

文章编号:1009-3486(2005)05-0059-05

船体分段模块装配工艺决策研究

孔凡凯, 张家泰, 钟宇光

(哈尔滨工程大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 针对船体装配工艺设计自动化程度低,影响船舶建造周期和建造质量等问题,设计了分段模块的装配单元决策系统,建立了分段模块装配信息模型,基于模糊数学理论,应用模糊聚类方法实现了分段模块装配工艺的自动编制。实例表明,该方法合理的和可行的。应用该方法在较高的装配层次上实现了船体模块装配工艺的制定,为船舶模块化生产提供了有效的工具。

关键词: 船舶模块化设计; 模块装配; 装配模型; 模糊聚类

中图分类号: U662.9

文献标识码: A

Decision-making of assembly process for hull block module

KONG Fan-kai, ZHANG Jia-tai, ZHONG Yu-guang

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering Univ., Harbin 150001, China)

Abstract: In order to solve the problem that low degree of automatic in the block module assembly process negatively influences the construction cycle time and construction quality in shipbuilding, this paper presents a newly developed decision-making system of assembly units for block module assembly. Thus, based on fuzzy mathematics, the assembly model is built and the fuzzy cluster method to analyze partition of assembly units is given respectively. The results show that the system is more scientific and can also be widely used. This system can realize the decision-making of the hull module assemble process in a higher assembly level, meanwhile offers an effective tool for the production of ship module.

Key words: ship modular design; module assembly; assembly model; fuzzy cluster

由于船体是一个相当复杂的结构体,在对其进行模块划分时,只有结构、复杂程度相当,用途使命相同或相似的中间产品,才能进行比较优劣。所以,必须以船体模块的结构分析为基础,把它们划分成不同层次或等级,分别加以评定和计算。在船舶整个建造过程中,最重要的工艺是分段模块装配工艺,因为该工艺几乎占整个制造过程的一半,是整艘船建造周期的关键环节。分段模块的分层装配结构将部件模块、组件模块形成独立的装配单元,有利于扩大作业面,改善作业条件,减小制造误差和提高效率。本文着重研究利用从造船 CAD 系统中提取的分段模块结构信息,建立模块装配信息模型,基于模糊聚类的方法自动进行分段模块装配单元划分,即部件模块、组件模块等装配层的决策。

1 船体模块的层次

从模块化船舶的区域概念出发,结合分段造船法的实际情况,建议将船体模块化分为零件、部件、组

收稿日期:2005-04-14; 修订日期:2005-06-28

作者简介:孔凡凯(1968-),男,副教授,博士生。

件、分段、总段 5 个层次(见图 1). 模块概念具有相对性,即:组成模块的任何一个模块都是由下一层次的模块组合而成,而模块本身又是上一层次模块的一个组成部分^[1,2].

2 分段模块装配信息模型

从造船 CAD 系统中提取的分段模块结构信息,可以得到零件信息和零件间的连接信息,对这些信息进行处理建立分段模块装配模型,用带有属性的有向图来表达,将有向图定义为一个二元组 $G = \langle N, E \rangle$,其中: N 为节点 n 的集合, E 为代表节点间的边 e 的集合,每个节点设定为构成分段模块的零件,节点间的边代表零件间的连接关系.

节点 n (零件)的属性信息包括件号、零件名称、零件类型、所属分段模块编号、投影面积、质量、材料、基准特性;基准特性值用 0~1 之间的数来标定,零件的面积越大,重量越重,连接的零件越多,其基准特性值越大.

边 e (连接)的属性信息包括连接编号、连接所属分段模块、连接开始零件号、连接结束零件号、连接类型、连接方向、连接长度,若存在连接关系的 2 个零件中基准特性值大的定为连接弧的始点,另一个作为终点;连接类型(见图 2)包括边对边、边对面、以及门式开口、补板型开口、水密型开口等 3 种穿过类型.连接方向(见图 3)为一特殊的坐标系,含义是根据连接的 2 个零件的坐标判断从连接起点至连接终点的有向弧在船舶坐标系中的指向.

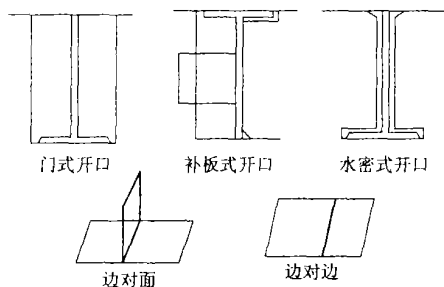


图 2 分段的连接类型

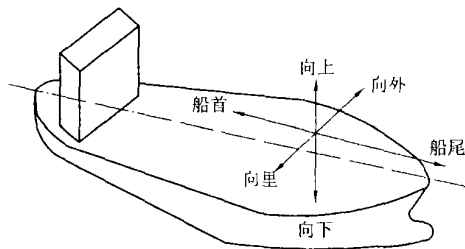


图 3 连接的方向类型

3 基于模糊聚类的分段模块装配单元划分的原理

3.1 装配单元划分合理性的模糊关系定义

从子模块的划分来看,着重于零件间的连接合理性,没有设计功能上的约束.连接合理性评估的过程中遵循许多模糊性的评估规则,如焊接效率的程度(减少仰焊)、装配调整的难易、起吊负荷满足情况、翻身工序多少对作业率的影响等.因此,将模糊数学中的一些概念和理论引入子模块的划分中,利用模糊聚类方法解决分段模块装配单元的划分问题具有积极的意义.

下面根据子分段划分中的模糊现象,基于模糊数学理论^[3]定义如下基本概念:

设分段模块 B 是由 N 个零件(板材件、型材件)组成, P 为 B 中零件集合^[3],

$$P = \{ p_i \mid i = 1, 2, \dots, N \} \quad (1)$$

式中: p_i 为分段模块 B 中的第 i 个零件,根据分段模块划分的目的,确定零件间连接合理性的 M 个有关因素,则每个零件可用 M 个因素构成的元组来表示:

$$p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}) \quad (2)$$

定义直积:

$$P \times P = \{ (p_i, p_j) \mid p_i \in P, p_j \in P \} \quad (3)$$

其中的一个模糊关系 \tilde{R} 是 $P \times P$ 的一个模糊子集, 记作

$$\tilde{R}: P \rightarrow P, \quad (4)$$

其隶属函数 $u_R(p_i, p_j)$ 是二元函数, 可表示为:

$$u_R(p_i, p_j): P \times P \rightarrow [0, 1] \quad (5)$$

在工艺规划中, 把上述模糊关系 \tilde{R} 看作是两零件间连接合理性评判, 则 \tilde{R} 的隶属函数 $u_R(p_i, p_j)$ 表示了连接合理性的评判结果度量。若 $u_R(p_i, p_j)$ 值大, 说明 p_i 与 p_j 之间的连接合理性好, 反之, 表示 p_i 与 p_j 装配合理性差或不存在连接关系。这样, 各级子模块划分中存在的模糊现象能够用零件间的模糊关系表达, 隶属度的取值要从分段模块的合理划分的特定对象出发, 利用实践中长期积累的经验和装配知识, 从而将模糊关系表示成规划合理的模糊关系矩阵^[4]。

3.2 模糊关系隶属度的确定

模糊集合 R 满足相似模糊关系定义, 即自反性 $u_R(p_i, p_i) = 1, \forall p_i \in P$, 表明零件自身和自身的连接紧密性最强; 对称性 $u_R(p_i, p_j) = u_R(p_j, p_i), \forall p_i \in P, \forall p_j \in P$, 表示 2 个连接之间的连接合理性与连接方向无关。其它零件间的连接方式的隶属度确定法则由工艺设计专家采用主观评定法确定。为了避免主观起见, 采用多人评分再取平均分的方法, 在装配单元划分推理的过程中, 首先需要根据分段模块连接图模型信息, 基于规则推理的方式, 得到各连接的连接合理性度量值, 以下是评判规则库中的基本规则示例:

- rule 1: if (p_i 与 p_j 之间没有连接), then ($u_R(p_i, p_j) = 0$);
- rule 2: if (p_i 与 p_j 存在连接) and (p_i 是型材, p_j 是板材), then ($u_R(p_i, p_j) = 0.8$);
- rule 3: if (p_i 与 p_j 存在连接) and (p_i 和 p_j 都是基准件), then ($u_R(p_i, p_j) = 0.9$);
- rule 4: if (p_i 与 p_j 存在连接) and (p_i 是板材, p_j 是板材) and ((p_i 与 p_j 其中之一为基准件)) then ($u_R(p_i, p_j) = 0.7$);
- rule 5: if (p_i 与 p_j 存在连接) and (p_i 是板材, p_j 是板材) and ((p_i 与 p_j 连接方向为向下)) then ($u_R(p_i, p_j) = 0.5$);
- rule 6: if (p_i 与 p_j 存在连接) and (p_i 是板材, p_j 是型材) and ((p_i 与 p_j 连接类型为门式开口)) then ($u_R(p_i, p_j) = 0.6$);
-

3.3 模糊聚类

根据模糊数学理论, 集合满足等价关系就可以实现集合的子集划分, 分段模块的模糊关系矩阵只满足自反性和对称性, 不满足传递性, 因此是模糊相似关系, 不是模糊等价关系, 需要利用传递闭包将模糊相似矩阵 R 变换成一个模糊的等价矩阵 R^* ^[3]。

在模糊等价关系 R^* 确定以后, 对给定的阈值 $\lambda \in [0, 1]$, 可相应得到一个普通等价关系 R^*_λ , R^*_λ 称为所截得的 λ -截矩阵, 从而便确定一个 λ -水平的集合划分。并且通过调整 λ 的取值, 可以控制集合划分的粒度, 即若 $0 \leq \lambda_1 < \lambda_2 \leq 1$, 则 $R^*_{\lambda_2}$ 所分出的每一类必是 $R^*_{\lambda_1}$ 的某一类的子集, 因此 $R^*_{\lambda_2}$ 的分类法是 $R^*_{\lambda_1}$ 的分类法的“加细”, 从而使得分段模块零件集合的划分具有很好的柔性, 方便工艺设计人员做出最优的决策。

4 计算实例

图 4 为某油船的纵舱壁分段上壁墩组件模块结构图。为了减小示例的矩阵规模, 将结构图的连接作局部简化。

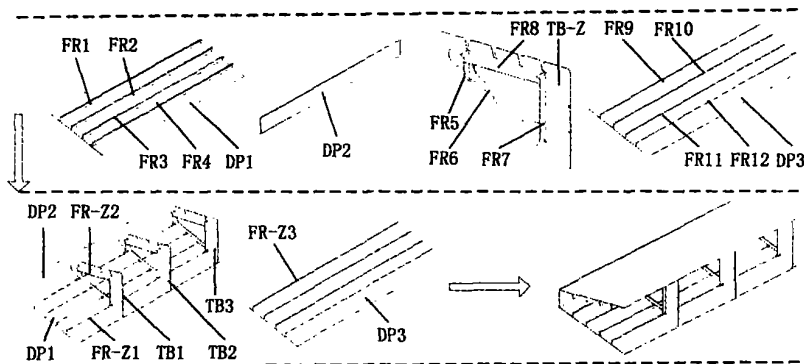


图 4 分段组件模块装配顺序图

TB1、TB2 和 TB3 连接形式相同,合成为一个零件 TB-Z;同理,FR1、FR2、FR3 和 FR4 合成为 FR-Z1;FR5、FR6、FR7、FR8 合成为 FR-Z2;FR9、FR10、FR11、FR12 合成为 FR-Z3;将转化后的组件结构图用分段装配模型表示如图 5 所示。

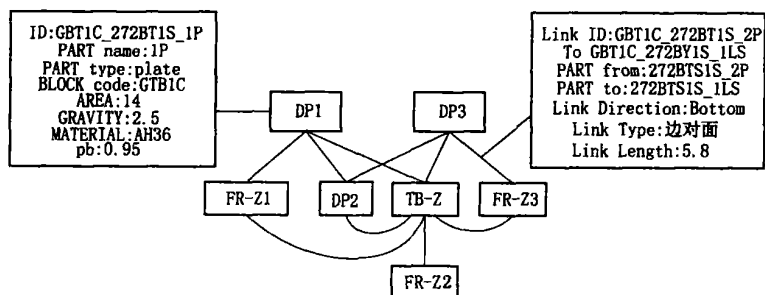


图 5 分段组件模块连接图模型

这样,集合 $P = \{p_i | i = 1, 2, \dots, 7\}$ 中的元素依次为:DP1、FR-Z1、DP2、TB-Z、FR-Z2、DP3、FR-Z3,基于规则推理的方式,决策各连接的连接合理性隶属度值,得到(6)式所示的组件模糊相似矩阵 R ,接着,用传递闭包的方法将模糊相似矩阵变换成如(7)式所示模糊等价矩阵 R^* 。然后,应用模糊等价矩阵进行聚类分析,分别取 $\alpha = 0.5, 0.7, 0.8$,可以动态地得到 3 种不同的划分结果。

$$R = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.8 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 1.0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 1.0 & 0.6 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0.7 & 0.6 & 0.6 & 1.0 & 0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 1.0 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.8 & 1.0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R^* = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.8 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.5 \\ 0.8 & 1.0 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.5 \\ 0.7 & 0.7 & 1.0 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.5 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 & 1.0 & 0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.8 & 1.0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1.0 & 0.8 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.8 & 1.0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$R_{0.5}^*$ 将组件分成 1 类,即集合 {DP1, FR-Z1, DP2, TB-Z, FR-Z2, DP3, FR-Z3};

$R_{0.7}^*$ 将组件分成 2 类,即集合 {DP1, FR-Z1, DP2, TB-Z, FR-Z2} 和 {DP3, FR-Z3}, 显然这种划分是为

了减少仰焊操作 ,是一种合理的划分 ;

$R_{0.8}^*$ 将组件分成 4 类 ,即{DP1 ,FR-Z1}、{DP2}、{ TB-Z ,FR-Z2}、{DP3 ,FR-Z3} . 这种情况下 ,可以看作是对 $R_{0.7}^*$ 所作划分进一步子划分 ,从分段模块装配的角度 ,也符合从零件装配成部件模块 ,再由部件模块和零件组装成组件模块的装配过程 ,并且划分的结果满足分段模块装配单元划分合理性的评估原则 .

5 结 论

本文提出的分段模块装配单元划分方法解决了分段模块装配工艺设计中的难点和重点问题 ,提高了生产设计的自动化水平 ,为船体模块装配 CAPP 系统的实现提供了技术基础 . 上述船体模块的划分仅是从各零件间的连接紧密度这一角度出发的 ,在实际应用中还应将工艺设备和人员等因素考虑进去 ,必须在子模块划分的基础上考虑其它因素对划分方案进行修正 ,这方面的工作须进一步研究 .

参考文献 :

[1] 蔡学熙 . 现代机械设计方法实用手册 [M]. 北京 :化学工业出版社 , 2004 .
[2] Storch R L , Sukapanpotharam S . Development of repeatable interim products utilizing the common generic block concept [J] . Journal of Ship Production ,2002 ,18(4) : 195 - 202 .
[3] 徐昌文 . 模糊数学在船舶工程中的应用 [M]. 北京 :国防工业出版社 ,1994 .
[4] 王艳玮 ,樊其瑾 ,彭炎午 . 基于模糊聚类的产品合理子装配划分 [J] . 机械科学与技术 ,2001 ,20(2) :299 - 302 .

(上接第 58 页)

表 1 自动调零的残余电压表 V

测量序号	自整角机 BD-404A	自整角机 36 KF4A	旋转变压器 45ZX10-1	测量序号	自整角机 BD-404A	自整角机 36 KF4A	旋转变压器 45ZX10-1
1	0.30	0.086	0.050	6	0.32	0.093	0.054
2	0.31	0.078	0.055	7	0.30	0.064	0.052
3	0.29	0.065	0.053	8	0.32	0.066	0.052
4	0.32	0.083	0.050	9	0.30	0.088	0.050
5	0.30	0.087	0.049	10	0.31	0.087	0.049

参考文献 :

[1] GB/ 788A-1999 ,自整角机通用规范 [S] .
[2] GB/ 929A-1998 ,旋转变压器通用规范 [S] .
[3] 李得武 ,陈永冰 ,陈 阳 . 基于 AD μ C812 单片机的罗经航向采集方案 [J] . 海军工程大学学报 ,2002 ,14(1) :72 - 75 .
[4] 陈永冰 ,苏益民 ,李文魁 ,等 . 卡尔曼滤波在罗经航向采集处理中的应用 [J] . 中国惯性技术学报 ,2001 ,(1) :36 - 40 .
[5] 许江宁 ,马 恒 ,卞鸿巍 ,等 . 基于遗传算法的航向测量误差分析 [J] . 海军工程大学学报 ,2004 ,16(2) :12 - 16 .