付时间,所以只需对 5 日后与部分 10 日后交付的订单进行备料,在制品库存也仅限于当期完工的产品。节省了物料与产品库存成本、提升了生产线的动态响应能力。

5.2 遗传算法调度求解

5 日内有 A、B、C 三组零件需交付,共计 10 种零件。10 日内另外还有 D、E、F 三组零件需交付,共计 10 种零件。产品工时数据如表 1 所示。同组零件具有组合关系,需要同时领料与交货。A、B、C 三类零件

表 1 产品工时数据

工位	M1	M2	M3	M4	M5	M6
A1	333	991	0	80	0	0
A2	323	0	663	0	785	712
A3	0	242	222	789	214	586
B4	222	0	114	876	756	782
B5	255	477	123	543	143	442
B6	555	566	456	210	698	573
C7	558	899	189	124	532	142
C8	888	265	876	537	145	44
C9	889	588	543	854	247	527
C10	0	0	0	0	451	1516
D11	205	578	963	325	800	120
D12	23	196	696	214	586	356
D13	832	630	258	147	255	132
E14	489	472	365	536	252	654
E15	123	369	678	581	396	123
E16	320	78	863	452	456	789
F17	258	99	89	124	52	12
F18	158	325	530	785	325	177
F19	488	358	643	254	707	527
F20	205	578	963	325	800	120

必须在当期安排生产。在工时满足的情况下可以安排 D、E、F 进行生产。5 日工时限制为 7500。

采用改进遗传算法编写的车间调度程序以 makespan 最小为目标求调度有四套方案可以选择,如表 2 所示。其中,生产方案表示投产的零件组,调度结果表明零件的投产顺序(排在最左边的最早生产),makespan 表示计算出的生产时间。

表 2 遗传算法调度结果

生产方案	调度结果	makespan
A、B、C	C10 A3 A1 B4 B5 B6 C9 C7 C8 A1	5775
A、B、C、D	C10 D12 B5 A2 B4 B6 A3 D11 C9 C7 C8 D13 A1	6470
A、B、C、E	C10 A3 A2 B4 E15 B5 C9 B6 C7 E14 E16 A1 C8	7341
A、B、C、F	C10 B4 A2 A3 F20 B5 B6 C9 F19 F18 C7 C8 17 A1	6628

5.3 使用 Flexsim 进行仿真分析

在取得调度结果后使用 Flexsim 对调度结果进行可视化仿真,模拟实际生产线的加工情况,获取调度结果的更多信息。Flexsim 对调度结果仿真结果如表 3 所示。对结果进行简单处理,得到调度后机器的平均利用率与机器利用率的标准差。在比较方案时以平均

利用率为第一指标,生产线平衡为第二指标。对机器利用率和负荷平衡综合分析可以得出结论:选择生产 A、B、C、F 这四类零件可以取得较好的效益。

6 结束语

航空附件加工车间是复杂的离散事件动态系统^[8]。三个以上机器的 Job-Shop 调度问题就为 NP-hard 问题^[2]。对于这样的问题的优化目前还没有解析解和通用的方法。所以目前的观点是没有免费的午餐(No Free Lunch),对于每个不同问题都有其适合的手段进行解决^[9]。一个实际加工车间的运行和维护需要很高的成本。采用建立虚拟生产车间模型进行仿真的方法可以节省车间调度的验证成本,并且可以很大程度上反映生产车间的实际情况,更重要的是其可以在短时间内完成长时间生产的性能验证。仿真方法是解决离散事件动态系统问题中常用的方法之一。

文中针对航空附件加工车间的调度问题,使用遗传算法计算得到短期调度代替人工制定的长期调度。并且使用 Flexsim 软件建立与生产管理数据库连接的生产线模型,动态地对遗传算法求解出的生产调度结果进行仿真。最后通过算例说明采用 Flexsim 仿真与遗传算法相结合的方法可以有效地应用于航空附件加工车间调度问题。

表 3 Flexsim 仿真结果

生产方案	M1	M2	M3	M4	M5	M6	平均	标准差
A、B、C	100%	80.30%	63.50%	73.10%	71.50%	92.20%	80.10%	0.125
A、B、C、D	100%	85.30%	80.10%	72.80%	87.00%	91.70%	86.20%	0.086
A、B、C、E	100%	87.20%	77.80%	78.80%	70.20%	93.90%	84.70%	0.101
A、B、C、F	100%	88.20%	91.60%	83.70%	88.50%	92.90%	90.80%	0.050

参考文献:

[1] 陈志光. 旭电公司多品种小批量生产方式改善的研究[D]. 广州:华南理工大学,2006.

[2] 王 凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[3] 王万良,吴启迪,宋 毅. 求解作业车间调度问题的改进自适应遗传算法[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(2): 58-62.

[4] Averill M L. Flexsim User Guide[M]. Utah: Flexsim Software Products, Inc, 2003.

[5] 黄 青,严洪森,陈 琳. 基于 Flexsim 的双向生产线的调度仿真研究[J]. 工业控制计算机,2007,28(8):63-64.

[6] 严洪森,夏琦峰,朱 如,等. 汽车装配车间生产计划与调度的同时优化方法[J]. 自动化学报,2006,28(6):911-919.

[7] 张 平,严洪森,余晓光. 基于混合算法的知识网表达式优化[J]. 计算机技术与发展,2009,19(3):32-35.

[8] 郑大钟,赵千川. 离散事件动态系统[M]. 北京:清华大学出版社,2001.

[9] Wolpert D H, Macready W G. No free lunch theorems for optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997,1(1):67-82.