

基于装配技术的管网场景仿真系统研究

Research on Scene Simulation for Pipeline Network Based on Virtual Assembly

熊 怡 李利军 (华中科技大学数字化工程与仿真中心 武汉 430074)

摘要:本文提出了一种基于装配技术的管网三维可视化的方法,分析并构建了管网场景仿真系统的功能模块和体系结构。针对 CAD 系统和虚拟环境之间的数据转换问题,采用了层次结构模型来表达管件模型。在虚拟环境中,通过对模型进行凸包分解,实现了精确碰撞和干涉检测。系统实现效果表明,基于装配技术和碰撞检测技术的管网可视化方法可更为灵活、逼真的实现管网的三维再现。

关键词:管网 虚拟装配 碰撞检测 三维可视化

1 引言

国内多数管网信息系统是 2 维或 2.5 维的,而管线在地下的分布纵横交错,二维图形无法直观的表现管线之间的复杂的空间关系。目前国内外许多机构都在研究管网三维可视化,并取得了一定的算法成果^[1-3],但这些算法在生成简单的直管或弯管模型时效率较高,对于复杂的管件模型,如三通、阀门、变径接头等附属设施,仍然需要进行抽象建模,作为立体符号存储在数据库中,在场景渲染时重新调入系统,因此导致了整个三维系统效率的低下。

虚拟装配(Virtual Assembly, VA)是虚拟现实技术的重要研究领域之一。虚拟装配技术是在计算机上进行三维模型的装配,并对零部件进行干涉检验。虚拟装配基于虚拟现实(Virtual Reality, VR)的多维信息空间,重点在于直观的人机交互,这种装配具有直观、易于理解,便于交互、沉浸感强和实时性好等特点,为工程结构三维可视化和操作可视化提供了一种有力的工具。本文即是基于 VA 思想,将虚拟三维管网看作是多个管件模型的组合体,考虑在虚拟装配环境中,通过直接操作管件完成装配操作,以可视化的方式使用各个离散的管网形态模型构建出完整的管网系统。

2 虚拟装配环境下管件的层次模型

2.1 CAD 系统与虚拟装配系统之间的数据集成

模型表达方法是虚拟装配领域的基本问题之一。

已有的 CAD 系统的产品模型一般采用精确的数学形式表达模型的几何信息,模型包含大量的工程设计信息,需要耗费大量的时间用于模型的显示,难以实现复杂模型的实时交互显示^[4]。虚拟现实环境中的模型则是通过简化的多边形面片模型(通常为三角面片模型)来描述的^[5],三角面片模型处理模型显示、碰撞检测问题的方法简单,计算量小,能够很好地满足 VR 系统实时性的要求,但同时也损失了零件模型大量的工程几何信息及拓扑信息,给表达与确定管件间的装配关系带来了困难。可见,单独的三角面片模型与 CAD 模型都难以满足虚拟装配系统交互实时性和信息完整性的要求。

针对 CAD 系统与虚拟装配系统之间的数据集成问题,本文提出虚拟装配环境下管件的层次信息模型,如图 1 所示。在虚拟装配环境中,零件被 3 层结构所描述:管件层、几何面层和三角面片描述层。一个管件模型由若干个几何面(或几何元素)组成,包括平面、柱面、球面和曲面(又分为规则曲面和不规则曲面)等,而每一个几何面由若干离散化的三角形面片组成。

几何面层以面为基本单元,通过边界表示方法精确地记录了零件的几何形状。面单元信息包括该面的方程描述以及组成该面的环、边、点等边界信息,面单元间的关系主要体现为几何面之间的邻接关系以及约束关系。三角面片层以三角形小面片为基本单元,记录了组成管件的各小面片的顶点坐标、顶点法矢、面片

颜色以及纹理信息。

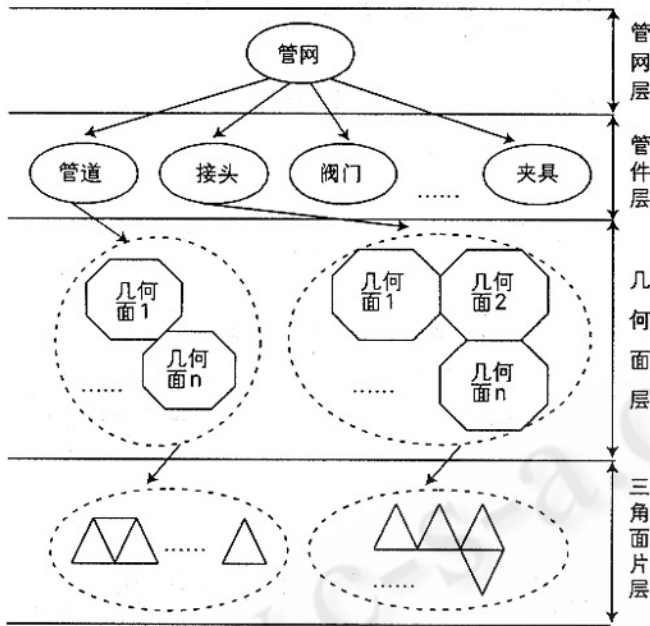


图 1 管件模型的层次描述结构

型的整体描述结构。管件 CAD 模型的几何要素到虚拟环境模型的几何要素之间的映射关系为：

- (1) 面 $\langle \dots \rangle$ 面原点 $O(x,y,z)$ ，面法向量 n ；
- (2) 轴线 $\langle \dots \rangle$ 轴线两端点 $P_1(x,y,z), P_2(x,y,z)$ ；
- (3) 球面 $\langle \dots \rangle$ 球心 $O(x,y,z)$ ，球半径 r ；
- (4) 圆柱面 $\langle \dots \rangle$ 轴线两端点 $P_1(x,y,z), P_2(x,y,z)$ ，半径 r ，圆柱面的起始角 α_1 和终止角 α_2 ；
- (5) 规则曲面 $\langle \dots \rangle$ 三角形面片，顶点满足曲面方程。

通过这种映射，虚拟管网装配系统在进行显示时，采用管件的三角形面片模型，以满足渲染和显示要求，而在进行虚拟装配时，同时又能充分利用相关的工程几何信息。

3 管网场景仿真系统体系结构

本文从虚拟装配的角度，构建了管网场景仿真系统的体系结构，如图 2 所示。外部 AutoCAD、Creator、3D Max 设计好的零件几何模型、面片模型以及其他声音、纹理文件经过整合后存放在数据库中，通过系统提供的接口导入装配环境中。零件模型在装配环境中的初始位置由用户指定，用户可以调整视点和方向观察装配场景中的管件，并可对管件进行选取、平移、旋转、释放等操作，操作过程中系统进行实时动态的碰撞检测。

二维 GIS 模块提供 GIS 基本功能，包括管网的点、线、多边形等要素及其属性数据的编辑修改。在对管网管件二维图形要素修改后，二维 GIS 模块能够通过网络连接向虚拟装配环境传送编辑修改管件模型命令。虚拟装配环境通过响应二维模块的请求，添加、删除或者替换管件，并对管网管件进行虚拟装配以及实时显示更新后的管网三维场景。

虚拟装配环境中包括一个总控模块和五个功能模

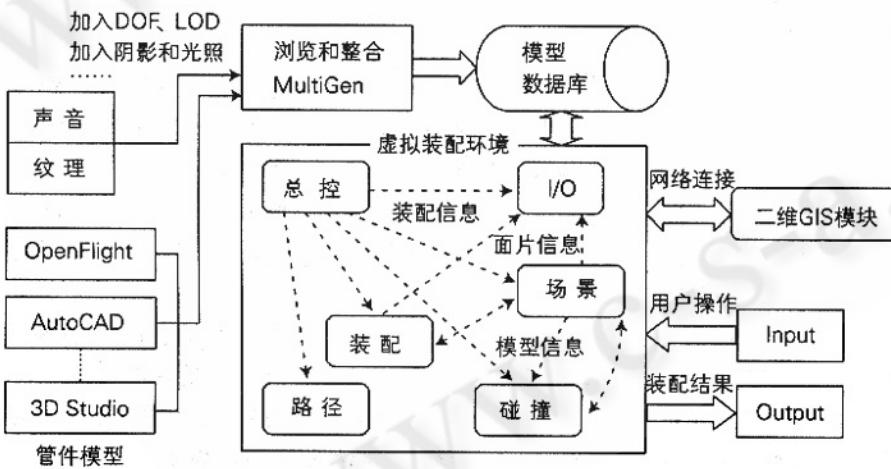


图 2 管网虚拟装配系统体系结构

2.2 CAD 模型到虚拟环境模型几何要素的对应关系

从 CAD 模型导出的工程几何信息与管件三角面片信息存在两个相互独立的文件中，虚拟装配系统在加载管件模型时，需要在这两部分数据之间进行关联和映射。映射机制将管件所有离散化的三角形面片与相应的几何面关联起来，从而形成虚拟装配环境下模

型的整体描述结构。管件 CAD 模型的几何要素到虚拟环境模型的几何要素之间的映射关系为：

虚拟装配环境中包括一个总控模块和五个功能模

块。总控模块负责管理和协调虚拟装配系统的各功能模块,接受各模块发送来的各种消息,并根据消息的类型和名称,发送对应的消息到处理该消息的功能模块。文件及接口管理器 I/O,负责转换和存取模型数据。场景管理模块,处理用户与场景之间的所有交互,包括装配操作(零件选取、平移和旋转)、装配环境设置、装配场景中漫游等。装配管理模块负责创建和管理装配关系模型,在总控模块的协调下,与场景管理模块共同完成管件的选取、移动和释放。碰撞检测模块负责在装配操作时提供实时的碰撞检测,捕捉当前操作管件的位置数据,并计算该管件在某一时刻与场景中其他元素是否碰撞。路径生成与管理模块负责创建和修改漫游路径,为路径增加关键点,根据路径信息生成管网三维场景漫游过程动画。

4 基于装配技术的管网系统实现

4.1 实时碰撞检测技术

虚拟装配系统中的管网管件,是以计算机产生的几何模型形式而存在的,这样物体就可能占有一样的空间和穿透性,或者以一种非现实的途径相互穿插。交互装配操作时,要求系统能够快速判断当前的碰撞干涉情况并做出响应,如发生碰撞则停止管件结构的进一步运动,以校验三维模型的配合情况。

装配环境中每个管件对应一个包围盒,并且在建立碰撞检测场景时将所有模型进行凸包分解,保存每一个模型的凸包信息,并采用自顶向下策略将这些凸表面片合理地组织成为一棵节点均为凸体的层次二叉树。进行实时碰撞检测时,首先对包围盒模型进行快速判断,仅对包围盒重叠的模型才调用面片模型间关系判断算法,而两个面片模型间位置关系计算根据凸包位置关系的方法来判断。

4.2 管件的装配

各管件模型之间的装配关系都可归结为贴合和配合两种基本类型。贴合装配适用于两管件的面和面之间,在贴合算法中采用的是法向量装配法,一般根据轴心线进行装配。配合装配关系存在于夹具和管道之间,这种装配允许两配合管件间的相对转动或沿轴心线移动。

具体操作上,是根据管件模型的几何信息和工程设计信息,通过编程实现零件的组装。其装配过程可

描述为:先选择一个管件为基准,再选择其它和该管件有装配关系的管件为装配体,然后选择装配方式,自动计算,完成组装管件模型的过程。对该过程反复进行,就可构造出三维管网场景。图 3 为管段的贴合装配图。

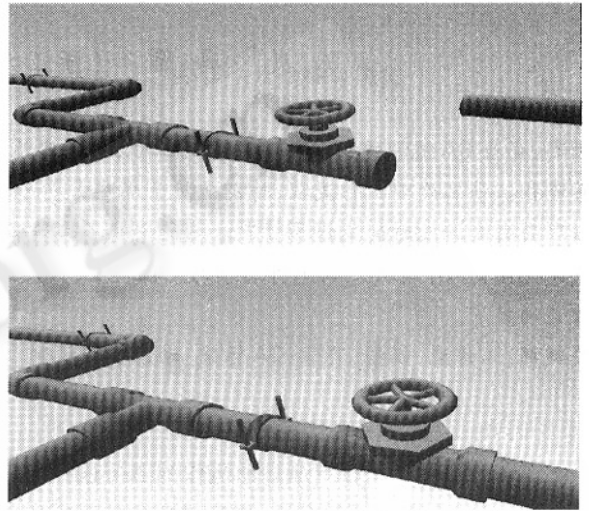


图 3 管段的贴合装配图

5 结束语

系统实现效果表明,基于虚拟装配技术的管网可视化方法与传统的管网三维可视化方法相比,可更为灵活、逼真的实现管网的三维再现。

参考文献

- 1 李清泉、严勇、杨必胜等,地下管线的三维可视化研究[J],武汉大学学报·信息科学版,2003,28(3):277-282。
- 2 丁根宏,三维空间管道的重建与分析[J],数学的实践与认识,2003,33(9):91-95。
- 3 彭文祥,基于轮廓线的管网数据的3维可视化研究[J],测绘通报,2004,11:45-47。
- 4 KANG Y M, CHO H. Complex deformable objects in virtual reality[A]. Virtual Reality Software and Technology Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology[C]. 2002:49-56.
- 5 刘振宇、谭建荣、张树有,面向虚拟装配的产品层次信息表达研究[J],计算机辅助设计及图形学学报,2001,13(3):1-6。