

# 基于装配的计算机辅助设计\*

尚建忠 潘存云

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

**摘要** 本文介绍了基于装配的计算机辅助设计(CAD)的发展和相关工作,提出了一种组合体在计算机内的表征方案,并且着重对三维形体的计算机辅助图形装配技术进行了研究。

**关键词** 装配, 图形, 设计, CAD

**分类号** TH122, TP391.72

---

## Assembly-Oriented Computer Aided Design

Shang Jianzhong Pan Cunyun

(Department of Mechantronics and Instrumentation, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** This paper introduces the development and the related work of the assembly-oriented computer aided design, presents a representation scheme of a compound-body to the computer and focuses on the research of computer aided graphic assembly technology for 3-D objects.

**Key Words** assembly, graphics, design, CAD

---

传统的产品设计和生产过程工艺规程是分开的,工艺为设计服务,而且认为装配问题是在生产过程中解决。但研究表明,装配的费用在产品设计时就已经确定了,特别是高速度装配系统。在这种情况下,基于生产、基于装配的设计思想就产生了。确切地说,基于装配的设计是指:在特定的装配系统中,综合考虑经济性、生产时间及生产柔性的前提下,选取最优方法(最利于生产和装配)来决定产品的结构、几何尺寸和材料等。基于装配的设计是提高生产率的关键。

基于装配的产品设计最有效的工具是装配模拟<sup>[1]</sup>。也就是说,设计者通过计算机来生成各个单体(零部件),再通过单体装配生成组合体,装配过程最好能进行计算机模拟仿真。因此,从某种程度来讲,基于装配的CAD的核心是组合体的图形装配问题。本文着重对组合体的计算机辅助图形装配技术进行了研究。

---

\* 1996年8月21日收稿

# 1 相关研究工作及发展概况

组合体如何在计算机内表示,各单体间的关系如何表达,这是计算机图形装配技术中很重要的问题。近年来,不少学者在这方面进行了研究,也出现了一些表征组合体的方案。

Lieberman 和 Wesley<sup>[3]</sup>提出了一种几何模型 AUTOPASS,作为自动机械装配几何造型系统的数据结构。它能产生一个数据库,在库中用图结构的结点来表征组合体和单体;用图的分枝表示单体间“属于”(part-of)、“连接”(attach-ment)、“约束”(constraint)和“装配”(assembly)等关系。并且每个分枝同时存储一个变换齐次矩阵,来表示单体间彼此的位置和方位;结点同时存储单体的物理特性。

Eastman<sup>[4]</sup>提出一种称为“位置图”(location graph)的图结构,用分级方式存储单体的相对位置,每一分枝同时对应一齐次变换矩阵。

Lee<sup>[5]</sup>等提出了一种基于单体间空间位置关系表征组合体的数据结构。在该结构中,用“虚链”(virtuallink)来揭示两个单体间数据的关系。这种模型是一种分级层次结构,只要两单体间有连接配合关系,就有“虚链”存在。“虚链”中包含了配合连接关系的完整信息,即是刚性连接,还是条件连接;是移动约束,还是转动约束等。进而将配合连接关系分为四种类型,即 against、fits、tight-fits 和 contact,并且根据这些配合连接情况,自动产生装配过程。因此,设计者只要提供单体间的连接配合情况,就可用此方案描述一个组合体。

随着数据库技术的发展,它在图形装配方面也有应用。日本东京大学工程系的 Takashi Hasegawa 和 Naimasa Nakajima 运用关系数据库研制了采用单体表示的立体造型器 SMART。SMART 具有一种分级数据结构,最上层数据称为“top”,top 以下各层上的数据为“assembly”、“object”和“primitive”,各层均有表示其下层数据间关系的部分(relation),各层数据彼此连接,形成一种环形结构。

## 2 组合体的表征方案

组合体由单体装配而成,这些单体包括立方体、圆柱体、圆台体、圆锥体、棱柱体、棱台体、棱锥体、球和环等。单体可采用边界描述的方法,用层次结构来表达,边界是实体和周围环境的分界面,可按层分为面、环、棱边和顶点等层次,所有单体都可用实体造型的方法生成。

单体生成后,就可对它们进行装配操作。这时,碰到的第一个问题就是如何在计算机内描述一个组合体及其单体间的关系,这是计算机图形装配技术的基础,一般有两种表达结构。

第一种结构需要输入每个单体的变换矩阵,以约束单体在组合体中的位置和方位。如 Lieberman 和 Wesley 的数据结构以及 Eastman 的“位置图”。这类结构简单、直观,但每一个单体都要存储一个  $4 \times 4$  齐次变换矩阵以确定其位置和方位,从而带来下列缺点:

- (1) 当一些单体的尺寸修改时,变换矩阵也常需要变动;
- (2) 当交互输入矩阵参数时,非常容易出错。且单体数目多时,工作很枯燥。

第二种结构用单体及其关系(特别是连接配合关系)来描述组合体。从连接配合关系

可推出相邻单体的变换矩阵。Lee 的“虚链”结构就属于这种类型。这种结构很容易确定每个单体的位置和方位,但若要求计算出相应各单体的齐次变换矩阵,需要解大量的方程。

本文吸取两类结构的优点,提出了一种树结构,来表征组合体及其单体间的相对关系。这种表示组合体的结构可分为两部分。第一部分用于存储组合体单体的几何信息和拓扑信息,这些信息由单体的层次数据结构来决定;第二部分用于存储组合体单体间的连接方式,由数据树的层次结构来决定。各信息矩阵由交互装配过程定义的单体关系决定。

图 1 为组合体的数据结构。

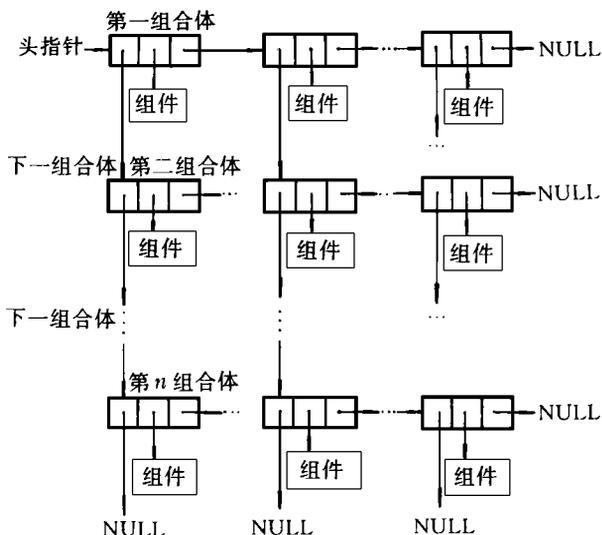


图 1 组合体的数据结构

### 3 组合体的图形装配技术

经归类分析,组合体的图形装配方法有两种基本类型:“贴合”和“配合”。其它的约束形式都可看成是它们的特例。图 2 和图 3 是贴合和配合的一般情况。

本节主要讨论贴合和配合装配技术及其算法。

#### 3.1 贴合装配技术

贴合装配适用于两单体的面和面之间。这种装配保证一个贴合面和另一个贴合面一直保持接触,只允许单体在贴合面上滑动或垂直于贴合面转动。

在贴合算法中采用法向量装配法。根据两装配面的法向量方向,法向量装配法可分为特殊面装配法和任意面装配法两类。

在贴合过程中,先选择基准体和基准面,再选择装配体和装配面。如果所选两面的法向量方向相反且平行于  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三主轴之一,采用特殊面装配法;其它情况采用任意面装配法。另外,在贴合过程中,基准体的位置和方位保持不变,所有的装配操作都是针对装

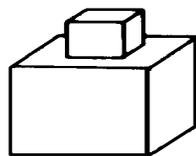


图 2 贴合

配体进行的。

下面是任意面贴合算法:

PROCEDURE Arbitrary- face- glue

BEGIN

- 1) 选择基准体和基准面;
- 2) 选择装配体和装配面;
- 3) 计算基准面的法向量  $N_b$ ;
- 4) 计算装配面的法向量  $N_a$ ;
- 5) 令  $N_b = -N_a$ ;
- 6) 计算旋转轴  $R$ ;

$$R = N_a \times N_b$$

- 7) 计算旋转解  $\theta$ ;

$$\theta = \arccos \left[ \frac{N_a \cdot N_b}{|N_a| \cdot |N_b|} \right]$$

- 8) 使装配体绕  $R$  轴旋转  $\theta$  角;
- 9) 计算基准面的中心  $X_b, Y_b, Z_b$ ;
- 10) 计算装配面的中心  $X_a, Y_a, Z_a$ ;
- 11) 计算装配体沿三主轴的位移量;

$$S_x = X_b - X_a \quad S_y = Y_b - Y_a \quad S_z = Z_b - Z_a$$

- 12) 按  $S_x, S_y, S_z$  平移装配体;

END.

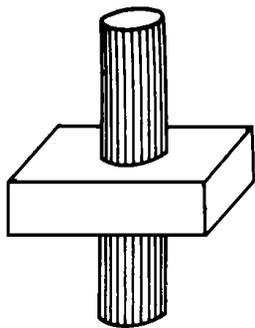
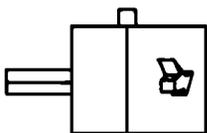
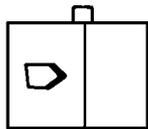


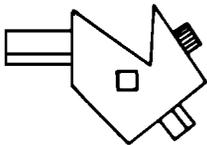
图3 配合



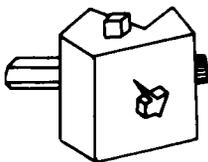
(a) 主视图



(b) 左视图



(c) 俯视图



(d) 斜二测视图

图4 贴合装配算法实例

图4是贴合装配算法的一个实例。为了表达清楚,给出了物体的三视图(主视图、左视图、俯视图)和斜二测视图。

### 3.2 配合装配算法

配合装配关系存在于轴孔之间。这种装配允许两配合单体间相对转动或沿轴心线移动。

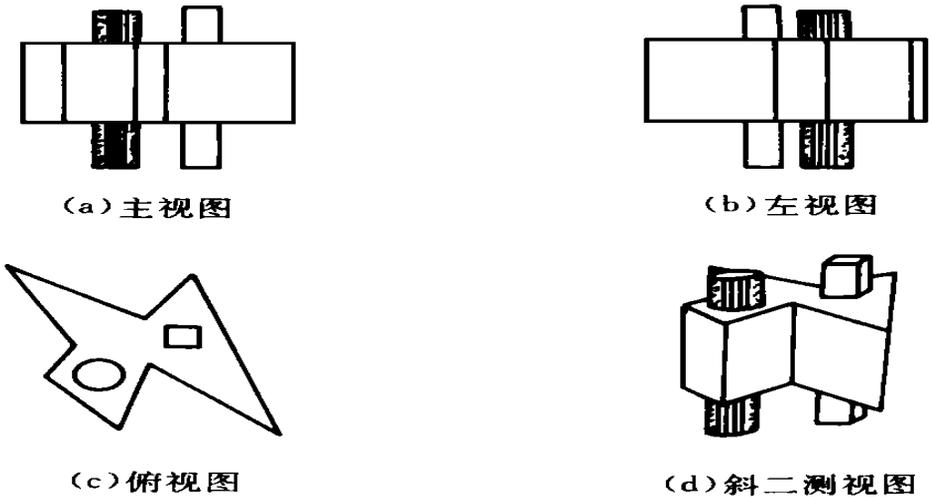


图5 配合装配算法实例

在配合算法中采用轴心线装配法。根据轴孔中心线的方向,和贴合装配一样,也分为特殊和任意两类。由于配合算法和装配算法类似,本文不再赘述。

图5是配合装配算法的一个实例。

## 4 结论

基于装配的CAD技术用于装配单体很便利,它能解决大型产品的设计及优化问题。尤其重要的是,将此技术结合到FMS、CIMS中,可以对生产、自动组装等过程进行模拟仿真,显示出巨大的潜力。本文的深入工作正在进行,相信该技术必将产生巨大的效益。

### 参考文献

- 1 Milberg J, Diess H. Assembly Simulation- an efficient tool for assembly- oriented design. Annals of the CIRP, 1989 (1): 21 ~ 24
- 2 Requicha A A G. Representations for rigid solid: Theory, methods and systems. ACM computing surveys, 1980(12): 437 ~ 464
- 3 Wesley, Liberman, Grossman D D. A geometric modelling system for automated mechanical assembly. IBM J. Res. Dev. 1980(1): 64 ~ 74
- 4 Eastman C M. The design of assemblies. SAE Technical Paper Series. Society of Automotive Engineers. USA 1981
- 5 Lee K, Gossard D C. A hierarchical data structure for representing assemblies: Past 1. Comput. Aided Des. 1985(1): 15 ~ 19

(责任编辑 张静)