

基于 Plant Simulation 的柔性作业车间仿真研究

杨振泰,黎向锋,张立果,唐浩,李堃
(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对8×8和10×10的柔性作业车间调度问题,通过设置机器故障率和物料在不同机器之间的物流转运时间,从而研究以最大完工时间最小为优化目标的理想调度方案在考虑生产不确定因素下的表现情况。通过增加生产不确定因素,使研究对象更加接近实际生产系统,并使用 Plant Simulation 系统仿真软件对两个柔性作业车间进行建模,从而研究机器故障和物流转运时间对调度方案的影响。

关键词:柔性作业车间;调度;Plant Simulation;机器故障;物流转运

中图分类号:N945.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)03-0087-03

Research on Flexible Workshop Simulation Based on Plant Simulation

YANG Zhentai, LI Xiangfeng, ZHANG Liguang, TANG Hao, LI Kun

(College of mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of aeronautics and astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Aiming at 8×8 and 10×10 flexible job shop scheduling problems, this paper takes the ideal scheduling scheme with the minimum completion time as the optimization target and sets up the machine failure rate and the logistics transit time of materials between different machines, and then, determines the performance of those situations. The simulation software for the Plant Simulation system is used to establish the model of two flexible job shops and then, the impact of the machine failure and the logistics transit time on the scheduling scheme is studied.

Keywords: flexible job-shop; scheduling; Plant Simulation; machine failure; logistics transfer

0 引言

柔性车间调度问题(flexible job-shop scheduling problem, FJSP)是对于传统车间调度问题(job-shop scheduling problem, JSP)的拓展。JSP 已经被证明是 NP-hard 问题,柔性车间调度问题增加了加工机器的不确定性,因而更加符合生产加工的实际情况,问题也更加复杂。

目前传统的基于数学抽象对实际研究对象进行简化,进而建立数学模型的方式还不能将实际生产情况考虑完整甚至与实际研究对象差别很大^[1]。计算机仿真技术在制造系统方面的应用能解决数学模型建立不够完善、不确定生产因素无法设置等问题。通过建立与实际生产系统具有相同生产资源、工艺数据的仿真模型,能以更加直观的方式动态地展示实际生产情况^[2]。

生产系统仿真软件 Plant Simulation(原 eM-Plant 软件)作为西门子 Tecnomix 数字化系列软件之一,是一款面向对象的仿真软件。该软件能够对复杂的生产制造系统进行仿真,并利用其自带的 Simtalk 编程语言实现生产资源之间复杂的控制逻辑。更重要的是,该软件还具有丰富的工具库,利用这些工具,使用者能够方便地展现仿真模型运行效果并分析生产过程所产生的数据,从而可以为决策者提供丰富的决策依据。另外,该软件还提供了强大的3D 可视化以及动画功能。

1 仿真模型建立

1.1 调度方案

本文以 KACEM^[3]的8×8和10×10实例为研究对象,以最大完工时间 C_{max} 最小为优化目标。其函数表达式为:

$$C_{max} = \min(\max C_k) \quad (1)$$

选用经优化的理想调度方案,其甘特图如图1和图2所示(因本刊为黑白印刷,如有疑问请与作者联系)。由此,可以获得调度方案的加工路径信息和各机器的加工顺序信息,对机器进行排产操作^[4],从而研究生产的不确定因素对于调度方案的影响。其加工信息如表1-表4所示,

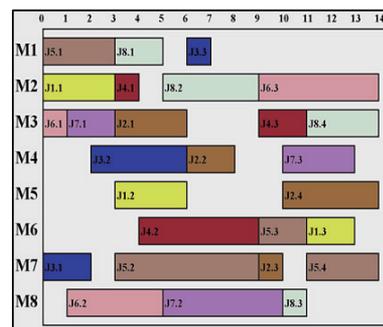


图1 8×8实例最大完工时间最小调度方案

第一作者简介:杨振泰(1993—),男,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为制造业信息化。

其中表 2、表 4 符号说明:J6:1 表示工件 6 的第 1 道工序。

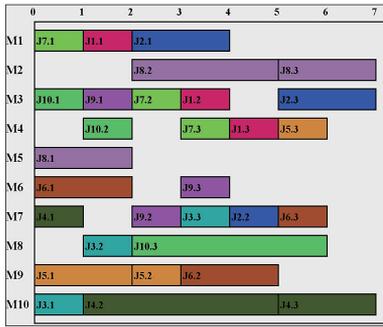


图 2 10×10 实例最大完工时间最小调度方案

表 1 8×8 实例工件的加工路径信息

工件	加工机器	加工时间/min	工件	加工机器	加工时间/min
J1	M2	3	J6	M3	1
	M5	3		M8	4
	M6	2		M2	5
J2	M3	3	J5	M1	3
	M4	2		M7	6
	M7	1		M6	2
	M5	4		M7	3
J3	M7	2	J7	M2	2
	M4	4		M8	5
	M1	1		M4	3
J4	M2	1	J8	M1	2
	M6	5		M2	4
	M3	2		M8	1
				M3	3

表 2 8×8 实例各机器上的加工顺序信息

机器	优先顺序	机器	优先顺序
M1	J5:1—J8:1—J3:3	M5	J1:2—J2:4
M2	J1:1—J4:1—J8:2—J6:3	M6	J4:2—J5:3—J1:3
M3	J6:1—J7:1—J2:1—J4:3—J8:3	M7	J3:1—J5:2—J2:3—J5:4
M4	J3:2—J2:2—J7:3	M8	J6:2—J7:2—J8:3

表 3 10×10 实例工件的加工路径信息

工件	加工机器	加工时间/min	工件	加工机器	加工时间/min
J1	M1	1	J6	M6	2
	M3	1		M9	2
	M4	1		M7	1
J2	M1	2	J7	M1	1
	M7	1		M3	1
	M3	2		M4	1
J3	M10	1	J8	M5	2
	M8	1		M2	2
	M7	1		M2	2
J4	M7	1	J9	M3	1
	M10	4		M7	1
	M10	2		M6	1
J5	M9	2	J10	M3	1
	M9	1		M4	1
	M4	1		M8	4

表 4 10×10 实例各机器上的加工顺序信息

机器	优先顺序	机器	优先顺序
M1	J7:1—J1:1—J2:1	M6	J6:1—J9:3
M2	J8:2—J8:3	M7	J4:1—J9:2—J3:3—J2:2—J6:3
M3	J10:1—J9:1—J7:2—J1:2—J2:3	M8	J3:2—J10:3
M4	J10:2—J1:3—J7:3—J5:3	M9	J5:1—J5:2—J6:2
M5	J8:1	M10	J3:1—J4:2—J4:3

1.2 仿真模型

图 3 为 8×8 实例仿真模型,与 10×10 实例模型结构类似,由函数区域、表格区域、统计功能区域、模型实体区域 4 部分组成。其中函数区域主要包括划分模型区域的函数 MyRect,模型的初始化函数 Reset,控制初始缓存区分发规则的函数 Ready,根据加工工艺表 POM 控制设备加工顺序的函数 putM,零件某工序加工完成离开至下一个机器的控制函数 Leave,将所有机器的加工信息写入作业进度表 Result_Table 的函数 WriteResult。统计功能区域主要包含甘特图模块、图表分析模块、HTML 报告模块和瓶颈分析器。模型实体区就是所建立的实体模型部分。

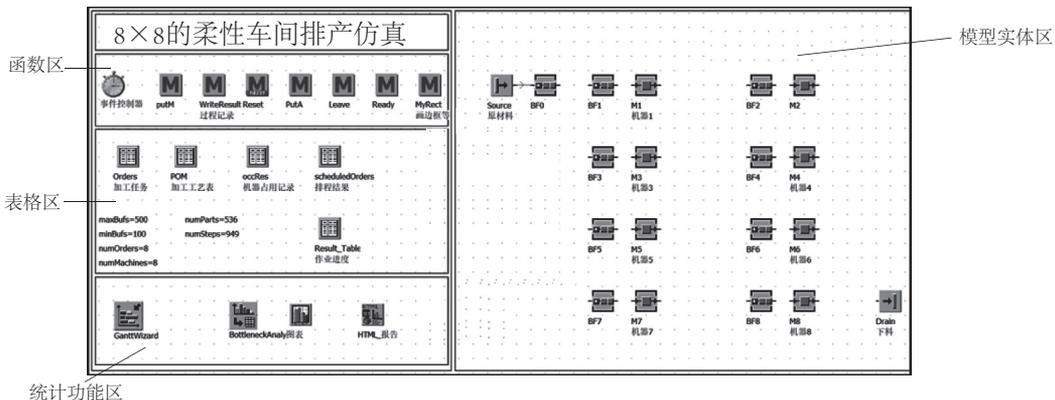


图 3 8×8 实例仿真模型

2 实验设置

实验 1: 将 MTTR 设置为 2 min。由于机器出现故障概率与机器使用时长大小成正比关系,所以将故障的产生关联到机器的操作时间^[5]。

实验 2: 通过设置缓冲区的处理时间来等效于设置物料在不同机器之间的转运时间^[6]。考虑到两实例的最大完工时间长度,设置缓冲区的处理时间即物料在不同机器之间的物流转运时间为 2 min,同时考虑机器故障和物料在不同机器之间的物流转运时间两种情况。

3 结果分析

实验 1:如图 4 和图 5 所示,由于机器故障的出现,一方面如果设备没有处于加工工件的过程中会影响零件加工的开始时间;另一方面如果设备正在加工零件,则零件相应工序的加工时长会增加。如图 6 和图 7 所示,在设置机器故障信息情况下,两工单的加工时长也分别从 14 min 增加到 21 min 和从 7 min 增加到 8 min。说明故障对工单生产也有一定的影响。

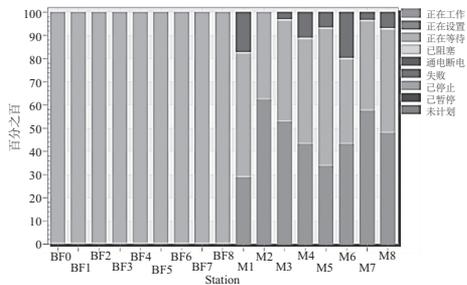


图 4 8x8 实例考虑机器故障工作情况

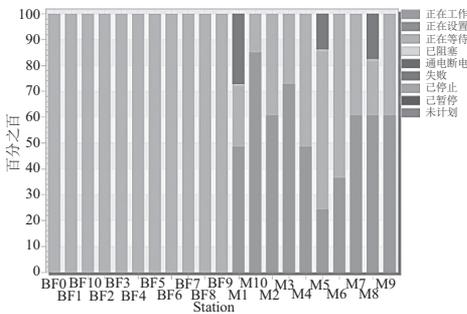


图 5 10x10 实例考虑机器故障工作情况

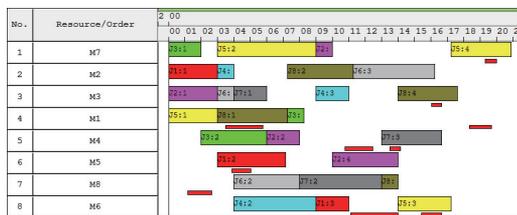


图 6 8x8 实例考虑机器故障的甘特图

实验 2:如图 8 和图 9 所示,综合考虑物料的物流转运时间和机器故障因素,缓存区有工作时长且设备出现故障

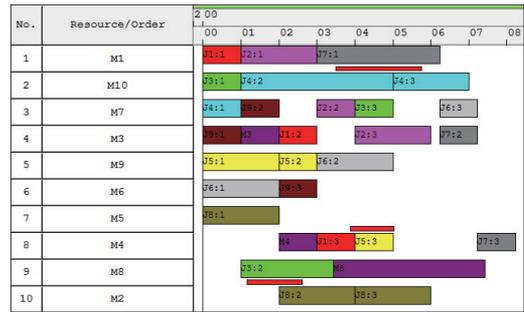


图 7 10x10 实例考虑机器故障的甘特图

障情况。此实验描述的车间场景更接近实际生产情况,调度方案的执行过程中也遇到多种可能出现的情况。如图 10 和图 11 所示,综合两种因素的实际加工情况更加复杂。工单的完工时间也进一步加大,两个调度方案的最大完工时间分别从 14 min 增加到了 28 min 和从 7 min 增加到 17.5 min。由此可见,在实际生产情况中,影响工单加工的因素有很多,制造系统的生产过程描述是一个非常复杂的问题。

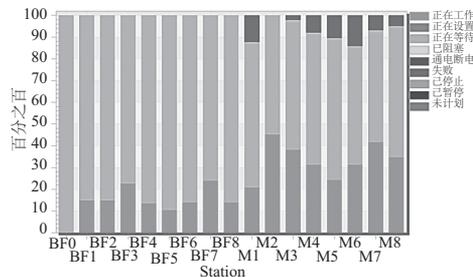


图 8 8x8 实例综合各因素的工作情况

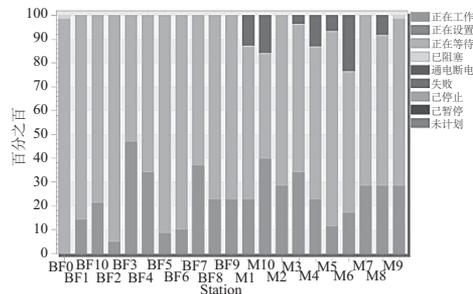
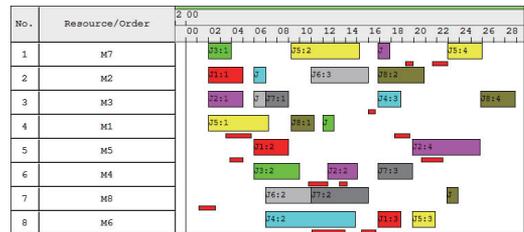


图 9 10x10 实例综合各因素的工作情况



重向量分别为 $W'_1 = (0.069, 0.061, 0.032, 0.059, 0.057, 0.056, 0.047, 0.039, 0.045, 0.062, 0.113, 0.117, 0.098, 0.141, 0.060)$, $W'_2 = (0.035, 0.036, 0.030, 0.043, 0.018, 0.047, 0.039, 0.045, 0.062, 0.225, 0.198, 0.106)$ 。

2) 熵权法

根据样本数据中各指标的无量纲数值组,可由熵权法得出弹道导弹、反导防御系统的评估指标权重分别为 $W''_1 = (0.059, 0.015, 0.050, 0.055, 0.049, 0.045, 0.067, 0.032, 0.058, 0.093, 0.120, 0.062, 0.118, 0.070, 0.108)$, $W''_2 = (0.061, 0.057, 0.060, 0.062, 0.099, 0.068, 0.061, 0.085, 0.061, 0.133, 0.123, 0.132)$ 。

3) GA-BP 神经网络

GA-BP 神经网络的权值是根据样本训练得出,具体的弹道导弹、反导防御系统的评估指标权重分别为 $W'''_1 = (0.054, 0.045, 0.041, 0.050, 0.049, 0.051, 0.057, 0.040, 0.041, 0.083, 0.112, 0.101, 0.097, 0.110, 0.080)$, $W'''_2 = (0.043, 0.047, 0.046, 0.057, 0.053, 0.052, 0.056, 0.063, 0.070, 0.165, 0.171, 0.123)$ 。

在权值和效能指标都给定的基础上,把相应的参数带入式(6)中可计算出不同评估方法下的突防效能,表3为不同方法下的评估效能对比表。

表3 不同方法下的评估效能对比表

评估方法	T_1	T_2	突防效能 J_{if}
层次分析法	0.821	0.701	1.171
熵权法	0.786	0.766	1.026
GA-BP 神经网络法	0.789	0.736	1.072

由表3可以看出,层次分析法主要考虑了作战指挥员主观因素;熵权法主要考虑系统内部客观存在的因素;GA-BP神经网络从大量实例作战数据出发,综合考虑主

客观因素,对作战效能做出精准评估。

5 结语

本文采用层次分析法建立了弹道导弹协同突防能力评估指标体系,提出了弹道导弹协同突防效能评估计算模型,并对比了层次分析法、熵权法与 GA-BP 神经网络法下的权重分配,进行了相应的效能评估计算。数值仿真算例表明,GA-BP 神经网络能够避免指标权重选取过程中不确定因素的影响,可精确地对弹道导弹协同突防效能进行评估。

参考文献:

- [1] 杨峰,王维平. 武器装备作战效能仿真与评估[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [2] 方洋旺,伍友利,方斌. 机载导弹武器系统作战效能评估[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [3] 潘高田,周电杰,王远立,等. 系统效能评估 ADC 模型研究和应用[J]. 装甲兵工程学院学报,2007,21(2):5-7.
- [4] 董彦非,张旺,崔巍. 有人机/无人机协同空地攻击效能评估的综合指数模型[J]. 火力与指挥控制,2015,32(2):472-476.
- [5] 滕臣,李忠新. 层次分析法在步枪口径效能评估中的应用[J]. 机械制造与自动化,2014,43(6):86-89.
- [6] 张冉,杨小军,闫了了,等. 基于云模型和专家群体的 C4ISR 系统效能评估方法[J]. 光电与控制,2013(8):24-28.
- [7] 惠耀洛,南英,陈哨东,等. 对临近空间飞行器的多弹协同拦截策略研究[J]. 弹箭与制导学报,2015,35(5):149-154.
- [8] 郭齐胜,袁益民,鄧志刚. 军事装备效能及其评估方法研究[J]. 装甲兵工程学院学报,2004,18(1):1-5.

收稿日期:2019-01-23

(上接第 89 页)

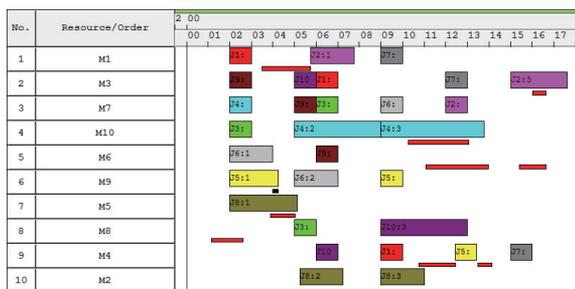


图 11 10x10 实例综合各因素的甘特图

况的柔性作业车间制造系统的仿真模型。将考虑不确定因素的调度方案放在仿真模型中执行,以研究故障和物流转运对调度方案的影响。结果表明:物料的物流转运时间和机器故障对于工单执行情况的影响较大,这些因素都会增加工单的完工时间。

参考文献:

- [1] BANGSOW S. Plant simulation; manufacturing simulation with plant simulation and simTalk[M]. Berlin:Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [2] STEFFEN Bangsow. Manufacturing simulation with plant simulation and simTalk[M]. Berlin:Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [3] KACEM I, HAMMADI S, BORNE P. Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C Applications & Reviews, 2002, 32(1):1-13.
- [4] 兰成均,夏志辉,岳晓斌,等. 基于精益生产模式的制造流程效率评估研究[J]. 机械制造与自动化,2016,45(5):31-32.
- [5] 梁丰,张志利,高钦和,等. 大型武器装备故障建模与仿真技术研究[J]. 系统仿真学报,2011(b07):42-46.
- [6] 孙星. 基于 Petri 网和 eM-Plant 的飞机装配线建模与仿真研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2011.

收稿日期:2019-01-22