

文章编号:1001-9081(2005)02-0414-03

基于多体动力学理论的赛车游戏引擎的设计与实现

淮永建^{1,2}, 王梅峰¹, 左正兴², 黄心渊¹

(1. 北京林业大学 信息学院, 北京 100083; 2. 北京理工大学 车辆工程学院, 北京 100080)

(huaiyj@163.com)

摘 要:运动车辆的实时建模、动力学行为仿真是赛车虚拟环境中的重要组成部分。论文设计并实现了一实时赛车游戏引擎,在引擎车辆建模中提出了一种基于多体动力学理论实时逼真的赛车建模方法,对赛车的真实受力状况进行简化,模拟车辆的各种动力学行为和车辆运动的真实感绘制。并实现了引擎中的碰撞检测技术、音效处理技术、虚拟环境的实时绘制技术。增强用户漫游虚拟环境的沉浸感。

关键词:虚拟环境;游戏引擎;实时车辆建模;动力学仿真;碰撞检测

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Real-time vehicle game engine base-on multi-body dynamic

HUAI Yong-jian^{1,2}, WANG Mei-feng¹, ZUO Zheng-xing², HUANG Xin-yuan¹

(1. Institute of Information, Beijing Forest University, Beijing 100083, China;

2. School of Vehicle Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100080, China)

Abstract: Real-time moving vehicle modeling and dynamic behavior simulation is an important research in virtual reality game engine. In this paper, a real-time vehicle game engine was designed and presented. Author provided a method of real-time vehicle rendering based-on multi-body dynamics in engine, and could simulate different of dynamic behaviors as real as in real world. The other techniques such as collision detection, 3D music rendering, real-time virtual environment rendering were also realized. Thus, it can enhance the immersion when user walk-through virtual environment.

Key words: virtual environment; game engine; real-time vehicle simulation; multi-body dynamic; collision detection

1 实时 VR 赛车游戏引擎的设计框架

虚拟环境中运动车辆的实时仿真,对虚拟现实技术来说是一个挑战。它既需要高分辨率的图像质量、3D 音效处理和逼真的车辆运动行为仿真,也需要实时交互的虚拟环境。论文通过虚拟场景的实时绘制方法生成一个三维的仿真虚拟地形环境,并对车辆的动力学实时模型进行了仿真处理。整个车辆的仿真环境的组成如图1所示。整个系统的核心处理模块由实时虚拟环境生成模块、实时碰撞检测模块、实时车辆建模和3D 音效处理模块等组成。

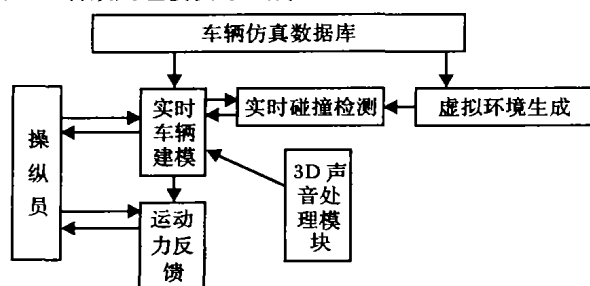


图1 虚拟赛车游戏引擎的框架设计

1.1 三维游戏场景的渲染

整个仿真虚拟环境通过基于图形和图像的混合绘制方法生成。三维地形的生成通过自适应层次细节 LOD 方法生成,

当车辆驾驶员视点离地形较近时,采用高分辨率的层次细节表示地形表面的起伏;当视点离局部地形较远时,采用粗糙的层次细节表示地形块。从而提高地形生成的实时性。

仿真环境中的其他静态景物如树木、森林、远处的山地等通过纹理图像映射或基于图像绘制中布告版技术进行绘制。由于在车辆仿真中,这些静态景物离车辆较远,且仿真中车辆快速从旁边经过,所以对其三维的真实感要求不高。通过图像的方法对这些景物进行绘制,既可以生成具有照片一样质量效果的图像,又减少了图形绘制的多边形数目,提高了整个仿真环境的实时性能。实际绘制时,给山地、草地、房屋、树木加上纹理,通过纹理映射增强其真实感。在这些景物绘制中,树的纹理比较特殊,用一个面贴上树的纹理图像以后,如果视线转到与面的法向垂直时,这个面就变成了一条直线。我们采用布告版的技术将这个面的法向量随着视线的转动而转动,在场景漫游中不论从哪个方向看都是一个完整的树的轮廓,具有很强的真实感。

1.2 实时 3D 音效处理

3D 声音、音效处理模块通过 DirectX 3D 图形接口中的 DirectSound API 来建立三维声音对象。声音数据资源是以文件或程序资源方式存在,在程序运行时加载到内存中。车辆仿真环境中音效的模拟,是通过事先建立的声音对象与运动车辆间的关系确定的。当利用 DirectSound API 建立好声音对

收稿日期:2004-07-30;修订日期:2004-10-08 基金项目:教育部科学技术研究重点项目(重点03020)

作者简介:淮永建(1970-),男,副教授,博士,主要研究方向:虚拟现实技术、实时仿真技术; 王梅峰(1972-),女,硕士研究生,主要研究方向:管理信息系统; 左正兴(1965-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:车辆仿真技术。

象后,面对具体的声音需要解决两个问题,一是该声音由哪个声音对象发出来的,二是发出的时间。

声音对象封装的是音频数据,因为要满足交互性要求,这些数据只能是一些音频片断,不可能是一个完整过程的声音。这些片断在选取时,有很多特点,并且和车辆实体的行为属性有关。

1) 连续性:如车辆发动机启动后,一直到停下来,这个过程都是连续的发出声音。

2) 重复性:如发动机运转时发出我们听到的平稳运转的声音,那么可以选择一段或几段声音片断作为虚拟环境中车辆发动机的声音基础。通过循环播放一个声音片断或几个声音片断的组合,就可以达到发动机运转的声音效果。

3) 突发性:如碰撞声、爆炸声等声音,由于经历较短的时间,可以直接选择这些片断进行播放。

以上这些特性,是构造声音对象所包含的声音数据片断的依据。实时仿真时,将声音对象同实体联系起来。通过车辆的动力学行为建模将车辆和声音对象关联起来。车辆的行为建模过程确定声音的触发与结束。通过对实体行为的描述过程,确定如何触发一个声音,如车辆的发动和停车,可以将这个过程称为行为或显示与声音的匹配。

1.3 实时碰撞检测处理

当车辆在虚拟环境中运动时,要产生真实交互的车辆驾驶模拟仿真环境,必须对车辆与其他物体间进行实时的碰撞检测和响应,以免车辆运动过程中穿过其他物体,产生不真实感。当车辆与场景中的其他目标发生碰撞时,车辆应从其他物体表面滑过,而不穿过,从而增强交互的真实感。例如,用户戴上数据手套和虚拟环境进行交互时,当用手套接触物体时,可以如同真实世界一样拿起物体或推动它。

车辆仿真中的实时碰撞检测模块,主要用于运动物体车辆同周围的静态物体(如公路上的栅栏等)的碰撞进行实时检测,并做出响应。在一定检测精度的前提下尽量地提高碰撞检测的速度,不应该过分的要求准确性而影响图形绘制的速度和质量。碰撞检测是通过大量的多边形进行求交运算来实现,如果一味的要求精度将会影响实时性。车辆仿真环境通过BSP树对场景中的对象进行分层管理,车辆运动中,利用包围车体的边界盒与BSP树节点多边形的求交测试进行碰撞检测。

2 实时车辆建模

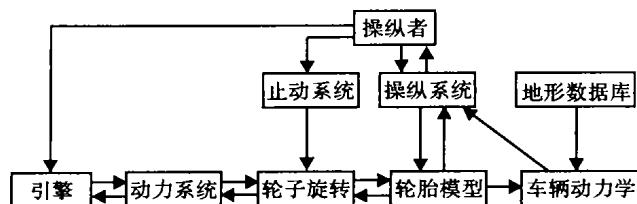


图2 实时车辆建模

实时车辆仿真建模是驾驶仿真模拟中的关键因素。在一些赛车游戏中,游戏操纵者感觉好像车辆在平滑的冰面上运行,就是由于车体建模没有很好的考虑车辆的物理运动特性和路面的摩擦力等力学特性。实时的动力学车辆建模主要包括:车辆轮胎模型、车体悬浮体模型、动力系统模型、发动机引擎模型等(如图2所示)。引擎采用的轮胎模型充分模拟了轮胎的纵向、侧向滑移,考虑了轮胎的侧向和纵向动力学特性。

2.1 车体模型的多体组成

运动车辆多体模型由车体、4个车轮和5个刚体表示的多刚体组成。车体通过弹性支撑悬浮在车轮上。整个车辆模型由18个自由度(DOF)组成(包括车体6个自由度)。每一个轮子在垂直方向的平移运动,另外,给每一个轮子定义两个辅助状态变量 ω 和 τ , ω 为轮子的转动速率, τ 为轮子的侧向滑移角的正切值。由此来模拟车辆的动力学运动特性。

2.2 车辆模型的受力分析及运动分析

图3显示一辆四轮车模型的俯视图。车辆模型受重力、车轮与地面的剪力以及地面对车辆的支撑力影响。在垂直方向重力和地面对轮胎的支撑力的合力为零,对质心的力矩合也为零。整个车辆的运动学和动力学分析主要受轮胎与地面的摩擦力和剪力影响。支配车辆系统的动力学方程主要有三个: X 方向和 Y 方向的剪力之和分别等于车辆的质量乘以质心的加速度;剪力对质心的力矩和等于质心的角加速度乘以惯性积 I_{zz} 。因此,车辆动力学模型的主要目的就是准确的计算轮胎剪力。

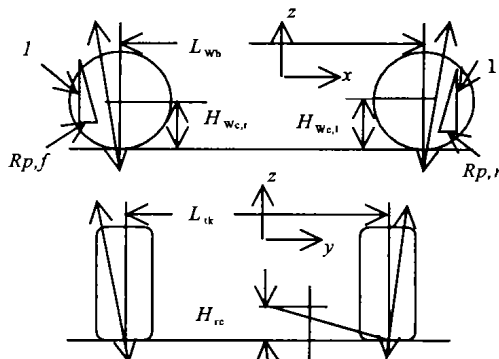


图3 车辆模型的动力学分析

车辆模型的力学方程:

$$\begin{cases} X \cdot \sum f_i = X \cdot M \frac{dV}{dt} \\ Y \cdot \sum f_i = Y \cdot M \frac{dV}{dt} \\ Z \cdot \sum r_i \cdot f_i = Z \cdot I_{zz} \frac{dV}{dt} \end{cases}$$

另外,车辆也可能在车轮与地面接触的区域受轴向力矩作用。该力矩对车辆侧向运动产生的直接影响可能很小,但是由于驱动轮的影响,它可能对整个车轮的剪力产生重要的影响。除了轮胎和地面的相互作用外,唯一可以作用在运动车辆上的力为空气阻力,它们对车辆的运动影响较少,可以通过力的叠加原理作用在多体模型上。

运动车辆可能产生的运动包括车辆悬浮体的垂直跳跃、颠簸、车轮的侧向滑移以及在滚动和前后颠簸时车体的旋转运动。

2.3 车辆模型运动学分析

整个车辆模型为由5个刚体表示的多刚体系统组成。车辆的主体由单一刚体表示,有6个自由度,另外的4个刚体表示4个车轮,每个车轮由有一个自由度来表示悬浮体产生的垂直运动。每一个车轮位于车辆与地面的接触中心。前后轮的纵向距离为 L_{wb} ,前面两轮的侧向距离为 L_{lk} (如图4所示)。

在车辆模型的运动学分析中忽略悬浮体与驱动系统的连接作用,当悬浮体上下运动时,假设车轮中心相对于车体的运动轨迹遵从3D空间一个运行轨迹。由于悬浮体的运动,轮

子中心的轨迹通常不是垂直。对于大多数车辆来说,当悬浮体压缩时,车轮中心向纵向和侧向滑移,使得 L_{wb} 和 L_{uk} 长度增加,如图 4 所示。

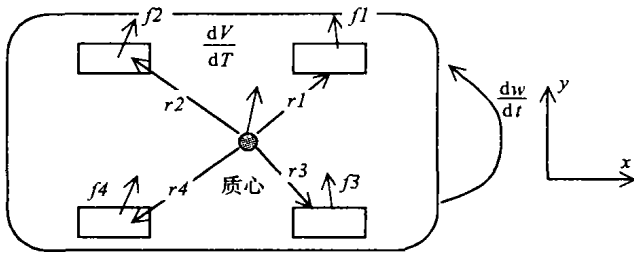


图4 车轮的位置和运动分析

车轮轨道的运动方向决定了轮胎与地面的摩擦力如何通过车轮与车体的悬浮连接的反作用力传到车体上。由于悬浮体的反作用力,当车轮产生滚动和颠簸运动时,会产生反作用力(反滚动力矩和反颠簸力矩)^[5]。车轮运动的滚动中心和颠簸运动中心如图 5 所示。在悬浮体的运动分析中,轮子在滚动方向的倾角为: $\tan \alpha = 2H_{rc}/L_{uk}$, 其中, H_{rc} 为轮子滚动中心的高度, L_{uk} 为轮子的轨迹宽度。轮子的纵向运动的倾斜度用一系数 R_p 表示。在实际的多体动力学建模中,假设轮子与地面接触中心点 CTC 的运动轨迹为一直线,来简化计算的复杂度,如图 5 所示。用车辆模型的悬浮体轴向坐标系统(s_x, s_y, s_z)表示的轮子的运动方向为:

左前轮: $dir(s_z + 2H_{rc}f/L_{uk}f s_y + R_p f s_x)$

右前轮: $dir(s_z - 2H_{rc}f/L_{uk}f s_y + R_p f s_x)$

左后轮: $dir(s_z + 2H_{rc}r/L_{uk}r s_y - R_p r s_x)$

右后轮: $dir(s_z - 2H_{rc}r/L_{uk}r s_y - R_p r s_x)$

其中, $dir()$ 为一函数返回矢量的方向,变量的第二个下标 f 和 r 表示前、后轮。

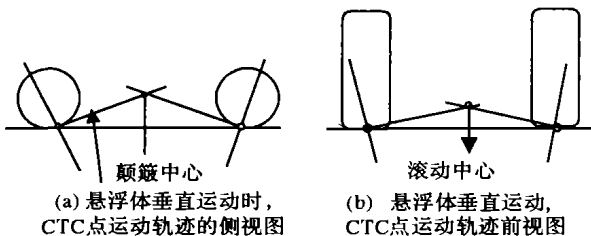


图5 车轮运动的滚动中心和颠簸中心

2.4 悬浮力作用分析

车轮的运动轨迹受悬浮体的弹性力、颠簸和摇摆作用影响。在多体车辆模型建模中,考虑车轮上面的悬浮体弹性支撑可以逼真的模拟车辆的跳跃、颠簸和摇摆等各种运动行为。在每一种运动行为中,都是由于悬浮体的力通过弹簧作用在车轮上。假设车轮相对于车体的垂直运动分量为 Δ , 弹簧的位移为 $R_s \Delta$, 其中 R_s 为弹簧的压缩比,产生的弹簧力为 F_s 。弹簧力 F_s 所产生的作用在轮胎上的力为 $R_s F_s$ 。悬浮体对车辆模型的作用力大小通过以下三步来实现:

- 1) 用运动学的比率系数乘以轮子位移,确定悬浮体的压缩位移;
- 2) 应用悬浮体力与位移的关系,确定在悬浮体上产生的力;
- 3) 将运动比率系数乘以悬浮体上产生的力得到作用在轮子上的力。

相似的分析方法用来对车辆的震动特性进行分析,用悬浮体的位移、汽车的减震比率系数 R_d 和减震力与震动率的函数关系来确定作用在轮子的减震力大小。反摇摆运动通过连

接两个车轮轴之间的线性弹簧来模拟,假设两个点分别位于两个轮子上,摇摆力的方向为 S_z , 大小为弹簧的弹性系数乘以车轮上两个点的垂直位移差。

3 仿真结果

通过上述方法模拟车辆在虚拟环境中的逼真的动力学、运动学特征,从而可以仿真车辆在虚拟环境中各种运动行为。产生逼真度的建模仿真效果。通过测试,整个车辆仿真环境的渲染帧速率为 40FPS ~ 50FPS,完全可以满足虚拟场景交互实时性要求。



图6 动力学车辆实时仿真结果

4 结语

传统的虚拟场景中运动车辆的动力学建模极为繁琐复杂。其致命的缺点是,当系统稍有改变或物理模型稍有变化,就必须重新推导,即“一车一模”,其模型缺乏通用性。本文利用多体动力学理论提出了一种通用运动车辆实时建模方法。通过对车辆进行运动学、动力学分析,简化了轮胎与地面相互作用力的计算和车辆与地形的匹配计算。在轮胎模型中考虑了轮胎的侧向滑移和悬浮力的影响,从而可以逼真的模拟基于物理特性的车辆各种运动行为(制动、颠簸、摇摆等),使其在虚拟环境中的运动与真实世界一样,从而增强用户同虚拟场景交互的沉浸感。利用边界盒碰撞检测技术实现了车辆与周围环境的碰撞检测功能。并在实际的仿真虚拟环境中对动力学车辆模型进行了测试,获得了很好的仿真效果和实时性。

参考文献:

- [1] CREMER J, KEARNEY J, PAPELIS Y. Driving Simulation: Challenges for VR Technology[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2000.
- [2] PACEJKA H, SHARP RS. Shear Force development by Pneumatic Tyres in Steady State Conditions: A Review of Modelling Aspects [A]. Vehicle System Dynamics[C], 1998. 121 - 176.
- [3] SMID GE, CHEOK KC, OVERHOLTAND JL *et al.* Multi-CPU Real-Time Simulation of Vehicle Systems[A]. International Conference on Intelligent Systems (ICIS 1998)[C]. Paris, 1999. 12 - 15.
- [4] GRUENING J, BERNARD JE, *et al.* Driving Simulation[Z].
- [5] CLOVER CL, BERNARD JE. Longitudinal Tire Dynamics [M]. Vehicle System Dynamics, 2000.