

文章编号: 1002-0446(1999)05-0390-05

## 面向机器人装配的 DFA 模糊评价方法<sup>\*</sup>

冯 禹 马玉林 蔡鹤皋

(哈尔滨工业大学现代生产技术中心 哈尔滨 150001)

摘 要: 本文论述了面向机器人装配生产方式的 DFA 评价技术研究的特点, 并提出了一种面向机器人装配的产品可装配性模糊综合评价方法。

关键词: 机器人装配; DFA; 设计评价; 模糊评价

中图分类号: TP24 文献标识码: B

### 1 引言

近年来, 在竞争日益激烈的制造业市场中, 由于市场对产品的需求向着品种多样化、结构复杂化、交货期不断缩短的趋势发展, 只有以高效率低成本生产出的产品, 才能在优胜劣汰中占有一席之地。资料表明, 在工业化国家中, 用于产品装配的时间约占全部生产时间的 53%, 用于产品装配的成本超过生产成本的 40%, 而且, 大约三分之一的人力在从事与装配有关的活动。由此, 对装配过程进行以提高效率, 降低成本为目标的合理化改进, 是提高生产效率, 降低生产成本, 增强制造企业竞争力的重要环节。

装配领域主要潜在的改进可能性在于对产品实行面向装配的设计(DFA)。然而, 设计者在设计阶段必须考虑顾客需求、零件的可加工性、产品的可装配性、环保要求等诸多因素, 如没有系统方法的支持, 很难真正实现面向装配的设计。因此, 开展 DFA 技术的研究非常必要。

DFA 既是一种思想, 是并行工程的一个重要组成部分, 又是一种评价技术。它从设计阶段即考虑后续的加工、装配过程的要求, 将使产品易于装配的设计准则集成到产品设计中, 引导设计者设计出易于装配的产品, 并根据各种准则和影响因素, 在设计尽可能早的阶段对产品的可装配性进行评价, 通过评价改进设计, 以提高产品质量, 降低生产成本, 缩短产品开发周期。

机器人装配是一种自动化柔性装配方式, 与传统装配方式相比, 既有稳定、高效的优势, 又具有可编程、柔性好、可预测、便于实施等优点, 更适于多品种、小批量的生产模式, 本文主要针对这种装配方式进行 DFA 评价方法的研究。

### 2 面向机器人装配的 DFA 评价的特点

面向机器人装配的 DFA 方法与面向手工装配的 DFA 方法的相比, 由于研究对象不同, 具有不同的要求和特点。根据机器人装配的特点, 必须考虑零件的输送、编排整理、识别、抓取、定位、定向、插装等方面的问题。

(1) 针对零件自动化输送过程, 零件的设计应尽量减小其搭叠缠结性, 即零件在输送过程中发生缠结、搭叠、相互套入等影响后续装配的问题的可能性:

a) 对于易于缠结的零件,如弹簧、开口环、导线等,可以尽量将弹簧设计成闭端的;将开口环的环口设计得尽可能的小;用刚性的钢片代替柔性的导线,以避免零件间的勾挂缠结. b) 对于易于搭叠的零件,可以适当增加接触面的厚度,以减小零件相互搭叠的可能性. c) 对于由轴、孔等凹凸特征组成的零件,应尽量使凸特征的尺寸大于凹特征的尺寸.如使轴端的尺寸大于另一端孔的尺寸,以避免零件相互套入现象的发生.

(2) 为保证不对称零件在传送带上的位置、方向,零件应设计出工艺槽、孔、卡口等.

(3) 应尽可能提高零件的对称性,以简化零件的编排整理、识别、定向等过程,节省装配时间和用于定位、整理的成本.

(4) 如果零件必须设计成不对称的,应尽量夸大零件的不对称性,使之明显化,以便于输送设备和操作设备进行识别和编排整理.

(5) 为使零件和子装配便于机器人抓取而且不易受损,应有面积较大的平滑抓取表面.

(6) 尽量采用自定位零件,对于需要零件精确定位的装配过程,零件上应设计出台肩、定位销等的定位辅助(面),以减小调整、定位难度.

(7) 合理确定公差,在满足功能要求的基础上,减小因配合间隙过小造成的插装困难.

(8) 保证子装配的稳定性.在装配、移动等操作中,子装配在结构上应是稳定可靠的,不应出现内部结构变动、零件受损的危险.

(9) 考虑插装方向和装配运动方式对装配的影响.为便于机器人装配,尽量采用简单的直线联接运动和尽可能短的联接位移以及尽可能少的装配方向.

(10) 尽量减少紧固件数量.尽量少用螺栓联接、铆接等装配成本较高的联接方式,采用咬合联接(*Snap fit*)等效率高、成本低的联接方式.

### 3 面向机器人装配的 DFA 模糊综合评价法

(1) 确定产品可装配性影响因素及隶属关系,建立影响因素关系树:

可装配性(装配难度)是一个模糊概念,可以用方案对“装配困难”的隶属度来表示.经研究,影响产品装配的因素可分为三个等级的特征:零件级、装配系统级和工艺级.

a) 零件级因素:包括零件的形状、尺寸、重量、对称性、非对称特征明显性、搭叠缠结性、柔性、脆性、表面质量等.

b) 装配系统级因素:有无基准件、有无抓取面、配合间隙、插装方向、装配运动方式、装配位置可达性、特征可见性等.

c) 装配工艺级因素:联接方式、插装阻力、是否需工具、有无插入导向(倒角等)、是否需重定向、基体装配的插装稳定性等.

根据各因素之间的隶属关系由高到低排成若干层次,建立影响因素关系树,见图 1.

(2) 建立方案对优的隶属度模糊矩阵:

设决策论域是决策(或方案)的集合  $U = \{ \text{决策 } 1, \text{决策 } 2, \dots, \text{决策 } m \}$ ,可装配性评价影响因素指标的集合为:  $V = \{ v_1, v_2, \dots, v_n \}$ ,可以把第  $j$  个决策(或方案)的第  $i$  个因素指标值记为  $f_{ij}$ ,则得到  $m$  个决策的  $n$  个评价指标矩阵  $F$ :

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

当因素指标值越大决策(方案)越优时,扎德把各因素指标对优的绝对隶属度表示为:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij} - \text{Inf}(f_i)}{\text{sup}(f_i) - \text{Inf}(f_i)} \quad (2)$$

当因素指标值越小决策(方案)越优时,各因素指标对优的绝对隶属度为:

$$r_{ij} = \frac{\text{sup}(f_i) - f_{ij}}{\text{sup}(f_i) - \text{Inf}(f_i)} \quad (3)$$

由于在以上公式中,指标的上、下确界难以确定,故可以把第*i*项指标的最大、最小特征值作为它们的相对值,则各因素指标对优的隶属度公式为:

$$\delta_{ij} = \frac{|f_i^0 - f_{ij}|}{f_{i\max} - f_{i\min}} \quad (4)$$

其中  $f_{i\max}$  为各方案第*i*项指标中最大指标值;  $f_{i\min}$  为各方案第*i*项指标中最小指标值.  $f_i^0$  为指标上下确界的相对值,称为理想值.

当因素指标为正指标,即指标值越大方案越优时,  $f_i^0 = f_{i\min}$ ; 当因素指标为负指标,即指标值越小方案越优时,  $f_i^0 = f_{i\max}$ ; *m* 个方案的 *n* 个指标对优的相对隶属度  $\delta_{ij}$  构成了一个模糊关系矩阵:

$$\Delta = \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1m} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nm} \end{pmatrix}$$

(3) 根据改进的层次分析(AHP)法,确定每一层次的因素权值:

传统的 AHP 法首先对 *n* 个评价因素进行两两比较,根据各因素相对重要程度大小确定矩阵元素值,构造 *n* 阶判断矩阵 *A*. 通过矩阵运算,求出各因素权值,计算过程如下:

文献 3 利用最优传递矩阵的概念,对 AHP 法进行了改进,使之自然满足一致性要求,不必进行一致性检验即可直接求出权重值. 本文利用这种方法,给出各因素指标权重子集:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

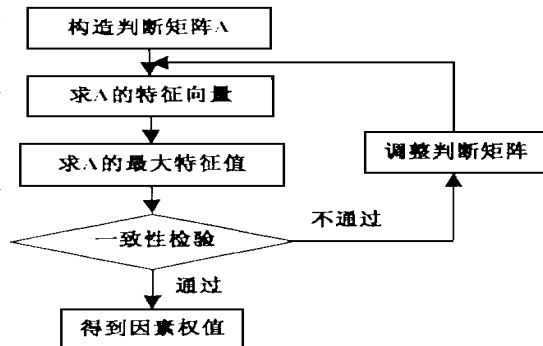
(4) 采用加权相对偏差距离最小法(平均模型)对各方案进行评价,计算 *m* 个方案因素指标值对理想值的加权相对偏差距离:

$$d_j = d_j(u_j, f^0) = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^n (a_i \delta_{ij})^2, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

式中

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

(5) 方案选优: 设产品可装配性评价系统分解为两层,每一层均由多个单元系统组成,每一单元系统均有多个指标输入和一个指标输出,上一层的单元系统把下一层的指标输出作为



输入. 每一层运用以上方法计算, 最高层的单元系统的输出即为系统对优的的相对隶属度. 根据最大隶属度原则, 各方案中对优的隶属度最大, 即因素指标与理想方案相对偏差最小的方案应为最佳方案.

(6) 根据各级评价指标及对应权重, 可以确定方案的影响装配的设计缺陷, 并据此提出再设计建议, 以便于改进产品结构设计, 使之更易于装配.

#### 4 结论

本文针对机器人装配生产方式的特点, 确定了影响产品可装配性的各种因素, 建立了可装配性综合评价系统, 综合考虑各种因素, 对设计方案的可装配性进行分层次、多指标评价, 为设计方案选优和设计改进提供决策支持. 此方法已用 C++ 语言实现, 运算快速稳定, 用其它方法验证, 结果一致.

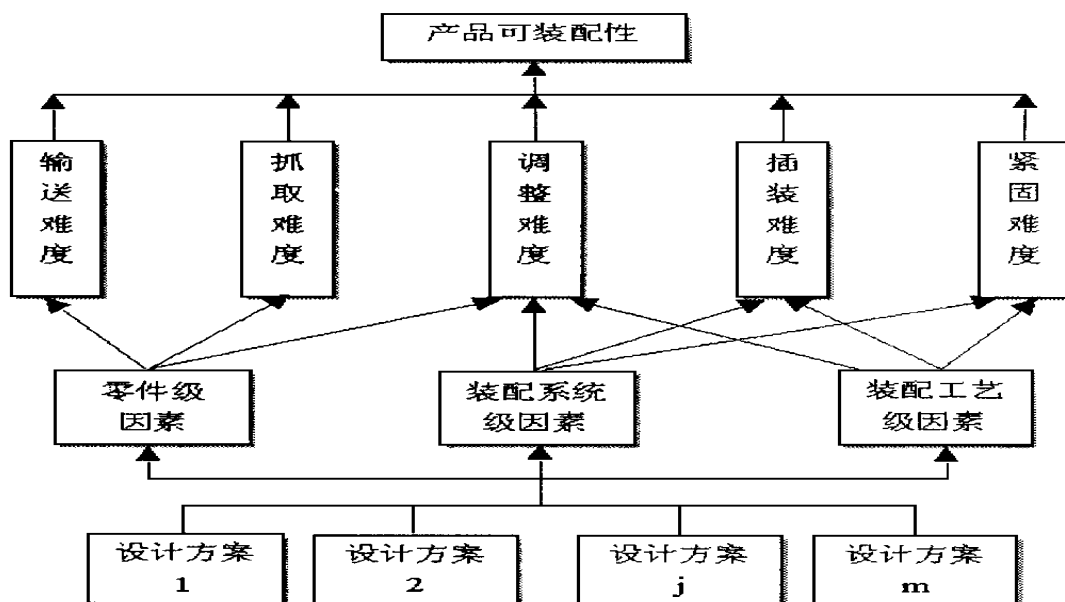


图 1 产品可装配性影响因素关系树

#### 参 考 文 献

- 1 Boothroyd G, Dewhurst P. Product Design for Manufacture and Assembly. Manufacturing Engineering, April, 1988: 42- 46
- 2 Scarr A J. Product Design for Automated Manufacture and Assembly. Annals of the CIRP, 1986, 35(1): 1- 5
- 3 梁燧, 盛昭翰, 徐南荣. 一种改进的层次分析法. 系统工程, 1989, 7(3): 5- 7
- 4 张跃等编著. 模糊数学方法及其应用. 煤炭工业出版社, 1992

## THE METHOD OF ROBOTIC ASSEMBLY ORIENTED DESIGN FUZZY EVALUATION

FENG Yu MA Yu-lin CAI He-gao

(Harbin Institute of Technology, Center of Manufacturing Technology 150001)

**Abstract:** In this paper, the features of the research of robotic assembly oriented design evaluation is illustrated, and a method of DFA Fussy evaluation is proposed.

**Key words:** Robotic Assembly DFA Design Evaluation Fuzzy Evaluation

作者简介:

冯 禹 (1971-), 男, 研究领域: CIMS 环境下的质量保证技术、设计质量评价.

马玉林 (1938-), 男, 博导. 研究领域: 先进制造技术、质量保证技术.

(上接第 389 页)

### 4 结论

本文设计的机器人主动装配作业的神经网络系统, 实现了机器人主动装配作业的装配力和装配位姿之间复杂的非线性函数关系, 并得到了较好的装配效果.

### 参 考 文 献

- 1 曹焕光. 人工神经网络原理. 气象出版社, 1992
- 2 金耀初, 蒋静平. 神经网络在机器人控制中的应用. 机器人, 1992
- 3 Philip D Wasserman. Neural Computing: Theory and Practice. ANZA Research, Inc 1989
- 4 焦李成. 神经网络系统理论. 西安电子科技大学出版社, 1992
- 5 Robert Hecht-Nielsen. Theory of the Back Propagation Neural Network. IJCNN 1989: 1- 593- 605
- 6 黄心汉. 机器人的主动顺应控制. 华中工学院学报, 1987, (14): 147- 154

## THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK SYSTEM FOR ROBOT ACTIVE ASSEMBLY

WANG Gang WU Guang-shun ZHANG Chuan-ying

(Intelligent Machine Institute of Tianjin University 300072)

**Abstract:** On the basis of the experimental analysis between peg's assembly force and position, which is in the process of robot peg in hole assembly, a B-P Artificial Neural Network(ANN) system which can be used in robot active assembly task is developed in this paper.

**Key words:** Robot; assembly; neural network

作者简介:

王 刚 (1951-), 男, 副教授. 研究领域: 机器人学、机电自动化、自动化装配等.