

# 一种基于球体分片射线的大数据体渲染方法

王 伟<sup>1</sup>, 张学全<sup>1</sup>, 颜士威<sup>1</sup>, 张少洪<sup>2</sup>

(1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079; 2. 北京航空气象研究所, 北京 100085)

**摘 要:** 针对大数据量、大范围对象的体渲染效果不够精细美观的问题, 文章提出了一种基于球体分片射线的体渲染方法: 通过将立方体形式的数据组织转变为环绕球体的弧形数据组织方式, 并对体数据依次分片, 逐片进行渲染。详细论述了该方法的原理及流程, 并在某四维气象演示系统的台风登陆模拟中得到了很好的验证。实验表明, 该方法能有效地渲染大数据量大范围对象的细节, 提高了可视化效果。

**关键词:** 体渲染; 体数据; 纹理映射; 球体分片射线

【中图分类号】TP39

【文献标识码】A

【文章编号】1009-2307(2015)05-0060-03

DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2015.05.013

## 0 引言

体渲染的目的在于展示所描述事物的细节, 其定义为依据三维体数据<sup>[1]</sup>, 将所有体细节同时展现在二维图片上的技术。通过体渲染, 可以实时地在一幅二维图像中展示多种物质的综合分布情况, 同时借助图形程序接口中的融合技术等来对透明度进行控制, 实现复杂的场景。国外体渲染技术在 20 世纪 80 年代就已经取得了一定的研究成果, 西门子、东芝、通用电气等跨国企业都对 GPU 编程领域及体绘制进行研究, 并在其医疗器械中进行了应用。NCAR(National Center For Atmospheric Research, 美国国家气象研究中心)研发的气象可视化软件平台 VAPOR<sup>[2]</sup>目前在气象可视化领域处于领先地位, 它能以体绘制可视化模型等来展现天气的当前形态。国内对于体渲染技术的相关研究仍然处于起步阶段, 实际应用很少<sup>[3-4]</sup>。特别是对于较大数据量、较大范围对象的体渲染, 由于数据量较大、结构层次较复杂, 容易出现细节渲染不够、可视化效果不佳的问题。本文分析了纹理映射方法, 并在此基础上进行了改进, 提出了基于球体分片射线的体渲染方法,

通过改变体数据的组织形式并分片渲染, 达到精细绘制的效果。该方法在某四维气象演示系统的台风登陆模拟中得到了很好的验证和应用。

## 1 体渲染技术

体渲染是计算机图形学和可视化领域中极为重要的一部分, 它是在二维图像上展示空间体细节的技术。体绘制的优点是能从所产生的图像中观察到三维数据场的整体和全貌, 而不是仅仅显示等值面。同时, 体绘制也易于进行并行处理。体绘制技术的关键是为每一个体素指定一个不透明度, 并考虑每一个体素对光线的透射、发射和反射作用。事实上, 体渲染以光照模型为基础, 最终以透明度合成的方式来实现渲染。

### 1.1 体数据和体纹理

体数据与面数据具有很大的区别, 它是在空间  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向上分布的, 并且空间中不同位置的属性均可定量描述。体数据只是提供了一个属性信息的载体, 具体的属性信息是通过纹理来赋予的。常用纹理有二维纹理、三维纹理。三维纹理即体纹理<sup>[5]</sup>, 它是传统二维纹理在逻辑上的扩展, 可以被认为由很多张 2D 纹理组成。

### 1.2 体渲染算法

体渲染算法主要包括光线投射法(Ray Casting)、足迹法(Splatting)、错切-变形法(Shear Warp)、纹理映射(Texture Mapping)等算法<sup>[6-9]</sup>, 其中纹理映射算法简单有效, 是目前最常用的一种方法。纹理映射<sup>[10]</sup>就是将整个研究区域的体数据映射成为 RGB 颜色值, 设置空间体素的颜色值, 同时通过垂直视线方向切片方式绘制每一个



作者简介: 王伟(1962—), 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为软件工程、信息安全、计算机视觉、空间信息系统等。

E-mail: wangwei8091@163.com

收稿日期: 2013-11-23

面片, 通过绘制所有面片来实现体的绘制。

## 2 球体分片射线的体渲染方法

### 2.1 算法分析

纹理映射是目前最常用的体渲染方法, 然而运用它来渲染数据量较大分布范围较广的空间物体, 存在诸多问题。以台风为例, 台风登陆过程中整个台风影响的区域较广, 在虚拟地球上绘制容易产生变形。地球是椭圆形的, 体数据是以正方体形式组织的, 这样绘制出来的台风在地球上会出现类似“跷跷板”的效果, 导致可视化效果不逼真。另外, 由于台风的结构层次变化较大, 传统纹理映射只是渲染三维物体的某些面, 导致渲染细节不够精细。在改进纹理映射方法之初, 曾试图通过分块拟合的方式来解决这种问题, 但是分块必然会导致绘制块数过多, 渲染效率必然下降。因此, 考虑改变体数据的组织形式, 并分片渲染。经过分析与实验, 最终提出了一种球体分片射线方式的体渲染方法。

基于球体分片射线方法的体渲染即改变体数据的组织方式, 将原本立方体形式的体数据组织方式转变为环绕球体的弧形, 并且在渲染过程中将体数据进行分片, 逐片进行渲染。通过弧形的体数据组织, 使渲染对象与球体表面相吻合, 提高了渲染对象的真实感。通过球体表面分片渲染, 可以有效渲染数据体的细节, 提高了细节渲染效果。

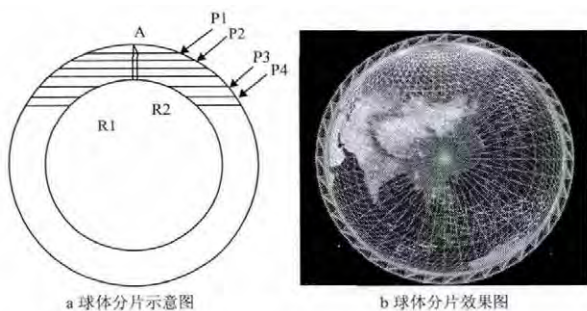


图1 球体分片图

Fig 1 Spherical Sharding Images

球体分片射线算法从本质上看, 是一种对三维纹理算法的改进。如图1所示, 算法原理为: 设定内径  $R_1$  和外径  $R_2$ , 这两个值用于控制渲染的范围, 保证渲染出的场景只存在与地球表面一定高度范围之内。从视线观察点  $A$  引一条射线指向球心  $O$ , 计算射线与外凸壳交点到球心距离, 根据距离确定采样数; 然后从该交点开始, 按照一定步长向球心增长, 每个采样点处确定一个垂直于射线, 并且与外凸壳和内凸壳相交的圆, 这样通过

三角形条带的方式将圆绘制出来, 从而得到一定数量的圆环, 便实现了体渲染。

### 2.2 算法流程

球体分片射线方式的体渲染算法流程图如图2所示。

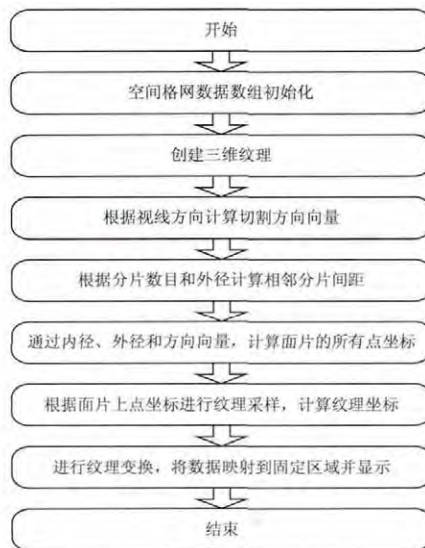


图2 算法流程图

Fig 2 Workflow Chart

具体步骤如下:

①初始化空间网格数据: 初始化一个三维数组来存储空间网格数据, 用于三维纹理的填充; ②创建三维纹理: 三维纹理是一组应用到二维图元的三维纹理元素的集合, 常用三维图形 API 中提供有三维纹理对象; ③计算切割方向向量: 根据观察点位置(摄像机位置)  $A$  和渲染物体的相对位置关系来计算切割的方向向量  $OA$ , 它主要用于计算切片排列方向; ④计算相邻切片之间间距: 由于分片数目是定值, 根据绘制过程中的外径长度即可计算相邻两个切片之间的距离, 如  $P_1P_2$ , 绘制过程中以此距离作为步长来绘制每个面片; ⑤绘制每个面片: 从地球球心开始, 沿着切割方向向量  $OA$  方向, 每隔一个切片间距计算一个切片; ⑥计算每个切片上点的纹理坐标: 根据切片上点的实际坐标和地球上全局经纬度之间的关系, 计算每个点的纹理坐标, 这样便实现了步骤②中的三维纹理映射到全球的作用; ⑦坐标变换: 由于步骤⑥中实现了纹理坐标映射到全球, 然而实际的数据区域只是在某一局部区域, 因此根据坐标范围对全局纹理进行坐标变换, 实现全球到局部的转换。

## 3 实验验证

实验数据选用了 2004 年台风“云娜”登陆我国时的 MM5 模式输出的数据。云娜是自 1997 年

以来登陆中国最强的一次台风,它的风速特大,过程最高风速达到 58.7m/s,大大超过十二级台风 36.9m/s 的上限;影响范围广,10 级风圈达 180km,降雨量大于 50mm 的区域面积达  $8.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。因此,选择台风“云娜”的观测数据来验证算法具有较好的说服力。

实验硬件环境为 CPU: Intel Core i3, 内存 4G, 显卡 NVIDIA GeForce GT 240; 软件环境 Visual C++ 语言和 DirectX 9.0 SDK 开发。

实验运行结果为:加载 1.18G 台风数据并渲染,程序响应时间为 1~2s,运行内存为 300M 左右,球体缩放漫游操作流畅。

可视化效果如图 3 所示,图 3a 为纹理映射方法的体渲染效果图,图 3b 为基于球体分片射线方法的体渲染效果图。对比结果表明,基于球体分片射线方法的体渲染技术渲染台风“云娜”体数据,细节渲染较精细,可视化效果较好。该方法已在某四维气象演示系统的台风登陆模拟中得到了很好的应用。

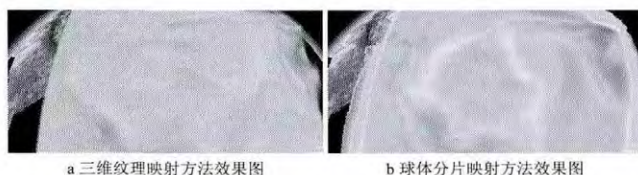


图 3 渲染效果图对比

Fig 3 Comparison of Rendering Results

## 4 结束语

大数据量、大范围对象的精细体渲染在仿真应用中具有重要意义。然而大数据量、大范围对象一般跨度较大,空间细节较复杂,常规的体渲染方法很难达到理想的可视化效果。本文在纹理映射体渲染方法的基础上进行深入改进,提出了基于球体分片射线方法的体渲染技术,通过改变体

数据的组织形式和分片逐级绘制较好地解决了大数据量大范围对象的精细渲染。该方法在气象学、地质学、虚拟现实及游戏等诸多领域的三维可视化方面具有实际应用价值。

## 参考文献

- [1] 管伟光,马颂德. 三维体数据可视化技术[J]. CT 理论与应用研究,1995,4(1):1-6.
- [2] DAVIS, C A, TORN, R D. Observation Analysis and Prediction of Atlantic Tropical Cyclone Formation[R]. American Geophysical Union, Fall Meeting, 2010.
- [3] 李大林,李秀冰,李英玉,等. 基于体渲染技术的三维磁层可视化研究[J]. 微计算机信息,2009,25(3):263-264.
- [4] XUE J, LU K, TIAN J. An Efficient Out-of-core Volume Rendering Method Based on Ray Casting and GPU Acceleration[C]//Information Computing and Telecommunication, YC-ICT'09, IEEE Youth Conference. IEEE, 2009:130-133.
- [5] SHIHAO C, GUIQING H, CHONGYANG H. Rapid texture-based volume rendering [C]//Environmental Science and Information Application Technology, ESI-AT 2009, International Conference. IEEE, 2009, 2: 575-578.
- [6] 田玲,诸昌钐,罗艳. 体视化关键技术[J]. 成都信息工程学院学报,2007,22(1):50-54.
- [7] 徐夏刚,张定华,洪歧. 体视化方法综述[J]. 计算机应用研究,2006:12-15.
- [8] 袁非牛,廖光焯,周荷琴,等. 彩色三维体数据场的直接体绘制方法[J]. 数据采集与处理,2006,21(6):1-5.
- [9] CHEN Z, ZHANG G, ZHANG X. Research and Realization of a Volume Rendering Algorithm Based on Shear-Warp Volume Rendering Algorithm[C]//Computational Intelligence and Software Engineering, CiSE 2009, International Conference. IEEE, 2009:1-4.
- [10] 舒金辉,蔡葵,周群彪. 三维纹理映射技术研究[J]. 四川大学学报:自然科学版,2010,41(1):77-80.

## A big-data volume rendering method based on Spherical Sharding Radial algorithm

**Abstract:** As for the volume rendering of big-data and large-range object, the result is usually not elaborate and not good enough. The paper presented a volume rendering method based on the Spherical Sharding Radial algorithm, which transforms the cubic data to the curved data around the sphere, segmented the data, and rendered it at last. The paper detailed the theory and process of the method, and verified its validity by the landing typhoon simulation in a 4D meteorological performance system. The result indicated that the method would render the details of big-data and large-range object with good visualization.

**Key words:** volume rendering; volume data; texture mapping; Spherical Sharding Radial algorithm

WANG Wei<sup>1</sup>, ZHANG Xue-quan<sup>1</sup>, YAN Shi-wei<sup>1</sup>, ZHANG Shao-hong<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Beijing Aviation Meteorological Institute, Beijing 100085, China)