

基于 Unity3D 的煤炭码头视景仿真监控系统研究与实现^①

丁伟利^{②*} 杨 韬^{*} 王文锋^{**}

(^{*} 燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

(^{**} 燕山大学车辆与能源学院 秦皇岛 066004)

摘 要 针对基于摄像头的场景监控系统具有可视场景小、易受天气(阴雨、雾霾)影响、黑夜工作效果差的缺点,提出了基于虚拟现实技术的煤炭码头监控系统实现方法。该方法通过远程数据访问,将现场实时采集的煤场大机的各项运行数据,以及煤堆的 3D 数据,通过 MySQL 数据库与虚拟三维场景相关联,完成了数据驱动下的取料机、堆料机实时运动模拟,以及煤堆数据的网格可视化,进而实现了港口码头煤堆以及大机运行状态的实时三维监控及可视化。该系统真实感强,交互性好,能够全天候实时监控煤场的运行状态,有利于决策者全方位了解现场信息,并及时发现异常状态。

关键词 虚拟现实, Unity3D, 实时监控, 视景仿真

0 引 言

在煤炭码头日常工作时,需要对重要区域人员的活动、生产的状态等进行实时的监视与控制,以便及时发现各种突发异常状况并作出正确的决策和处理。传统监控系统可分为两类:模拟图像监控系统及数字化视频监控系统。随着图像处理技术的不断发展,监控系统逐渐转向数字方式,不仅能提供各类数据、信号还有图像、视频和声音等更加丰富的多媒体信息^[1],实时反映现场的情况,如李灿旭^[2]提出的煤炭码头工程视频监控系统通过在堆场、大机、码头前沿、变电站等重点地点设立视频监控点,将监控图像及时传输到安防监控中心、生产调度中心以及各翻车机、堆料机、取料机、装船机控制中心,帮助实现安全生产控制现代化。李洪峰等人^[3]提出的煤炭码头远程监控系统装置,在现有的自动化软件平台上发展,是对原有投资的更深更好的利用,解决了远程数据实时纪录、存储、传输、重现的需求,而且其

对整个系统的进一步发展提供了良好的基础。马军^[4]提出的煤码头数字监控系统,本质上是将监控图像实时传输到监控中心和其他相关部门,通过对图像的浏览、记录等方式,使各级领导和其他相关职能部门直观地了解和掌握监控区域的安全动态和生产活动,有效提高煤码头治安管理水平 and 生产管理水平和,通过使用更加可靠稳定的设备提高监控系统的稳定性。

传统数字监控虽然比较成熟且高效,但对于恶劣天气、光线明暗等条件具有不适用性,往往造成监控失效以及经济损失。此外,传统方法的多种参数状态也得不到全面、直观、有效的反映。随着计算机硬件及软件的不断发展,虚拟现实技术已经渗透到了各个行业及领域。由于虚拟现实技术可以通过计算机技术将真实的场景三维数字化,与传统监控方法相比,更有利于重现现场状态,并实现 360°全天候实时监测。因此,在实时监控系统中采用虚拟现实技术直观地显示监控场景,并记录设备具体运行状况等内容更有利于决策者掌握所监控现场的具体

① 河北省自然科学基金(F2016203211)资助项目。
② 女,1978 年生,博士,教授;研究方向:虚拟现实,计算机视觉,模式识别;联系人,E-mail: weiye51@ysu.edu.cn
(收稿日期:2018-10-28)

情况。鉴于此,本文提出了基于虚拟现实的煤炭码头监控方法,用远程数据驱动的方法直观显示大机运行状态和煤堆三维数据,全面又简洁地显示各种参数状态,同时克服天气、光照等条件的影响,有效提高煤炭码头治安管理水平 and 生产管理水平。

1 视景仿真系统总体分析

1.1 需求分析

煤炭码头视景仿真监控系统的开发目标,是构建实时视景演示程序,配合 Unity3D 仿真平台进行实时的煤炭码头监控仿真。需要实现以下的性能指标^[5]。

(1) 基础模块的组成化特性:视景仿真监控系统对通用的功能有很好的抽象,而且具备相应的基础模块,符合软件工程中模块化及可复用性的基本思想。

(2) 良好的可拓展性:视景仿真系统构建代码过程中,应充分地考虑到变更需求时的拓展性,可以很好地应对需求的变化以及添加新的功能。

(3) 良好的监控效果:视景仿真系统的数据均来自于现场,可以充分监控现场的变化,而且虚拟现实平台上的监控可以基本上克服恶劣天气、环境的影响,较传统的数字监控有更好的监控效果。

(4) 系统的真实性:视景仿真系统中,所有模型的建立都建立在 1:1 还原实际的基础上,所有的贴图均来自于现场的照片,结合机器机械结构的完美复现,保证了系统的真实性。

1.2 功能分析

由于以上的需求分析,提出的视景仿真监控系统有以下两个主要功能:一是能够实时反映现场取料机的工作状态及仿真训练,二是能够实时反映煤场的情况。所以首先需要构建煤炭码头地理环境场景,逼真再现现场场景。场景主要模型包括:取料机(要真实复现其机械结构)、堆料机、轨道、传送带、路灯、主要建筑物及辅助设备、道路、标牌等等。模型的构建按照实际俯视图和真实环境进行。对于前者,取料机运动的实时仿真包括大机的行走、摆臂的仰角和摆幅、斗轮的旋转及取料机各种数据的实时显示,同时还要建立取料机模拟操作训练场景,可在软件中真实模拟现场作业方式。对于后者,要建立整个煤炭码头堆垛的实时仿真,可以明显监控到堆垛的变化,同时实时显示堆场垛位煤炭信息,显示货主、品种、计划作业量、剩余量等基本信息。最后的视景仿真监控系统中有两种监控方式,一是实现固定视角监控现场,可对设备多角度观察,也可进行单机、多机和全景观察。二是漫游视角监控现场,可在场景中漫游,自由移动的摄像机不受空间的限制,可对设备和堆场从任意高度、任意角度进行查看。

2 视景仿真系统总体架构

系统软件模块结构如图 1 所示,分为人机交互模块、主体框架模块、取料机仿真模块、煤场可视化模块和数据库管理模块。这样模块化的系统设计^[6],除了可以并行同步完成设计开发、提高开发效率之外,还具有良好的拓展性。

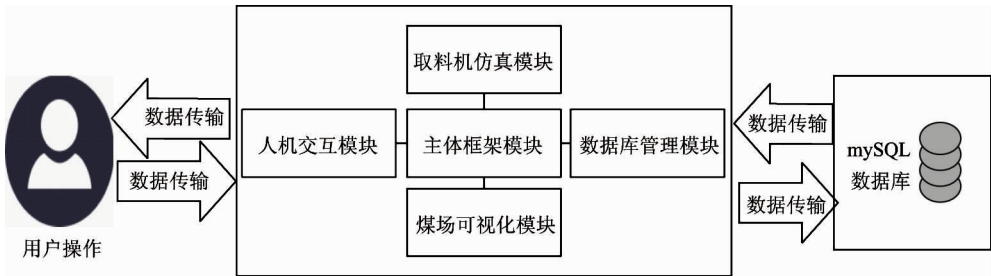


图 1 系统总体架构图

2.1 主体框架模块

主体框架模块(图2)主要负责整体程序框架的搭建,包括界面设计、模型渲染以及初始化等工作,这部分是软件的骨架,是软件的入口点,同时主体框架模块具有良好的拓展性和可复用性,留有许多功能拓展接口,比如煤场区域的增加、机器的增加等,为日后软件的完善提供条件。

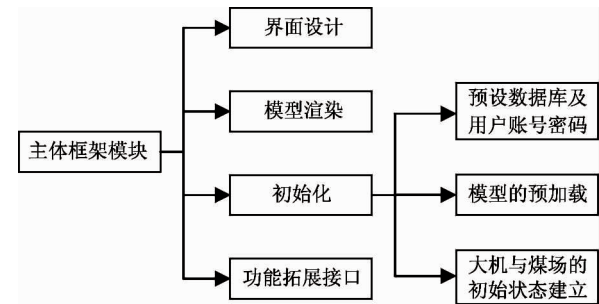


图2 主体框架模块结构图

2.2 人机交互模块

人机交互模块不仅可以响应用户的鼠标及键盘操作事件,还可以完成所需信息的实时显示。具体来说,人机交互模块主要可以分为以下4个部分:第一,用户可以通过本模块完成登录以及数据库的连接;第二,用户可以通过点击对应按键或按钮,查看机器以及煤场的实时信息;第三,用户可以通过鼠标操作完成对现场机器以及煤场的360°漫游观察;第四,用户可以通过键盘操作完成取料机模拟操作训练。流程图如图3所示。

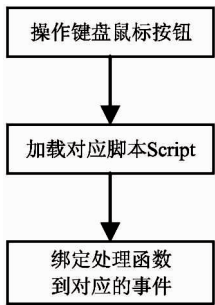


图3 人机交互模块流程图

2.3 取料机仿真模块及煤场可视化模块

取料机仿真模块及煤场可视化模块是本系统最为重要的2个模块,本文使用模型库中根据实际场景和机器进行1:1真实建立的模型,与现场实时采

集并存放在MySQL数据库中的数据完成这2个模块的搭建。具体的功能如下。

(1) 取料机模拟操作模块。主要完成取料机的模拟操作训练场景即通过简单的按键,实现大机前后、俯仰、摆臂、料斗旋转等运动;根据MySQL数据库中的数据,完成机器的实时运动仿真(即监控功能),同时实时显示机器上操作人员的信息以及机器的相关信息,包括机器的运转角度、工作状态等。

(2) 煤场可视化及信息显示模块。根据MySQL数据库中的数据,在Unity平台中通过对地形的实时控制与对最终的三维网格渲染贴图,完成煤场的可视化,尽可能还原实际场景的同时实时显示煤场的相关信息,包括煤场的编号、大小等。

除此之外,本模块还完成虚拟现实场景显示功能,即通过头戴HTC Vive显示器,在虚拟场景中多角度近距离地观察。

2.4 数据库管理模块

本文中所有的数据均来自于现场实时采集的数据,包括取料机的俯仰、偏移等角度、取料机实时的位置、煤场的长宽高和煤堆动态变化信息,该数据存放在MySQL数据库中,所以需要数据库管理模块来完成数据库中数据的处理以及数据库与Unity3D平台的连接。具体而言,这一模块将统一管理数据的名称、类型与路径,提供接口,减少每次与数据库交互数据时的代码修改工作。

2.5 软硬件方案

软件部分流程图如图4所示。首先整理处理资料,完成UI人机交互界面以及框架的设计;其次使用Catia软件,根据实际机器的CAD图进行各部件

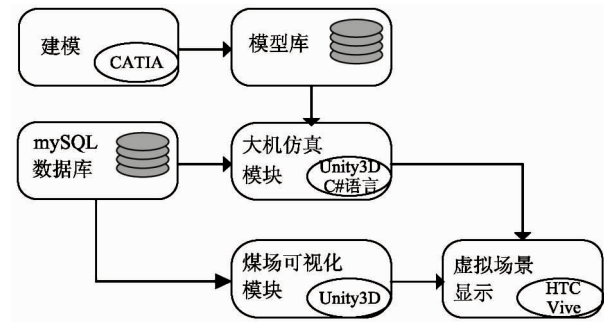


图4 软件部分流程图

1:1 真实建模,并使用 3dsMax 软件完成虚拟场景的设计建模,根据实际场景的照片完成贴图,将完成模型存放在模型库中;然后基于 C#语言,连接 MySQL 数据库,在 Unity 3D 平台上完成大机仿真模块与煤场可视化模块部分的具体内容,包括大机的模拟训练、大机与煤场的实时监控及信息显示、虚拟场景在 HTC Vive 中的显示等。

硬件部分如图 5 所示,在个人计算机端完成界面设计、取料机运动、操作仿真和煤场可视化算法设计和仿真,然后在信号输出端,利用 HTC Vive 实现三维虚拟场景的展示。



图 5 硬件部分

3 关键技术实现

3.1 场景建模

视景仿真系统,需要对场景规范建模。模型的质量和结构直接影响其数据驱动和系统运行时的实时性能。对系统场景进行复现的关键在于恰当模型组织结构的确 定。在对场景建模之前,应首先完成三维场景中所有模型层次关系图的制定,其依据是真实场景中的结构关系及空间位置,如图 6。之后便进行分组建模,每组先创建主要实体零件,然后分析其受力应力,并优化实体,然后根据装配需求装配并设计次要零件,最后整体装配。这样,可以明确建模目标,大大缩短建模时间。

而在本系统中,由于需要进行大机运动的模拟,所以选择使用 Catia 软件对大机进行建模,流程图如图 7 所示,对 其 余 主 要 场 景 则 选 择 使 用 3dsMax 软件进行建模,流程图如图 8 所示。其区别在于在 Catia 软件中可以更好地对大机的机械结构完成复现,在

之后的运动控制中可以更加细节化的实现,而在 3dsMax 软件中可以完成更好的渲染效果以及贴图。本文所使用的贴图基本上来源于经过 Photoshop 处理之后的现场照片,尽可能地使所完成的场景模型更加真实。最后将所有完成的模型保存为 .fbx 格式的文件,以便之后导入 Unity3D 平台中使用。

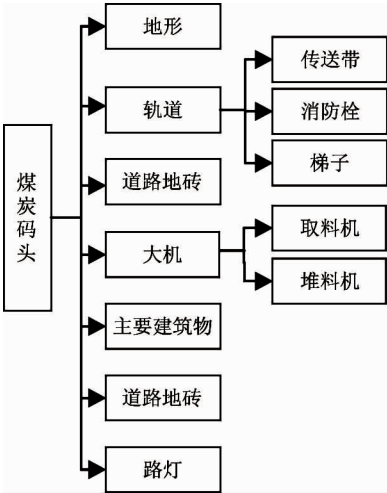


图 6 场景层次结构图

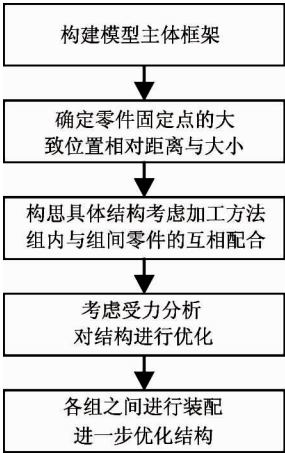


图 7 大机建模流程图

而视景仿真并不仅仅是建立模型就有足够真实的效果,环境的光源同样也是仿真的重要组成部分,如果说模型决定了场景的形状,那么光源就决定了场景呈现出来的氛围。在 Unity3D 中,一共有 4 种光源对象,分别是点光源、平行光光源、区域光光源和聚光灯光源,通过不同种类光源的配合,才可以搭建出层次分明的场景效果。

本文中主要的光源有两种,分别是太阳光源与路灯光源。对于太阳光源,选择使用平行光源,并需要其能够随着时间的变化而运动;对于路灯光源,选择使用点光源,并需要其可以手动地控制开关与自动地定时开关,光源设置流程如图 9 所示。

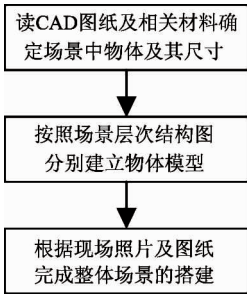


图 8 场景建模流程图

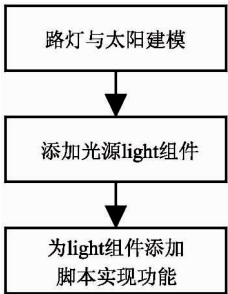


图 9 光源流程图

3.2 数据库的连接

本系统中,取料机的运转、煤场的可视化及二者信息的显示都是实时的,其来源是现场实际采集的大机和煤场的数据,这些数据实时传递到服务器端,存放在 MySQL 数据库之中。并在进行仿真时,客户端计算机实时访问服务器端数据库,将对应数值读取出来并驱动模型和场景运转。

数据存储形式以煤场数据存储(图 10)为例,列名包括序列号、煤场名称、首尾及中间位置等,数据类型有 int、string 等。

具体的连接数据库步骤如下。

(1) 调用 QSql Database 类中的 add Database() 函数获取数据库对象,该函数参数填写需要连接的数据库类型和自定义连接名,根据选择的数据库,本人填写 QMYSQL 参数。

(2) 然后分别调用 setDatabaseName(),setHost-

Name(),setPort(),setUserName(),setPassword() 这些函数绑定数据库名、数据库 IP 地址、数据库端口,然后填写数据库用户名和密码连接该数据库。

(3) 选择 open() 函数判断该数据库是否连接成功,如果连接失败,输出连接失败的出错信息;如果连接成功,利用 QSqlQuery() 获取该数据库的数据集对象,然后利用数据集对象进行数据的增加、删除、修改、查找操作。

列名	数据类型
listno	int
pile_name	int
pile_start	int
pile_stop	int
pile_middle	int
pile_valid	int
pile_occupy	int

图 10 数据存储形式

3.3 大机的运动模拟及仿真

大机的运动模拟仿真是本系统重要的组成部分,现场采集的信息存放在 MySQL 数据库中,首先要完成 MySQL 数据库与 Unity3D 软件的链接,得到其中关于大机的数据,包括机器的运动以及各个部分的俯仰角、偏转角;然后与模型各个部分一一对应起来,通过编程控制模型的具体运动从而实现实时的仿真^[7]。相应位置所使用的函数如表 1 所示。

表 1 关键部件脚本 API

关键部件	脚本 API
行走机构	transform. position = new Vector3 (x, y, z)
俯仰机构	transform. localRotation = Quaternion. Euler (Rx,Ry,Rz)
旋转机构	transform. localRotation = Quaternion. Euler (Rx,Ry,Rz)
斗 轮	transform. Rotate(0, 0, 50 × Time. deltaTime, Space. Self)

Unity3D 平台具有可视化的树状项目资源列表(Hierarchy),它可以列出项目中所有的场景及文件。而且,Unity3D 可以直接拖拽对象来建立对象

间的父子关系。在父子关系中,对父对象的移动或操作,会对其子物体完成同样的操作。这样也使得大量的对象属性更改更为简便。所以在编程之前,首先了解实际机器的运作模式,对已经建立好的模型梳理其父子关系,对各个部分的零件进行分类,使得之后对机器具体地运动仿真更加简洁、高效。

一般对于运动仿真,都需要考虑碰撞检测^[8-10](collision detection)。作为虚拟现实的主要部分之一,碰撞检测可以使得虚拟的人、物在虚拟的场景中交互,更加逼真地模拟现实环境,更加符合逻辑^[11]。在本系统中,碰撞检测用于点击模型时信息的显示和漫游相机漫游中不会穿过物体。

在 Unity 中,需要给碰撞检测的物体添加碰撞器组件(Collider),其中包含 Box Collider, Sphere Collider, Capsule Collider, Mesh Collider 等,具体的,碰撞器组件的作用就是使用一个规则的多边形逼近该物体,然后检测不同物体之间的碰撞器是否相交^[12]。本文中使用的是 Mesh Collider 组件,具体做法是在摄像机 Camera 与机器、场景等 GameObject 上添加 Mesh Collider 组件,通过调用 OnCollisionEnter 事件响应函数避免摄像机穿过物体;鼠标点击物体显示信息的原理是鼠标点击时,发射一条射线,对射线与物体进行碰撞检测,再通过相应函数完成对应操作。

3.4 煤场数据可视化

为了实现实时动态的三维煤场数据可视化,本文根据实际激光点云数据,利用 Unity 3D 的 Mesh (网格)、Material(材质,其中包含贴图)、Collider(碰撞体,游戏效果,否则就被当空气穿越了)实现实时的煤场状态监控。

3D 世界中任何的面都是由三角形绘制完成的,因为任何无规则的几何图形都可以由三角形来组成,如图 11。比如四边形,无论是正四边形还是无规则四边形都可以由两个三角形拼接而成。如图 12所示,模型上的一个个小网格就是 Mesh,这些 Mesh 有不同的三维顶点(Vector3),共同组成了一个 3D 模型。

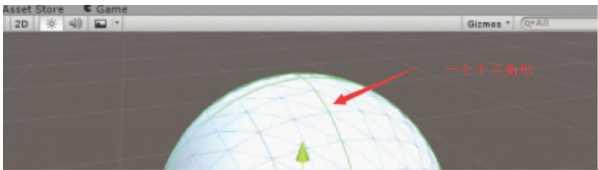


图 11 球面上的三角网格

在实际的煤场可视化过程中,如图 12,首先确定方形煤场的区域,建立初步的网格,然后根据精度以及尺寸,确定网格具体的数量进行细化,以实际尺寸为例,50 m × 300 m 的方形煤场,精度 1 m 时,网格大小即为 50 × 300(宽 × 高)。再将数据库中由现场实际测量得到的煤场高度赋予对应顶点的高度值,得到三维网格,在这里我们的长宽值是固定不变的,高度值将由于实际测量值的改变而改变,从而动态地获得煤场的三维网格。

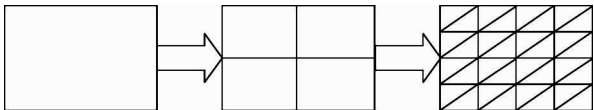


图 12 网格细化

然后对煤场三维网格进行渲染贴图实现煤场的可视化,具体地,如图 13 所示,Mesh 网格的顶点 0、1、2、3,那么它们组成的三角形可以表示为{0,3,1}和{0,2,3},要注意的是三角形的顶点顺序必须是顺时针,顺时针表示正面,逆时针表示背面,而 Unity 3D 在渲染时默认只渲染正面,背面是看不见的。这样,经过渲染之后我们就可完成煤场的可视化仿真。

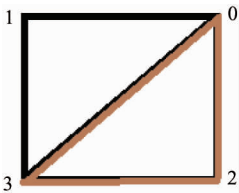


图 13 一个简单的 Mesh

4 仿真结果及系统实现实例

4.1 整体场景仿真结果

图 14(a)所示是系统与数据库连接时的界面,在这里输入服务器的 IP 地址以及用户账号密码,即

可完成与数据库的连接。图 14(b)、(c) 两图是系统整体场景的二维显示与三维显示,在二维场景显示中,可以通过点击某一大机从而跳转到三维场景之中。

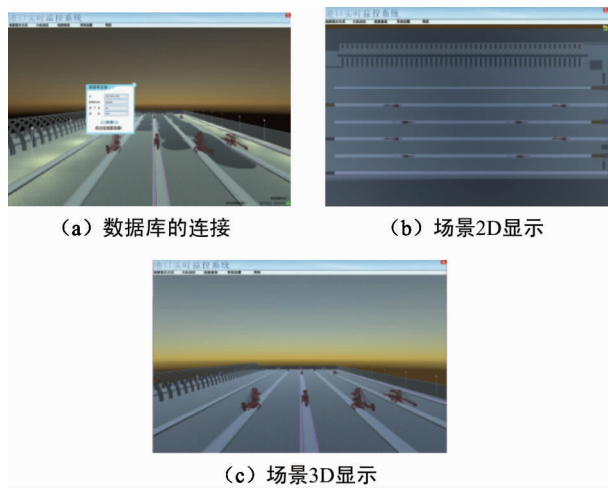


图 14 整体场景仿真

4.2 大机的运动模拟仿真结果

图 15(a)、(b) 中,分别是通过单机及多机的角度观察大机状况,此时通过鼠标右击对应的大机可以获得其编号、所在轨道、斗轮旋转速度等信息,并如图 15(a) 中显示出来,在多机观察时可以通过左击某一大机跳转到单机观察模式。图 15(c)、(d) 分别是大机摆臂及俯仰仿真状态。

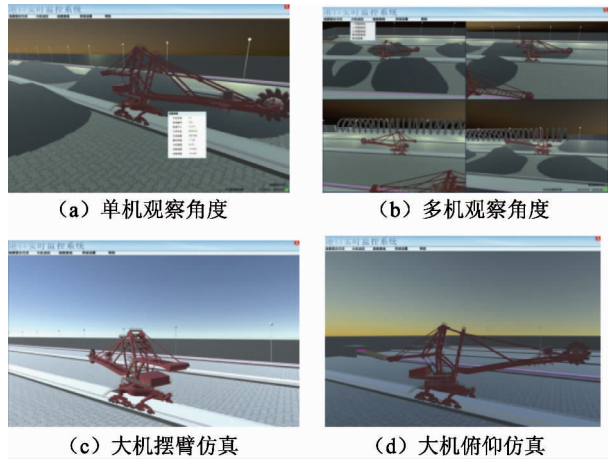


图 15 取料机模拟仿真

4.3 煤场可视化结果

与数据库连接成功之后,煤堆仿真结果如图 16 所示,这时的煤场仿真会随着时间变化时数据库中

数据的改变而发生改变,此时右击对应的煤场区域,会实时显示其编号、起止位置、体积等信息。

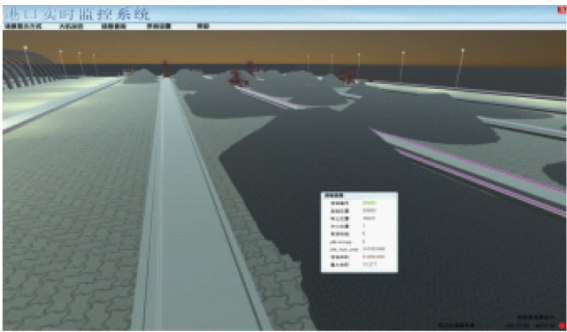


图 16 煤堆的实时仿真及信息显示

5 结 论

本文提出的煤炭码头视景仿真监控方法能相对真实地还原实际煤炭码头的工作场景并完成实时同步监控。该方法具有较强的针对性和实用性,同时能满足系统实时性要求,可以克服摄像头监控对恶劣天气环境的影响,模块化的设计也极大地提高了系统的拓展性和可复用性。然而,目前系统在煤堆的可视化效果逼真性不强,后续研究将继续提升煤堆的可视化效果。

参考文献

[1] 张毅. 基于 HLA 和 Unity3D 的视景仿真技术研究与应用[D]. 西安:西安电子科技大学计算机科学与技术学院, 2014

[2] 李灿旭. 浅析唐山港曹妃甸港区煤码头(二期)工程视频监控系统[J]. 科技风, 2013(8):131

[3] 李洪峰, 方 胜, 朱连义, 等. 煤码头远程监控系统装置[P]. 中国专利:CN2789859, 2006

[4] 马军. 煤码头数字监控系统[J]. 科技创新导报, 2011(19):15

[5] 孙诗行, 宗群, 徐锐. 基于 OGRE 的卫星视景仿真软件的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(10): 203-206

[6] 牛若曦, 杨新. 卫星在轨运行视景仿真[J]. 计算机仿真, 2013, 30(8):50-53

[7] 邹军, 赵炯, 周奇才, 等. 基于 Unity3D 的斗轮堆取料机监测数据三维可视化[J]. 起重运输机械, 2017(5): 15-18

[8] 王祎. 虚拟现实碰撞检测关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学,2009

[9] 杨浪. Unity 中的碰撞检测方法研究[J]. 软件导刊, 2014(7) :24-25

[10] 武桐,王晓雨. Unity3D 中碰撞检测问题的研究[J]. 电子测试, 2018(1) :83-84

[11] Ye T, Chen F, Wang W Q, et al. Design and realization of ship fire simulation training system based on Unity3D [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018,108(5) :052101

[12] 丁伟利,郝颖明,朱枫,等. 排爆机器人训练仿真系统中的碰撞检测技术[J]. 系统仿真学报, 2006(3) : 675-679

Research and implementation of visual simulation and monitoring system for coal terminal based on Unity3D

Ding Weili *, Yang Tao *, Wang Wenfeng **

(* School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

(** College of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract

Considering the camera-based scene monitoring system has the disadvantages of small visual scene, easy to be affected by weather (rain, fog) and poor working effect in the night, a framework for realizing coal terminal monitoring system based on virtual reality technology is proposed. The virtual reality simulation platform is developed by Unity3D, the running data of the machine and the 3D data of the coal piles are correlated with the virtual 3D scene through MySQL database, then the motion of the reclaimer, stacker and the coal piles is simulated under data driving. Finally, the real time 3D monitoring and visualization of the coal pile and the running state of the machine are realized. The system has strong sense of reality and good interaction, and can realize real-time monitoring of coal yard all-weather. It is conducive to the decision-maker to understand the field information in an all-round way and discover the abnormal state in time.

Key words: virtual reality, Unity3D, real-time monitoring, visual simulation