

文章编号: 1005—0523(2009)01—0105—06

利用 VRML 实现行星轮系机构运动仿真

任继文

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:虚拟设计是 CAD 研究的重要内容, 它在机构设计中得到广泛应用, 现在许多 CAD 软件都可以对机构进行虚拟设计并进行运动仿真以验证其正确性. 但其存在文件大、交互性差、不便于网上传输的缺点, VRML 对解决该存在的问题提供了一种崭新的思路和方法. 本文介绍了 VRML 语言特点, 研究了利用 CAD 软件和 VRML 建立虚拟静态模型和动态模型的方法与原理, 并以行星轮系机构为例重点阐述实现其运动仿真的关键技术.

关 键 词: VRML; 行星轮系结构; 运动仿真

中图分类号: TH162.0

文献标识码: A

在机构设计中, 希望能够对所设计的机构及其运动状况通过三维图形仿真的方式进行考察验证. 随着计算机的迅速发展, 越来越多的 CAD 软件可以用以完成此项工作, 如 Pro/E、IDEAS、UG 等, 均有强大的三维图形仿真功能. 但它们都是建立在昂贵的软硬件基础之上, 建立的文件庞大, 不便于网上传输, 缺乏交互控制功能, 而且对人员的专业素质要求也很高, 不适于推广. VRML (Virtual Reality Modeling Language) 和虚拟现实 (VR) 技术提供了一种很好的解决方案. 本文以行星轮系机构为例, 采用 VRML 结合 Pro/E、JavaScript Java 语言等构建可交互控制其运动的三维行星轮系机构运动仿真系统.

1 VRML 语言简介

VRML 即虚拟现实建模语言, 是描述虚拟环境中场景的一种标准, 利用它可以在 Internet 上建立交互式三维多媒体虚拟境界, 可以在其中漫游, 并可以通过网络共享这些虚拟世界.

VRML 的基本特征包括: 分布式、交互式、平台无关、三维、多媒体集成、逼真自然等, 被称为第二代 Web. 其应用领域非常广泛, 包括科学研究、教育、工程、建筑、商业、娱乐、广告、电子商务等, 已被越来越多的人所重视^[1].

VRML 发展历史并不很长, VRML 1.0 于 1995 年问世, VRML 2.0 于 1996 年问世, 其新特性主要有以下几点: 对静态场景描述有所增强; 增加了交互性; 增加了动画和行为的描述; 增加了构造原型的功能. 1997 年 12 月, VRML 作为国际标准正式发布, 并于 1998 年 1 月获 ISO 批准, 称为 VRML97.

在工程设计方面, 因为 VRML 是三维格式, 不但吸引了广大 CAD/CAE/CAM 系统的使用者和开发者, 而且受到世界上主要 CAD/CAE/CAM 开发者的关注和支持, 比如 UG、Pro/E 等, 可以说对 VRML 的支持已经逐渐成为 CAD 系统的标准.

VRML 文件 (.wrl) 本身是文本文件, 它采用了“可执行代码技术”, 实现在 Internet 上的三维场景传输, 即 VRML 文件本身只定义了客户端应如何渲染的指令而不是渲染后的场景. 这样, VRML 文件比表示相同三维

收稿日期: 2008—09—22

作者简介: 任继文 (1969—), 男, 江西鹰潭人, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟设计 CAD/CAPP/CAM 等研究工作.
(C) 1994-2024 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

对象的其他文件格式要小得多,这无疑对于克服 CAD系统中零件及装配体的三维模型文件庞大,难于传递交流的缺点带来希望.

VRML还具有交互性强的特点.以往的动画制作软件所生成的文件都很大,而 VRML格式以脚本语言定义动画,大大缩短了文件长度.

2 基于 VRML的行星轮系机构运动仿真的实现

本文实现虚拟现实环境下的机构运动仿真分两个步骤:首先必须建立运动机构的静态虚拟模型,即 VRML文件 (* . wrl),并在 VRML语言环境下把它们安置在正确啮合的位置;其次运用 VRML强大的浏览、动画及交互功能实现机构在虚拟环境下的运动仿真.

2.1 静态模型的建立

建立运动机构各个零件的虚拟现实静态模型,主要有两种方法,一是利用 VRML语言本身具有的造型功能;二是利用支持 VRML的 CAD软件建模,然后转化为 VRML文件 (* . wrl).第一种方法主要用于比较简单、规则的模型,建立的模型文件较小,对于形状复杂的模型,采用该方法就显得非常烦琐,此时可以采用第二种方法.第二种方法利用大型 CAD软件强大直观的建模功能,能够快速完成复杂模型的建立,由于它们往往具有直接转化为 VRML文件的功能,因此可以很方便地得到所需要的虚拟现实静态模型.但它得到的 VRML文件 (* . wrl)较大,从而使得模型加载及导航的速度都很慢.

本文建立的行星轮系机构由于组成零件少,为快速建立模型,主要采用第二种方法,首先利用 PRO/E建立行星轮系机构各构件模型^[2],并转化为 VRML文件输出,其格式为 VRML V1.0;再通过格式转换软件工具 3D Exploration转变为 VRML V2.0,并对其材质、颜色等进行编辑;最后利用 VRML语言的 InLine节点,参考 PRO/E模型尺寸,在合适的位置、方位来调用各个零件的 wrl文件,重新组装成虚拟行星轮系机构,各构件的定位可利用 transform节点的 translation、rotation、scale参数设置实现各构件建模局部坐标的平移、旋转、缩放来完成.行星轮系机构静态建模过程如图 1所示,由于每个构件的内容均在单独的文件内,主程序只用一行 InLine参数表示,因而程序内容得以大大减少.

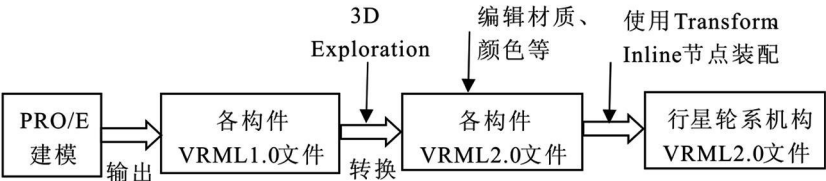


图 1 行星轮系机构静态虚拟建模过程

2.2 VRML实现动画的原理

利用 VRML实现机构运动仿真实质上是依靠一个给定的时间传感器 (TimeSensor)、一系列各种各样的插值器节点 (如方向插值器节点 OrientationInterpolator,位置插值器节点 PositionInterpolator等)和 ROUTE语句来实现的关键帧动画.其基本原理是时间传感器给出一个控制动画效果的时钟,这个时钟包含了关键帧动画的开始时间、停止时间、时间间隔和是否循环等动画控制参数,然后通过这个时钟的输出,在虚拟场景中驱动各种插值器节点,插值器节点中定义了 n个关键点 (key)和 n个关键值 (keyValue),VRML浏览器根据插值器节点的设置,通过线性插值的方法完成整个动画过程.插值器节点的数据传递给运动模型的 transform节点,控制模型的平移、旋转等图形变换矩阵驱动模型运动,整个数据传递过程通过 ROUTE语句来实现.

以上方法只能够实现模型的匀速运动,而对于变速运动需要使用 VRML提供的用于复杂运动的接口:脚本节点 (Script).脚本节点实际上是 VRML与外部编程语言的接口,对一些需要在虚拟场景中实现的复杂行为都可以通过该节点使用 Java或 ECMAScript(即 JavaScript)编程实现.图 2所示为 VRML实现动画的两种方法,由于行星轮系机构的运动为匀速运动,故本文采用插值器控制运动的方法即可.

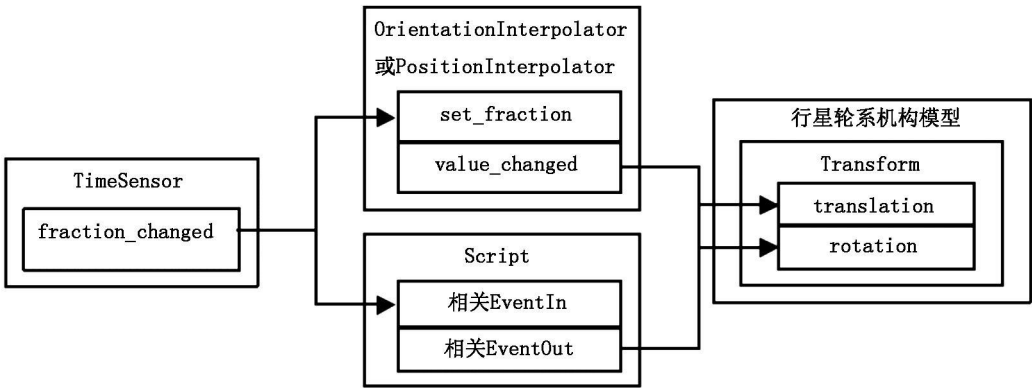


图 2 VRML实现动画的原理

2.3 行星轮系机构运动仿真数据的生成

要生成行星轮系机构的运动数据,必须搞清楚两个问题:一是组成轮系各构件的运动形式;二是组成轮系各构件的运动关系.

首先,如图 3所示,行星轮系机构由中心轮 1、行星轮 2、系杆 H和基架 3组成,中心轮和系杆 H绕中心轴转动,行星轮运动形式包括绕中心轴公转和绕自身轴线的自转^[3].

其次,行星轮系各构件的运动关系取决于它们的传动比.行星轮系的传动比计算可以采用反转系杆法使得行星轮系转化为定轴轮系,如表 1所示.设行星轮系中的两个中心轮分别为 1和 k

$$\frac{\omega_1^H}{\omega_k^H} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_k - \omega_H} = \pm \frac{z_2 z_3 \cdots z_k}{z_1 z_2 \cdots z_{k-1}}$$

对于行星轮系, $\omega_k = 0$

$$\frac{\omega_1^H}{-\omega_H} = 1 - \frac{\omega_1}{\omega_H} = 1 - i_H,$$

故 $i_H = 1 - i_{1k}^H$.

对于本例, $z^1=24, z^2=9, z^3=42$,

$$\frac{\omega_1^H}{\omega_3^H} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2} = \frac{42}{24} = -1.75$$

$$\frac{\omega_1^H}{\omega_2^H} = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_2 - \omega_H} = \frac{z_3}{z_1} = -\frac{9}{24} = -0.375$$

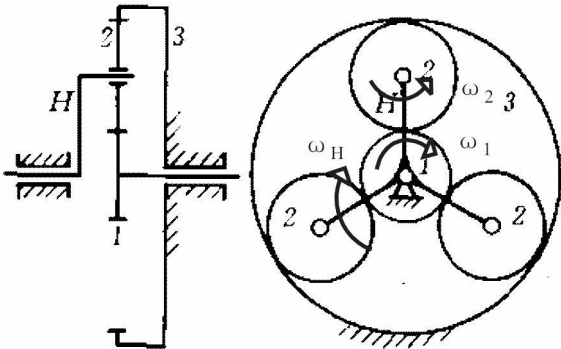


图 3 行星轮系机构

$$i_H = 1 - i_{13}^H = 1 - (-1.75) = 2.75$$

表 1 行星轮系机构角速度计算

构件代号	原有角速度	在转化机构中的角速度
1	ω_1	$\omega_1^H = \omega_1 - \omega_H$
2	ω_2	$\omega_2^H = \omega_2 - \omega_H$
3	ω_3	$\omega_3^H = \omega_3 - \omega_H$
H	ω_H	$\omega_H^H = \omega_H - \omega_H = 0$

2.4 行星轮系机构运动仿真的实现

行星轮系机构运动仿真的关键是要保证齿轮的正确啮合,即啮合齿轮的转速与它们的传动比相匹配.VRML通过设置时间传感器的循环周期 cycleInterval域值和方向插值器的 keyValue域值来实现.下面以中心轮 1、行星轮 2及系杆 H的运动关系为例介绍其原理.

时间传感器的循环周期 cycleInterval域值决定了齿轮转速,值越大,转速越慢,反之越快.故中心轮 1、行星轮 2和系杆 H时间传感器的循环周期 cycleInterval设置为与它们的传动比成反比,与齿轮齿数成正比.由于啮合齿轮旋转方向相反,因此它们的方向插值器 OrientationInterpolator的 keyValue值相差一个符号,绝对

值相等, 以下为相关代码.

```
DEF Clock1 TimeSensor { 控制中心轮 1 旋转的时间传感器 Clock1
    cycleInterval 1
    enabled FALSE
    loop TRUE
}

DEF Clock2 TimeSensor { 控制行星轮 2 自转的时间传感器 Clock2
    cycleInterval 1/0.375 循环周期 cycleInterval 设置为与它们的传动比成反比
    enabled FALSE
    loop TRUE
}

DEF ClockH TimeSensor { 控制行星轮 2 公转及系杆 H 旋转的时间传感器 ClockH
    cycleInterval 1/2.75 循环周期 cycleInterval 设置为与它们的传动比成反比
    enabled FALSE
    loop TRUE
}

DEF sungear_ rotate OrientationInterpolator { 中心轮 1 自转路径插值器
    key [0 0.5 1]
    keyValue [0 0 1 0 0 0 1 3.14 0 0 1 6.28]}

DEF planetgear1_ rotate1 OrientationInterpolator { 行星轮 2 自转路径插值器
    key [0 0.5 1]
    keyValue [0 0 -1 0 0 0 -1 3.14 0 0 -1 6.28]}

DEF planetgear1_ rotate2 OrientationInterpolator { 行星轮 2 公转路径插值器
    key [0 0.5 1]
    keyValue [0 0 1 0 0 0 1 3.14 0 0 1 6.28]}

DEF planet_holder_ rotate OrientationInterpolator { 系杆 H 旋转转路径插值器
    key [0 0.5 1]
    keyValue [0 0 1 0 0 0 1 3.14 0 0 1 6.28]}

控制中心轮 1 旋转
ROUTE Clock1. fraction_changed TO sungear_ rotate set fraction
ROUTE sungear_ rotate fraction_changed TO sungear set rotation

控制行星轮 2 自转
ROUTE Clock2. fraction_changed TO planetgear1_ rotate1 set fraction
ROUTE planetgear1_ rotate1. fraction_changed TO planetgear1_ set rotation

控制行星轮 2 公转
ROUTE ClockH. fraction_changed TO planet_holder_ rotate set fraction
ROUTE planet_holder_ rotate fraction_changed TO planetgear1_ set rotation

控制系杆 H 旋转
ROUTE ClockH. fraction_changed TO planet_holder_ rotate set fraction
ROUTE planet_holder_ rotate fraction_changed TO planet_holder set rotation
```

当然也可以设置中心轮 1 与行星轮 2 的时间传感器的循环周期 cycleInterval 域值一样, 而方向插值器的 keyValue 中的角度值设置为齿轮的传动比倒数且反向, 限于篇幅, 这里不赘述.

2.5 行星轮系机构运动的交互控制

VRML 实现运动仿真优于 CAD 软件原因之一就是其良好的交互性, 本文实现了对运动机构模型的控制功能, 用户可以随时控制轮系机构模型运动、停止、加速、减速. 程序中采用三个时间传感器 time、forward_time 和 back_time 分别控制轮系机构模型的运动停止、加速、减速运动; 用四个接触传感器 PLAY_IT (运动)、STOP_IT (停止)、FORWARD_IT (加速)、BACK_IT (减速) 来激发相应的时间传感器工作, 四个接触传感器分

别绑定在相应的控制按钮上. 下面的代码可以用交互控制功能路由图来清楚的表示, 如图 4 图 5 为虚拟现实环境下的行星轮系机构运动仿真结果.

```
控制机构运动开始
ROUTE PLAY_ IT: touchTime TO forward_ time stopTime
ROUTE PLAY_ IT: touchTime TO back_ time stopTime
ROUTE PLAY_ IT: touchTime TO time startfTime
控制机构运动停止
ROUTE STOP_ IT: touchTime TO time stopTime
ROUTE STOP_ IT: touchTime TO forward_ time stopTime
ROUTE STOP_ IT: touchTime TO back_ time stopTime
控制机构加速运动
ROUTE FORWARD_ IT: touchTime TO time stopTime
ROUTE FORWARD_ IT: touchTime TO back_ time stopTime
ROUTE FORWARD_ IT: touchTime TO forward_ time startfTime
控制机构减速运动
ROUTE BACK_ IT: touchTime TO time stopTime
ROUTE BACK_ IT: touchTime TO forward_ time stopTime
ROUTE BACK_ IT: touchTime TO back_ time startfTime
```

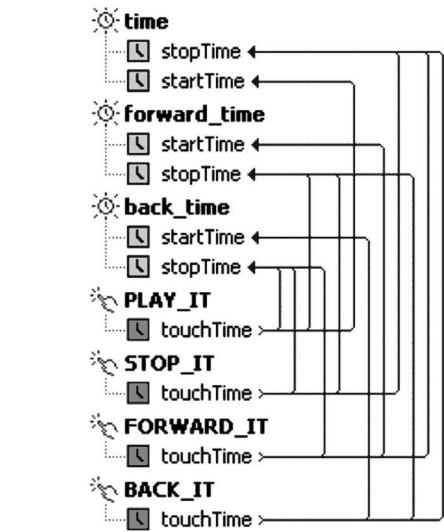


图 4 交互控制功能路由图



图 5 行星轮系机构运动仿真

3 结束语

本文利用 VRML实现了虚拟环境下的齿轮机构三维运动仿真, 具有以下特点: (1)更逼真; (2)交互性强; (3)文件小, 便于网上传输; (4)实现简单快捷; (5) 对系统的要求较低. 这种方法不仅在机构设计、运动仿真方面展示了其强大的功能, 而且在网络时代的许多领域都有较大的应用前景.

参考文献:

[1] 黄文丽, 卢碧红, 杨志刚, 景 宁. VRML语言入门与应用 [M]. 中国铁道出版社, 2003.
[2] 林清安. Pro/ENGINEER 零件设计基础篇 (上) (下) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
[3] 王知行, 李建生, 王 哲. 机械 CAD与仿真技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2000.

Realization of Planetary Gear Mechanism Movement Simulation by VRML

REN Jiwen

(School of Mechanical and Electrical Engineering East China Jiaotong University Nanchang 330013, China)

Abstract Virtual Design is a very important aspect in CAD research and it is widely applied in the design of mechanism. Now many CAD softwares can realize the virtual design of mechanism and simulation of mechanism movement. But its file is bulky and the interaction is weak, so it is difficult to transfer on the web. VRML provides a brand-new thought or method to resolve the problem. The feature of VRML is introduced in this paper and the method and principle of creating static and dynamic virtual model using CAD software and VRML is researched. The key technology of realizing movement simulation of planetary gear mechanism is emphasized.

Key words VRML; planetary gear mechanism; movement simulation

(责任编辑:王建华)

(上接第 96 页)

参考文献:

[1] 杨 乐. 值分布论及其新研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
[2] M. TSUJI. Potential theory in modern function theory[M]. Tokyo: Maruzen Co. LTD, 1959.
[3] 曹廷彬. 关于迭代级亚纯函数的 Borel 例外值、充满圆及 Borel 方向 [J]. 江西师范大学学报 (自然科学版), 2005, 29(1): 4—7.
[4] ZHANG Xue-lian. A fundamental inequality for meromorphic function in an angular domain and its application [J]. Acta mathematica Sinica New Series 1994, 3(10): 308—314.
[5] 徐俊峰, 陈聚峰. 亚纯函数的无穷级 Borel 方向 [J]. 海南大学学报 (自然科学版), 2006, 24(4): 328—335.
[6] G. Valiron. Recherches sur le théorème de M. Borel dans la théorie des fonctions méromorphes [J]. Acta Math., 1928(52): 67—92.

Borel Direction with Iterated Order of Meromorphic Function

WANG Jin-xi YI Cai-feng

(School of Mathematics and Information Sciences Jiangxi Normal University Nanchang 330022, China)

Abstract This paper studies the Borel direction with iterated order of the meromorphic functions of infinite order and proves a sufficient and necessary condition of a radial $\arg z = \theta$ being a Borel direction with p -iterated order σ of $f(z)$. In addition, from the result we can obtain a sufficient condition of existing Borel direction with iterated order in angular domain.

Key words meromorphic function; iterated order; borel direction

(责任编辑:王建华)