

基于 BOM 的复杂产品模块划分方法研究

湛炎辉 周德俭 冯志君 袁海英

西安电子科技大学, 西安, 710071

摘要:提出了一种基于产品物料清单(BOM)且适合于复杂产品的模块划分方法。首先基于复杂产品的 BOM, 形成以零部件为节点的产品结构树(PST), 然后通过分析同一节点内零部件的几何、功能和物理相关性得到关联矩阵(CM)并生成关联图(CG), 根据关联图计算在不同划分情况时的模块化度(DM), 在结构树范围内选择最优的模块化度确定模块的划分。最后以轮式装载机的工作装置为例说明该方法的合理性和有效性。

关键词:复杂产品; 模块化; 物料清单; 工作装置

中图分类号: TH16

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2012.21.015

Research on Modularity Method of Complex Products Based on BOM

Chen Yanhui Zhou Dejian Feng Zhijun Yuan Haiying

Xidian University, Xi'an, 710071

Abstract: A new modular division method based on BOM was proposed herein. Product structure tree (PST) consisted of nodes (part or parts) was formed based on the BOM of complex products, correlation matrix (CM) and correlation graph (CG) were calculated through an analysis of relativity of geometric structure, functional and physics, the degree of modularization (DM) was defined and calculated based on CM and CG. With the optimization of DM, the modular was divided into the range of PST. As an example, the methods were applied to the working unit of loaders, and the method was verified.

Key words: complex product; modularity; bill of material(BOM); working unit

0 引言

产品模块化设计通过对不同模块的组合, 以

有限资源生产出尽可能多品种的产品, 是产品大批量定制技术成功与否的关键。模块划分是产品模块化设计的关键技术, 也是工程领域研究的热点问题之一。目前很多学者对模块划分的方法进行了研究; 文献[1-4]从产品生命周期角度对模块划分方法进行研究; 文献[4-5]将绿色设计和模块化设计结合起来进行模块的划分研究; 文献[6-10]

收稿日期: 2011-10-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2009AA04Z146); 广西自然科学基金资助项目(2011GXNSFF018004); 广西科技开发计划资助项目(桂科攻 09321042, 桂科能 08126002)

[2] Wang Pengpeng, Gupta K. A Configuration Space View of View Planning[C]//2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Beijing, 2006: 1291-1297.

[3] Chen S Y, Li Y F, Zhang J W, et al. Active Sensor Planning for Multiview Vision Tasks[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2008.

[4] Maver J, Bajcsy R. Occlusions as a Guide for Planning the Next View[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 17(5): 417-433.

[5] Connolly C. The Determination of Next Best Views [C]//IEEE International Conference on Robotics & Automation. San Francisco, 1985: 432-435.

[6] Pernot J P, Moraru G, Veron P. Filling Holes in Meshes Using a Mechanical Model to Simulate the Curvature Variation Minimization[J]. Computers & Graphics, 2006, 30(6): 892-902.

[7] 陈杰, 高诚辉, 何炳蔚. 三角网格模型孔洞修补算法

研究[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(8): 1821-1826.

[8] 何炳蔚, 林东艺, 陈志鹏, 等. 三维物体视觉测量重构中解决遮挡问题的方法研究[J]. 中国激光, 2011, 38(7): 1-10.

[9] 何炳蔚, 周小龙. 面向未知物体自动测量和重建的视点规划方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(8): 1374-1381.

[10] Zhou Xiaolong, He Bingwei, Li Y F. Research on New View Planning Method for Automatic Reconstruction of Unknown 3D Objects[C]//2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Guilin, 2009: 965-970. (编辑 张洋)

作者简介: 陈天凡, 男, 1967 年生。福州大学机械工程及自动化学院博士研究生, 福州职业技术学院机械工程系副教授、高级工程师。主要研究方向为数字化设计与制造、优化和规划应用等。发表论文 9 篇。高诚辉(通讯作者), 男, 1953 年生。福州大学机械工程及自动化学院教授、博士研究生导师。何炳蔚, 男, 1973 年生。福州大学机械工程及自动化学院教授。

分别提出了基于网络的模块划分方法、面向工程更改的模块化划分方法、柔性模块化划分方法、面向大批量定制的模块划分方法,以及多角度、多层次的模块划分方法;文献[11]基于复杂网络理论对产品模块化程度的评价方法进行了研究。这些模块划分通过分析产品零部件间的关联关系形成关联矩阵,然后用模块聚类分析等方法对零部件进行聚类分析,从而得到模块的划分。但在进行模块划分时,模块划分算法的复杂程度随着产品中零件数量的增加呈指数增长^[5]。复杂产品具有结构复杂、零部件数目繁多、关联关系错综复杂等特征,故而不适合用现有的模块划分方法进行模块划分。

产品物料清单(BOM)是企业长期在设计、制造过程中形成的,既准确地体现了复杂产品的零部件组成和关联情况,又清晰地给出了产品零部件的关联关系,而产品的层次结构和零部件的组成与关联情况,是产品进行模块化划分的很好依据。针对这一实际情况,本文提出了一种基于产品 BOM 表的模块划分方法:基于 BOM 表建立产品结构树,建立了产品 BOM 表中的零部件之间的树形关联关系,然后计算节点之间的关联度、关联矩阵和关联图,提出模块化度的概念,并将模块化度的最小值和平均值作为产品模块划分的依据,在结构树所有节点进行模块划分后就可以得到复杂产品全部的模块。

1 基于 BOM 的模块划分方法

1.1 基于 BOM 表的产品结构树

在 BOM 表中,产品零部件的关联关系表达不明确,而复杂产品的层次结构可达 7~10 层且零部件众多,为便于分析复杂产品结构并进行模块的划分,可采用图 1 所示的产品结构树来表达产品的组成结构。图 1 中,产品为根节点,如果一个节点包含于另外一个节点,则称该节点为另一

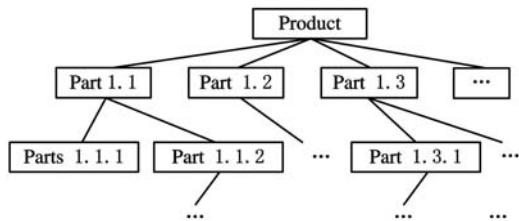


图 1 产品结构树

节点的父节点,而另一节点称为该节点的子节点,产品的零件称为结构图的叶节点。图 1 中的节点类型有装配件、焊接件、组合件、铆合件及零件等,在实际进行模块划分的时候,焊接件和铆合件等

尽量归进同一模块,而单个零件则尽量不作为单独的模块。

得到产品结构树后,产品的模块划分转换为对结构树中的节点及其子节点进行处理:如果判断某节点的子节点属于同一模块,则该节点及其所有的子节点构成单独的模块或模块的一部分;否则,该节点的子节点属于不同的模块。

1.2 零部件关联分析

对产品的部件进行关联分析是模块划分的基本依据,影响模块划分的关联因素主要包括产品零部件的功能相关性、几何相关性和物理相关性。为便于计算,表 1 给出了零部件各种相关性的量化定义,并定义零部件自身的关联度均为 1。其中,物理关联性是根据能量、信息流和物流对零部件关联关系的影响程度来确定的。零部件 i 和 j 之间的关联度计算公式为

$$\Gamma(i, j) = \omega_p \alpha_p(i, j) + \omega_g \alpha_g(i, j) + \omega_l \alpha_l(i, j) \quad (1)$$

式中, $\alpha_p(i, j)$ 、 $\alpha_g(i, j)$ 、 $\alpha_l(i, j)$ 分别为零部件 i 和 j 的物理关联度、几何关联度和功能关联度; ω_p 、 ω_g 、 ω_l 分别为物理关联度、几何关联度和功能关联度对应的权因子,权因子的选择需根据产品的实际情况进行选择。

表 1 零部件关联度定义

关联度	功能相关性	几何相关性	物理相关性
0.7 ~ 0.9	共同完成	不可拆连接	有能量流
0.4 ~ 0.6	功能关系强	可拆固定连接	有信息流
0.1 ~ 0.3	功能关系中	可拆活动连接	有物流
0	很弱或不相关	不接触	无关系

根据关联度可以建立如下的关联矩阵:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \Gamma(1,1) & \Gamma(1,2) & \cdots & \Gamma(1,n) \\ \Gamma(1,2) & \Gamma(2,2) & \cdots & \Gamma(2,n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Gamma(1,n) & \Gamma(2,n) & \cdots & \Gamma(n,n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, n 为节点内零部件的数目。

根据关联矩阵建立关联图,从而判断节点是否需要进一步进行模块划分。考虑到零部件总是与其关联最紧密的零部件组合在一个模块内,故建立关联图的基本步骤如下:首先按顺序找出所有顶点的最大关联度,并将该顶点与对应的顶点相连,从而生成关联子图;然后找出关联子图内的顶点与其他关联子图的顶点的最大关联度,并将这两个顶点相连,直到所有的关联子图全部连通组成关联图。

1.3 节点模块划分的判定

进行模块划分时需要对产品结构树的节点进行分析,从而判别是否需要进一步细分。产品模块划分的目标是使模块内部的关联度尽可能大,

而模块之间的关联度尽可能小,因而节点进行模块划分的依据是划分后模块内部关联度最大而模块之间的关联度最小。为此,引入模块化度参数:

$$\lambda = 1 - \Gamma_{\min, \text{in}} / \Gamma_{\max, \text{out}} \quad (3)$$

其中, $\Gamma_{\min, \text{in}}$ 为关联图中同一模块零部件之间关联度的最小值, $\Gamma_{\max, \text{out}}$ 为关联图中模块与模块之间关联度的最大值, 当模块为单个零部件时 $\Gamma_{\min, \text{in}}$ 的值取 1。

当一个节点不进行划分时, 其模块化度由零部件间最小的关联度确定, 故而定义关联图中零部件之间最小的关联度为其模块化度。最优的模块划分应该具有尽可能大的模块化度。

1.4 复杂产品模块划分方法基本步骤

- (1) 根据产品 BOM 表生成产品结构树。
- (2) 对待处理节点的子节点进行模块分析, 根据式(1)计算关联度。
- (3) 建立如式(2)的关联矩阵并根据关联矩阵建立节点的关联图。

(4) 根据式(3)计算节点不同划分的模块化度参数 λ 及其平均值和最小值, 从而进行节点的模块划分。

(5) 在整个结构树自下向上重复步骤(2)~(4), 并调整之前的模块划分, 直至完成产品的模块划分。

2 实例

下面以轮式装载机的工作装置为例来说明该方法的合理性和有效性。工作装置在轮式装载机产品中与其他部分的关联程度比较小, 是一个比较独立的部分, 因而模块划分时不会与其他部分交叉, 适合单独分析。

根据轮式装载机产品的 BOM 表整理可以得到如图 2 所示的轮式装载机工作装置的产品结构树。从图 2 可知, 工作装置进行模块划分时, 首先要对摇臂、横梁等节点进行计算, 然后再逐层向上划分。工作装置零部件的关联关系主要为几何结构关联, 然后为功能关联和物理关联, 因此本文中选取 $\omega_p = 0.2, \omega_g = 0.5, \omega_f = 0.3$ 。对下层节点处理后的工作装置节点组成如图 3 所示。下面以摇臂和摇臂轴套为例来说明关联度的计算, 通过关联分析可得摇臂和摇臂轴套之间的功能关联度、几何关联度和物理关联度, 分别为 0.8、0.9、0.7, 所以可以计算得 $\Gamma(1, 6) = 0.2 \times 0.8 + 0.5 \times 0.9 + 0.3 \times 0.7 = 0.83$ 。通过计算可以得到的关联关系(表 1)和关联图(图 4)。

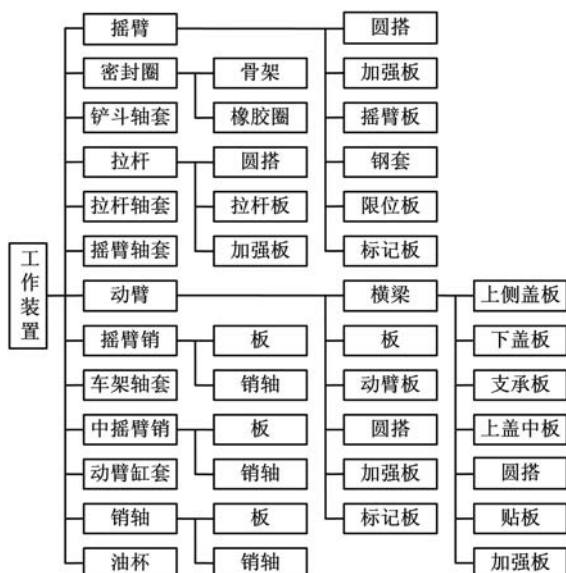


图 2 工作装置产品结构树

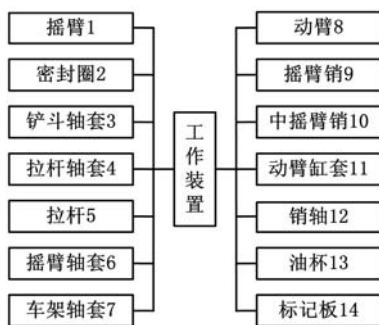


图 3 工作装置节点组成

表 1 工作装置的关联关系

	关联度													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0.36		0.14	0.29	0.83		0.23	0.79	0.47		0.14		0.18
2		1	0.19	0.28	0.28	0.31	0.13	0.36	0.15		0.28	0.05		
3			1					0.77				0.32		
4				1	0.72				0.31					
5					1			0.31			0.43			
6						1		0.15	0.24					
7							1	0.76	0.15					
8								1	0.12	0.74	0.73	0.26		0.27
9									1	0				0.06
10										1				0.1
11											1			0.08
12												1		0.3
13													1	
14														1

图 5 所示为对工作装置进行不同的模块划分时分别对应的模块化度、平均值和最小值的情况。从图 5 可知, 当将工作装置划分为 7 个模块时, 模

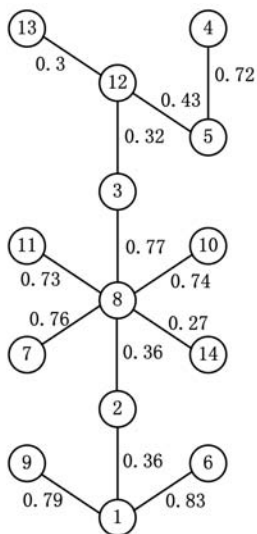


图 4 工作装置关联图

杂产品零部件众多,采用现有方法分析时关联矩阵会很大);③采用层次计算把关联分析误差限制在该层次内,减少了误差对于结果的影响;④提出了根据模块化度来判定产品模块的划分,从而避免了人工确定模块划分阈值的主观性,模块划分更加客观、合理。

参考文献:

[1] Yasushi Umeda, Shinichi Fukushima, Keita Tonoike, et al. Product Modularity for Life Cycle Design[J]. Manufacturing Technology, 2008, 57(1): 13-16.

[2] 吕利勇, 乔立红, 王田苗. 面向产品生命周期的产品模块化分解方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(4): 546-551.

[3] Gershenson J K, Prasad G J, Allamneni S. Modular Product Design: A Life-cycle View[J]. Journal of Design and Process Science, 1999, 3(4): 13-26.

[4] Tseng Hwai-En, Chang Chien-Chen, Li Jia-Diann. Modula Design to Support Green Life-cycle Engineering[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(4): 2524-2537.

[5] 唐涛, 刘志峰, 刘光复, 等. 绿色模块化设计方法研究[J]. 机械工程学报, 2003, 39(11): 149-154.

[6] Sosa M E, Eppinger S D, Rowles C M. A Network Approach to Define Modularity of Components in Complex Products[J]. Journal of Mechanical Design, 2007, 129(11): 1118-1129.

[7] 章海峰, 谭建荣, 冯毅雄, 等. 面向广义工程更改的产品模块划分方法研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(18): 2228-2232.

[8] 祁卓娅, 王建正, 韩新民. 模块柔性划分方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(1): 87-94.

[9] 王海军, 孙宝元, 王吉军, 等. 面向大规模定制的产品模块化设计方法[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2004, 10(10): 1172-1176.

[10] 宗鸣镝, 蔡颖, 刘旭东. 产品模块化设计中的多角度、分级模块划分方法[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(5): 552-556.

[11] 刘夫云, 祁国宁. 产品模块化程度评价方法研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(8): 919-924.

(编辑 张 洋)

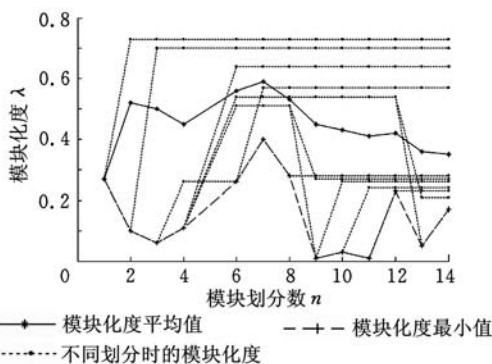


图 5 工作装置的模块化度

模块化度有最优的平均值和最小值。故工作装置的最优模块划分结果是动臂模块(3, 7, 8, 10)、摇臂模块(1, 6, 9)、拉杆模块(4, 5)、密封圈(2)、销轴(12)、油杯(13)和标记板(14)。

3 结语

针对复杂产品组成结构复杂、包含零部件众多的特点,本文基于产品 BOM 提出了一种适用于复杂产品的模块划分方法。该方法充分利用了产品 BOM 的信息,首先基于 BOM 得到产品结构树,在对节点进行几何结构、功能和物理等关联性进行分析的基础上得到关联矩阵,并给出了根据关联矩阵得到关联图的方法,然后根据关联图进行模块化度的计算,最后根据模块化度对点进行是否需要模块划分及如何划分的判定,从而得到最后的模块划分。相对于现有模块划分方法,该方法具有以下特点:①计算量小,由于采用多层次分组计算,相对于现有方法能有效地减小计算量,层次越多,效果越明显,这很适合于复杂产品的模块划分;②同时避免分析大型的关联矩阵(复

作者简介:谏炎辉,男,1973 年生。西安电子科技大学机电工程学院博士研究生。主要研究方向为数字化设计和模块化设计。发表论文 20 余篇。周德俭,男,1954 年生。西安电子科技大学机电工程学院兼职教授、博士研究生导师。冯志君,女,1968 年生。西安电子科技大学机电工程学院博士研究生。袁海英,女,1980 年生。西安电子科技大学机电工程学院博士研究生。