

12-12-2019

OsgEarth Stereoscopic Vision Generation Method for HMD-based Virtual Reality

Liheng Tan

1. *Institute for Geographic Spatial Information, The PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;;*

Ma Qiang

2. *Troop 61363, Xi'an 710000, China;;*

Bingchuan Jiang

1. *Institute for Geographic Spatial Information, The PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;;*

Li Feng

1. *Institute for Geographic Spatial Information, The PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

OsgEarth Stereoscopic Vision Generation Method for HMD-based Virtual Reality

Abstract

Abstract: The technology of immersive virtual reality based on helmet mounted display (HMD) has become a focus of study, however, its visual content is mainly produced through commercial game engines. OsgEarth is an open-source, state-of-the-art and widely used digital earth simulation system. Based on this, we studies the stereoscopic vision generation method for global virtual terrain environment, mainly focusing on: stereoscopic vision theory; construction of global high-precision virtual geographical environment; calculation of binocular view frustrum; system integration. The proposed method is verified under the hardware conditions of PC and HTC VIVE, which can generate stereo images of the global virtual geographic environment correctly, and can allow users to have immersive experience of roaming the earth.

Keywords

helmet mounted display (HMD), virtual reality, virtual geographic environment, osgearth, digital earth, stereoscopic vision, HTC VIVE

Recommended Citation

Tan Liheng, Ma Qiang, Jiang Bingchuan, Li Feng. OsgEarth Stereoscopic Vision Generation Method for HMD-based Virtual Reality[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(7): 1290-1299.

面向头盔式虚拟现实的 OsgEarth 立体视觉生成方法

谭力恒¹, 马强², 蒋秉川¹, 李锋¹

(1. 信息工程大学地理空间信息学院, 河南 郑州 450000; 2. 61363 部队, 陕西 西安 710000)

摘要: 基于头盔显示器的沉浸式虚拟现实技术近年来逐渐成为研究热点, 但目前其视觉系统开发主要是基于商业游戏引擎。OsgEarth 是一款开源、先进、并得到广泛应用的数字地球仿真系统, 研究全球地形环境的虚拟现实视觉生成方法, 重点研究: 立体视觉理论; 全球高精度虚拟地理环境构建方法; 双目观察视景物计算方法; 软硬件系统集成。所提出的方法已经在 PC 和 HTC VIVE 等硬件条件下成功得到验证, 能够正确地生成全球虚拟地理环境的立体视觉图像, 让用户身临其境地在全球范围漫游浏览。

关键词: 头盔式显示器; 虚拟现实; 虚拟地理环境; OsgEarth; 数字地球; 立体视觉; HTC VIVE

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 07-1290-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-VR0700

OsgEarth Stereoscopic Vision Generation Method for HMD-based Virtual Reality

Tan Liheng¹, Ma Qiang², Jiang Bingchuan¹, Li Feng¹

(1. Institute for Geographic Spatial Information, The PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;

2. Troop 61363, Xi'an 710000, China)

Abstract: The technology of immersive virtual reality based on helmet mounted display (HMD) has become a focus of study, however, its visual content is mainly produced through commercial game engines. OsgEarth is an open-source, state-of-the-art and widely used digital earth simulation system. Based on this, we studies the stereoscopic vision generation method for global virtual terrain environment, mainly focusing on: stereoscopic vision theory; construction of global high-precision virtual geographical environment; calculation of binocular view frustrum; system integration. The proposed method is verified under the hardware conditions of PC and HTC VIVE, which can generate stereo images of the global virtual geographic environment correctly, and can allow users to have immersive experience of roaming the earth.

Keywords: helmet mounted display (HMD); virtual reality; virtual geographic environment; osgearth; digital earth; stereoscopic vision; HTC VIVE

引言

近年来, 基于头盔式显示器(Helmet Mounted



收稿日期: 2018-06-30 修回日期: 2018-10-22;
基金项目: 国家自然科学基金(41801319);
作者简介: 谭力恒(1986-), 男, 河南郑州, 博士生, 讲师, 研究方向为虚拟地理环境、虚拟现实;
马强(1995-), 男, 山西长治, 本科, 助工, 研究方向为地图学与地理信息系统。

Display, HMD)和空间定位设备的沉浸式虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术得到了广泛的关注和研究^[1-2], 其软硬件体系都在不断快速发展, 逐渐从实验室走向大众。这种类型的虚拟现实技术直接由计算机从 2 个不同的视角实时地对虚拟场景进行渲染, 从而生成双目立体视觉图像。再将这两幅图像分别呈现在头盔式显示器中的两块屏幕上, 由

<http://www.china-simulation.com>

• 1290 •

双眼进行观看^[3]。这就能够让用户的双眼产生视差,从而感受到场景的纵深感和立体感。头盔式显示器还具有较为宽广的可视角度,并能够屏蔽真实世界的干扰,从而为用户提供了很强的沉浸感。同时,基于计算机视觉、激光雷达、红外遥感或惯性传感器的定位设备的引入^[4],能够实时动态地捕捉头盔显示器、数据手套、交互手柄乃至人体各个关节的位置和姿态,从而能够在虚拟世界中对人的行为动作进行复现,让用户以自然的方式在虚拟世界中进行漫游、观察和交互^[5]。

自 2012 年 Facebook 以 20 亿美金收购 Oculus 公司以来,众多高科技公司和科研机构开始关注这一领域的研究和发展。虚拟现实被认为是继计算机、手机之后的下一代个人计算平台,各种硬件设备和软件体系层出不穷。其中适用于个人用户的、代表性的商业硬件产品包括:基于 PC 主机的 HTC VIVE、Oculus Rift,基于 PS4 游戏主机的 PSVR;基于手机扩展的 Google DayDream、三星 GearVR 等,国内华为、小米等公司也有类似的产品;基于移动一体机的 HTC VIVE Focus, Oculus Go 等。从整体上看,后两类硬件平台采用的都是移动处理器架构,便携性较强,但性能相对较弱;而第一类基于 PC 主机的设备则可以利用桌面级 CPU 和显卡,具有更强的计算和渲染能力,能够支持更大范围、更加复杂、更加逼真、更高效率的虚拟场景渲染。这其中,HTC VIVE 的硬件优势尤为明显,其头盔显示器具有目前最高的视觉分辨率、最快的刷新频率和最宽阔的视野,并且其头盔和交互手柄都具有大范围、高精度的空间定位能力,能够在当前民用级别设备中提供最好的虚拟现实体验^[6]。此外,在软硬件结合方面,HTC VIVE 原生支持作为行业技术标准 OpenVR 开发接口,以及 SteamVR 底层驱动,这为研究人员提供了极大的便利。

在 VR 内容制作方面,为了让用户能够具有身临其境的体验感受,通常要求采用先进的三维图形技术,对虚拟场景进行高逼真度的渲染。因此,目前主要相关工作都是使用商业化的游戏引擎来完成

成的,如 Unreal Engine 4, Unity 5, Unigine 等等。这些引擎不仅具有次时代图形表现能力,而且还具备完善的工具链,具备制作和实时渲染高逼真度三维场景的全流程能力。目前,主流游戏引擎都已经直接支持虚拟现实应用的开发,通过其 VR 插件即可完成立体视觉生成、硬件集成与驱动等工作。但是这种基于游戏引擎的方法只能构建局部地形的场景(通常范围在 10 km 以内),并且场景中的内容都需要通过人工建模和场景编辑完成,工作量较大,因而在某些情况下会导致应用受限,更多的集中在视频、游戏、购物、社交、医疗、房地产等领域。

在地理信息科学领域,与三维可视化相关的一个重要研究方向就是全球虚拟地理环境(Virtual Geographic Environment, VGE),其可视化的数据基础为全球地形高程、影像数据,各种类型的数字地图矢量数据,部分人工建模数据,众包态势数据,以及近年来快速发展的大规模三维重建点云数据等等。其特点为数据量大(TB 乃至 PB 级别),仿真范围广(全球乃至外太空),基于现有测绘数据,具有严格的精度和空间参考等,而这些都是游戏引擎难以实现的。OsgEarth 是一个基于 C++和 OSG (Open Scene Graph)图形库开发的数字地球系统,由于其具有开源的特性,近年来已经成为相关领域使用范围最广的平台。但目前,在 OsgEarth 与头盔式虚拟现实结合方面的研究基本还是空白,需要从视觉理论、硬件驱动、图形算法等底层理论加以探索。

本文旨在基于 OsgEarth 图形系统和 HTC VIVE 硬件平台,构建全球范围的高精度虚拟地理环境,并通过研究立体视觉理论、软硬件结合方法,实现可用于头盔式虚拟现实的数字地球系统。头盔式虚拟现实技术与数字地球的结合,能够为用户带来身临其境漫游全球的体验,从而有效地拓展了用户的空间认知范围、增强了用户的空间认知能力,也能够为其他相关研究提供了基础支撑,具有较为重要的研究意义。

1 立体视觉构建

1.1 双目立体视觉原理

人类视觉模型是计算机视觉系统的原始模型。对于虚拟现实技术来说，核心问题之一就是让人眼观察能够具有深度知觉。深度知觉既可以来自双眼线索也可以来自单眼线索。单眼观察时，深度信息来自对象本身和周围信息；双眼观察时还可以来自彼此的协调感知能力。沉浸式虚拟现实技术主要注重双眼视觉观察。

双眼线索是指双眼同时协调作用获取的深度感知。典型的双眼线索有如下 2 种：

- (1) 双眼辅合作用。当人们注视近处物体时，通过眼球转动以聚合视线从而获得深度信息。
- (2) 双目视差线索。双眼看同一景物时，由于两眼的位置不同，成像不会完全相同，这种差别称之为双目视差。在 VR 技术当中，就是利用这一原理来产生立体感。

视差就是从有一定距离的两个点上观察同一个目标所产生的方向差异，就是这一特性产生了双眼立体视觉。如图 1 所示，视差有 4 种基本的类型：

- (1) 零视差。即两眼所看到的像没有区别。
- (2) 正视差。有了正视差就有了深度层次。
- (3) 负视差。其产生是因为双眼的视线交叉。
- (4) 发散视差。指视差取值大于瞳距。



(a) 零视差 (b) 正视差 (c) 负视差 (d) 发散视差

图 1 4 种视差类型

Fig. 1 Four types of parallax

其中零视差和发散视差不能够生成有效的立体相对；负视差的成像平面位于显示介质之上，通常用于电子沙盘等场合；对于头盔式虚拟现实而言，更多的是采用合理的正视差，来构建具有深度感受的虚拟场景。

1.2 立体视觉建模

下面根据立体视觉原理，建立双目立体视觉的数学模型，如图 2 所示，建立笛卡尔坐标系。

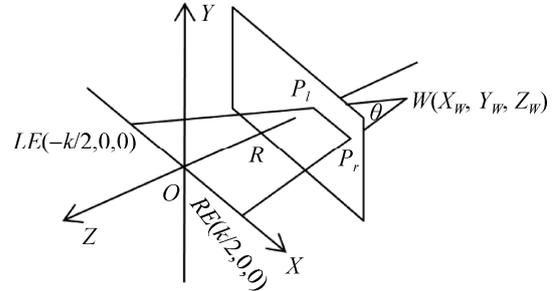


图 2 视差解析图

Fig. 2 Analytic coordinate for parallax

左右眼的坐标分别为 $LE(-k/2, 0, 2)$, $RE(k/2, 0, 2)$ ，物体点在空间的坐标为 $W(X_w, Y_w, Z_w)$ ， W 与左右眼形成夹角 θ ，与屏幕的交点坐标为 $P_l(X_l, Y_l, Z_l)$, $P_r(X_r, Y_r, Z_r)$ 两点， R 为人眼与屏幕之间的距离， k 为人两眼之间的距离，若记 Pa 为视差，则由投影关系得：

$$P_l = \frac{X_w + k/2}{Z_w} \times R - \frac{k}{2}$$

$$P_r = \frac{X_w - k/2}{Z_w} \times R + \frac{k}{2}$$

$$Pa = P_r - P_l = k - \frac{k}{Z_w} \times R$$

所以人眼所能感受到的视线相交位置的深度值与视差的关系为：

$$Z_w = \frac{k \times R}{k - Pa}$$

由于 R 和 k 均为常数，因此不同的 Pa 值设置会有不同的结果：

若 $Pa > 0$ ，物体在屏幕之后；若 $Pa = 0$ ，物体在屏幕上；若 $Pa < 0$ ，物体在屏幕之前。

1.3 观察相机计算

根据立体视觉原理可知，视差产生了立体视觉。对于头盔显示器来讲，图像的显示必须符合用户真实的感知。为了模拟正确的视觉感知，研究中必须要建立正确的双眼观察相机的位置姿态模型，

以及投影模型。

1.3.1 平行相机

如图 3 所示, 一种最为直接的思路是: 将原始非虚拟现实模式下的单一相机进行简单的平移, 从而得到 2 个完全一样的, 中心轴平行的相机组合。这种方式下, 只需要对原始单一相机的位姿矩阵进行简单变化, 乘以相应的水平位移矩阵即可^[7,11-12]。

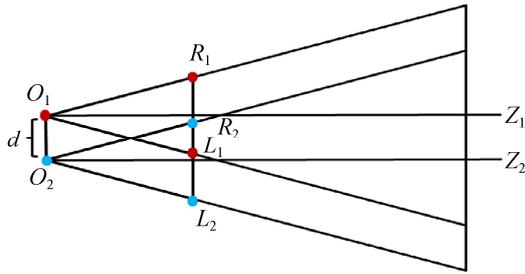


图 3 中心轴平行相机组合
Fig. 3 Two cameras with parallel central axes

图 3 中 O_1 、 O_2 为 2 个虚拟摄像机, L_1R_1 、 L_2R_2 分别为 2 个相机所对应的视平面。 O_1Z_1 、 O_2Z_2 为两个摄像机的中心轴。相对非虚拟现实模式下的单相机而言, 双目相机在 X 轴方向的偏移量分别为 $-d/2$ 和 $d/2$, 写成矩阵的形式即为:

$$M_u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -d/2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d/2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由模型的特性可知, 由于视中心轴相交于无穷远处, 故根据 1.2 节推导的公式可知, 视线相交位置的深度值 $Z_w = \infty$, 并可得 $Pl = -k/2$, $Pr = k/2$, 可知视差为 $Pa = k$, 由于 k 为常数, 所以视差恒定不变。因此, 2 幅相机绘制的场景的所有位置都会给人相同的深度感受, 即无法在人脑中形成立体感, 所以不能利用其产生立体视觉。

相机投影矩阵则完全一样, 都是普通对称透视投影矩阵, 其投影的视景体如图 4 所示。其中 l, r, t, b 分别为视景体的近投影面在 XY 平面空间的范围, n, f 分别为视景体远近投影面距离视点的距离。则其投影矩阵 M_p 的形式为:

$$M_p = \begin{bmatrix} 2n/(r-l) & 0 & -(r+l)/(r-l) & 0 \\ 0 & 2n/(t-b) & -(t+b)/(t-b) & 0 \\ 0 & 0 & f/(f-n) & -fn/(f-n) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

对于形状对称的视景体, 这里 $r = -l$ 、 $t = -b$ 。

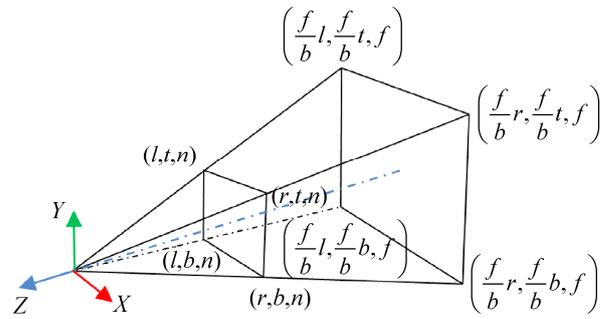


图 4 对称透视投影视景体
Fig. 4 Frustum for perspective projection

1.3.2 斜交相机

为了改善上述模型存在的不足, 本节将对之前相机模型进行修改。首先, 为了产生立体感, 根据 1.2 节的分析, 需要分别旋转 2 个相机, 使得视线能够交汇。以 Y 轴逆时针方向为正, 则可设 O_1 相机旋转的角度为 α , O_2 相机旋转的角度为 $-\alpha$, 则旋转矩阵的形式为:

$$M_{n1} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{r1} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

相机旋转结果如图 5 所示。

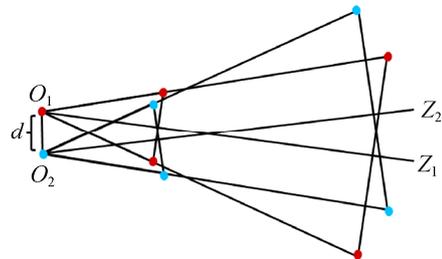


图 5 斜交相机姿态示意图
Fig. 5 Two cameras with intersecting central axes

目前已有相关研究得到类似的结论^[12]。但仅采用这种方式, 会使得原本用于单一相机的对称平

截头的投影方式会使得两个新相机的成像面不在一个平面上，这会导致同一物体在 2 个视景体中的深度不同，从而造成错误的视觉感受。为此，本文提出还需要对视景体进行进一步修正，如图 6 所示。

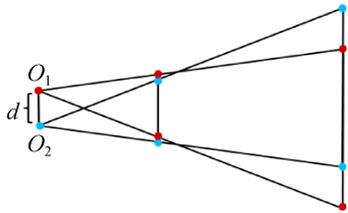


图 6 最终正确的视景体形状
Fig. 6 Final correct frustums for both cameras

修正后的投影视景体不再是对称的平截头体形状，下面以左眼 O_1 相机为例，计算投影参数。所使用的公式与普通对称透视投影矩阵完全相同，并且本身只是将相机绕 Y 轴进行了旋转，因此可以认为其中的 t 、 b 、 n 、 f 值都保持不变，仅需计算新的 l' 和 r' 值。图 7 展示了左眼相机视景体从观察坐标系 Y 轴正方向观看的顶视图。设视景体的水平夹角为 β ，则容易得出：

$$\beta = 2\arctan(r/n)$$

$$l' = -n \times \tan(\beta/2 - \alpha)$$

$$r' = n \times \tan(\beta/2 + \alpha)$$

将 l' 和 r' 带入投影矩阵计算公式即可得到左眼正确的投影矩阵 M_{pl} ，同理可以计算右眼的投影矩阵 M_{pr} 。

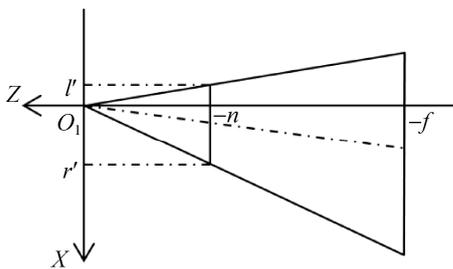


图 7 左眼视景体顶视图
Fig. 7 Top view of left-eye frustum

2 OsgEarth 与 HTC VIVE 集成

OsgEarth 本身具有多源数据集成、场景渲染、相机控制等三维视景生成的核心功能。而通过

OpenVR 开发包，我们可以容易获取头盔显示器的位置姿态矩阵，并向双目显示器传递三维场景渲染的结果。基于第一节的研究结果，并根据这些软硬件条件，本文提出了一种将 OsgEarth 与基于头盔显示器的沉浸式虚拟现实技术相结合的方法，图 8 展示了方法的整体流程。

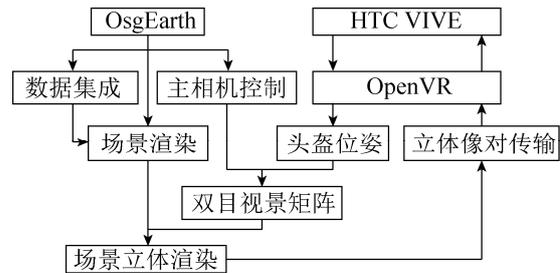


图 8 方法整体流程
Fig. 8 Overall flow of our method

2.1 全球虚拟地理环境构建

2.1.1 场景构建

目前，虚拟现实技术中三维内容的生成主要采用游戏引擎^[8]。游戏引擎具有先进、逼真的三维场景渲染效果，以及完善的数据制作工具链和 VR 接口，开发过程较为成熟。但是一方面，游戏引擎的三维场景中所有的模型都需要手工建模完成，如果想要达到较好的效果，还需要对模型的每个面独立制作多种贴图，如漫反射贴图、法线贴图、高光贴图、粗糙度贴图、金属度贴图等，工作量较大，费时费力，开发成本较高^[9]；另一方面，主流游戏引擎在设计之初通常只考虑建立局部场景，因而在大范围空间支持，以及海量地形、地物数据管理方面还不够强大，不能够支持全球范围的环境模拟。因此，基于此类方法的虚拟现实应用还只能局限在局部范围虚拟场景中，无法与真实世界产生映射，这就为虚拟现实体验带来了局限性。

OsgEarth 是采用 C++ 语言、基于三维图形库 OSG 开发的全球地形仿真系统。OsgEarth 和 OSG 本身都是开源软件，具有便于扩展的体系结构，吸引了大量的用户使用，拥有非常活跃的开发社区，逐渐成为三维仿真领域的重要开发平台。其底层图

形接口为 OpenGL, 具有良好的兼容性和适应性, 能够在多种类型的操作系统上运行。

OSG 对 OpenGL 常用的管线功能进行了封装与设计, 并完成了大量的系统化和通用化的工作, 简化了开发流程。并且其本身能够兼容多种格式的三维模型数据, 包括静态地物模型和具有多个动态分辨率层次细节(Level of Details, LOD)模型等。其场景采用树状的层次节点结构进行组织, 调度流程较为高效, 能够适用于大规模、大范围的三维场景。

如图 9 所示, OsgEarth 在继承了 OSG 所有优点的基础上, 能够基于多源地表影像和地形高程数据生成全球范围的地形环境。所使用的数据源既可以是经过分层分块处理的本地数据, 也可以直接调度在线的 Google Map, Yahoo Map, ArcGIS Online 等数据资源, 并实时生成具有 LOD 结构的动态地形模型。为了满足虚拟现实逼真度的要求, 本文认为在构建局部精细场景时, 应当采用分辨率大于 1 m 的影像数据和分辨率大于 10 m 的高程数据。

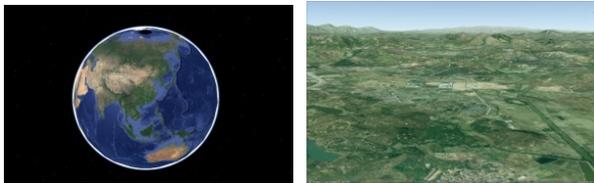


图 9 OsgEarth 全球范围地形仿真
Fig. 9 Global terrain simulation based on OsgEarth

文献[13-14]讨论了使用 OsgEarth 构建全球三维地形环境的方法, 但仅有地形仿真还无法满足虚拟现实对于场景真实感的需求。OSG 和 OsgEarth 的开源性和易用性使其成为三维仿真开发领域所采用的主流平台之一, 具有非常广泛的用户基础。因而, 这也吸引了众多第三方为其开发具有兼容性的数据和内容插件。如图 10 所示, 目前进行基于无人机序列影像三维点云生产的主要软件平台之一, Smart3D, 即采用 osgb 这一 OSG 体系标准的二进制模型格式, 这为在数字地球上快速构建大范围、高精度城市环境提供了有效手段; Sundog 公

司开发了可以用于 OsgEarth 的海洋和气象渲染插件, 能够渲染全球范围的海洋和天空, 以及云、雾、雨、雪等气象要素; Speedtree 是一款著名的三维植被插件, 能够高效率地绘制各种类型的树木和草地, 具有较高的逼真度, 目前也已经支持在 OSG 和 OsgEarth 上的应用。这些环境要素的加入极大的提高了 OsgEarth 所构建的全球虚拟地理环境的真实感, 能够为用户提供更好的虚拟现实体验。



图 10 三维点云模型、海洋、云、植被在 OsgEarth 中的集成
Fig. 10 Integration of three dimensional points cloud models, ocean, cloud and vegetation in OsgEarth

最终构建的全球范围三维仿真场景包括以下要素: 采用高分辨率地形高程与影像数据的 OsgEarth 地形; LOD 技术调度下的人工建模三维地物模型、三维重建点云模型、植被、海洋、气象等。如图 11 所示, 这些要素都通过 OSG 的场景图模式、以树状节点的方式有效管理起来, 能够实现全球范围地形、地物的高效率调度和渲染, 能够满足虚拟现实对于场景逼真程度和响应速率的要求。

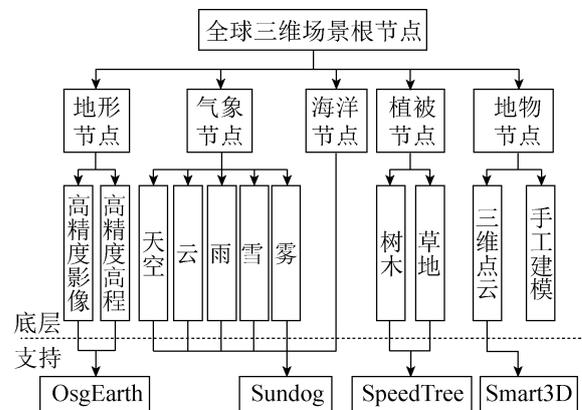


图 11 全球三维场景结构
Fig. 11 Structure of our global scene

2.1.2 主相机操控方式

要在数字地球场景中正确地漫游浏览, 必须对观察相机的操控方式进行合理的设计。这里将传统单一屏幕应用环境下、数字地球系统操控的相机称为主相机, 第 1 节中研究的双目立体视觉相机的相关内容, 都必须在确定主相机的位置姿态和投影矩阵的基础上才能够进行应用。

传统桌面数字地球三维系统的交互方式包括旋转、平移、缩放等。这几种交互方式, 都遵循以观察目标为中心的交互原则。如图 12(a)所示, 对于这一类视点控制方式来讲, 就是模拟观察目标不动, 使视点的空间位置发生变化。以观察目标为中心的视点控制, 适合于对目标长时间、从不同角度、不同距离进行详细观察, 对于沉浸式虚拟现实的用户体验来说并不适合, 所以对于面向数字地球的虚拟现实三维交互需采用其他方式。另一种更加适合的相机操控方式是以观察者为中心如图 12(b)所示, 这样可以满足用户在虚拟场景中漫游时以第一人称视角进行移动和观察的需要^[10]。基于这种原则, 用户观察相机在空间可以进行自由的移动和旋转, 这更加符合人在现实世界的移动和观察方式。结合具体的硬件特性和交互模式设计, 能够让使用者能够以自然的、沉浸式的方式, 在全球范围的虚拟地理环境中灵活地漫游, 从而大大增强其环境感知能力。

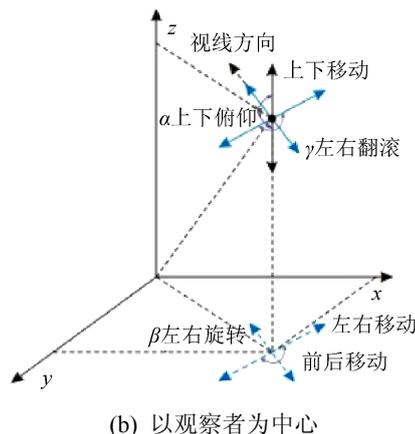
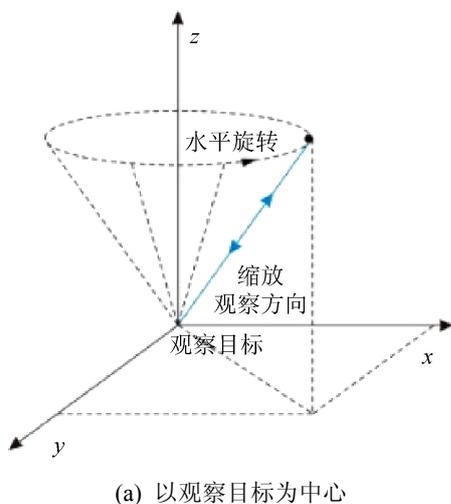


图 12 数字地球漫游的 2 种交互方式
Fig. 12 Two ways of manipulation for global exploring

OsgEarth 和 OSG 本身具备这 2 种主要类型的相机, 可以在单机操作和虚拟现实模式之间进行灵活切换。对于虚拟现实开发而言, 可以在 OSG 场景图遍历过程中容易得到当前相机的位置姿态矩阵 M_v 和投影矩阵 M_p 。

2.2 HTC VIVE 集成渲染方法

HTC VIVE 硬件设备的正确运行需要安装 SteamVR 相关软件和驱动, 但基于 HTC VIVE 进行应用开发则主要是通过 OpenVR 库完成的。OpenVR 项目产生的目的是为所有的硬件平台和软件应用环境提供统一的接口和数据结构, 能够独立于单一设备环境而存在。OpenVR 的相关接口都是 C++ 形式, 能够方便地与 OSG 和 OSGEarth 从源代码层次进行集成。

常见的 OpenVR 接口如表 1 所示。本文的研究主要需要使用其中的 ITrackedDeviceServerDriver 接口来获取头盔的局部位置姿态矩阵 M_{HMD} , 以及通过 IVRCompositor 接口来传递渲染的图像结果。

将 OsgEarth 与 HTC VIVE 进行集成渲染的主要工作可以分为以下 2 个部分。

(1) 双目观察矩阵计算

根据之前的研究内容, 目前已经可以得到信息包括: 传统单机应用模式下全球漫游的主相机的位姿矩阵 M_v 和投影矩阵 M_p ; 头盔显示器在定位空间下的局部位姿矩阵 M_{HMD} ; 双目相机相对与主相机的位移矩阵 M_{tl} , M_{tr} 和旋转矩阵 M_{rl} , M_{rr} 。

表 1 OpenVR 常用接口列表
Tab. 1 Commonly used interfaces of OpenVR

接口名称	响应功能
IServerTrackedDeviceProvider	用来查询已有设备信息
IServerDriverHost	用来允许驱动向系统发送通知事件
IClientDriverHost	允许驱动回调和查询驱动各种信息
IVRSettings	用来设置、获取、修改配置信息的接口
ITrackedDeviceServerDriver	代表系统中某个追踪设备, 可以获取设备姿态、控制使能和某些特殊功能
IVRDisplayComponent	追踪设备显示相关的接口
IVRDriverDirectModeComponent	直接渲染模式相关的组件
IVRControllerComponent	控制器接口
IVRCameraComponent	摄像头接口
ICameraVideoSinkCallback	摄像头视频接口
IDriverLog	驱动日志接口
IVRSystem	主要提供用来处理 显示, 畸变, 追踪, 控制以及事件访问
IVRChaperone	主要用来提供访问监护软硬件界限
IVRCompositor	使用 VR 混合器来渲染 3D 内容
IVROverlay	使用 VR 混合器来渲染 2D 内容
IVRRenderModels	允许一个应用程序访问渲染模型
IVRScreenshots	允许一个应用程序请求与提交截图

在此基础上, 双目相机的投影矩阵 M_{pl} , M_{pr} 可以基于 1.3.2 节的推导直接得到。而其位姿矩阵 M_{lv} , M_{rv} 的计算方式如下:

$$M_{lv} = M_{rl}M_{il}M_{HMD}M_v$$

$$M_{rv} = M_{rr}M_{ir}M_{HMD}M_v$$

根据双目相机各自的位姿和投影矩阵, 即可进行立体视觉的渲染。

(2) 三维场景渲染与传输

实现基于头盔式显示器的虚拟现实需要从 2 个不同的相机视角对场景分别进行渲染, 并在双通道渲染结束后, 再将两幅渲染结果提交给硬件接口, 这与传统单机应用环境下将三维场景直接绘制到屏幕帧缓存(Frame Buffer)的过程有较大区别。

这里本文采用了 OpenGL3.0 版本带来的扩展特性帧缓存对象(Frame Buffer Object, FBO)和渲染到纹理(Render To Texture, RTT)这种渲染流程来完成立体视觉渲染操作。FBO 是对传统屏幕帧缓存的模拟, 可以绑定 1 张或多张纹理, 并可以代替帧缓存作为当前场景渲染内容输出的目标, 渲染的结果就保存在其所绑定的纹理中。由于渲染过程和纹

理的存储都在图形处理器(Graph Processing Unit, GPU)端完成, 不需要执行内存和显存之间的数据传输, 所以其效率与传统的基于像素拷贝的离线渲染相比提升较大。

在 OSG 开发环境下, 实现 RTT 过程主要使用其相机类 `osg::Camera` 和纹理类 `osg::Texture2D`。主要步骤如下:

首先在初始化阶段, 针对双目, 分别生成 2 个相机类节点对象和 2 个二维纹理对象, 并进行绑定。再将这 2 个相机节点分别挂载在 OSG 场景根节点下, 并将 2.1.1 节得到的全球三维场景根节点挂载在 2 个相机节点下。

接下来在渲染循环过程中, 在每一帧渲染开始前, 根据之前的计算过程求取双目相机的位姿和投影矩阵, 并将求解结果赋予这 2 个相机节点。随后即可完成双通道的渲染过程。在每一帧渲染结束后, 将 2 张二维纹理提交给 OpenVR 相应的接口, 即可实现全球三维场景在头盔式显示器中的显示。

综上所述, 每一帧渲染的具体流程如图 13 所示。

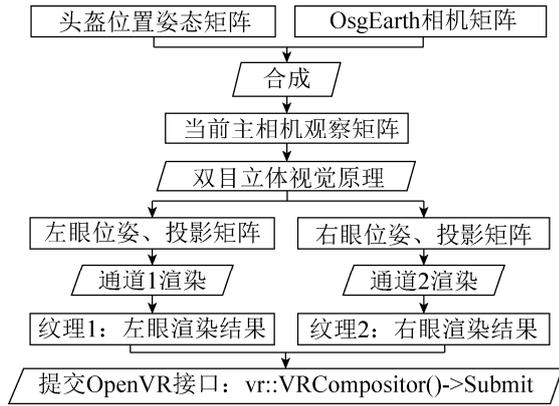


图 13 单帧渲染流程

Fig. 13 Rendering flow chart of one single frame

3 实验结果

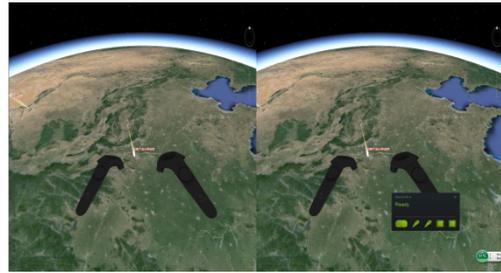
本文针对所提出的方法进行了实验验证。

所采用的硬件平台为: Intel E3-1 231 v3 处理器(3.4 GHz, 8 线程), 16 GB 内存(DDR 4, 2400 MHz), Nvidia GTX 1 080 显卡(1 695-1 835 MHz, 8 G 显存), HTC VIVE 虚拟现实套装(显示器为 110° 视场角, 2 160×1 200 分辨率, 90 Hz 刷新率, 空间位姿追踪精度达到 2 mm)。

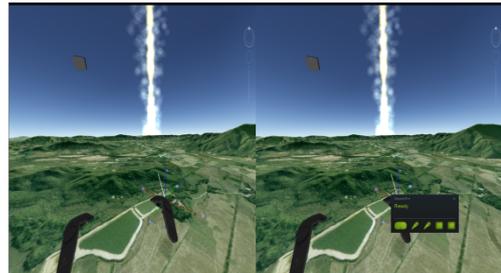
所采用的软件环境为 OSG 3.0.1, OSGEarth 2.5; OpenVR、SteamVR 为动态更新的最新版本。

本文基于 OsgEarth 构建了用于全球虚拟地理环境, 具备: 全球范围 100 m 分辨率, 局部范围 1 m 分辨率的地形影像数据精度; 局部地区集成了厘米级分辨率的三维点云数据, 数据量总量为 40 G; 具备植被、海洋、天空、地物等多种环境要素。

经测试, 本文提出的方法能够构建全球范围的虚拟现实环境, 为用户提供了沉浸式的漫游全球的体验。场景具有较高的逼真度, 并且系统整体具有较高的绘制效率。在漫游过程中, 系统能够高效调度大规模地形和模型数据, 场景中三角形数量在 6 万-80 万之间浮动, 显存中顶点数量在 3 万-40 万之间浮动, 所绘制场景能够稳定达到头盔显示设备的最高刷新率 90 Hz。部分全球范围三维场景立体渲染结果和设备使用效果如图 14 所示。



(a) 全球地形浏览



(b) 局部地形浏览



(c) 三维点云浏览



(d) 头盔式显示器工作状态拍摄图



(e) 实际使用过程拍摄图

图 14 实验效果图

Fig. 14 Results of our experiment

4 结论

本文首先研究了头盔显示器的双目立体视觉原理, 建立和完善了双目立体观察的数学模型, 并求解得到了双目相机的正确的位姿矩阵和投影矩阵。然后基于在地理信息领域广泛使用的 OsgEarth 平台, 研究了将其应用于虚拟现实的理论与方法, 即利用 OsgEarth 构建全球范围的、高逼真度的虚拟现实环境, 并深入研究 HTC VIVE 设备的相关原理和 OpenVR 开发模式, 以及 OSG 中 FBO 和 RTT 原理, 完成了双目立体视觉的交互与渲染。

本文的研究成果为地理信息和虚拟现实领域的结合发展提供了有力支撑, 能够为用户提供身临其境漫游全球的独特体验。这一方面增强了用户对于环境和空间的认知, 另一方面提供一种能够与真实世界完全对应的虚拟世界, 大大提升了虚拟现实体验能够带来的世界感、真实感和沉浸感。

参考文献:

- [1] 庄春华, 王普. 虚拟现实技术及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
Zhuang Chunhua, Wang Pu. Virtual Reality Technology and Applications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics, 2010.
- [2] 胡小强. 虚拟现实技术基础与应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009.
Hu Xiaoqiang. Virtual Reality Technology and Applications[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2009.
- [3] Sutherland I E. The ultimate display[C]// Proceedings of the International Federation of Information Processing (IFIP) Congress. New York, 1965: 506-508.
- [4] 高源, 刘越, 程德文, 等. 头盔显示器发展综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(6): 896-904.
Gao Yuan, Liu Yue, Cheng Dewen, et al. A Review on Development of Head Mounted Display[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(6): 896-904.
- [5] Bowman D, Kruijff E. 3D User Interfaces: Theory and Practice[M]. Boston: Addison-Wesley, 2004: 11-14.
- [6] 张少波. 沉浸式虚拟现实中人机交互关键技术研究[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2016.
Zhang Shaobo. Research on key technologies of human computer interaction in immersive virtual reality[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2016.
- [7] 徐宇杰, 管会超, 张宗卫, 等. 基于人眼视觉原理的虚拟现实显示模型[J]. 计算机应用, 2015, 35(10): 2939-2944.
Xu Yujie, Guan Huichao, Zhang Zongwei, et al. Virtual reality display model based on human vision[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(10): 2939-2944.
- [8] 赵沁平, 周彬, 李甲, 等. 虚拟现实技术研究进展[J]. 科学导报, 2016, 34(14): 71-75.
Zhao Qiping, Zhou Bin, Li Jia, et al. Research progress of virtual reality technology[J]. The Scientific Herald, 2016, 34(14): 71-75.
- [9] 杨江涛. 虚拟现实技术的国内外研究现状与发展[J]. 信息通信, 2015, 1: 138.
Yang Jiangtao. Research status and development of virtual reality technology at home and abroad[J]. Information & Communications, 2015, 1: 138.
- [10] Lv Zhihan, Li Xiaoming, Li Wenbin. Virtual Reality geographical interactive Scene Semantics Research for immersive Geography Learning[J]. Neurocomputing, 2017, 254: 71-78.
- [11] 董力维, 李妮, 张红庆. 面向头盔的 OGRE 场景立体显示技术开发[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(增 1): 119-125.
Dong Liwei, Li Ni, Zhang Hongqing. Helmet-oriented Development of OGRE Scene Stereoscopic Display Technology[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(S1): 119-125.
- [12] 张宇辉, 吕国强, 胡跃辉, 等. 立体显示的双目模型算法及实现[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(35): 65-67.
Zhang Yuhui, Lü Guoqiang, Hu Yuehui, et al. Algorithm and Implementation of Binocular Stereopsis Models[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(35): 65-67.
- [13] 吴小东, 许捍卫. 基于 OSGEarth 的城市三维场景构建[J]. 地理空间信息, 2013, 11(2): 107-110.
Wu Xiaodong, Xu Hanwei. Construction of urban three-dimensional scene based on OSGEarth[J]. Geospatial Information, 2013, 11(2): 107-110.
- [14] 吴晓雪, 任鸿翔, 张显库, 等. 基于 osgEarth 三维数字地球建设的研究[J]. 大众科技, 2015(1): 1-3.
Wu Xiaoxue, Ren Hongxiang, Zhang Xianku, et al. Research based on the construction of 3D osgEarth digital earth[J]. Popular Science, 2015(1): 1-3.