

基于 petri 网装配序列灰色聚类决策研究

莫茜¹, 罗毅²

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100086; 2. 华北电力大学控制科学与工程学院, 北京 102206)

[摘要] 利用 petri 网直观图形化特点建立装配模型, 并根据 petri 网原理得出可行装配序列。影响可行装配序列的大部分因素是定性的、模糊的、非数值的, 将装配序列看作灰色系统, 采用灰色聚类决策方法对可行序列进行评估。分析了影响因素的灰色分类并且研究了灰色聚类决策步骤。实例分析表明, 该方法为 petri 网原理所得可行序列进行正确的评估并且得出决策向量。

[关键词] 装配序列; petri 网; 灰色聚类决策

[中图分类号] TB114.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)11-0065-04

1 前言

装配过程是产品生产周期的重要过程, 是产品功能实现的主要过程。有关数据表明, 在产品生产过程中具有良好的装配过程可以减少 20%~40% 的生产费用。装配过程建模的方法很多, 而 petri 网除了具有直观图形化等特点以外, 更适合于顺序、冲突、并行、同步过程的分析^[1]。从系统的层次上讲, 装配过程属于离散系统, petri 网能以网图的形式, 简洁、直观地模拟离散事件系统。petri 网有严格而准确定义的数学对象, 借助于数学工具, 能得到 petri 网的分析方法和技术, 并对 petri 网系统进行静态结构分析和动态行为分析。

影响复杂的装配过程因素很多, 如操作人员的熟练程度, 工件的状况、工具的健康状况、机床的稳定性能等, 这些因素定性的、模糊的、非数值的、很难进行量化。灰色系统理论是一种研究少数据、贫信息、不确定问题的方法。针对装配过程这一特点本文将装配序列看作灰色系统, 提出了一种灰色聚类决策方法和 petri 网相结合的方法对模型进行评估并得出决策。灰色聚类决策用于多个决策指标对决策对象进行综合评价, 以确定决策对象是否满足给

定的取舍准则。

2 模型描述

在建立模型之前先给出几个假设:

- 1) 每次操作只能完成两个工件的联接;
- 2) 工件一旦联接起来, 在整个装配过程中将一直保持联接过程;
- 3) 在装配过程中, 拆分和装配操作不能同时进行。

某产品由 A, B, C, D, E 5 种工件组成, 除了提供 B, C, D, E 基本工件以外, 还提供了 AB, ACD, ADE 3 个组件。最终产品的装配过程包括很多路径, 如图 1 所示。

3 基于 petri 网装配序列的求解

3.1 petri 网基本原理^[2]

petri 网是用于描述和模拟离散事件系统的工具, 很多路径规划、计划编制以及调度等问题都属于此类问题。

petri 网定义: 广义 petri 网有以下 5 要素: $PN = (P, T, I, O, m_0)$ 。

$P = \{p_1, \dots, p_n\}$ 是库所的有限集合, $n > 0$ 为库

[收稿日期] 2008-04-29

[作者简介] 莫茜(1981-), 女, 山东滨州市人, 中国科学院研究生院硕士研究生; 罗毅(1969-), 男, 湖南新化县人, 华北电力大学控制科学与工程学院教授

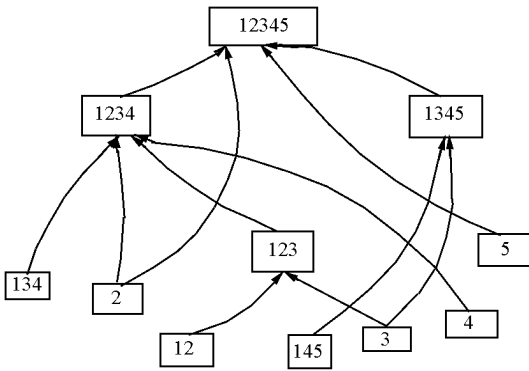


图1 产品装配路径图

Fig.1 Assembly path of the production

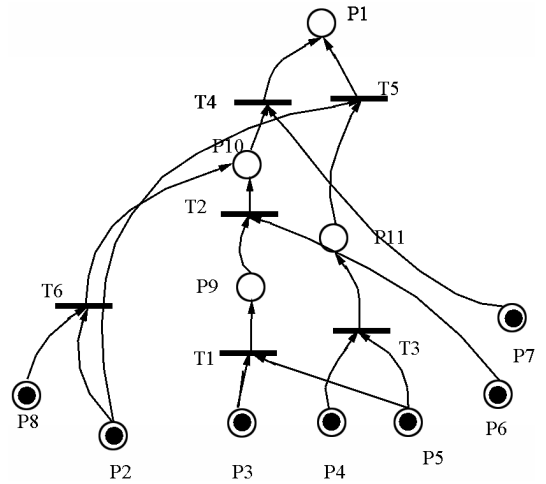


图2 Petri网模型

Fig.2 Petri net model

所 的 个 数。

$T = \{t_1, \dots, t_n\}$ 是变迁的有限集合, $n > 0$ 为变迁的个数。

$I: P \times T \rightarrow N$ 是输入函数, 它定义了从 P 到 T 的有向弧的重复数或权的集合。

$O: T \times P \rightarrow N$ 是输出函数, 它定义了从 T 到 P 的有向弧的重复数或权的集合。

m : 标识, 为列向量, 其第 i 个元素表示第 i 个库所中的托肯数目。 m_0 为初始标识。

3.2 PN 运行规则

(1) 变迁 $t \in T$ 在标识 m 下使能, 当且仅当: 对所有的 p (属于 t 的输入库所): $m(p) \geq I(p, t)$ 。

(2) 在标识 m 下使能的变迁 t 的激发将产生新标识 m' :

$$m'(p) = m(p) - I(p, t) + O(p, t)$$

(3) PN 状态方程。当 I 、 O 为矩阵时, $C = O - I$ 为关联矩阵。 m_k 表示第 k 次运行后的标识 (一次激发可能激发若干个序列的激发, 或者是一个序列的多次激发):

$$m_{k+1} = m_k + CX_k \quad (1)$$

式中, X_k 为激发向量。

3.3 问题求解

3.3.1 问题描述

某产品由 5 种工件组成, 分别是 A, B, C, D, E, 在装配之前还存在一些组合的工件 AB, ACD, ADE。建立 Petri 网如图 2 所示, 在表示 PN 结构的有向图中, 库所以圆形表示, 变迁以长方形表示。表 1 中库所代表装配工件或者组合工件, 变迁代表相应的组合操作。根据图 2 可分析该装配的全过程, P_1, P_2, \dots, P_8 中的托肯分别表示工件准备就绪, 可以进行装配。

表 1 装配工件表

Table 1 Assembly sequence table

P_1 : 工件 ABCDE	P_2 : 工件 B	P_3 : 工件 AB
P_4 : 工件 ADE	P_5 : 工件 C	P_6 : 工件 D
P_7 : 工件 E	P_8 : 工件 ACD	P_9 : 工件 ABC
P_{10} : 工件 ABCD	P_{11} : 工件 ACDE	
T_1 : ABC 组合操作	T_2 : ABCD 组合操作 1	T_3 : ACDE 组合操作
T_4 : ABCDE 组合操作 1	T_5 : ABCDE 组合操作 2	T_6 : ABCD 组合操作 2

3.3.2 求解

用公式 1 可求装配序列的可行解, 其中

$$m_{k+1} = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (2)$$

$$m_k = [0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0]^T \quad (3)$$

C 可求, 可解得下列 3 个可行解:

$$X_1 = X_2 = X_4 = 1; \quad (\text{序列 1})$$

$$X_3 = X_5 = 1; \quad (\text{序列 2})$$

$$X_4 = X_6 = 1. \quad (\text{序列 3})$$

4 装配序列决策研究

4.1 灰色系统^[3]

灰色系统是指部分信息清楚、部分信息不清楚的系统。即是信息不完全的系统。信息不完全是指系统因素、因素关系、系统结构及系统作用原理等方面信息的缺乏。灰色系统理论是以“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”的不确定性系统为研究对象, 主要通过对“部分”已知信息的生成和开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行行为的正确认识 and 有效控制。

影响可行装配序列的因素很多, 如操作人员的

熟练程度、工件的状况、工具的健康状况、机床的稳定性能等,它们大部分是定性的、模糊的、非数值的,所以将装配序列看作灰色系统,采用灰色聚类决策方法对可行序列进行评估。

4.2 灰色聚类决策方法原理^[4]

灰色聚类决策就是按照多个不同的决策指标对决策对象进行综合分析,以确定决策对象是否满足给定的取舍准则。

设有 n 个决策对象, m 个决策指标, s 个不同的灰类, x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) 为决策对象 i 关于决策指标 j 的量化评价值, f_j^k ($k = 1, 2, \dots, s$) 为决策指标 j 关于 k 灰类的白化权函数, ω_j 为决策指标 j 的综合决策权重, 且 $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$, 则称 $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \omega_j$ 为决策对象 i 属于 k 灰类的决策系数。 $\sigma_i = (\sigma_i^1, \dots, \sigma_i^s)$ 决策对象 i 决策系数向量。 $\max\{\sigma_i^k\}$ 称决策对象 i 属于 k 灰类。

4.3 灰色聚类决策步骤^[5]

4.3.1 灰色分类

按综合评价要求划分灰类数根据经验和专家分析装配序列的将其装配状态分为:优、良、中、差、极差。

装配过程处于“优”状态意味着装配过程稳定,没有故障出现,时间上连续,操作人员效率高。

装配过程处于“良”状态意味着装配过程相对稳定,可能偶尔出现小故障,但是不影响装配过程,并且操作人员能较好地配合。

装配过程处于“中”状态意味着装配过程会出现故障,但是可能及时维修,操作人员的熟练程度一般。

装配过程处于“差”状态意味着装配过程经常中断,并且操作人员之间配合出现问题,不能及时维修,影响到装配的整个过程。

装配过程处于“极差”状态意味着,装配过程中的各方面的影响因素都不能处于正常运行状态,出现滞后甚至停产状态。

对装配序列状态进行专家打分,采用百分制,0~20分对应“极差”状态,20~40分对应“差”状态,40~60分对应“中”状态,60~90分对应“良”状态,90~100分对应“优”状态。

4.3.2 确定指标子类的白化权函数

所谓白化权函数,也称为灰色聚类函数,其值在

[0,1]之间,当值等于1时,代表系统是完全白化的;当值等于0时,代表系统是完全黑色的。它的值越接近1,灰色系统自化程度越高。根据专家评分:

序列1[60,50,50,45,85],

序列2[95,85,95,95,95],

序列3[60,80,75,75,85]

$f_j^1, f_j^2, f_j^3, f_j^4, f_j^5$ 分别表示装配序列优、良、中、差、极差状态的白化权函数,如图3所示,公式见式(4)~(8)。

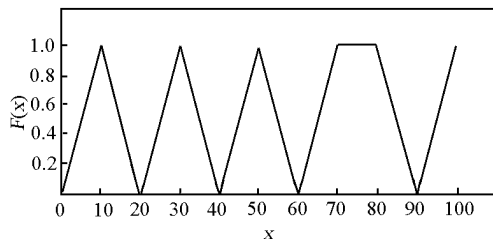


图3 白化权函数

Fig.3 Whitening weight function

$$f_j^1(x) = \begin{cases} x & 0 < x < 10 \\ -0.1x + 2 & 10 \leq x \leq 20 \\ 0 & 20 < x \leq 100 \end{cases} \quad (4)$$

$$f_j^2(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x < 20 \\ 0.1x - 2 & 20 \leq x \leq 30 \\ -0.1x + 4 & 30 < x \leq 40 \\ 0 & 40 < x \leq 100 \end{cases} \quad (5)$$

$$f_j^3(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x < 40 \\ 0.1x - 4 & 40 \leq x \leq 50 \\ -0.1x + 6 & 50 < x \leq 60 \\ 0 & 60 < x \leq 100 \end{cases} \quad (6)$$

$$f_j^4(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x < 60 \\ 0.1x - 6 & 60 \leq x \leq 70 \\ -0.1x + 9 & 70 < x \leq 80 \\ 0 & 80 < x \leq 100 \end{cases} \quad (7)$$

$$f_j^5(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x < 90 \\ 0.1x - 9 & 90 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (8)$$

4.3.3 确定各指标的聚类权重

根据装配过程的实际经验,确定装配过程影响因素分别为装配的稳定性、操作人员的熟练程度、装配过程附加费用、加工工具的状态、装配难度。

$$\omega = [0.2, 0.2, 0.3, 0.1, 0.2]$$

4.3.4 根据聚类权重以及公式 $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \omega_j$ 计算决策系数 σ_i ^[6]

$$\sigma_1(\sigma_1^1, \sigma_1^2, \sigma_1^3, \sigma_1^4, \sigma_1^5) = (0, 0, 0.55, 0.1, 0)$$

$$\sigma_2(\sigma_2^1, \sigma_2^2, \sigma_2^3, \sigma_2^4, \sigma_2^5) = (0, 0, 0, 0.1, 0.4)$$

$$\sigma_3(\sigma_3^1, \sigma_3^2, \sigma_3^3, \sigma_3^4, \sigma_3^5) = (0, 0, 0, 0.7, 0)$$

4.3.5 根据 $\max\{\sigma_i^k\}$ 判断评价序列属于哪个灰类得出决策序列

由上述步骤的求得序列 1 评价为“中”,序列 2 评价为“优”,序列 3 评价为“良”。因此得出结论序列 2 为最优决策序列。

5 结语

通过对灰色系统理论中的灰色聚类分析方法的研究,提出了采用灰色聚类决策方法对基于 petri 网装配序列进行分析,petri 网能直观的体现装配的全过程并利用求解出的可行序列,根据经验建立了状态分类,将其状态分为 5 个灰类,分别对这 5 个灰类进行了专家评价。分析了评估可行序列状态所涉及

的多个影响因素,定义了表示可行序列状态灰类和灰类白化权函数,分别对 3 个可行序列进行评估得出决策向量,通过实例分析,表明了该方法的实用性,在实践中具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 江志斌. petri 网及其在制造系统建模与控制中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004
- [2] 袁崇义. petri 网原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005
- [3] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1992
- [4] 刘思峰,郭人榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用(第 2 版)[M]. 北京:科学出版社,1999
- [5] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000
- [6] 袁志坚,孙才新. 变压器健康状态评估的灰色聚类决策方法[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2005,28(3):22-25

The research of grey clustering decision of assembly sequence based on petri net

Mo Qian¹, Luo Yi²

(1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China; 2. Control Science & Engineering School, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

[Abstract] This paper establishes assembly model according to the intuitionistic graphics mode characteristics of petri net, and gets feasible assembly sequence according to the principle of petri net. Most of factors influencing assembly sequence are certainly qualitative, fuzzy, non-numerical, assembly sequence is regarded as a gray system, and grey clustering decision method is adopted to evaluate feasible assembly sequence. This paper analyzes the gray classification of the influence factor and studies grey clustering decision method steps. The analysis of example indicates this method can evaluate correctly the feasible assembly sequences according to the principle of petri net and obtain decision vector.

[Key words] assembly sequence; petri net; grey clustering decision method