

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.01.010

一种作业车间综合瓶颈辨识方法的研究

张 伟, 鲍 敏*, 冯世扣

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对目前一些研究中瓶颈辨识模型复杂、指标单一、不易操作等问题,对不同绩效指标,模型简化等方面进行了研究,建立了多绩效指标,并引入了模糊推理系统,提出了一种综合瓶颈辨识方法。研究了引起瓶颈发生的影响因素,定义了多个相应的绩效指标,利用层次分析法赋予相应指标一定的权重,然后通过采用不依赖于研究对象精确模型的模糊推理系统建立了综合瓶颈辨识模型,定义和计算了综合瓶颈指标值。最后,结合实例进行了 Witness 仿真研究。研究结果表明,该方法能更加准确、简便地识别生产系统瓶颈,为模糊信息下企业进行生产管理及控制提供理论参考。

关键词:层次分析法;模糊推理系统;瓶颈辨识

中图分类号:TH186;TP301

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)01-0052-06

Study on comprehensive bottleneck identification in job shop

ZHANG Wei, BAO Min, FENG Shi-kou

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, ZheJiang Sci-Tech University, HangZhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problems of bottleneck identification using complicated models, single performance indicators and hard to operated in some studies, the different kinds of performance indicators, and how to simplified the model were researched. Then multiple performance indicators and fuzzy inference system were used to propose a comprehensive bottleneck identification method. The factors that caused the bottleneck occurred were fully considered, and multiple corresponding performance indicators were defined, AHP was used to give them proper weight, as the fuzzy inference system is not depend on object's accurate model, so it was introduced to establish a comprehensive bottleneck identification model, calculated values of comprehensive bottleneck index. At last Witness simulation was carried out with an example. The results indicate that this method can identify the bottleneck of product system more accurate and more simple, can provide theoretical reference for production management and control of the enterprise under the fuzzy information.

Key words: analytic hierarchy process; fuzzy inference system; bottleneck identification

0 引 言

近年来,随着生产管理研究的深入,越来越多的人认识到瓶颈辨识研究在生产系统中的重要性。而其中以基于约束理论的生产瓶颈辨识方法使用较为广泛^[1]。左燕^[2]把负荷最大的机器作为系统的瓶颈, POLLETT P K^[3]将设备前平均等待时间最长的设备定义为系统的瓶颈,但这些方法在数值非常接近的情况

下,瓶颈的出现就变的不确定了,这种指标单一的方法就变的不那么有效。Kuo C-T, Lim J-T 等^[4]通过生产线的生产率指标进行“灵敏度”分析,将系统中各个机器表现对系统整体影响最高的机器定义为系统的瓶颈, LI L^[5]通过分析机器前后阻塞和饥饿的概率,通过找出阻塞和饥饿出现的“拐点”来识别瓶颈,这类方法目标明确,考虑较为全面,但是实际应用中需要操作人员熟练掌握许多数学公式,系统模型存在诸多假设,要

收稿日期:2015-09-06

作者简介:张 伟(1991-),男,浙江金华人,主要从事物联网技术方面的研究。E-mail:cici3510@163.com

通信联系人:鲍 敏,男,副教授,硕士生导师。E-mail:mbao@zstu.edu.cn

熟知自己面对的是何种生产系统,否则将无从下手,存在适用性不是很广的问题。王军强等^[6]认为瓶颈识别不应该独立于调度优化之外,提出了先对瓶颈进行充分利用之后再行进行瓶颈识别的框架,采用区间 TOPSIS 多属性瓶颈识别方法识别了瓶颈机器。这种多属性决策方法克服了传统瓶颈识别指标片面、识别结果有失偏颇的不足。但在利用遗传算法进行调度优化、区间多属性瓶颈识别决策矩阵的建立和区间 TOPSIS 瓶颈识别方法上存在着模型复杂、操作不易等问题。

而当前全球经济一体化下企业基本思维从生产为主导转移为市场为主导,订单型企业在全世界所占比重越来越大,准交率成为企业竞争的重要因素。

综合考虑以上问题,在企业严格的交货期和生产资源有限的情况下,单一指标在不同环节的数值非常接近而无法准确定位瓶颈的问题,本研究定义设备负荷率和产品延迟惩罚指标,利用多指标来进行瓶颈识别。并在分析造成系统瓶颈的影响因素的基础上,利用层次分析法对瓶颈影响因素进行权重分析,根据瓶颈因素的权重分析结果赋予绩效指标相应的权重,并且考虑到模糊推理系统具有不依赖于对象精确数学模型,有较好的鲁棒性及易于操作等特点^[7-8],采用模糊推理系统建立作业车间多指标的综合瓶颈识别模型。

1 瓶颈因素排序模型研究

瓶颈发生或者改变主要由生产制造端,生产制造供应端,客户需求端的变化引起^[9]。与此对应的导致瓶颈发生或改变的主要因素为生产内部因素、客户需求因素和生产供应因素,而这 3 个主要因素又由一些其他因素组成。这样,就组成影响瓶颈发生的瓶颈因素集。不同企业、不同产品的瓶颈因素对瓶颈的影响不同,需根据企业具体情况给瓶颈因素按重要程度进行排序,确定影响程度较大的因素。为了避免管理者根据经验、个人喜好对瓶颈因素大概的比较,本研究采用层次分析法,定性和定量有机结合的方式对瓶颈因素进行排序^[10]。

本研究定义 A 为产品生产过程中的瓶颈因素集合, $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_j\} (j = 1, 2, \dots, m)$, 建立的瓶颈因素层次分析模型如图 1 所示。

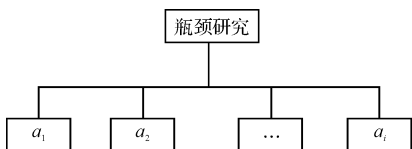


图 1 瓶颈因素层次分析

1.1 建立比较判断矩阵

本研究对上述定义瓶颈因素集合元素进行两两比较,通过 1~9 标度法确定的比较判断矩阵如表 1 所示。

表 1 比较判断矩阵形式

$A-a_i$	a_1	a_2	...	a_n
a_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
a_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
a_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

根据层次分析法,判断矩阵必须具有如下性质:

- (1) $a_{ij} > 0$;
- (2) $a_{ij} = 1/a_{ji}$;
- (3) $a_{ii} = 1$ 。

1.2 各瓶颈因素权重排序

计算排序权重向量的方法较多,比较常用的是几何平均法和列规范平均法^[11]。本研究选用几何平均法计算瓶颈因素的权重向量,其步骤如下:

- (1) 将比较矩阵各元素按行相乘得到矩阵 B ;
- (2) 矩阵 B 各个元素开 n 次方根得到矩阵 C (n 为瓶颈因素个数);
- (3) 矩阵 C 归一化就得到权重向量 W 。

至此,各个瓶颈因素的重要程度得到排序,并具有良好的定性、定量要求,为后面利用模糊推理系统计算综合瓶颈指标值是提供输入变量的权重。

2 综合瓶颈识别方法建模

2.1 关于综合瓶颈识别方法

考虑短时间内工厂缓解瓶颈能力有限的情况下,仅仅运用生产资源约束指标识别系统的瓶颈,并不能有效地给提升系统有效产出提供参考^[12]。生产管理是人、机、料、工艺动态变化的过程,仅仅考虑某个因素不能满足实际生产要求。而综合瓶颈识别方法在一定程度上缓解了不同约束指标冲突的问题,这种多绩效指标给生产系统瓶颈识别提供一种更加具有弹性的方法,操作人员可以根据自身情况决定取舍。

但是这些绩效指标最后并不能以简单的加减乘除后来确定系统的瓶颈,所以本研究采用模糊推理系统,同时利用各绩效指标数值结果和专家知识 (IF-THEN 规则) 来计算生产瓶颈综合指标值,从而确定系统的生产瓶颈。

2.2 模糊推理系统下的综合瓶颈识别

实际生产过程中,有些设备平均负荷非常高,在制品库存也非常多,但是它有比较宽松的交货期,显然把

它当成系统瓶颈是不合适的;其次,当两个设备的指标非常接近,就难以确定哪个才是真正的生产瓶颈。基于以上原因,本研究综合考虑设备负荷和订单拖期,引入产品订单延迟这一重要因素。

在第 1 节中笔者已经对瓶颈发生或改变的影响因素进行了分析,不同的影响因素对应不同的绩效指标,并且不同影响因素对系统瓶颈的影响不同。基于此,本研究定义变量设备负荷率 x_i 和产品延期惩罚 y_i ,按一定的权重作为模糊控制器的输入,设计模糊控制器来计算综合瓶颈指标值,以此来定位系统的瓶颈。

本研究使用符号定义如下:

- (1) $\{E_1, E_2, E_3 \dots E_m\}$ — m 台设备;
- (2) $\{G_1, G_2, G_3 \dots G_n\}$ — n 个工件;
- (3) D_{ij} —工件 j 在设备 i 上的加工时间;
- (4) H_j —工件 j 加工数量;
- (5) F_{ij} —工件 j 在 i 设备上完工时间;
- (6) L_{ij} —工件 j 在 i 设备上最晚完工时间;
- (7) T_i —设备 i 在计划期内可用工时;
- (8) γ_i —设备 i 的故障率;
- (9) C_j —工件 j 延迟一单位惩罚值。

其中,设备负荷率及产品延期惩罚定义如下:

$$x_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{D_{ij} \times H_j}{T_i (1 - \gamma_i)} \right) \quad (1)$$

$$y_i = \sum_{j=1}^n ((F_{ij} - L_{ij}) \times C_j) \quad (2)$$

接着,按照以下步骤设计模糊推理系统^[13]:

(1) 定义输入/输出变量。建立一个基于 Mamdani 的模糊推理系统,将 x_i, y_i 两个绩效指标按相应的权重作为系统两个输入变量,为每台设备定义的综合瓶颈指标值为输出变量,在模糊推理系统中,这 3 个输入/输出语言变量用 X, Y, Z 表示,并被划分为以下 3 个模糊集合:

$X = \{ \text{小(S), 中(M), 大(L)} \};$

$Y = \{ \text{负数(NL), 大约是零(Z), 正小(PS), 正中(PM), 正大(PL)} \};$

$Z = \{ \text{不是瓶颈(NB), 可能是瓶颈(MB), 是瓶颈(B)} \}。$

(2) 隶属度函数设计。这里输入和输出都选取三角形隶属度函数,格式为 $y = \text{trimf}(x, [a \ b \ c])$,定义域由向量 x 确定,曲线形状由参数 a, b, c 确定,其中 a 和 c 确定三角形左、右两个点, b 确定三角形上部的顶点,形状如图 2 所示。

(3) 模糊规则。根据经验知识建立的多条模糊 IF-THEN 规则如表 2 所示。

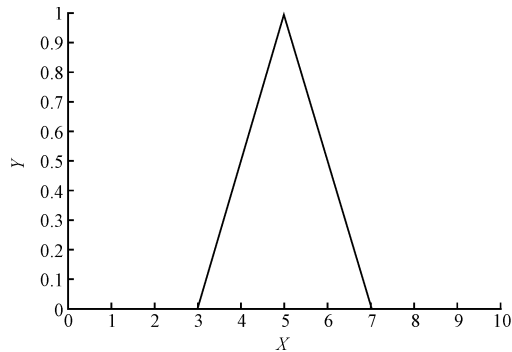


图 2 三角形隶属度函数

表 2 模糊规则

Y \ X	S	M	L
NL	NB	NB	NB
Z	NB	NB	MB
PS	NB	NB	MB
PM	NB	MB	B
PL	MB	MB	B

(4) 解模糊化。通过上述模糊规则,笔者计算出输出的三角形隶属度函数,为使最后输出的模糊量清晰化,笔者采用最大隶属度取最小值法(SOM)进行反模糊,得出较为合理的综合瓶颈指标值。

3 实例仿真

本研究结合某工厂的轴承内圈和外圈的具体生产情况,进行一些简化处理(不考虑热处理、检验等),设计了一个仿真实例。

3.1 算例描述

笔者研究某一时段该厂轴承内圈和外圈的生产加工信息,对工艺进行简化处理(不考虑热处理、检验等工序),流程图如图 3 所示。

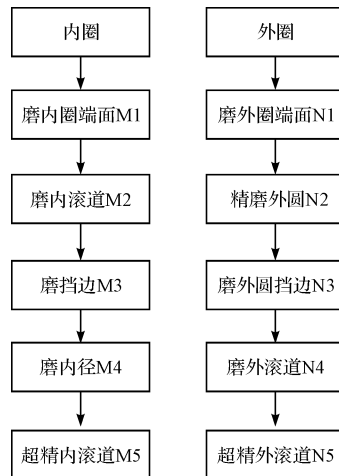


图 3 产品流程图

产品加工信息简化后如表 3 所示。机器计划期内可用工时及故障率如表 4 所示。笔者查看工艺管理卡

及在用生产计划表,确定各个工序完工时间及计划最晚完工时间,生产计划如表 5 所示。

表 3 产品加工信息

工件名称	所经工序及单位工时/s										单位惩罚值	加工数量
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
内圈	M ₁	6	M ₂	5	M ₃	6	M ₄	3	M ₅	3	0.2	100
外圈	N ₁	4	N ₂	5	N ₃	3	N ₄	3	N ₅	2	0.1	150

表 4 机器相关参数

序号	A	B	C	D	E						
1	2	M ₁	700	M ₂	640	M ₃	720	M ₄	425	M ₅	370
	3		6		5		4		3		4
1	2	N ₁	790	N ₂	1 000	N ₃	660	N ₄	500	N ₅	390
	3		3		6		5		3		2

注:1—设备名称;2—计划期内设备可用工时,s;3—设备故障率,%。

表 5 生产计划表

序号	A	B	C	D	E						
1	2	M ₁	10	M ₂	19	M ₃	31	M ₄	37	M ₅	48
	3		8		16		26		33		43
1	2	N ₁	14	N ₂	32	N ₃	40	N ₄	48	N ₅	55
	3		12		26		34		44		52

注:1—工序所经设备;2—工序完工时间,min;3—工序计划最晚完成时间,min。

3.2 瓶颈因素权重排序

首先,本研究确定影响该工厂生产以及导致生产或物流能力不平衡的因素。对以往的数据进行分析,主要影响因素有:设备运行、负荷因素 a_1 、订单交货期因素 a_2 、生产平衡因素 a_3 、材料供应因素 a_4 、其他因素 a_5 。

本研究根据历史数据对各个因素重要性进行比较,利用第一节中的层次分析法计算该厂某一时段内圈和外圈的瓶颈因素的权重。计算结果如表 6、表 7 所示。

表 6 内圈瓶颈因素权重排序

内圈	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	ω_i
a_1	1	2	4	3	8	0.45
a_2	1/2	1	2	3	5	0.27
a_3	1/4	1/2	1	1/3	2	0.07
a_4	1/3	1/3	3	1	2	0.15
a_5	1/8	1/5	1/2	1/2	1	0.06

表 7 外圈瓶颈因素权重排序

外圈	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	ω_i
a_1	1	3	7	5	5	0.50
a_2	1/3	1	4	3	3	0.24
a_3	1/7	1/4	1	1/2	1/3	0.05
a_4	1/5	1/3	2	1	1	0.10
a_5	1/5	1/3	3	1	1	0.11

这样,就得到了该厂内圈和外圈瓶颈因素的权重排序,也就可以确定不同产品不同绩效指标的权重,为不同产品的模糊推理系统的输入提供了不同的数值,符合实际生产现场复杂、多变的特点。

3.3 综合瓶颈指标值计算及分析

笔者前面已经对内圈和外圈的瓶颈因素进行了权重分析,计划期内设备负荷率 x_i 和订单延迟惩罚 y_i 可根据公式(1,2)计算,乘上相应绩效指标的权重作为此模糊推理系统的输入,并以此进行综合瓶颈指标值的计算。

在 CPU 主频 3.20 GHz,8 GB 内存和 Windows7 操作系统下,本研究利用 Matlab 7.1 模糊逻辑工具箱建立模糊推理系统^[14]。不同绩效指标之间的连接关系为 and,变量输入权重为瓶颈因素层次分析法后的结果,3 个变量 X, Y, Z 的论域根据算例进行设置,隶属度函数分别设置为 $\{(0,0,0.1);(0.1,0.25,0.3);(0.25,0.5,0.5)\}$, $\{(-10,-5,0);(0,1.7,3.5);(1.7,9.8,12.5);(10,20,25);(18,25,35)\}$ 和 $\{(0,0.2,0.3);(0.2,0.6,0.7);(0.6,1,1)\}$ 。仿真结果如表 8 所示。

表 8 仿真分析及结果

工件名称	所经设备及综合瓶颈指标值										瓶颈设备
	1	2	3	4	5						
内圈	M ₁	0.46	M ₂	0.4	M ₃	0.83	M ₄	0.73	M ₅	0.81	M ₃
外圈	N ₁	0.46	N ₂	0.88	N ₃	0.78	N ₄	0.78	N ₅	0.45	N ₂

经过上述仿真可知瓶颈设备分别为 M_3 和 N_2 , 需要在生产过程中给予特别的关注, 并结合工厂本身实际情况, 决定是否增加设备或者重新布局生产线, 缓解瓶颈给生产线带来的影响, 提高系统的有效产出。

3.4 仿真结果及分析

根据上述实例, 本研究利用仿真软件 Witness2004 建立该厂仿真流程模型^[15], 给每个设备设置故障率及维修时间, 两个设备之间放置一个缓冲 Buffer 并设置大小, 用来模拟临时仓库。为了模拟各加工阶段的交货期, 本研究对模型进行了改进。在机器不产生故障、原料按时提供等情况下, 产品加工完成时间加上检验、运输等一系列时间定义为该工序的交货期, 并将 Buffer 的最小拖延时间设置为这个值, 认为只要没有在最

小拖延时间内到达仓库的产品都认为延期, 并用 Witness 自带函数 AOVERT 计算特定工序上零件的平均超时时间。最后设置该模型的仿真钟为 500。其中, 内圈仿真模型如图 4 所示。

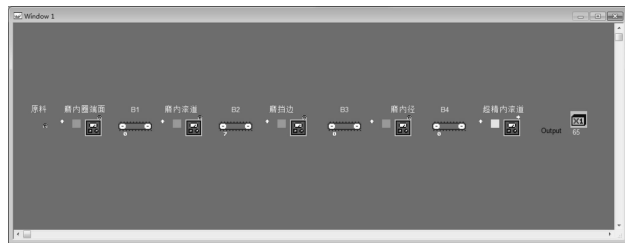


图 4 模型布局图

本研究在运行结束后对模型相关元素的 Witness 标准统计报表中选取相关的数据, 结果如表 9、表 10 所示。

表 9 内圈设备前队列统计表

Name	Total In	Total Out	Now In	Max	Min	Avg Size	Avg Time	Avg Delay Time
B1	75	75	0	4	0	0.74	4.91	1.54
B2	74	67	7	8	0	2.33	15.08	0.70
B3	66	66	0	2	0	0.06	0.46	3.05
B4	65	65	0	2	0	0.07	0.51	0.60

表 10 外圈设备前队列统计表

Name	Total In	Total Out	Now In	Max	Min	Avg Size	Avg Time	Avg Delay Time
C1	84	79	5	9	0	2.91	17.29	3.47
C2	78	78	0	1	0	0.03	0.17	4.72
C3	77	77	0	3	0	0.14	0.92	0.36
C4	76	76	0	6	0	0.32	2.13	0.64

由表 9 可以看出磨挡边设备前最大队长为 8, 平均队长 2.33, 从表 10 可以看出精磨外圆设备前最大队长为 9, 平均队长 2.91。设备前出现物料堆积, 可以知道磨挡边设备和精磨外圆设备明显生产能力不足。而平均延迟时间最大的分别为 3.05 和 4.72, 出现在磨挡边工序后以及精磨外圆设备后, 根据上述对模型中交货期的定义, 认为这两个工序存在着较为严重的拖延。综上, 可以初步认为这两个设备为瓶颈, 与综合瓶颈识别方法识别结果一致, 比较能够说明该方法的有效性。

4 结束语

瓶颈辨识研究一直以来都是人们关注的重点, 瓶颈定位的准确与否决定了能否有效地提高系统的有效产出。综合瓶颈辨识方法在多个绩效指标的基础上, 利用层次分析法为各个指标设置权重, 并引入模糊推理系统, 使综合瓶颈辨识模型不依赖于瓶颈本身的精

确模型, 更容易被操作人员接受, 为企业实际生产提供一种可行的参考。

本研究目前的模糊推理系统仅有设备负荷率和订单延迟成本这两个输入, 其他一些因素没有考虑在内, 也暂时还没有考虑瓶颈的转移, 所以, 笔者在接下来的研究中将全面考虑各方面因素, 完善理论体系, 为企业提供更有价值的参考。

参考文献 (References):

[1] 徐学军. 现代工业工程[M]. 石家庄: 中国时政经济出版社, 2010.

[2] ZUO Yan, GU Han-yu, XI Yu-geng. Modified bottleneck-based heuristic for large-scale job shop scheduling problems with a single bottle-neck[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2007, 18(3): 556-565.

(下转第 67 页)

本文引用格式:

张 伟, 鲍 敏, 冯世扣. 一种作业车间综合瓶颈辨识方法的研究[J]. 机电工程, 2016, 33(1): 52-56, 67.

ZHANG Wei, BAO Min, FENG Shi-kou. Study on comprehensive bottleneck identification in job shop[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2016, 33(1): 52-56, 67.