

基于虚拟现实的球形机构分析*

李刚俊**

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】利用虚拟现实的方法来设计球形机构，并把VR作为一种全新的设计接口，可在三维空间中实现球形机构的设计和论证。开发了一种新方法设计球形机构，该方法可使设计者随意在由固定物体构成的设计环境中放置移动物体的几何模型，固定物体作为机构的基础和可能的运动干涉体，从而在考虑机构与环境干涉问题的同时，实现机构的运动分析。

关键词 虚拟现实；球形机构；设计环境；运动分析

中图分类号 TP242

机构是一种能将运动或力从起始点转移到输出点的一种机械设备，它一般由刚性杆件构成，通过铰联接在一起。通常要求机械工程师设计机构来完成一项独立的任务或作为某一大型机器的一个部件。Freudenstein首先利用计算机来进行机构设计，由此发展了许多计算机辅助机构设计软件包，其中包括KINSYN，LINCAGES和RECSYN。

从传统意义上来看，机构设计集中于平面运动分析，但从80年代末期，人们开始研究利用计算机来进行空间机构设计。Thatch和Myklebust指出，发展计算机辅助空间机构设计的困难之一在于制定三维的输入参数，于是发展了一种叫Mechin的软件来帮助设计者制定这些输入参数^[1]。Chen和Erdman利用LINCAGES实现了球形四杆机构的分析^[2]，McCarthy和Larochelle引入了Sphinx专门用于球形四杆机构的分析^[3]。近年来，SphinxPC实现了在Windows平台上的球形机构设计^[4]。

由于设计者必须在三维空间中进行观察和交互，所以在球形机构分析中很难进行设计选择。平面机构分析只要求二维显示和交互，所以它很适合于当前的鼠标和显示器这种人机交互界面，Sphinx和SphinxPC要求使用者与三维物体进行交互，但仍然使用传统的二维的交互界面。Osborn和Vance将球形机构分析看作虚拟现实技术的潜在应用，确信由VR提供的3-D可视和交互将极大地有助于设计者的工作^[5]。

本文描述了利用VR技术进行球形机构设计。首先建立了虚拟球，将坐标系置于该球上，并利用Newton-Raphson迭代法来解非线性方程，最后建立与Sphinx交互界面，实现机构设计的目标。

1 球形四连杆机构及其运动合成

一个球形四连杆机构由四杆构成，通过销或铰相连。相对于平面四杆机构，球形四杆机构的旋转铰轴线交于一点，并且其输出运动轨迹位于一个球形表面。

球形机构可以让设计者通过建立一个连杆机构来实现球面运动，在一定的条件下用来代替双平面连杆机构，可以利用较少的运动部件来实现平稳的空间运动。球形机构已运用于帮助残疾人的一些设备中，也可用于代替制造生产线上执行重复任务的机器人。

用于球形机构设计的计算机辅助设计软件被用于进行球形机构的合成，该机构可以将一个物体从起始点经过一系列空间指定方位移动到指定目标位置，该任务称为刚体导向或运动生成^[6]。Sphinx、SphinxPC等都致力于研究能够引导物体通过四个指定方位的机构合成，一旦这四个方位被

2001年5月23日收稿

* 国家自然科学基金资助项目，编号：59975077

** 男 35岁 博士生

指定,就可利用Burmester平面理论的球形一般化来确定所有能实现这一任务的机构的集合。这四个方位的Burmester方程解是两个立方体锥,分别被称为固定轴锥和移动轴锥。固定轴锥是所有能引导移动物体通过四个指定方位的球面并矢 RR 的固定轴的集合,而移动轴锥则是其移动轴的集合。可将球形四杆机构看作两个球面并矢 RR 的组合,其中每个并矢由一对固定和移动轴构成。这样就可得到一个两维解集,从任一锥中选择两点定义两个并矢,再通过并矢的组合就能定义能完成任务的机构。

固定和移动轴锥定义了所有能实现引导物体通过四个指定方位的机构,然而Burmester解还不足以获得实际解,必须进行进一步的分析以检查机构的类型是否为输入可驱动型机构,是否四个指定方位按照所希望的次序到达,这些行为准则称为解的校正^[7]。Sphinx和SphinxPC也都进行了必要的解的校正,并且将结果作为类型图^[8],类型图将显示所有由Burmester理论产生的解,并按照种类标以不同的颜色,通过过滤可显示输入可操作且按次序通过指定方位的机构,设计者可以从中选取一个机构,而该机构就是所要求任务的实际解。

2 设计过程

2.1 设计方法

不同于以往的球形机构设计方法,本文建立的设计环境开始是完全空白的空间,并不出现限制球体,只有当需要建立机构设计位置时才引入限制球体,同时设计者可以选择引入一些实际物体的几何模型到设计环境当中。例如,可以选择一张桌子的模型,将其放入设计环境中作为基础来设计其周围的一个机构。设计者还可以利用几何文件来定义一个位置合成任务,例如,可以放入一个可移动的磁盘作为要移动的目标体,几何文件可以来源于CAD文件,如AutoCAD、Pro / Engineer以及3D Studio等造型文件。

一旦载入了一个可移动几何体,设计者就可以抓着它,并将其自由地放置于空间内。为了方便地精确放置几何体,设计者打开选择开关将运动限制在空间坐标系的 $X-Y$ 、 $X-Z$ 或 $Y-Z$ 平面内。为了减少视觉混乱,定义位置合成任务的几何体应设为半透明,但当其被操作时,几何体就变成不透明,从而使设计者集中注意特殊位置。

当设计者放置好移动几何体的第一个位置后,实例立即就被建立起来并可移动至另一空间位置。通常第一和第二位置代表连杆运动的希望起始和目标结束位置,第一个位置可以自由确定,为了保证在第一和第二位置之间实现纯球面运动,必须对第二个位置加以一定的限制以使第一和第二个运动坐标的 Z 轴相交。一旦确定了第一和第二个位置,也就定义了限制球面并可以显示出来,剩余的两个位置就被限制在上两个位置所定义的球面上。

当完成四个位置的选择后,设计者应选择机构通过其秩序,就可形成固定轴锥和移动轴锥或生成类型图。将位置信息输入Sphinx计算机程序,Sphinx算式将返回适当的信息。

利用几何模型进行机构的运动合成能使设计者立即看出一个机构对于其目标是否是可行的,物体之间所不希望的碰撞可以立即被发现,并可立即修改设计。例如前面提到的桌子和磁盘,桌子作为机构的基础,所设计机构的任务就是移动该磁盘从其工作位置到指定目标位置。

2.2 类型图

如前所述,类型图是一个二维图,它显示Burmester理论产生的结果,不同机构用不同的颜色表示,利用VR显示的优势,并且将类型图引入了三维,通过输入可驱动测试,并将依次到达指定方位的连杆机构显示在所有解集之上的一个平面上,而未通过测试的解则在类型图上暗下来。这样就一起显示出好的和坏的机构,而好的机构很容易同不希望的机构区别开来。

如果设计者在代表连杆机构类型的着色区选择一个点,而这类机构正是他要分析综合的,则对应该点的机构将出现,并伴有连杆机构类型和折叠条件的信息。

2.3 设计论证

一旦机构被合成,就能被激活以完成所要求的任务,保持其透明状态,而不透明的可移动几何物体就随机构的联接杆运动,设计者就可以观察机构运动的平稳性,运动过程中是否发生碰壁。VR界面可让设计者在设计对象的四周移动,并从任何角度观察机构的运动,由于设计者的观察点是按照人类的自然运动而变化,将使对机构运动的研究变得非常直观。

在设计者完成对一个机构的综合之后,一个输出文件就产生了,该文件是一个增广Sphinx文件,可被Sphinx阅读,除了包含Sphinx使用的数据外,还包含有关环境内几何模型的位置信息。

2.4 程序使用简介

用于合成球形机构程序的简要流程框图如图1所示。流程框图的平行部分表示可选择的路径,例如使用者可以引入几何体或简单地用坐标轴来定义一个合成任务,作为选择,以往保存的机构也可以被载入程序。为了产生或再设计一个机构,即可以使用锥也可以使用类型图,使用者可以改变位置并再产生锥或类型图直到获得圆满的结果,虚拟场景的几何显示利用World Tool Kit建立。

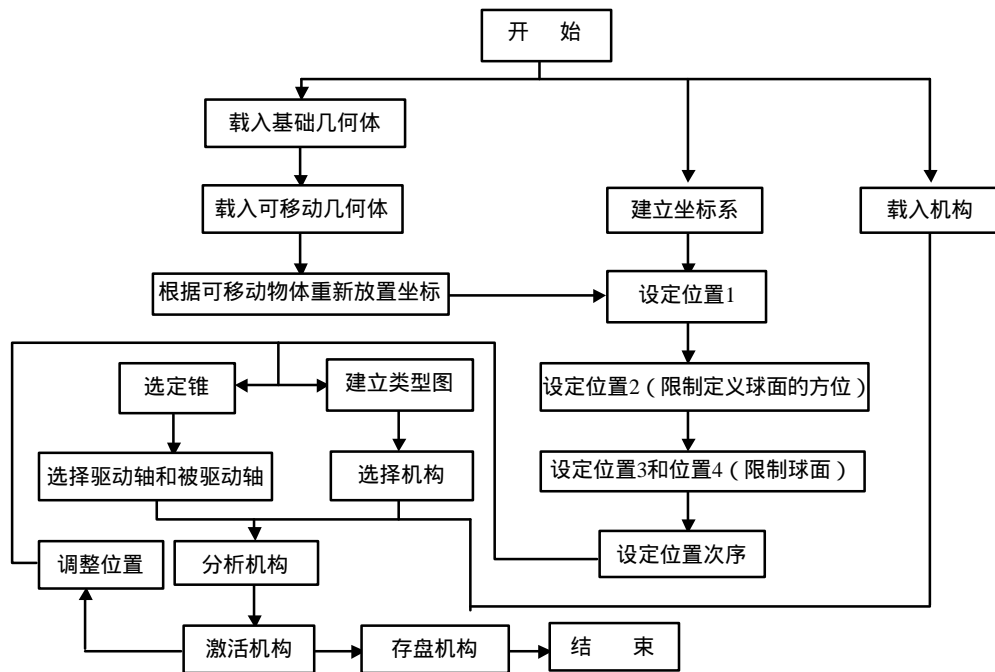


图1 程序流程框图

3 结论

在工程设计中利用计算机技术的情况在不断增多^[9,10],本文所作的工作反映了虚拟现实技术与机构设计的结合。VR可视化的优点已为人们所了解,VR中的交互方式正向自然界面发展。本文利用最新的VR设备,程序内的交互并不是工作站界面的一种改变,而被写成了一种虚拟环境,其中交互和观察都很直观。通过新的设计界面,一个机构和其工作环境、工作对象的三维显示,以及其他相关的信息,呈现出了一个完整的设计画面。

参 考 文 献

- 1 Thatch B R, Myklebust A. A PHIGS-based graphics input interface for spatial mechanism design. IEEE Computer Graphics and Applications, 1988, 8(3): 26~38
- 2 Chen X Q, Erdman A G. Systematic synthesis of spherical four-bar mechanisms. First National Applied Mechanisms and Robotics Conference, University of Cincinnati, 1989, 89AMR-78-5
- 3 Larochelle P M, Dooley J R, Murray A P, *et al.* SPHINX: software for synthesizing spherical 4R mechanisms. NSF Design and Manufacturing Systems Conference, 1993, 1: 607~611
- 4 Ruth D A, McCarthy J M. SphinxPC: an implementation of four position synthesis for planar and spherical 4R linkages. Proceedings of ASME design Engineering Technical Conferences, 1997
- 5 Osborn S W, Vance J M. A virtual environment for synthesizing spherical four-bar mechanisms. Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences, Boston, 1995, DE-83: 885~892
- 6 Erdman A, Sandor G N. Advanced mechanism design: analysis and synthesis. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1997
- 7 Waldron K J, Strong R T. Improved solutions of the branch and order problems of Burmester linkages synthesis. Mechanism and Machine Theory, 1978, 13(2):199~207
- 8 Murray A, McCarthy J. A linkage type map for spherical 4 position synthesis. Proceedings of ASME Design Technical Conferences, Boston, 1995, MA, DE-82:833~838
- 9 Du Pingan, Li Jing, Liu Yu. The CAD system of videocorder appearance design. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1996, 25(2):223~224[杜平安, 李 靓, 刘 愚. 录像机外观造型 CAD 系统的开发. 电子科技大学学报, 1996, 25(2): 223~224]
- 10 Jiang Bo, Du Pingan, Yang Dong. Research and development of auto CAD feature-based part design. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1999, 28(1):45~48[江 波, 杜平安, 杨 东. 基于特征的零件设计系统的研究和开发. 电子科技大学学报, 1999, 28(1): 45~48]

Spherical Mechanism Analysis Based on Virtual Reality

Li Gangjun

(School of Mechanical Eng., Southwest Jiaotong University Chengdu 610031)

Abstract This paper present a new approach which uses virtual reality (VR) to design spherical mechanism. VR is a new design interface, which can provide a three dimensional design space. The new approach allows a designer to freely place geometric models of movable objects inside an environment consisting of fixed objects. The fixed objects can either act as a base for a mechanism or be potential sources of interference with the motion of the mechanism. The approach allows a designer to perform analysis of a mechanism while giving consideration to the interaction of that mechanism with its application environment.

Key words virtual reality; spherical mechanism; design environment; kinematic synthesis