

三维地形场景并行渲染技术进展

余江峰¹ 陈景广¹ 程 亮¹ 徐为雄¹

(1 南京大学地理信息科学系,南京市汉口路 22 号,210093)

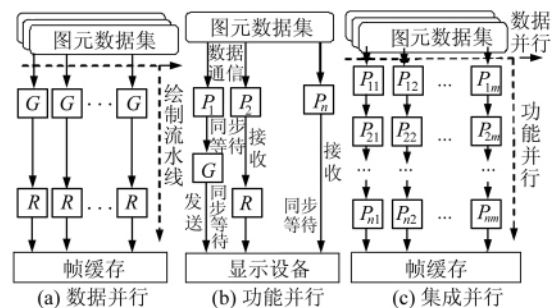
摘要:对三维地形场景并行渲染过程涉及的地形数据分页及分块和基于缓存的并行数据调度机制进行了归纳,总结了三维地形场景并行渲染相关算法及基于分布式和微机多线程的实现方式,并对目前并行渲染所存在的问题和发展趋势进行了分析。

关键词:三维地形;并行渲染;并行数据调度;Sort 分类
中图法分类号:P208

随着现代测绘及遥感技术的发展,空间数据获取的数量正在以前所未有的速度增长。从数字城市到数字中国再到数字地球,地形数据也呈几何级数增长。如何实现大规模三维地形场景的高性能渲染是建立虚拟现实系统、三维地理信息系统等的关键技术问题。尽管许多高档图形工作站已能对上万个三角形进行实时绘制,但由于地形数据异常庞大,大大超过了一般图形系统的实时绘制和内存管理能力。对地形场景的高性能渲染技术的研究一直是相关学科领域的热点。

地形场景的高性能渲染主要从以下两方面着手:①通过对地形场景数据的合理组织及调度,在不影响浏览效果的前提下减少参与渲染的数据量;②采用加速渲染的手段,增加单位时间内的三维地形场景数据的处理量。简化地形场景数据量方面,主要使用 LOD^[1]的方式实现,这也是目前大规模三维地形场景渲染的研究重点之一^[2];加速渲染则通过软硬件加速方法实现^[1],如 GPU 加速技术、存储访问优化技术及并行渲染技术等,其中并行渲染技术是软件加速方法的重要组成部分之一。

染提供了理论和技术基础,其中并行渲染主要有数据并行算法和功能并行算法两种算法^[3]。数据并行算法是指将模型数据划分为多个数据流,为每个数据流分配一定的图形处理单元执行绘制任务,以达到多个绘制过程并行的效果,又分为对象并行与图像并行。功能并行算法是指将绘制流水线分解成若干个不同的执行模块,各模块可以顺序处理不同的数据,模块之间并行执行,所以功能并行又称流水线并行。以上两种并行方式可以混合使用。此外,在动画影视领域常用时间并行算法,指不同的图形处理单元负责不同帧的图像生成^[3],图 1 为数据并行、功能并行和集成并行示意图。



P 代表渲染节点,G 为几何处理阶段,R 为像素处理阶段

图 1 数据并行、功能并行和集成并行示意图

Fig. 1 Data Parallel, Function Parallel and Integrated Parallel

1 并行渲染的分类和实现平台

1.1 两种分类体系

1.1.1 基于数据调度和功能实现方式的分类

计算机图形学的并行渲染技术为三维地形渲

1.1.2 基于图元归属判断方式的分类体系

1994 年,Molnar 等根据图元归属判断发生的方式和时机,将并行图形渲染系统归为 Sort-

收稿日期:2012-01-21。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41001238)。

first、Sort-middle、Sort-last 等 3 类^[4](图 2)。

1) Sort-first 体系结构

Sort-first 体系在几何处理阶段决定图元对象在屏幕上的对应位置,如 WireGL^[5]、Display Wall^[6]等均采用 Sort-first 体系结构。

2) Sort-middle 体系结构

Sort-middle 体系的图元归属判断发生在几何处理和像素化处理阶段之间,如 Infinite Reality 系统^[7]、PGL 系统^[8]和 Chromium 框架^[9]等均采用 Sort-middle 体系结构。

3) Sort-last 体系结构

Sort-last 体系的图元归属判断发生在像素化处理过程中,如 Pixel-Flow^[10]和 Parallel-Mesa 系统^[11]等均采用 Sort-last 体系结构。

Sort-first 体系结构具有流水线相互独立和通信量少等优点,但图元在屏幕上分布的不均匀及图元复杂程度的差异易导致 Sort-first 系统负载不平衡,从而严重影响系统的性能。此外,绘制过程中图元数据集传输、预变换和图元分配也会带来额外的负载^[12]。

Sort-middle 体系有利于模块化实现,但由于其数据传输量以处理器数的几何级数增长,限制了系统的可扩展性,成为系统的瓶颈。

Sort-last 系统可扩展性好,同时较好地实现了负载平衡,但由于需要进行大量的像素传输,占用巨大的网络带宽,使得图像合成速度成为系统瓶颈。此外,与 Sort-first 体系一样,Sort-last 体系也具有负载不平衡的瓶颈问题。

由于这 3 种体系各有优缺点,越来越多的系统开始使用其中某两者相结合的方案,如 Chromium 框架^[9]和 Parallel-SG^[14]。

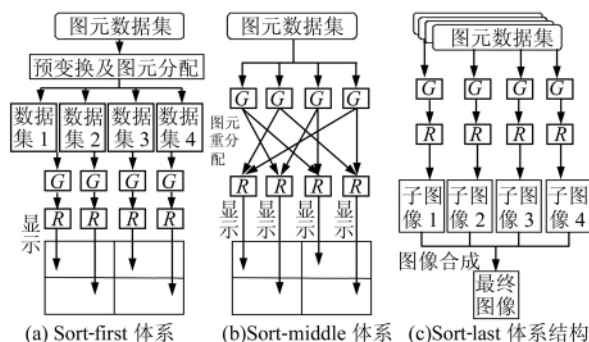


图 2 Sort-first、Sort-middle 及 Sort-last 体系结构

Fig. 2 Sort-first, Sort-middle and Sort-last Architecture

1.2 实现平台

1.2.1 高性能计算机

高性能计算机实现平台分为高性能图形工作

站和并行计算机。

高性能图形工作站具有多个 CPU 和高性能的 GPU,并将常用的并行渲染技术集成至硬件中。如基于 Sort-middle 的 Infinite Reality 系统^[7]和基于 Sort-last 的 Pixel-Flow^[10]均采用高性能图形工作站的实现方式。

并行计算机具有高通信带宽和并行计算的能力,不仅在并行计算领域有广泛的应用,在图形并行渲染方面也被广泛应用。如基于 Sort-last 体系的 Parallel Mesa^[11]系统和基于 Sort-middle 的 PGL 系统^[8]。

基于高性能图形工作站和并行计算机的并行绘制系统主要针对高端的图形应用、平台设计或某些特殊应用,这种系统可扩展性较差而且设备昂贵,所以较难普及。

1.2.2 计算机集群

建立在高速网络平台上的工作站或 PC 集群具有并行机的多 CPU 特征,是构建三维图形并行绘制系统的研究热点,如基于 Sort-first 实现的 WireGL^[5]、Display Wall^[6]。计算机集群灵活性好,可扩展性好,有利于构建混合系统,如基于 Sort-first 和 Sort-last 实现的 Chromium^[9]和 Parallel-SG^[13]等。

基于计算机集群的并行绘制系统具有高性价比、可扩展性好、升级方便和适用性广的特点,但受到网络带宽的限制,数据通信成为渲染性能的瓶颈。

1.2.3 多核微机

前两种并行渲染实现平台,因其设备昂贵、规模庞大,难以适用于个人用户。随着个人用户对三维图形逼真度要求的提高,微机平台上的并行渲染将成为研究的热点之一。但目前基于多核微机平台的并行渲染系统还处于探索阶段^[14-16]。

2 地形场景数据并行调度

由于三维地形场景数据规模较大,绘制系统不可能一次把所有数据加载到内存中处理。目前,主要采用对地形数据进行分页和分块处理并建立相应地形空间索引的方法,实现对地形数据的动态装载。地形数据分页及分块不仅有利于数据的并行调度,同时有利于纹理的处理和并行绘制,如文献^[16,17]采用了先分块后并行的方法。

数据分页方法是指将地形数据划分为多个数据页(数据层)并将数据页作为地形场景的一个节点;数据分块是指将地形数据中的数据页划分为

多个数据块并将数据块作为数据调度的最小单位^[16-24]。地形分块粒度受到多种因素的限制,分块过大或过小都会影响系统的效率,目前没有标准的分块大小。

数据调度普遍采用缓存技术^[16,22,25-28]:根据渲染需要将即将参与渲染的地形数据块由外存调入缓存中;绘制过程中将需要渲染的地形数据块由缓存调入内存,同时释放内存中不需要的地形数据块。在数据调度的过程中采用多线程技术维护内存及缓存中的数据块,解决缓冲区和内存的数据更新问题。在地形数据渲染的过程中,数据调度线程与数据绘制线程并行处理,可以提高地形渲染的性能。

3 地形场景的并行渲染架构

3.1 分布式渲染

网络技术、分布式计算技术和三维可视化技术的飞速发展,为分布式三维 GIS 技术的实现提供了契机^[29]。为了解决大规模真实感三维地形渲染所带来的性能负担,越来越多的三维浏览系统采用分布式的方式渲染三维地形,这也是目前研究的难点和热点之一。

1) 客户端/服务器模式(Client/Server)

服务器端接收并处理客户端所发送的请求,负责对三维模型数据进行多分辨率、数据压缩和数据编码等处理,在三维渲染系统中是数据建模及传输的角色^[30-34];客户端主要负责模型数据的渲染,同时进行模型数据的解压缩及重建。基于客户端/服务器端模式实现的三维地形渲染系统采用数据处理与渲染过程分离的方式实现并行。

2) 微机集群模式

大规模三维地形也开始借助微机集群实现并行渲染^[22,35,37-39]。该模式主要采用主从结构,即主控节点负责整个显示系统的调控,如网络通信及任务分配等;多个子节点负责场景渲染、数据调度及网络通信,各个子节点将场景最终拼接为一幅完整的图像。有部分三维并行绘制系统采用 Sort 分类的并行架构体系实现三维地形的可视化,如文献^[25]分别采用 Sort-first 和 Sort-last 体系,文献^[27]采用 Sort-first 体系以及文献^[36]采用 Sort-last 体系实现。

采用微机集群模式的并行渲染系统高度依赖网络传输带宽,性能严重受制于网络。近几年出现了采用对等网络(P2P)技术^[22,37-39],由主控节点负责处理模型数据和客户端请求;在数据传输

过程中,模型数据采用多个客户端之间相互分发所需数据的方式。这种模式有效解决了主控节点负担过重的问题,同时降低了对网络带宽的要求。

3.2 微机多线程渲染

目前,对单机渲染系统采用整个流水线并行技术的应用较少,少部分利用多线程机制实现了部分并行化效果。如文献^[16]采用多核并行实现了地形数据的并行调度;文献^[30]采用多线程机制,通过两级数据预测和批 LOD 算法实现地形场景的连续和快速绘制;文献^[31]中采用多线程的方式实现纹理映射处理。目前多线程机制还不足以充分利用多核 CPU 和 GPU 的计算能力。

4 总结与展望

目前,大规模三维地形场景高性能渲染系统主要采用分布式机制实现并行渲染,有效提高了渲染性能。微机平台是三维地形场景的重要的使用最多的客户端平台。随着多核 CPU 和高性能 GPU 成为微机硬件配置的主流以及计算机存储容量的提高,在微机上实现高性能实时并行渲染已经具备了较好的硬件条件。

有关并行渲染的理论与技术与硬件发展不相适应,存在以下问题:

1) 基于分布式特别是基于微机集群模式实现的并行渲染系统在图形渲染过程中需要进行大量的数据传输,目前网络带宽难以满足需求。因此,网络带宽问题限制着基于分布式特别是基于微机集群模式实现的并行渲染系统的性能。

2) 针对微机平台的三维地形场景并行渲染的实现主要基于操作系统提供的多线程机制,未能针对多核 CPU 及 GPU 的特点形成专门的技术体系。

3) 目前三维地形场景并行化主要为渲染管线的部分并行,而渲染管线的整体并行方面研究不足。

三维地形场景并行渲染将呈现以下趋势:

1) 计算机集群因其高性价比、可扩展性好、升级方便和适用性广等优点是大规模乃至超大规模三维地形场景并行渲染的重要实现方式,也将成为研究的热点。针对于网络带宽问题及负载均衡问题的解决方法将成为大规模三维地形场景并行渲染的研究重点。

2) 基于多核微机平台实现三维地形的并行渲染将成为大规模三维地形场景并行渲染的一个重要方向。由于多核微机与高性能图形工作站和

并行计算机的体系结构有较大差别,基于高性能计算机的并行渲染算法不能直接移植到多核微机上,针对多核微机平台需探索新的模型数据组织调度方式以及相应的并行渲染算法。

3) GPU 将被应用到图形渲染过程中的有关非渲染性质的科学计算中。三维图形的渲染过程不是孤立的,夹杂着大量的科学计算,随着 GPU 技术的发展,GPU 将越来越多地参与到图形渲染过程的科学计算中,以减轻 CPU 的计算负荷,从而达到提高渲染系统整体性能的目标。关于 GPU 与 CPU 之间并行计算的协调机制等还需要进一步探索研究。

参 考 文 献

- [1] 卓亚芬,赵友兵,石教英. 实时地形绘制算法综述[J]. 计算机仿真,2005,22(3):4-7
- [2] 朱庆,龚俊,杜志强,等. 三维城市模型的多细节层次描述方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2005,30(11):965-969
- [3] Crockett T W. An Introduction to Parallel Rendering[J]. Parallel Computing, 1997,23(7):819-843
- [4] Molnar S, Cox M, Ellsworth D, et al. A Sorting Classification of Parallel Rendering[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1994, 14(4):23-32
- [5] Humphreys G, Eldridge M. WireGL: A Scalable Graphics System for Clusters [C]. ACM SIGGRAPH, Los Angeles, California, 2001
- [6] Miyachi H, Shigeta H, Kiyokawa K, et al. Parallelization of Particle Based Volume Rendering on Tiled Display Wall[C]. Network-Based Information Systems(NBiS), Takayama, Gifu, Japan, 2010
- [7] Montrym J S, Baum D R, Dignam D L, et al. InfiniteReality: a Real-time Graphics System[M]. New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co, 1997
- [8] Crockett T W. Design Considerations for Parallel Graphics Libraries [C]. 1994 Intel Supercomputer Users Group Conference, Oregon, 1994
- [9] Humphreys G, Houston M, Ng R, et al. Chromium: a Stream-processing Framework for Interactive Rendering on Clusters[C]. ACM, San Diego, 2008
- [10] Molnar S, Eyles J, Poulton J. Pixel Flow: High-speed Rendering Using Image Composition [C]. ACM, Reno, NE, 1992
- [11] Tulika M, Chiueh T. Implementation and Evaluation of Parallel Mesa Library[C]. IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems, Tai'an, China, 1998
- [12] Mueller C. The Sort-first Rendering Architecture for High-performance Graphics[C]. ACM, Singapore, 2008
- [13] Peng H, Xiong H, Shi J. Parallel-SG: Research of parallel graphics rendering system on PC-Cluster [C]. ACM, Hong Kong, China, 2006
- [14] Liao Chen, Liu Dagang, Liu Shenggang. Three Dimensional Electromagnetic Particle in Cells Imulation by Parallelcomputing[J]. Acta Physica Sinica, 2009,58(10):6709-6718
- [15] Song Y, Rudin J A, Akoglu A. Parallel Implementation of Irregular Terrain Model on IBM Cell Broadband Engine[C]. IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, Rome, Italy, 2009
- [16] 左志权,陈媛. TB级地形数据实时漫游核心算法研究[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(9):1411-1415
- [17] 冷志光,汤晓安,郝建新,等. 大规模地形动态快速绘制技术研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(10):2532-2535
- [18] Fu Z, Zhang W. Data Block Partition and Database Based Large Scale Terrain 3D Visualization [C]. Computational Intelligence and Software Engineering, CiSE 2009, Wuhan, China, 2009
- [19] Hailiang J, Huijie L. An Algorithm for Real-Time Visualization of Large-Scale Terrain [C]. IEEE, Orlando, Florida, 2009
- [20] Deb S, Bhattacharjee S, Patidar S, et al. Real-time Streaming and Rendering of Terrains[C]. ICVGIP'06, Madurai, India, 2006
- [21] Zhou Z, Cai B, Zhang D, et al. Paged Cache Based Massive Terrain Dataset Real-Time Rendering Algorithm[C]. Information Engineering and Computer Science, ICIECS 2009, Wuhan, China, 2009
- [22] 潘少明,喻占武,王浩. 基于节点分组的P2P海量地形数据共享机制[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009,34(6):650-652
- [23] Bhattacharjee S, Patidar S. Real-time Rendering and Manipulation of Large Terrains [C]. The 6th Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, IEEE, New York, 2008
- [24] 刘扬,宫阿都,李京. 基于数据分层分块的海量三维地形四叉树简化模型[J]. 测绘学报, 2010(4):410-415
- [25] Goswami P, Makhinya M, B Sch J, et al. Scalable Parallel Out-of-core Terrain Rendering [C]. Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization, Zurich, 2010
- [26] 段光明,李思昆,曾亮,等. 一种高效的大规模三维地形遥感影像纹理映射方法[J]. 系统仿真学报,

- 2008,20:398-399
- [27] Bing H, Lei S. A Parallel Rendering Algorithm for Large-Scale Terrain[C]. IEEE, San Diego, 2010
- [28] Zhang Y, Huang Q, Han J. Real-time Rendering of Large-scale Terrain Based on GPU[C]. Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2009, The 4th IEEE Conference, Xi'an, 2009
- [29] 朱庆. 3 维地理信息系统技术综述[J]. 地理信息世界, 2004, 2(3): 8-12
- [30] 郎兵,方金云,韩承德,等. 基于流式渐进传输的大规模网络地形实时漫游[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(2):4 429-4 341
- [31] 马志刚,张凯,汪国平,等. 3 维地形场景流式传输[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(1): 116-120
- [32] Wang Guoping, Dong Shihai. Streaming 3D Terrain over Network [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006,42(1): 192-194
- [33] 陈静,龚健雅,朱欣焰,等. 分布式虚拟地形场景仿真研究[J]. 系统仿真学报,2007,19(5):1 057-1 060
- [34] 朱军,龚建华,张健钦,等. 地形可视化服务框架设计及其关键技术研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(13): 32-34
- [35] Ellis C A B P. Distributed Dynamic Terrain in a High Performance Computing Cluster Environment [J]. Computer Graphics and Applications, IEEE, 2010, 1(30): 80-84
- [36] Somosi N, Petcu D. A Parallel Algorithm for Rendering Huge Terrain Surfaces [C]. IEEE, USA, 2006
- [37] Zhu J, Gong J, Liu W, et al. A Collaborative Virtual Geographic Environment Based on P2P and Grid Technologies[J]. Information Sciences, 2007, 177(21): 4 621-4 633
- [38] Chen B, Huang F, Fang Y, et al. An Approach for Heterogeneous and Loosely Coupled Geospatial Data Distributed Computing [J]. Computers & Geosciences, 2010, 36(7): 839-847
- [39] 朱军,龚建华,张健钦,等. 基于对等网络结构的分布式大规模地形实时漫游研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(1): 40-43

第一作者简介:余江峰,副教授,主要研究方向为时空数据模型、三维地理信息系统及其应用。

E-mail:brucechenofnju@gmail.com

Review on 3D Terrain Parallel Rendering

SHE Jiangfeng¹ CHEN Jingguang¹ CHENG Liang¹ XU Weixiong¹

(1 Department of Geographic Information Science, Nanjing University, 22 Hankou Road, Nanjing 210093, China)

Abstract: The parallel rendering algorithms is the basement of 3D terrain parallel rendering. From the viewpoint of data scheduling and function implementation, parallel rendering can be categorized into data-parallel and function - parallel. In terms of the way multiple rendering pipelines are organized, parallel rendering can be categorized into Sort-first, Sort-middle and Sort-last. The platform for the parallel rendering systems can be high-performance computers, computer clusters or multi-core computers. Data paging, data blocking, and parallel data scheduling mechanism based on data caching involved in 3D terrain are introduced. The parallel rendering algorithms involved in 3D terrain and the real systems based on distributed architecture and multi-thread computer are introduced. The key problems faced by 3D terrain rendering are discussed. The future development of 3D terrain parallel rendering is discussed and some conclusions are proposed.

Key words: 3D terrain; parallel rendering; parallel data scheduling; sorting classification

About the first author: SHE Jiangfeng, associate professor, Ph.D, majors in temporal data model and 3D GIS.

E-mail: brucechenofnju@gmail.com