

# 机械模型多视角虚拟设计装配系统<sup>①</sup>

朱晓峰<sup>1</sup>, 李际军<sup>2</sup>, 杨永波<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(杭州万向职业技术学院, 杭州 310023)

<sup>2</sup>(浙江大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

<sup>3</sup>(浙江商业职业技术学院, 杭州 310053)

**摘要:** 使用 UML 建模语言, 采用面向对象的“主干—细化”螺旋式功能设计方式, 针对机械模型多视角虚拟设计装配系统涉及的多视角虚拟模型设计、交互式装配干涉检测、机械运动模拟演示等模块功能, 设计了具有清晰层次性的系统功能体系。同时, 在系统的内核设计上采用了 MFC 动态链接模块库和双向迭代链表的思想, 保证所设计的软件系统拥有灵活的可扩充性, 为该系统的程序实现奠定了坚实的基础。

**关键词:** UML 技术; NURBS 曲线曲面; 虚拟装配; OPENGL 技术; MFC 动态链接

## Mechanical Model Multi-angle of View Hypothesized Design Assembly System

ZHU Xiao-Feng<sup>1</sup>, LI Ji-Jun<sup>2</sup>, YANG Yong-Bo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(Hangzhou Wanxiang Polytechnic, Hangzhou 310023, China)

<sup>2</sup>(School of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

<sup>3</sup>(Zhejiang Vocational College of Commerce, Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** With the UML modelling language, this paper uses object-oriented “branch-refinement”, the screw type functional design. It designs a clear layered function system for the module functions in mechanical model multi-angle of view hypothesized design assembly system, like virtual model design from multi-angles, interactive assembly interference examination and mechanical movement simulation demonstration. At the same time, it has used the MFC dynamic link module storehouse and the bidirectional iterative chain table in system's essence design, guaranting the nimble extendibility of the software system, which has laid a solid foundation for this system's procedure.

**Key words:** UML technology; NURBS curve surface; hypothesized assembly; OPENGL technology; MFC dynamic-link

## 1 引言

机械产品装配是机械制造过程中的重要组成部分。随着制造行业竞争的日益激烈, 提高产品装配性能和缩短产品开发周期对企业增强竞争力具有十分重要的意义。传统的虚拟装配软件都是通过建立产品数字化装配模型, 对产品的装配过程进行模拟与分析的设计操作。本文在研究了国内外虚拟装配技术现状以后, 充分考虑产品装配环节及各种相关因素的影响, 以整合虚拟装配软件的设计功能和装配分析功能, 改善装配的性能为目的, 运用 UML 技术设计了一套具有多种功能的机械模型虚拟设计装配演示系统, 重点讨论了实现模型设计装配演示所需要的功能和相应的系统内核设计, 从而为程序实现奠定基础。

近年来, 虚拟装配受到了学术界和工业界的广泛

关注, 一直都是许多大学和机构研究的热点。虚拟装配最早是由 Sankar Jayaram<sup>[1]</sup>首次定义, 并成功开发了以“虚拟装配设计环境”(VADE)命名的虚拟装配设计系统。随后众多学者纷纷开展虚拟装配的研究, 德国 Bielefer 大学的 B.Jung 等人<sup>[2]</sup>将虚拟装配描述为在虚拟环境中使用虚拟现实交互方式构建虚拟产品原型。Dewar, R.G<sup>[3]</sup>等提出了在虚拟环境中辅助进行手工装配的方法。希腊 Patras 大学 Chryssolouris<sup>[4]</sup>开发了虚拟装配工作单元, 通过装配工具和夹具固定零部件。Tom C<sup>[5]</sup>研究了虚拟装配环境中的碰撞检测技术。国内对虚拟装配的研究起步较晚, 但发展速度比较快, 同样取得了不少研究成果。但是这些虚拟装配的产品模型都是通过第三方软件进行设计, 很多主流 CAD 系统能够建立机械产品虚拟模型, 典型的有 UG、Pro/Engineer、CATIA、

① 收稿时间:2010-11-07;收到修改稿时间:2010-12-20

Solidworks、SolidEdge 等，这几款 CAD 软件都提供有草图、零件设计等功能，然后通过导入虚拟装配软件的方式进行演示分析操作，这样的软件缺乏整合性，不利于缩短产品开发周期。因此，本设计方案以研究产品设计为中心的虚拟装配为基础，综合上述相关文献技术，采用 NURBS 曲线曲面建模、OPENGL 图形渲染等技术，以增强装配模型设计功能为目的，使用户能够方便、直观地在虚拟环境中实现机械模型构建、装配干涉检测等过程，检验产品可装配性，找出零部件结构中不适合装配或装配性能不好的结构特征，及时修改产品设计，使整个过程能在更大程度上发挥了人的装配经验和创造能力，进一步缩短产品开发周期。

## 2 系统功能设计

软件系统首先设计了核心功能模块，再通过螺旋式的方式扩展功能，这样开发的系统易于实现，也易于测试和维护，功能模块间具有高内聚性和低耦合性。系统核心主要由多视角虚拟模型设计模块、交互式装配干涉检测模块、机械运动模拟演示模块组成。

### 2.1 系统总体框架和核心功能

产品几何模型的创建是检验可装配性和修改产品设计的首要步骤，为了便于产品模型的设计和完善，系统通过 NURBS 曲面建模技术，从不同的视角来构建产品几何模型，并利用 OPENGL 图形渲染技术搭建虚拟装配环境。除了 NURBS 构建模型外，系统考虑到部分用户侧重于装配的分析检测，还设计了三维 STL 模型导入接口和常用几何模型工具栏方便快捷建模实现虚拟装配模拟。产品模型生成或导入后，用户可对虚拟模型材质、颜色和方位等属性进行设计，也可以利用系统视口控制、场景灯光控制等功能对虚拟装配环境进行调整。然后用户可以根据模型的装配序列，优化装配工艺，实现整个装配过程，并通过碰撞干涉检测零件之间预期的装配效果，判断零件的装配移动路线干涉。用户依据干涉检测结论可以直接在系统中对产品模型进行调整，完善模型的设计，从而达到降低设计成本和减少开发周期的目的。最后，系统可利用机械产品运动仿真预测产品在真实条件下的运动状况。

因此，根据以上的分析，可以得到相应的 Use Case 图（如图 1 所示）。

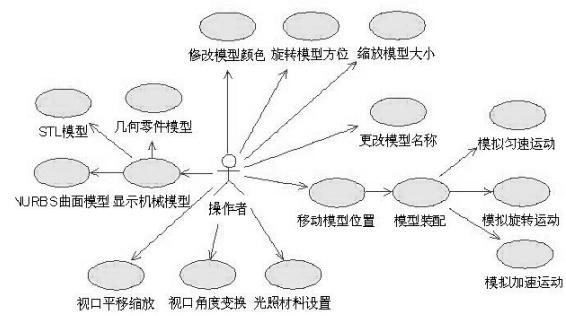


图 1 机械模型多视角装配模拟软件 Use Case 图

### 2.2 NURBS 多视角模型设计及其功能的细化

创建产品装配模型的核心问题是解决如何在计算机中表达和存储装配的信息，使之能够全面支持产品的设计过程，并为后续的装配规划、干涉检测等提供所需的信息数据。NURBS 模型方法<sup>[6]</sup>是用于曲线曲面设计最广泛流传的数学方法，可以用来定义任何二维曲面图形，也可以用来定义复杂的曲面模型。

给定  $k \times 1$  次 NURBS 曲面  $P(u, v)$  通过以下公式来实现：

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \omega_{ij} d_{ij} N_{ik}(u) N_{jl}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \omega_{ij} N_{ik}(u) N_{jl}(v)} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m d_{ij} R_{ij}(u, v)$$

$$u_k \leq u \leq u_{n+1}, v_l \leq v \leq v_{m+1}$$

其中， $d$  ( $0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq m$ ) 为曲面的控制顶点， $w_{ij}$  是相应控制顶点  $d_{ij}$  的权因子。 $N_{ik}(u)$ 、 $N_{jl}(v)$  分别是定义在节点矢量  $U = \{u_0, u_1, \dots, u_{n+k+1}\}$  和  $V = \{v_0, v_1, \dots, v_{m+1}\}$  上的  $k$  次和  $l$  次的 B 样条基函数。NURBS 曲面的有理基函数  $R_{ij}(u, v)$ ：

$$R_{ij}(u, v) = \frac{\omega_{ij} N_{ik}(u) N_{jl}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \omega_{ij} N_{ik}(u) N_{jl}(v)}$$

通过改变曲面  $P(u, v)$  的控制顶点、权因子或节点向量，使其创建或修改曲面形状。NURBS 曲面可以在  $u$  向或者  $v$  向计算  $P(u, v)$ ，也可同时在两个方向上计算。

因此，本系统提供用户创建结构简单的 NURBS 曲面和对 NURBS 曲面进行各种复杂操作(例如布尔运算等)的模型构建技术，可以从不同的视角将产品模型依次分解成 NURBS 曲面、UV 向的 B 样条曲线和指定控制点的信息来描述，形成具有层次性、操作性的

设计建模功能。

为了便于模型设计和构建，系统通过视点坐标变换开发了多个经典观察视角。当 NURBS 曲面进行复杂操作变换时，系统以视图或轴测图作为观察视角来编辑样条曲线、拟合点或控制多边形顶点等，并结合删除、复制、合并和分离等功能按钮完成对曲面形状的修改，如图 2 为各建模功能细化后的 Use Case 图。

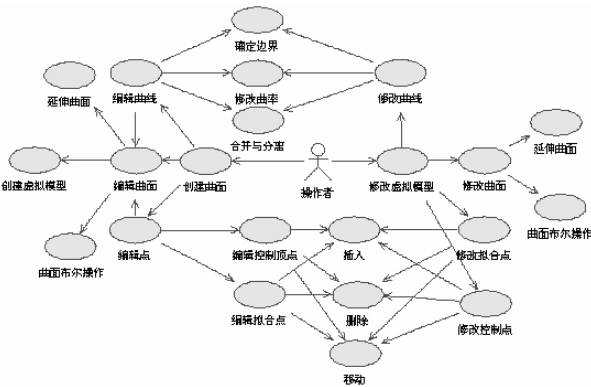


图 2 创建、修改机械模型功能细化 Use Case 图

### 2.3 交互式装配干涉检测及其功能的细化

虚拟环境下的交互式装配操作主要分成三个任务:抓取, 移动和安装, 实现各项任务的方式主要采用鼠标、键盘和数据手套等交互设备。用户首先通过交互设备抓取虚拟零件, 然后向待安放位置方向移动零件。此时系统连续采样零件在空间的移动位置作为轨迹采样点, 经过实时碰撞检测去检查零件是否与其它零件发生干涉, 若无干涉发生, 证明安装路径有效, 零件则被移动到安装位置。若发生干涉现象, 就要对该虚拟零件装配情况做出分析, 进而完善零件模型的设计。

在整个交互装配过程中, 抓取虚拟零件主要基于鼠标的拾取功能。当选定虚拟零件后, 虚拟零件将高亮显示拾取, 从而提高拾取的效率。出现干涉的零件将再次进入修改编辑状态, 用户可结合删除、复制、接合等功能按钮完善模型的设计。

### 2.4 机械运动模拟演示

经过交互式装配干涉检测, 虚拟零件将符合机械生产装配的要求。一款融设计和装配功能, 且能在多视角情况下操作的虚拟设计装配系统功能应该还是比较完整了。机械运动模拟演示就是运用粒子系统、物理模拟等三维仿真技术, 针对虚拟零件在引力或弹簧力

等作用力的情况下进行虚拟运动的过程。作用力不同, 其运动模拟效果不同。因此, 机械运动模拟演示主要是通过作用力来检验运动效果的过程, 功能主要涉及机械零件装配后的匀速、加速或旋转运动等。

## 3 系统内核的设计

面向对象的编程技术 (OOP)<sup>[7]</sup>是当前程序设计的主流方法, 能充分考虑类模块的划分、类之间继承与派生的关系、类消息传递和数据交换等情况, 有利于系统功能的实现和扩展。因此, 本系统内核采用面向对象的思想, 以 MFC 框架平台为设计基础, 将一些算法操作封装成对象, 使每个对象都继承一个通用的基类, 并采用树型结构来管理这些对象, 最后通过 OpenGL 图形系统作为显示核心渲染效果。

系统建模对象是各类机械几何模型。几何模型可以具体到点、线、面和实体等几何对象, 各类对象之间又存在各种关系, 如拓扑关系等。在面向对象的软件开发中, 对几何对象的管理和操作主要表现在设计和开发一系列的类来管理和操作这些几何模型和它们之间的关系。系统将功能相对集中、可重复利用率高的类或函数组合成一个动态链接模块库, 并在这个库的基础上开发出多个单独的功能模块, 形成模块间资源共享, 从而节省程序运行消耗。本系统设计了两个动态连接模块库分别为几何基本模型库(Geombass.dll)和装配操作基本功能库(Fabricbass.dll), 图 3 描述了系统内核的层次结构。

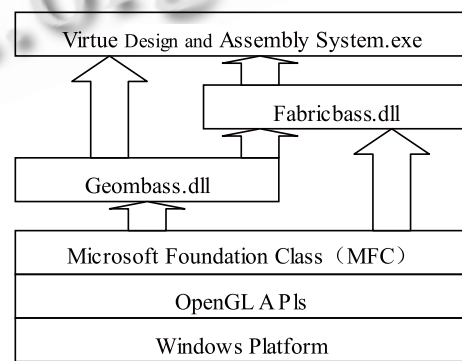


图 3 系统内核层次结构

一个完整的机械模型设计装配过程将产生众多的几何模型, 为了能优化装配序列, 确保设计过程中能任意修改装配工艺, 系统采用了双向迭代链表(list)的设计思想, 它可以在装配的任意时刻快速插入或删除

几何模型。双向迭代链表还是一个环状链表，只需要一个指针，便可以完整表现整个链表，并有能力进行正确的递增、递减、取值、成员存取等操作。所以,本系统选用双向迭代链表作为几何模型显示和装配核心。如图4是系统的内核层类图,图5~图6为本文实现的原型系统。

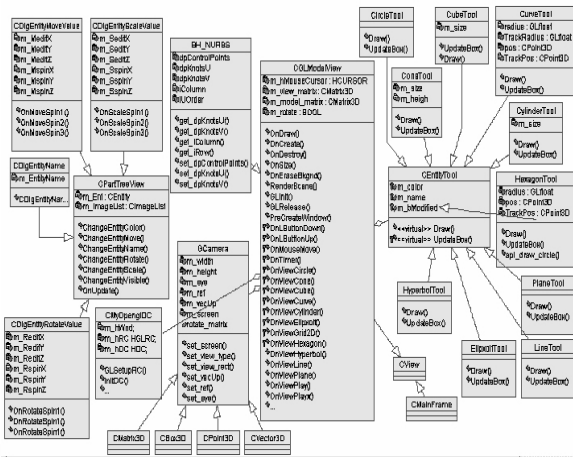


图4 系统内核层类图

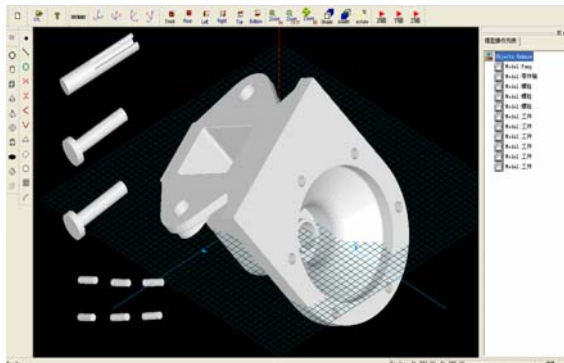


图5 网格环境下创建机械模型装配零件图

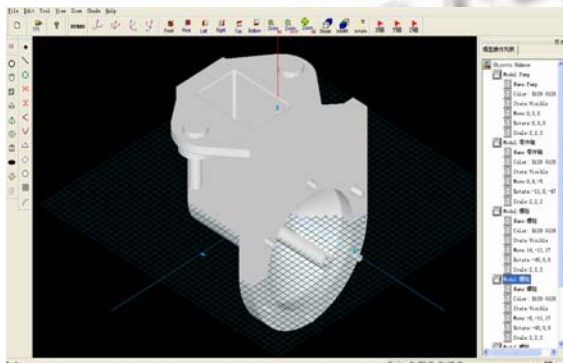


图6 网格环境下机械模型装配效果图

### 4 结束语

机械模型虚拟设计装配系统的开发,可以使开发新产品的设计与装配流程向着数字化的方向发展。在虚拟环境中,对产品进行构思、设计、装配和测试,摆脱了传统的产品开发过程,实现了产品的设计分析与装配过程逐步由计算机虚拟仿真技术来替代,从而解决企业在产品开发过程中数量、成本和服务等问题,大大提高了企业的竞争力。系统还将在功能上不断完善,以实现一般普通用户都能进行机械产品虚拟的设计、装配和分析。

### 参考文献

- 1 Jayaramn S, et al. VADE: a virtual assembly design environment. IEEE Computer Graphics and Applications, 1999,19(6):44-50.
- 2 BkaeshCuPta. PortotPying and design for assembly analysis using multimodal viurial environment. Computr Aided Design, 1997(29):585-597.
- 3 Dewar RG, CarPenter ID. Assembly Planning invirtual environment Innovation in Technology Management The Key to Global Leadership. PICMET' 97: Portland International Conferenceon Management and Technology, 27-31 Jul 1997: 664-66.
- 4 Chrysolouris G, Mavrikios D, Fragos DA. virtual reality-based experimentation environment for the verification of human-related factor in assembly processes. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2000,16:267-276.
- 5 Tom C, Judy J. The use of the voxmap Pointshell Method of Collision Detection in virtual assembly methods planning, 2001 ASME Design Engineering Technical Conferenes and Computers and Information in Engineering Conference Vol.2, 27th Design Automation Conference, 2000,2: 1169-1172.
- 6 朱心雄.自由曲线曲面造型技术.北京:科学出版社,2000.
- 7 王清辉,等.Visual C++CAD 应用程序开发技术.北京:机械工业出版社,2003.