

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.08.007

基于 OGRE 的铰接式地下矿车驾驶模拟系统*

刘立 刘雪伟 孟宇
(北京科技大学机械工程学院, 北京 100083)

摘要: 针对地下矿车的工作环境,以自主研发的铰接式地下矿车为原型,分别建立了驾驶模拟系统场景模型、车辆三维模型及巷道模型。充分考虑驾驶模拟器的实时性及真实性需要,建立了地下矿车的三自由度动力学及运动学非线性离散化模型。使用开源图形引擎 OGRE 驱动模型及场景,将动力学及运动学模型与 OGRE 融合。使用光线投射方法,虚拟出激光测距传感器,为地下矿车智能控制技术研究提供了良好平台。

关键词: 地下矿车 驾驶模拟器 虚拟现实

中图分类号: TD524+.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)08-0038-07

Driving Simulator of Articulated Underground Mining Vehicle Based on OGRE

Liu Li Liu Xuewei Meng Yu
(School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Taking a self-developed articulated underground mining vehicle as prototype, the driving simulation scene model, 3-D vehicle model and tunnel model were established for the working environment of underground vehicles. A 3-DOF kinematics and dynamics nonlinear discrete model was built up to ensure the real-time driving simulator and reality. The models and the scene were driven by using an open-source graphics engine and an object-oriented graphics rendering engine. Ray casting method was used to virtualize the laser measurement sensors in simulator so that it could provide support for intelligent technique research of underground mining vehicle.

Key words: Underground mining vehicle Driving simulator Virtual reality

引言

车辆驾驶模拟器是一种能正确模拟汽车驾驶动作,在主要性能上获得与实车驾驶感觉相同或相近的现代化模拟装置^[1]。它利用虚拟现实技术营造一个虚拟的驾驶环境,人们通过操作部件与虚拟的环境进行交互。越来越多的研究机构开始研究驾驶模拟器并将其用来进行车辆或飞行器的研发制造、驾驶员培训、驾驶员疲劳及交通运输等研究^[2~9]。

国外已经将模拟驱动器应用在矿用车驾驶培训中^[10]。实践证明该系统为驾驶员培训提供了有效

的手段。但因该驾驶模拟系统为商用系统,因其研发成本高,对国内矿山企业而言,价格较为昂贵。

国内在铰接式车辆驾驶模拟器上相关的研究还较少。本文对地下矿车智能辅助驾驶模拟系统进行研究。

1 驾驶模拟系统总体结构

1.1 硬件系统

地下矿车驾驶模拟系统的硬件设备由驾驶舱、高性能计算机、多通道液晶屏及音箱等构成。

驾驶舱由真实矿车驾驶室改装而成,操控机构

收稿日期: 2012-07-02 修回日期: 2012-09-03
* 国家自然科学基金资助项目(50904007)、国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA060404)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(FRF-TP-12-056A)
作者简介: 刘立,教授,博士生导师,主要从事车辆工程研究,E-mail: liliu@ustb.edu.cn

使用罗技的 G27 专业可编程方向盘,包括方向盘、加速踏板、制动踏板及挡位杆等输入设备。G27 通过 USB2.0 接口连接到计算机,使用 DirectX 提供的 DirectInput 接口来实现 G27 与计算机的通信,采集方向盘转角、加速踏板位置及制动踏板位置等数据。

驾驶模拟系统需要实时处理三维图形,并且在图形渲染的间隙由 CPU 进行动力学计算,系统对计算机的综合性能要求较高。因此采用 i5-3450 四核 CPU,4GB DDR3 内存,128 G 固态硬盘来保证系统的处理速度及数据的高速存取。为满足图形性能,使用英伟达 GTX 560 核心显卡,该显卡支持 3 屏显示功能,配以 3 块 24 英寸液晶显示器组建了多通道液晶屏显示系统。

1.2 软件系统

地下矿车驾驶模拟系统的软件包括动力学实时仿真模型、视景仿真引擎、声音仿真引擎和辅助驾驶系统等。系统软件结构如图 1 所示。

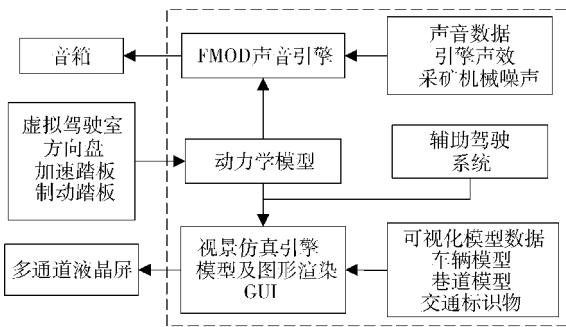


图1 驾驶模拟系统结构

Fig. 1 Structure of driving simulator

1.2.1 动力学实时仿真模型

车辆动力学模型是系统关键部分,根据铰接式车辆特点,建立了 3 自由度动力学及运动学模型。动力学模型直接使用设备输入的数据,通过实时计算得到车辆发动机转速和位置姿态等数据。

1.2.2 视景仿真引擎

视景仿真引擎利用计算机图形图像技术生成车辆驾驶过程中驾驶员所看到的地下虚拟环境,如巷道、交通标志物及灯光等。为了能够实时处理图像并且使仿真效果更接近于真实,使用开源图形引擎 OGRE 来完成视景仿真。OGRE 封装了 Open GL 和 DirectX 的底层代码,可以很方便地完成视景仿真所需的三维模型加载与绘制、场景管理、场景渲染、灯光及视角控制等。三维模型数据主要包括地下矿车模型、巷道模型和交通标志物等。系统中所用 3-D 模型均使用三维模型软件 SketchUp 免费版本开发,通过专用插件导出为 OGRE 中可直接使用的格式。

1.2.3 声音仿真引擎

声音仿真引擎能够制造不同效果的声音,如发

动机声和巷道内作业机械噪声等。为了更好地实现声音的控制,使用专业的声音引擎 FMOD 来控制系统中的各种声音效果,FMOD 引擎在非商业应用中可免费使用。为了使声音效果更逼真,系统使用立体声音效。在 FMOD 中设定音源的坐标位置,在动力学模型完成一次计算之后会传递聆听者也就是驾驶舱所在位置坐标参数给 FMOD,FMOD 经过处理后更新声音。

1.2.4 辅助驾驶系统

辅助驾驶系统能够模拟实车辅助驾驶实验的情况。通过光线投射技术在系统中按照真实激光雷达的工作原理添加虚拟激光雷达,通过虚拟激光雷达可以测量出车辆与巷道壁及障碍物的距离。通过相应的辅助驾驶策略,当车辆行驶时出现与巷道壁距离过近或巷道中有异物出现等危险驾驶情况的时候系统会发出警告。

1.2.5 系统软件平台

系统基于 Windows 7 平台开发,开发环境为 Visual studio 2008 速成版,该版本是 Visual studio 的简化版本,可以免费使用。系统从开发环境到图形及声音引擎均为免费版本,从而大大降低了软件的开发成本。

2 车辆动力学及运动学模型

2.1 输入数据及车辆控制参数

系统所有输入控制数据可以表示为

$$\mathbf{x}_{in} = (\phi_a, \phi_b, \theta, \dot{\theta}, C, G) \quad (1)$$

式中 ϕ_a, ϕ_b ——加速踏板及制动踏板位置

$\theta, \dot{\theta}$ ——方向盘转角及转动速率

C ——货箱举升控制,取 $C=0,1$

G ——挡位,取 $G=1,2,3$

OGRE 中的坐标系与 SAE 标准坐标系不同,OGRE 中坐标系以屏幕为参考,水平向右为 X 轴正方向,垂直向上为 Y 轴正方向,垂直于屏幕向外为 Z 轴正方向(图 2)。以 OGRE 中的坐标系为基准建立模型坐标系。驾驶模拟系统采用 3 自由度模型,即不考虑车辆的侧倾和俯仰动作,只有横摆转动,并且假设车辆在垂直方向没有平动。

将模型分为前车体、后车架、货箱及车轮等几个部分分别处理,于是前后车架的运动学控制参数 $\mathbf{x}_f$ 和 $\mathbf{x}_r$ 为

$$\mathbf{x}_f = (\theta_1, \omega_1, \dot{\omega}_1, v_{fx}, v_{fz}, a_{fx}, a_{fz}) \quad (2)$$

$$\mathbf{x}_r = (\theta_2, \omega_2, \dot{\omega}_2, v_{rx}, v_{rz}, a_{rx}, a_{rz}) \quad (3)$$

式中 θ_1, θ_2 ——前车体及后车体的横摆角

ω_1, ω_2 ——前车体及后车体的横摆角速度

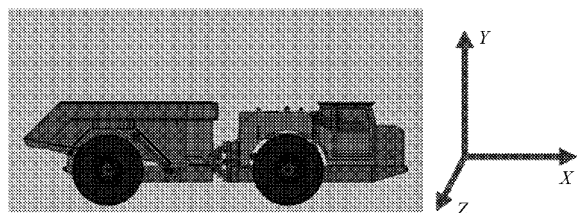


图2 车辆坐标系

Fig.2 Coordinate of vehicle

$\dot{\omega}_1, \dot{\omega}_2$ ——前车体及后车体的横摆角加速度
 v_{fx}, v_{fy} ——前车体前桥中点位置的横向和纵向速度
 v_{rx}, v_{ry} ——后车体后桥中点位置的横向和纵向速度
 a_{fx}, a_{fy} ——前车体前桥中点位置的横向和纵向加速度
 a_{rx}, a_{ry} ——后车体后桥中点位置的横向和纵向加速度

货箱与后车架通过铰链连接,则货箱的运动学参数与后车架基本相同,只是增加了绕Z轴的角自由度,则货箱的运动学控制参数为

$$\mathbf{x}_d = (\theta_2, \theta_3, \omega_2, \omega_3, \dot{\omega}_2, v_{rx}, v_{ry}, a_{rx}, a_{ry}) \quad (4)$$

式中 θ_3, ω_3 ——货箱举升角度及角速度

如图3所示,动力学模型在驾驶模拟系统中从控制器处接收输入数据,经过计算后输出各个模型相应的运动学参数。

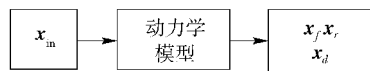


图3 数据交互

Fig.3 Data interaction

在系统中,三维图形的渲染消耗了大部分的CPU时间,动力学计算要在渲染两帧图像的间隙进行。为了使模拟效果尽可能接近于真实,同时又兼具实时性,针对铰接式车辆的动力学特性进行简化,建立在世界坐标下的非线性离散化3自由度(3-DOF)模型。

2.2 动力学模型

文献[11]提供了车辆行驶过程中的受力方程,汽车速度的变化与汽车的驱动力 F_t 、滚动阻力 F_f 、坡度阻力 F_i 、空气阻力 F_w 有关,根据汽车行驶过程中力的平衡关系,汽车直线行驶过程中速度的数学模型为

$$ma = F_t - F_f - F_i - F_w \quad (5)$$

式中 m ——整车质量 a ——车辆行驶加速度

原型车辆设计最高时速为25 km/h,空气阻力 F_w 可以忽略。由于推导的是车辆在二维平面上的模型,故忽略坡度阻力 F_i 。汽车在行驶过程中还要

考虑制动力 F_b 所产生的影响,综上所述,汽车行驶速度模型为

$$ma = F_t - F_f - F_b \quad (6)$$

发动机模型使用三次多项式拟合的方式得到稳态转矩与转速之间的关系为

$$M_e = a_0 + a_1 n_e + a_2 n_e^2 + a_3 n_e^3 \quad (7)$$

式中 a_0, a_1, a_2, a_3 ——拟合系数

n_e ——发动机转速 M_e ——发动机转矩

发动机转矩与牵引力之间的关系可以表示为

$$F_t = \frac{M_e i_g i_0 \eta_T}{R_w} \quad (8)$$

式中 i_0 ——主传动比 i_g ——变速器传动比

R_w ——车轮半径

η_T ——传动系机械效率

假设制动踏板行程与制动力之间的关系为线性的

$$F_b = \frac{\phi_b}{\phi_{bmax}} F_c \quad (9)$$

式中 ϕ_{bmax} ——制动踏板最大行程

F_c ——最大制动力

于是车辆在 t 时刻的加速度为

$$a(t) = \frac{F_t - F_f - F_b}{m} \quad (10)$$

假设车辆的加速度在两次仿真内保持不变,可求得车辆在 t 时刻行驶速度为

$$v(t) = v(t-1) + a(t) T_s \quad (11)$$

式中 T_s ——两次仿真计算时间差值

2.3 运动学模型

文献[12~14]对铰接车辆的运动轨迹做了详细的分析,如图4所示,设矿车中央铰接点设为 H 点,前桥中点为 $P_f(x_1, y_1)$,该点与中央铰接点 H 的距离为 l_1 ,车速为 v_f ;后桥中点为 $P_r(x_2, y_2)$ 点,该点与中央铰接点的距离为 l_2 ,车速为 v_r 。前车体横摆角速度为 ω_1 ,转向半径为 r_1 ,后车体横摆角速度为 ω_2 ,转向半径为 r_2 。前车体的航向角为 θ_1 ,后车体的航向角为 θ_2 ,铰接角为 γ 。设前桥中点位姿状态向量 $\mathbf{S}_t = (x_1(t), y_1(t), \theta_1(t))$,代表前车体在 t 时刻的位置及航向角。则 $t+1$ 时刻的前桥位姿状态向量 $\mathbf{S}_{t+1} = (x_1(t+1), y_1(t+1), \theta_1(t+1))$,可以用非线性离散模型来表示为

$$\mathbf{S}_{t+1}^T = \mathbf{S}_t^T + T_s \begin{bmatrix} \cos\theta_1(t) & 0 \\ \sin\theta_1(t) & 0 \\ -\sin\gamma(t) & -l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_f(t) \\ \dot{\gamma}_1(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

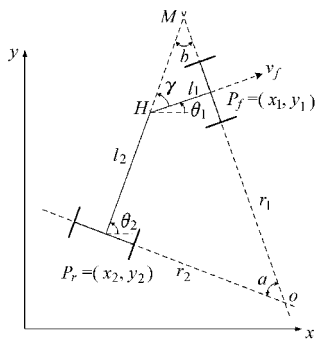


图 4 铰接车体转向图

Fig. 4 Diagram of articulated vehicle steering

根据式(12),当前仿真时刻前车体速度 $v_f(t)$, 铰接角转动速率为 $\dot{\gamma}(t)$,上次仿真到本次仿真的时间间隔为 T_s ,可得前车体的角速度为

$$\omega_1(t) = \frac{-\sin\gamma(t)v_f(t) - l_2\dot{\gamma}(t)}{l_1\cos\gamma(t) + l_2} \quad (13)$$

其中
$$\dot{\gamma}(t) = \frac{\gamma(t) - \gamma(t-1)}{T_s} \quad (14)$$

前车体的航向角等于上一时刻航向角加上本次仿真的增量

$$\theta_1(t) = \theta_1(t-1) + \omega_1(t)T_s \quad (15)$$

后车体的航向角等于前车体航向角与铰接角之和

$$\theta_2(t) = \theta_1(t) + \gamma(t) \quad (16)$$

由前车体行驶速度和航向角可以得出车辆前桥中点在 t 时刻的世界坐标为

$$\begin{cases} x_1(t) = x_1(t-1) + [v_f(t-1)\cos\theta_1(t-1) + v_f(t)\cos\theta_1(t)]T_s/2 \\ y_1(t) = y_1(t-1) + [v_f(t-1)\sin\theta_1(t-1) + v_f(t)\sin\theta_1(t)]T_s/2 \end{cases} \quad (17)$$

根据几何关系,求得 t 时刻后桥中点坐标为

$$\begin{cases} x_2(t) = x_1(t) - l_2\cos\theta_2(t) + l_1\cos\theta_1(t) \\ y_2(t) = y_1(t) - l_2\sin\theta_2(t) + l_1\sin\theta_1(t) \end{cases} \quad (18)$$

2.4 货箱举升

货箱的举升认为是匀速的,则货箱控制参数 x_d 中需要求得 ω_3 的值从而得到举升角度 θ_3 。控制输入量 C 值为 0 时货箱下降,当 C 值为 1 时货箱举升。货箱的举升角度为 $0^\circ \sim 60^\circ$,货箱举升时间为 $T_u = 10.5$ s,货箱下降时间为 $T_d = 11.2$ s,则货箱的举升或降落速度为

$$\omega_3(t) = \begin{cases} \frac{60T_s}{T_u} & (C=1) \\ \frac{60T_s}{T_d} & (C=0) \end{cases} \quad (19)$$

于是在 t 时刻货箱的举升角度为

$$\theta_3(t) = \begin{cases} \theta_3(t-1) + \omega_3(t)T_s & (C=1) \\ \theta_3(t-1) - \omega_3(t)T_s & (C=0) \end{cases} \quad (20)$$

3 驾驶模拟器图形渲染

3.1 OGRE 图形渲染引擎

OGRE 是一个用 C++ 开发的面向场景、非常灵活的开源的图形引擎 3D 引擎。OGRE 的源代码遵循 LGPL (GNU Lesser General Public License, 即 GNU 宽通用公共许可证),人们可以免费使用其代码。OGRE 隐藏了底层系统库,其中包括 Direct3D 和 OpenGL 等,提供了一个基于世界对象和其他直观类的接口^[15]。

3.2 可视化数据

计算机生成的环境或虚拟场景可以划分为静态世界、静态对象和活动对象。静态世界也就是世界地图,它是驾驶模拟场景中的“布景”,包括井下巷道和巷道中的管线等。而固定障碍物以及整个系统运行过程中其他保持静止不动的物体都归类于静态对象。活动的对象是可以在模拟过程中单独控制的物体,车辆是主要的一组活动对象。

如图 5 所示,系统中车辆的三维模型被拆分为前车体、后车架、货箱及车轮 4 部分,以便独立控制,其中 4 个车轮共用同一个模型。驾驶模拟系统中的所有模型均使用 SketchUp 建立,SketchUp 可以安装 OGRE 的插件,能够将模型直接导出为 OGRE 所支持的 MESH 格式。

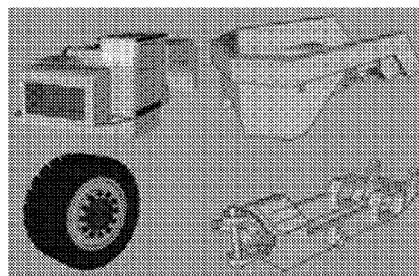


图 5 车辆的三维模型

Fig. 5 3-D model of vehicle

3.3 场景管理

OGRE 图形引擎以场景图形式来管理场景中所有可渲染的物体。OGRE 中的场景图非常特殊,它的场景结构(场景图)和场景内容是完全分离的,把场景图的结构和它所使用的数据节点作为平等的继承体系来使用。OGRE 由场景管理器类统一管理场景图。场景管理器用场景节点来定义场景图的结构。这些场景节点以层级的结构组织在场景管理器中,一个场景节点可以有一个父节点和任意数量的子节点,渲染对象直接挂载到场景节点上。

图 6 展示了驾驶模拟系统的场景图结构,场景

管理器直接挂载在 OGRE 系统的根节点上,场景管理器下面分别挂载了静态物体节点、前车体节点、后车架节点、货箱节点、车轮节点及摄像机。静态物体节点下面挂载标志牌和障碍物等静态实体;前车体节点挂载前车身实体及前车头灯光;后车架节点挂载后车架实体;货箱节点挂载货箱实体;车轮节点挂载车轮实体。

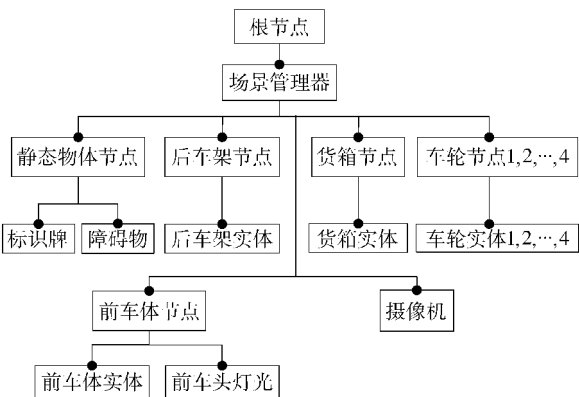


图 6 驾驶模拟系统场景图

Fig. 6 Scene graph of driving simulator

摄像机作为一个特殊的节点也被挂载到场景管理器上,摄像机的主要工作是截取虚拟场景中的一部分图形来完成渲染。摄像机除朝向外还有 2 个重要参数:近截取距离和远截取距离,两个距离分别决定了近截面及远截面与观察点的距离,通过两个截面构成一个六面的视截体。也就是说虚拟场景中并不是所有的元素都会被渲染,而是通过摄像机的视截体(图 7)来决定,只有在视截体中的元素才会被渲染。

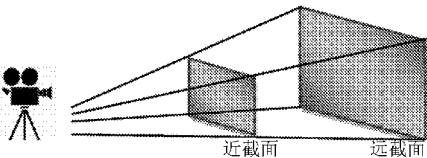


图 7 摄像机视截体

Fig. 7 View-frustum of camera

3.4 动力学计算与 OGRE 融合

OGRE 系统以类库的形式提供给用户,使用 OGRE 需要根据实际需求编写程序。OGRE 开始时首先加载配置文件,设置资源路径,之后分别创建场景管理器、摄像机及视口。之后要在 OGRE 的主循环中注册帧监听器,本系统中定义了 DSFrameListener 类来继承 OGRE 的帧监听器类 (FrameListener)。帧监听器提供了 FrameStarted、FrameRenderingQueued、FrameEnded 3 种方法分别处理帧渲染前、帧渲染中及帧渲染后的事件。调用 FrameStarted 后,OGRE 开始更新所有渲染目标,由于渲染主要由 GPU 来完成,这时的 CPU 并没有充

分利用,而车辆动力学以及运动学运算需要由 CPU 来完成,于是将动力学及运动学相关计算都放到紧随 FrameStarted 执行的 FrameRenderingQueued 中来运行。OGRE 的帧监听器提供了帧事件 (FrameEvent) 实体来存放与帧事件有关的时间信息,其中的 timeSinceLastFrame 记录了帧时间间隔,该数据就是动力学计算中用到的 T_s 。

OGRE 没有提供读取外设的接口,本系统使用 OIS 读取输入数据。首先在 OGRE 的帧监听器中创建 OIS 设备管理器,将 OIS 设定为非缓冲输入模式。在 FrameRenderingQueued 中分别调用 OIS::Keyboard、OIS::Mouse 和 OIS::JoyStick 的 Capture 方法来捕获当前的设备输入数据,之后通过 UnbufferedInput 来处理输入数据,将其转换为动力学仿真所需的数据格式。图 8 表示了帧监听器类的结构。

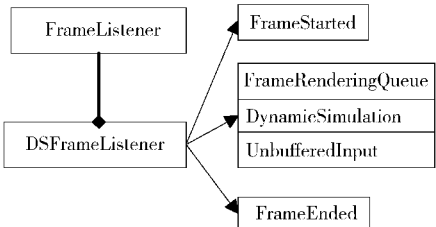


图 8 帧监听器类结构图

Fig. 8 Structure of frame listener class

4 辅助驾驶系统

4.1 虚拟激光雷达

为了能够在虚拟环境中进行地下矿车智能辅助驾驶的虚拟实验,需要增加虚拟激光雷达传感器,如图 9 所示。激光雷达用来探测行驶过程中的障碍物及巷道壁的距离,真实车辆中使用激光雷达 Sick-LMS511 的技术参数如表 1 所示。激光雷达的主要任务是用来测量障碍物及巷道壁的距离,输出信息为某个角度的障碍物距离。根据激光雷达的工作原理,使用光线投射 (RayCast) 技术来虚拟激光雷达。

OGRE 提供的光线投射是从空间中的某点向设定好的方向上发出一条射线,当射线与场景中的物体相交时返回物体的名称及射线与该物体的 AABB

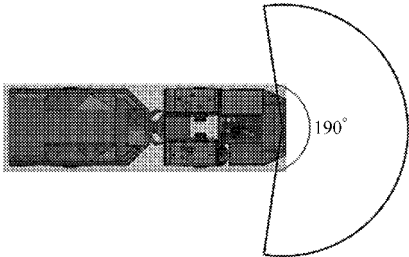


图 9 激光雷达扫描范围

Fig. 9 Scanning range of laser scanner

包围盒交点的坐标。显然只有与包围盒交点的坐标是无法满足要求的,虚拟激光雷达需要精确到能够测量与模型网格三角面的交点。于是首先要提取出模型的顶点及索引数据,之后遍历所有三角面与射线是否有交点,从而得到距离最近的一个交点。

表 1 激光雷达技术参数
Tab.1 Specification of laser scanner

参数	数值
探测距离范围/m	0 ~ 65
扫描角度/(°)	190
角度分辨率/(°)	1
距离误差/mm	± 50
通信接口	串口/以太网/USB

光线投影模拟激光雷达的程序流程如图 10 所示,首先利用 OGRE 建立一个光线投射,并设定该光线的起点及投射方向。光线的起点被设定在由前桥中点向 X 轴正向平移 3.2 m,如图 11 中扇形的圆心位置。光线投射在 XZ 平面上,由 - 5°至 185°进行扫描。每次扫描首先判断是否有物体与光线相交,如果有相交的物体,提取该物体的顶点及顶点索引数据,遍历所有的面片是否与光线相交,并求出最近的交点。

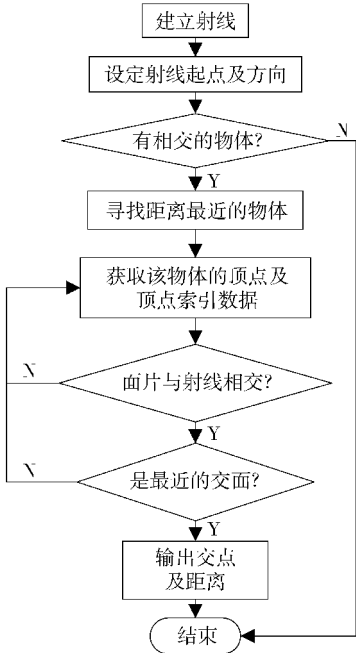


图 10 光线投射法虚拟激光雷达流程

Fig. 10 Process of visualize laser scanner use ray casting

4.2 虚拟激光雷达静态测试

在车辆静态时通过测量特定角度上的距离可检测虚拟激光雷达的精度。测试用巷道数据如图 11 所示,截面宽 6.26 m,高为 4.1 m。使车辆位于巷道中心位置,用虚拟激光雷达分别测量 0°、45°、135°、

180°方向的距离。为了便于观察,在程序中将虚拟激光可视化,从激光发出点到检测到的交点绘制一条带色线段,如图 12 所示。最终测量结果及理论值如表 2 所示,实际测量值与理论值相同,说明采用光线投射方式虚拟激光雷达可以得到理想的数据。该方法完全能够满足智能辅助驾驶虚拟实验的要求。

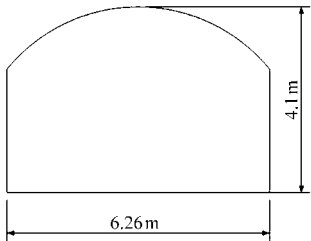


图 11 巷道截面图

Fig. 11 Section of tunnel

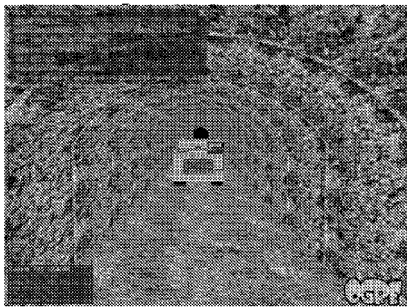


图 12 虚拟激光雷达测试

Fig. 12 Test of virtual laser scanner

表 2 虚拟激光雷达测试数据

Tab.2 Test date of virtual laser scanner

测试角度/(°)	测量距离/m	理论值/m
0	3.130	3.130
45	4.426	4.426
135	4.426	4.426
180	3.130	3.130

4.3 虚拟激光雷达动态数据采集

将车辆置于巷道偏左位置(图 13)与偏右的位置(图 14)来分别实验。为了充分模拟真实的激光雷达,将扫描精度定为 1°,频率设定为 25 Hz,扫描范围从 - 5°至 185°,也就是从车辆的右侧开始扫描到左侧结束,同样将虚拟激光可视化处理,从激光发出点到检测到的交点绘制一条白色线段。

将实验得到的数据以扫描角度为横轴,以距离为纵轴,可得到图 15。从图 15a 可以看出,扫描角在 - 5°~ 75°之间与障碍物距离较小,从而可以判断车辆靠右行驶,图 15b 与图 15a 相反,在 110°~ 185°之间与障碍物距离较小,从而可以判断车辆靠左行驶。由于设定虚拟激光雷达的测距范围为 0 ~ 65 m,所以图中出现了某些角度没有数据的情况。

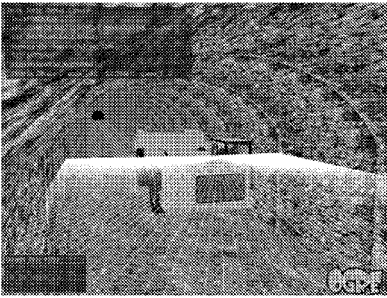


图 13 车辆靠近巷道左侧扫描

Fig. 13 Scanning on left side of tunnel

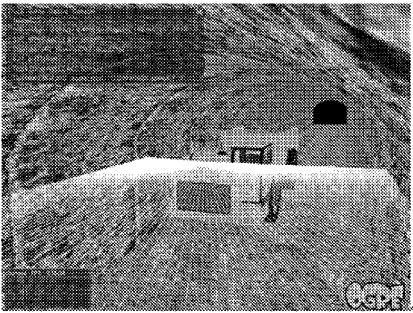


图 14 车辆靠近巷道右侧扫描

Fig. 14 Scanning on right side of tunnel

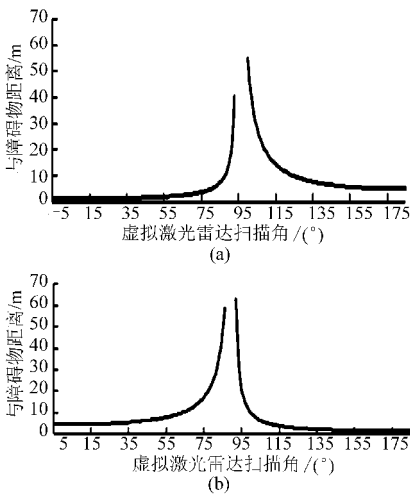


图 15 虚拟激光雷达扫描数据

Fig. 15 Scan data of virtual laser scanner

4.4 辅助驾驶实验

公路汽车的辅助驾驶技术主要目的是提高汽车的行驶安全性,通过传感器来掌握车辆及道路信息,

为驾驶员提供劝告或预警信号。地下矿车的行驶环境不同于普通公路汽车,由于它主要在巷道内行驶,辅助驾驶实验主要为危险驾驶预警。巷道内的危险驾驶行为主要为行驶时与巷道距离过近,所以实验时由驾驶员故意向巷道边行驶,当任意方向上检测到有距离小于 1.5 m 的障碍时系统会给出警示。如图 16 所示,当车辆距离右侧巷道过近,距离不足 1.5 m 时,系统会在液晶屏右上角提示司机“警告:距离右侧不足 1.5 m”。同样的情况,如果车辆距离左侧巷道过近,距离不足 1.5 m 时,系统会在液晶屏右上角提示司机“警告:距离左侧不足 1.5 m”。

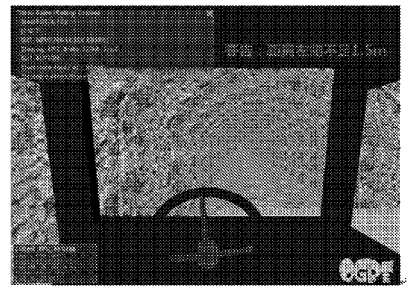
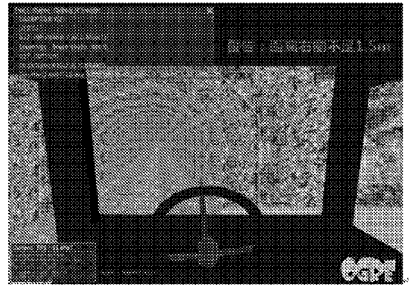


图 16 危险驾驶行为提示

Fig. 16 Warning for dangerous driving

5 结束语

阐述了基于 OGRE 开发的铰接式地下矿车驾驶模拟系统的开发过程,针对铰接车辆的特点建立了 3 自由度非线性模型。实践证明基于 OGRE 图形引擎的系统开发周期短、成本低,实际运行效果可以满足智能虚拟驾驶实验研究。采用光线投射方法虚拟的激光雷达为驾驶模拟器虚拟实验,验证智能辅助驾驶策略提供了一个安全有效的平台。

参 考 文 献

- 1 蔡忠法,章安元. 汽车模拟驾驶模型与仿真的研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2002, 36(3):327~330.
Cai Zhongfa, Zhang Anyuan. Study of automobile emulated driving model and simulation[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2002, 36(3): 327~330. (in Chinese)
- 2 de Groot S, Centeno Ricote F, de Winter J C F. The effect of tire grip on learning driving skill and driving style: a driving simulator study[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2012,15(4):413~426.
- 3 Johan Olstam, Stéphane Espié, Selina Mårdh, et al. An algorithm for combining autonomous vehicles and controlled events in driving simulator experiments[J]. Transportation Research Part C:Emerging Technologies,2011,19(6):1 185~1 201.

- 2 马明建,汪遵元,尹凤福,等. 移动式土壤工作部件性能参数测试系统[J]. 农业机械学报,2000,31(2):35~38.
Ma Mingjian, Wang Zunyuan, Yin Fengfu, et al. Studies on the working components under soil performance parameter testing system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2000,31(2):35~38. (in Chinese)
- 3 王国华. 基于虚拟仪器的农机土槽测控系统[D]. 北京:中国农业大学,2002.
Wang Guohua. Farm machinery test and control system based on virtual instrument on a soil bin[D]. Beijing:China Agricultural University,2002. (in Chinese)
- 4 王殿军. 土槽台车计算机自动控制系统研究[D]. 长春:吉林大学,2004.
Wang Dianjun. Study on a computer automatic control system for soil bin trolley[D]. Changchun:Jilin University,2004. (in Chinese)
- 5 吴俭敏,朱立成,米义,等. 新型土槽试验台的研制[J]. 农机化研究,2011,33(3):92~95.
Wu Jianmin, Zhu Licheng, Mi Yi, et al. The development of the new soil bin test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011,33(3):92~95. (in Chinese)
- 6 于艳,龚丽农,尚书旗. 农机土槽试验动力学参数测试系统的研制[J]. 农业工程学报,2011,27(增刊1):323~328.
Yu Yan, Gong Linong, Shang Shuqi. Development of soil bin test dynamic parameters measurement system[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(Supp.1):323~328. (in Chinese)
- 7 颜华,吴俭敏,林金天. 环形土槽微耕机试验平台设计[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):68~72.
Yan Hua, Wu Jianmin, Lin Jintian. Design of micro-cultivator testing platform with annular soil bin[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(Supp.):68~72. (in Chinese)
- 8 郑海燕,龚丽农,张磊. 农机具受力测试系统试验研究[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2009,26(1):52~55.
Zheng Haiyan, Gong Linong, Zhang Lei. Experimental study on measurement force system for agricultural implements[J]. Journal of Qingdao Agricultural University:Natural Science, 2009,26(1):52~55. (in Chinese)
- 9 Bentaher H, Hamza E, Kantchev G, et al. Three-point hitch-mechanism instrumentation for tillage power optimization[J]. Biosystems Engineering,2008,100(1):24~30.
- 10 Al-Jalil H F, Khdaif A, Mukahal W. Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer[J]. Soil & Tillage Research, 2001,62(3~4):153~156.
- 11 陈浩. 北京一年两熟区固定道保护性耕作技术和配套免耕播种机研究[D]. 北京:中国农业大学,2008.
Chen Hao. Study on controlled traffic conservation tillage and matched no-till planter in annual two crops region of Beijing[D]. Beijing: China Agricultural University, 2008. (in Chinese)

~~~~~

(上接第44页)

- 4 胡立教,陈军,朱忠祥,等. 虚拟现实系统中农业装备模型转换方法[J]. 农业机械学报,2010,41(4):90~94.  
Hu Lijiao, Chen Jun, Zhu Zhongxiang, et al. Transformation of agricultural equipment in virtual reality[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(4):90~94. (in Chinese)
- 5 曾纪国,张艳,战守义. 基于PC的廉价主被动驾驶模拟器的设计与实现[J]. 系统仿真学报,2005,17(5):1092~1096.  
Zeng Jiguo, Zhang Yan, Zhan Shouyi. Design and implementation of low-cost PC-based active and passive driving simulator[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(5):1092~1096. (in Chinese)
- 6 陈定东,尹念东,李勋祥. 分布交互式汽车驾驶训练模拟系统[M]. 北京:科学出版社,2009.
- 7 张利峰,何其昌,李伟,等. 驾驶员疲劳测试驾驶模拟器系统研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(增刊1):247~250.  
Zhang Lifeng, He Qichang, Li Wei, et al. Research on driving simulator for driver fatigue testing[J]. Journal of System Simulation,2009, 21(Supp.1):247~250. (in Chinese)
- 8 Chen L D, Papelis Y, Waston G, et al. NADS at the university of IOWA: a tool for driving safety research[C]//Proceedings of the 1st Human-Centered Transportation Simulation Conference, IOWA, USA, 2001:1~14.
- 9 苑严伟,张小超,毛文华,等. 超低空无人飞行器虚拟现实技术实现与仿真[J]. 农业机械学报,2009,40(6):147~152.  
Yuan Yanwei, Zhang Xiaochao, Mao Wenhua, et al. Reality technology of ultra-low altitude UAV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6):147~152. (in Chinese)
- 10 Mining Magazine. Imitating the real world[J]. Mining Magazine, 2011(1):12~17.
- 11 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- 12 Corke P I, Ridley P. Steering kinematics for a center-articulated mobile robot[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation,2001,17(4):215~218.
- 13 Joshua Marshall, Timothy Barfoot, Johan Larsson. Autonomous underground tramming for center-articulated vehicles[J]. Journal of Field Robotics, 2008, 25(6~7):400~421.
- 14 Altafini C. Why to use an articulated vehicle in underground mining operations[C]//Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1999,4:3020~3025.
- 15 张杨波. 基于OGRE图形渲染引擎的视觉仿真技术的研究与实现[D]. 成都:电子科技大学,2006.  
Zhang Yangbo. Research on OGRE-based visual simulation technology and its implementation[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2006. (in Chinese)