

基于隶属函数的装配协调顺序优化方法

Assembly Coordination Sequence Optimization Based on Membership Function

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 邱 晞 刘 平 魏生民

[摘要] 面向装配现场,充分利用专家的经验 and 知识,解决集成装配工装和产品的装配协调顺序优化问题,提出一种基于隶属函数的装配协调顺序优化方法。该方法设置7级评价标准,在两两装配协调顺序对比的情况下采用优先关系排序法通过专家给对象打分;计算总分并求出优先选择比,形成模糊优先关系矩阵;最后,采用平均算法求得每条装配协调顺序的隶属度,形成隶属函数,隶属度最大的即为最优的装配协调顺序。并以某型飞机机翼为例进行了验证。

关键词: 优先关系排序 平均法 隶属函数 装配协调顺序

[ABSTRACT] In order to make the best of experts' experience and knowledge from assembly process in face of assembly market and to solve assembly coordination sequence optimization question, an assembly coordination sequence optimization based on membership function method is presented. 7 rank evaluation standards are set to mark by the experts that compare random of each two assembly coordination sequences. Calculate total score and precedence selection ratio to form precedence matrix of relation. And finally, membership degree of each assembly coordination sequence is calculated by average arithmetic, and the biggest of which is the best assembly coordination sequence. And the method is applied to a certain aircraft wing as an experiment.

Keywords: Precedence relationship order Average arithmetic Membership function Assembly coordination sequence

装配协调顺序充分考虑面向装配过程的实际情况将装配工装引入,方便了后续引入装配工具、装配夹具等装配工作。在飞机装配过程中,经常由于装配顺序选取的不恰当,致使装配操作的不断重复,造成装配一次性成功率降低,极大地浪费了资源,延长了产品的开发周期,直接导致成本的增加。因此,研究装配协调顺序对实际装配有重要意义,能提高装配效率,正确指导实际装配。

在对装配工艺方案优化层面上,优化过程注重对知识的重用,一方面从装配时间、装配效率、几何约束等角度分析,如文献[1]开发了虚拟装配工作单元,嵌入了人机工程学模型以及功能,对影响装配时间的因素进行了分析,并建立了半经验式的时间模型;文献[2]研究了一种根据装配操作效率的变化来优化产品的装配工艺方案;文献[3]提出了在装配几何约束的基础上对装配顺序进行优化的方法。

另一方面,遗传算法无需遍历整个解空间,就能得到一个最优或次最优解,可以很好地解决组合优化中的组合爆炸问题^[4],如文献[5]研究了一种针对装配时间的遗传算法来优化产品装配工艺方案;文献[6]采用模糊集理论建立了适应度函数,并对装配序列进行评价和优化;文献[7]设计了一种遗传算法解决装配顺序最优化问题。

面向装配现场,本文对基于隶属函数的装配协调顺序优化技术进行了研究,针对装配协调顺序的优劣,设置评价标准,充分利用专家的经验 and 知识,考虑影响装配协调顺序的一系列因素,通过专家打分的方式描述两两装配协调顺序的对比情况,并提出采用基于隶属度的隶属函数表示装配协调顺序的优劣程度。

1 基于隶属函数的装配协调顺序优化方法原理

装配协调顺序集成装配工装和产品,基于隶属函数的优化方法旨在通过优先关系排序法得到两两装配协调顺序的优越性,进而形成模糊优先关系矩阵,再由平均法求出装配协调顺序的隶属函数,根据隶属度的大小得到最优的装配协调顺序。

1.1 装配协调顺序的评分依据

根据专家多年的经验总结,依托装配现场,总结出与装配协调顺序有关的影响因素,从以下几个方面作为评分依据:

- 工装先于基础件装配;
- 遵循从下到上、由里往外的装配原则;
- 装配协调路线: 装配协调路线体现工件与工装之间的传递关系,装配协调顺序的路线越短越好;

· 装配并行度: 并行度体现装配操作并行执行的能力。装配顺序的并行度越高, 越容易提高装配设备利用率, 缩短装配时间;

· 操作聚合性: 聚合性是指在装配过程中相同的或相似的装配操作应集中完成, 以减少装夹次数和更换装配工具的次数, 节省装配时间;

· 装配稳定性: 装配稳定性反映了装配体的稳定程度, 它直接影响到装配的可靠性和装配工装的复杂性;

· 装配重定向次数: 重定向是指在完成某一装配作业前将装配基准体翻转一定的角度, 装配作业应尽量减少重定向的次数, 以节省装配时间, 同时也可避免复杂的装配工艺装备的设计;

· 装配工作量: 装配工作量应降低到最低限度, 减少劳动强度;

· 装配成本: 装配成本是指在装配过程中与装配活动有关的费用的总和, 降低产品开发成本;

· 装配准确度: 装配准确度是在装配可行性的基础上从提高装配性能的角度, 来检验装配协调顺序的优与劣。

1.2 装配协调顺序的优先关系排序

设计一组评价标准, 将不同的 2 条装配协调顺序编成一组, 专家根据装配经验以及知识给出分数, 以先评价的作为对比顺序, 后评价的作为目标顺序。例如: $q_1 \rightarrow q_2$ 表示目标顺序 q_1 与对比顺序 q_2 相比的分数记。

设集合域 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, 其中 $q_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为装配协调顺序, 以 C_{ij} 表示 q_i 与 q_j 相比时 q_i 的优越程度, 规定:

· 若 $C_{ij}=0$ 表示 q_i 与 q_j 相比无优越性;

· $0 \leq C_{ij} \leq 1$ 表示 C_{ij} 在 $[0, 1]$ 上取值, 如果 q_i 比 q_j 绝对优越则 $C_{ij}=1$, 反之 $C_{ji}=0$;

· $C_{ij}+C_{ji}=1$ 表示 q_i 对 q_j 的优越性与 q_j 对 q_i 的优越性之和为 1;

由此, 可得装配协调顺序的模糊优先关系矩阵

$$C = [c_{ij}]_{n \times n}。$$

1.3 隶属函数计算

隶属度的大小反映装配协调顺序的优劣程度, 其中平均法是一种有效的求解隶属度的算法, 基于隶属度的隶属函数是带有主观因素的对模糊对象的客观量度^[7]。

针对模糊优先关系矩阵 C , 采用平均法求得隶属度:

$$A(q_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}, \quad (1)$$

式中, $A(q_i)$ 表示第 q_i 条装配协调顺序的隶属度, C_{ij} 为集

合域 C 中的元素, $i, j=1, 2, \dots, n$ 。则隶属函数为:

$$A = A(q_i)/q_i, i = 1, 2, \dots, n。 \quad (2)$$

隶属度最大的即为最优的装配协调顺序。

2 装配协调顺序的优化算法

基于隶属函数的装配协调顺序优化方法分成以下几步完成:

步骤 1: 根据装配协调顺序的优劣程度, 建立 7 等评分标准。

步骤 2: 由专家对比两条装配协调顺序, 给出评分, 并求出相应的目标顺序的总分数以及优先选择比。

步骤 3: 由步骤 2 求得的优先选择比以及装配协调顺序的优先关系排序, 建立装配协调顺序的模糊优先关系矩阵。

步骤 4: 根据模糊优先关系矩阵, 采用平均法计算隶属度, 建立隶属函数。

步骤 5: 观察隶属函数, 选取隶属度最大的作为最优的装配协调顺序。

3 算法应用实例

下面以某型飞机的中央翼某段为例, 按照上述方法得到最优的装配协调顺序(如表 1~ 表 5 所示)。

步骤 1: 根据装配协调顺序的优劣程序, 建立 7 等

表1 某型飞机中央翼某段零部件名称及符号表

名称	符号	名称	符号	名称	符号
中央翼某段	P_1	前梁	P_9	E 肋后段	P_{12}
上壁板	P_2	整体后梁	P_{10}	对接角盒	P_{18}
下壁板	P_3	前上壁板	P_{11}	腹板	P_{19}
梁	P_4	后上壁板	P_{12}	上缘条	P_{20}
可卸壁板	P_5	B 肋	P_{13}	下缘条	P_{21}
E 肋	P_6	C 肋	P_{14}	堵孔板	P_{22}
B-D 肋	P_7	D 肋	P_{15}	后梁	P_{23}
A 肋	P_8	E 肋前段	P_{16}	隔框	P_{24}

表2 中央翼某段用到的工装

名称	符号	名称	符号
翼肋装配工装	E1	后梁装配工装	E2
隔框装配工装	E3	中央翼某段装配工装	E4

表3 装配协调顺序属性表

符号	装配协调顺序
q_1	E1-P18 -P17-P16- -E1-E1-P19-P20-P21- -E1-E2-P23-P22- -E2-E3-P6-P4-P9-P8-P10- -E3-E4-P24-P3-P7-P2-P5- -E4
q_2	E2-P23-P22- -E2-E1-P18 -P17-P16- -E1-E1-P19-P20-P21- -E1 -E3-P6-P4-P9-P8-P10- -E3-E4-P24-P3-P7-P2-P5- -E4
q_3	E3-P6-P4-P9-P8-P10- -E3-E1-P18 -P17-P16- -E1-E1-P19-P20-P21- -E1-E2-P23-P22- -E2-E4-P24-P3-P7-P2-P5- -E4
q_4	E4-E3-E1-P18 -P17-P16- -E1-P4-P9-E1-P19-P20-P21- -E1-E2-P23-P22- -E2 - -E3 -P3-P7-P2-P5- -E4

注：表中 -E1 表示退出工装 E1。

表4 7等评价标准

优劣	特好	很好	稍好	相同	稍差	很差	特差
分数	10	9	7	5	3	1	0

表5 4条装配协调顺序的评分结果

分组	10 9 7 5 3 1 0	目标顺序总分	总分	优先选择比
$q_1 \rightarrow q_2$	3 3 4	85	10×10	0.85
$q_1 \rightarrow q_3$	5 3 1 1	74	10×10	0.74
$q_1 \rightarrow q_4$	1 5 4	83	10×10	0.83
$q_2 \rightarrow q_3$	3 6 1	72	10×10	0.72
$q_2 \rightarrow q_4$	1 3 4 2	71	10×10	0.71
$q_3 \rightarrow q_4$	6 2 2	74	10×10	0.74

评价标准,见表4。

步骤2:由表3建立集合域 $Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\}$,通过10名专家根据装配协调顺序的评分依据,分别对比两条装配协调顺序,给出评分,见表5。

步骤3:由优先选择比以及优先关系排序法准则建立装配协调顺序的模糊优先关系矩阵:

$$A = 0.60/q_1 + 0.40/q_2 + 0.32/q_3 + 0.18/q_4$$

$$C = \begin{pmatrix} q_1 \rightarrow q_1 & q_1 \rightarrow q_2 & q_1 \rightarrow q_3 & q_1 \rightarrow q_4 \\ q_2 \rightarrow q_1 & q_2 \rightarrow q_2 & q_2 \rightarrow q_3 & q_2 \rightarrow q_4 \\ q_3 \rightarrow q_1 & q_3 \rightarrow q_2 & q_3 \rightarrow q_3 & q_3 \rightarrow q_4 \\ q_4 \rightarrow q_1 & q_4 \rightarrow q_2 & q_4 \rightarrow q_3 & q_4 \rightarrow q_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0.85 & 0.74 & 0.83 \\ 0.15 & 0 & 0.72 & 0.71 \\ 0.26 & 0.28 & 0 & 0.74 \\ 0.17 & 0.29 & 0.26 & 0 \end{pmatrix}$$

步骤4:由模糊优先关系矩阵及公式(1)得:

$$A(q_1) = \frac{1}{4}(0 + 0.85 + 0.74 + 0.83) = 0.60$$

同理有 $A(q_2) = 0.40$, $A(q_3) = 0.32$, $A(q_4) = 0.18$ 。则隶属函数为:

$$A = 0.60/q_1 + 0.40/q_2 + 0.32/q_3 + 0.18/q_4$$

步骤5:根据隶属度的大小,4条装配协调顺序的排序为: q_1, q_2, q_3, q_4 。因此,选择 q_1 作为最优的装配协调顺序。

4 结束语

本文结合模糊数学中的隶属函数提出一种装配协调顺序模糊优化技术,采用专家打分的方式对比两两装配协调顺序,根据隶属函数优化装配协调顺序,将模糊数学与产品装配相结合,不仅优化了产品和工装的次序序列,而且还重用了专家经验和知识,比以往的算法更完善。

参考文献

- [1] Chryssolouris G, Mavrikios D, Fragos D, et al. A virtual reality-based, experimentation environment for the verification of human-related factors in assembly processes. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* (S0736-5845). 2000,16(4):267-276.
- [2] Song B L, Wong W K, Fan J T, et al. A recursive operator allocation approach for assembly line-balancing optimization problem with the consideration of operator efficiency. *Computers & Industrial Engineering*.2006,20(3):23-26.
- [3] Su Q. Computer aided geometric feasible assembly sequence planning and optimizing. *Adv Manuf Technol*. DOI 10.1007/s00170-006-0447-0.
- [4] Holland H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Cambridge,MA,USA :MIT Press , 1975.
- [5] Bai Y W, Chen Z N, Bin H Z, et al. An effective integration approach toward assembly sequence planning and evaluation. *Int J Adv Manuf Technol* (2005), DOI 10.1007/s00170-004-2155-y.
- [6] 李原, 张开富, 王挺, 等. 基于遗传算法的飞机装配序列规划优化方法. *计算机集成制造系统*.2006,12(2):188-191.
- [7] Marian R M, Luong L H S, Abhary K. A genetic algorithm for the optimisation of assembly sequences. *Computers & Industrial Engineering*. 2006,50:503-527.

(责编 侧卫)