

8-13-2020

Graphics-Driver-Awared Heterogeneous Hardware-Accelerated Rendering Model

Zhiwei Ai

High Performance Computing Center, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China;

Cao Yi

High Performance Computing Center, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China;

Xiao Li

High Performance Computing Center, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China;

Huawei Wang

High Performance Computing Center, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, 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.

Graphics-Driver-Awared Heterogeneous Hardware-Accelerated Rendering Model

Abstract

Abstract: As 3D graphics acceleration hardware technologies become more sophisticated, heterogeneous hardware-accelerated rendering model is one of effective means to improve interactive performance of large-scale data visualization. A *graphics-driver-awared heterogeneous hardware-accelerated rendering model* was proposed, and adaptive matching graphics architecture and graphics driver library in complex environment-improved the interactive performance of graphics rendering. Key technologies include *runtime virtual layer technology, redundant graphics driver pool, running IntelliSense methods and graphics driver library dynamic loading technology*. In practical application of visual analysis of nuclear reactor average flux, interactive performance of heterogeneous hardware rendering model available about 14 times speedup, has a certain practicality.

Keywords

intellisense method, virtual layer, graphics driver architecture, rendering model

Recommended Citation

Ai Zhiwei, Cao Yi, Xiao Li, Wang Huawei. Graphics-Driver-Awared Heterogeneous Hardware-Accelerated Rendering Model[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(10): 2394-2399.

图形驱动感知的异构硬件高效绘制模型

艾志玮, 曹轶, 肖丽, 王华维

(北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100094)

摘要: 随着图形 3D 加速硬件技术的日益成熟, 异构硬件高效绘制模型是提高大规模数据可视化交互性能的有效手段之一。它提出一种图形驱动智能感知的异构硬件高效绘制模型, 采用运行时虚拟层技术、冗余式图形驱动池、运行时智能感知方法和图形驱动库动态加载技术等关键技术, 实现复杂环境驱动架构和图形驱动库的自适应匹配, 提高图形绘制的交互性能。在高置信度核反应堆中子体平均通量的可视分析实际应用中, 异构硬件绘制模型的交互性能可获得约为 14 倍加速比, 具有一定的实用性。

关键词: 智能感知; 虚拟层; 图形驱动架构; 绘制模型

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2016) 10-2394-06

Graphics-Driver-Awared Heterogeneous Hardware-Accelerated Rendering Model

Ai Zhiwei, Cao Yi, Xiao Li, Wang Huawei

(High Performance Computing Center, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China)

Abstract: As 3D graphics acceleration hardware technologies become more sophisticated, heterogeneous hardware-accelerated rendering model is one of effective means to improve interactive performance of large-scale data visualization. A *graphics-driver-awared heterogeneous hardware-accelerated rendering model* was proposed, and adaptive matching graphics architecture and graphics driver library in complex environment-improved the interactive performance of graphics rendering. Key technologies include *runtime virtual layer technology, redundant graphics driver pool, running IntelliSense methods and graphics driver library dynamic loading technology*. In practical application of visual analysis of nuclear reactor average flux, interactive performance of heterogeneous hardware rendering model available about 14 times speedup, has a certain practicality.

Keywords: intellisense method; virtual layer; graphics driver architecture; rendering model

引言

随着并行机计算能力的迅速发展和大规模数值模拟能力的提升, 数值模拟程序产生的数据也呈爆炸式增长, 单次模拟结果的数据量已达到 TB/PB 量级。面向大规模数据的高效可视化绘制技术是提

高可视分析后处理软件交互性能的有效手段。依据科学计算可视化的“数据读入-数据处理-图形绘制”流程, 其解决手段包括软件层次和硬件层次两个方面。软件层次解决手段包括面向并行处理的核心数据结构设计^[1]、高效的 I/O 接口^[2]以及可视化算法的优化等^[3]。当单纯依靠软件层次已无法进一步提高大规模数据场景显示速度时, 可借助 PC 图形硬件的高效图形处理能力, 定制绘制上下文环境, 在生成逼真、复杂的图形效果同时, 大大提高绘制速度, 实现实时绘制^[4]。



收稿日期: 2016-05-31 修回日期: 2016-07-14;
基金项目: 国家自然科学基金(61232012), 中物院科学技术发展基金(2014A0403019), 中国工程物理研究院科学技术发展基金(2015B0403093);
作者简介: 艾志玮(1973-), 男, 湖南邵阳, 硕士, 副研究员, 研究方向为科学计算可视化。

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

• 2394 •

随着虚拟现实技术在科学数据可视化、军事、城市规划等方面应用的不断深入, 在建模与绘制方法、交互方式和系统构建方法等方面, 对虚拟现实技术都提出来更高的要求。实时三维图形生成和显示技术作为虚拟现实技术的研究热点, 所需解决的关键问题是如何实现“实时生成”, 即在不降低图形的质量和复杂程度的前提下, 提高交互性能。高效的绘制上下文环境依赖系统支持的图形驱动架构和图形驱动 libGL 库两者的协同工作。但随着软、硬件环境的多样性变化和系统内核的升级更新, 图形绘制引擎运行时的稳定性和高效性都会受异构图形驱动环境复杂性的影响。目前从操作系统和硬件环境出发, 开展异构硬件环境下高效绘制模型的研究工作相对较少。QNX 是一个优秀的研发 2D 与 3D 应用程序的编程环境, 其核心技术图形框架提供 libgf(Advanced graphics library)组件直接访问图形驱动程序, 并尽可能利用硬件加速来实现在资源有限的嵌入式环境下更快、更灵敏地运行。刘华海等人^[5]提出面向多核 CPU 多 GPU 的结点内并行混合绘制模型, 降低 GPU 资源闲置率, 提高 CPU 资源使用率, 获得良好的绘制交互性能。张翀等人^[6]对 Mesa 3D 库进行移植, 并改进 VxWorks 中实现了基于 OpenGL1.3 的图形 API 函数, 支持 3D 图形高效显示。目前为了实现 CPU/GPU 异构硬件环境下的高效绘制, 通常利用先进的程序开发环境研发程序或依据 OpenGL 标准重构原有程序^[7-10], 导致工作量大。

由于系统软、硬件环境具有复杂性和多样性, 因此在复杂图形驱动环境下确保软件产品绘制过程的稳定性和高效性的相关技术研究, 具有一定的实用性。本文从操作系统和运行时硬件环境出发, 提出一种图形驱动感知的异构硬件高效绘制模型, 采用运行时虚拟层技术, 解耦高层 OpenGL 图形绘制引擎与系统底层图形驱动之间的紧密依赖, 实现 Linux 复杂图形驱动架构和图形驱动库的智能化和最优化匹配, 提高图形绘制引擎运行时的稳定性和高效性。

1 图形驱动感知的异构硬件绘制模型

随着 3D 加速图形的广泛应用, 高性能图形工作站到笔记本电脑都配备集成显卡或高端 3D 加速图形显卡。如何充分利用 3D 加速硬件的高效绘制能力, 且最小化程序重构, 是本文的研究重点。本文研究提出一种图形驱动智能感知的异构硬件环境的高效绘制模型。如图 1 所示, 在 OpenGL 图形引擎与系统内核之间构建一个运行时虚拟层, 用于解耦 OpenGL 高层应用与底层系统驱动之间的紧密依赖。其中, 本地图形驱动池位于底层内核之上, 包含官方提供的 NVIDIA 显卡和 ATI 显卡的驱动, 及面向复杂驱动架构的 Mesa 图形驱动, 提供上层更多的图形驱动通道。智能感知器和运行时动态库加载器, 从图形驱动池中选择与图形驱动架构相适应的图形驱动库, 正确建立软、硬件图形绘制环境, 确保 OpenGL 图形引擎运行时的稳定性和高效性。

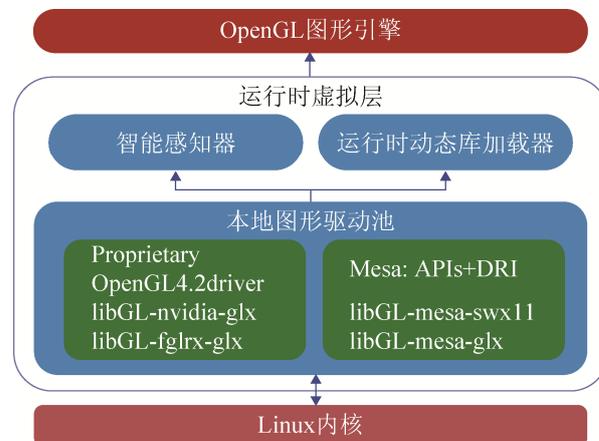


图 1 图形驱动感知的异构硬件绘制模型

1.1 冗余式本地图形驱动池

冗余式图形驱动池包括 NVIDIA 和 ATI 等高端显卡的官方驱动库, 以及 Mesa 适应 DRI、X11 等驱动架构的相关图形驱动库, 如 mesa-glx、mesa-swX11 等, 同时保证上层 OpenGL 应用程序可以正确使用系统 OpenGL API 及其扩展功能。图形驱动池内涵盖主流操作系统的各种图形硬件驱

动。如操作系统包括主流 Linux 系统，如 RedHat5、6 系列、Fedora 14 至 22 不同版本、Ubuntu、麒麟等 32 位或 64 位操作系统；各个操作系统环境下的图形硬件驱动，如 NVIDIA、ATI 高端 3D 加速图形硬件和 ASPEED 集成显卡等基于 BLOB、DRI、XLIB 图形架构的各自图形驱动库。NVIDIA、ATI 都提供官方驱动，支持 BLOB 驱动框架，实现 3D 硬件加速绘制。针对特殊的图形驱动架构，可独立编译对应的图形驱动库，并注册到图形驱动池。Mesa 开源编译实现，选择编译选项 `--enable-dri` 和 `-enable-xlib-glx` 生成支持 DRI、XLIB 图形架构的驱动库，提供 Mesa 支持的硬件/软件绘制。因此，冗余式图形驱动池具有驱动类型多样性和可扩展性。

1.2 智能感知技术

建立高效绘制模型关键问题在于搭建图形硬件与底层图形驱动库的协同工作环境，发挥 3D 加速图形硬件的高效绘制能力。智能感知技术即图形驱动架构的运行时感知，通过收集运行时驱动架构的软、硬件环境信息，与冗余图形驱动池内的图形驱动程序依据性能权重逐一匹配，获取高效硬件绘制环境的配置信息。

图形硬件作为 PCI 的外围设备，都有它映射的内存地址空间和 I/O 区域和配置寄存器。其中配置地址空间提供厂商、设备号、版本号等信息，用于唯一标识一个 PCI 设备。智能感知技术设计并实现“获取图形硬件信息”接口，访问系统 `/proc/bus/pci/devices` 目录，探查 VGA 兼容控制器 (VGA compatible controller) 信息，从而获取系统环境中的图形硬件类别，如 ATI、NVIDIA 或者集成显卡型号。

智能感知技术实现图形驱动架构与图形驱动库的匹配及验证。从理论上说，基于 XLIB、DRI、BLOB 图形驱动架构搭建的绘制上下文场景的绘制性能是依次提升的，因此驱动架构与驱动库的匹配顺序也是以性能权重由高到低的次序，即

BLOB-DRI-XLIB 次序，依次匹配冗余图形驱动池中的驱动库，并验证绘制模型是否支持直接渲染 (Direct Rendering)。本地图形驱动池中包含的驱动库具有多样性，从而导致智能匹配过程中循环次数多。但匹配、验证过程只执行绘制上下文的初始化和是否支持直接渲染的判断，匹配成功后立即返回。单次匹配的代码执行量小，引入的系统开销不高。其伪代码如下：

```
{
    Display *dpy;
    Struct options opts;
    CLXContext ctx;
    .....
    // 获取包含所有 x server 的有关信息，返回一个显示
    结构
    dpy = XopenDisplay( opts.displayName);
    // 创建一个 GLX 渲染上下文
    ctx = glXCreateContext(dpy, ...);
    // 判断当前的绘制上下文是否支持直接渲染，返回布
    尔值
    glXIsDirect(dpy, ctx);
    .....
}
```

1.3 运行时动态库加载技术

运行时动态库加载是依据运行时智能感知获取的软、硬件环境信息，从本地图形驱动池中选择正确的图形驱动库，搭建 OpenGL 图形绘制环境。对应不同的图形驱动架构，驱动池内的图形驱动具有不同性能特性。官方提供的 Nvidia 和 ATI 的显卡驱动库具有 3D 硬件加速性能，而 Mesa 提供对应 DRI、X11 等驱动架构的相关图形驱动库仅具有软件绘制性能，性能远远不如 3D 硬件加速驱动。在 OpenGL 程序加载过程中，设置一个加载绘制模型的锚点。该锚点以系统“软链接”方式与智能感知技术获取的图形驱动库相连。采取软链接方式优势在于可按性能权重灵活、方便地加载指定图形驱动库，构建最优的绘制环境，保证 OpenGL 程序绘制过程的稳定和高效。

2 TeraVAP 平台异构硬件绘制模型

面向 TB 量级大规模数据集并行分布式可视分析平台 TeraVAP, 已广泛用于激光聚变、复杂电磁环境、高精度反应堆等领域数值结果的可视分析后处理。其中可视分析引擎作为上层图形应用, 需要构建高效的可视化绘制环境, 实现面向大规模数据集的云纹、等值、体绘制等可视化绘制方法。图形驱动智能感知的异构硬件高效模型实现复杂图形驱动的自适应调度与使用, 建立高效的绘制上下文环境, 从而提高 TeraVAP 运行时的绘制交互性能。

2.1 异构硬件绘制模型的集成

TeraVAP 的异构硬件绘制模型采用模块化设计如图 2 所示, 其输入来自于 TeraVAP 图形绘制引擎, 输出对象是具有复杂图形驱动特点的绘制上下文环境。模型内部划分为三个子模块, 分别为: ①面向 TeraVAP 平台的通用图形硬件访问接口: 该模块用于在 TeraVAP 平台的静态访问层次, 为 TeraVAP 提供高层 OpenGL API 的通用性访问操作, 提供 OpenGL 1 版本到 OpenGL 4 版本的统一 OpenGL API 接口, 无缝对接各种图形驱动库中高效硬件加速功能, 支撑与图形硬件无关的 TeraVAP 绘制环境的建立; ②图形驱动架构的运行时感知: 该模块用于在 TeraVAP 运行时获取系统中的图形硬件信息和内核中的复杂图形驱动信息, 支撑图形驱动架构的运行时分析与类型确认; ③复杂图形驱动的动态调度与使用: 用于在 TeraVAP 运行时动态选择和调度图形驱动库, 并动态链接和使用匹配的图形驱动, 支撑 TeraVAP 的运行时绘制模型的稳定性和高效性。

其运行时动态库加载流程如图 3 所示, 初始化驱动池, 注册可用驱动对象; 依据智能感知获取的图形硬件信息和 X 服务上下文信息, 判断两者是否匹配; 若匹配则判定运行时图形驱动采用硬件加速绘制, 不匹配则判定采用软绘制; 加载对应的硬件驱动库或软件驱动库对象; 最终建立绘制环境。

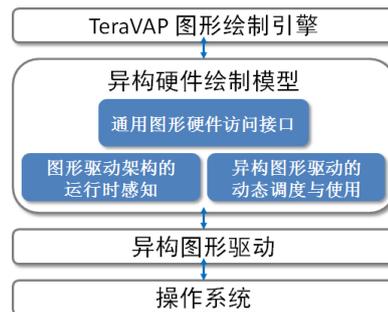


图 2 TeraVAP 平台异构硬件绘制模型的模块示意图

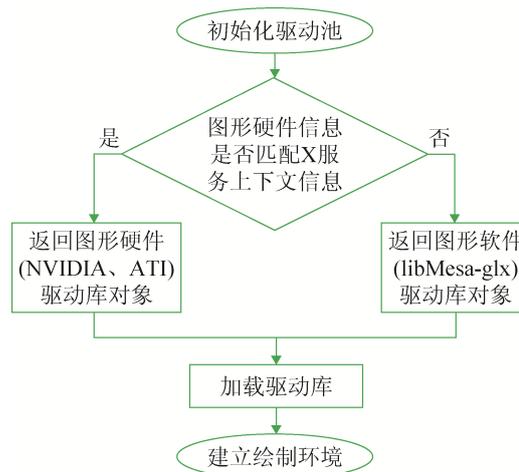


图 3 运行时动态库加载流程图

2.2 不同图形驱动框架的绘制性能评测

复杂图形驱动环境下 TeraVAP 绘制性能测试主要分析具有 3D 硬件加速 BLOB 绘制模型与具有软件绘制的 DRI 和 XLIB 绘制模型的交互性能差异。硬件配置为 Intel(R) Core(TM) i7-3370 CPU 3.40 GHz 和 NVIDIA GeForce GT 620 显卡。测试数据为医学头部 CT 扫描数据 CThead_mid.silo, 可视化方法为等值面绘制。如图 4 所示, 横坐标为绘制三角面片数, 纵坐标为交互绘制时间。随着绘制的三角面片数的增加, 不同绘制环境的绘制时间都呈线性增长趋势。DRI 和 XLIB 两种软件绘制环境的绘制性能大体一致。而 BLOB 硬件加速绘制模型的性能远远好于软件绘制模型。当三角面片数目为 930 000 和 5 516 000 时, 硬件绘制环境的性能是软件绘制环境的 6.8 倍和 5 倍。由此可见, 图形驱动智能感知技术以性能权重为标准, 自适应匹配图形驱动, 建立图形硬件绘制环境, 确保 TeraVAP

运行时的高效性；若缺乏 3D 图形硬件支持的操作
系统，该技术也可建立软件绘制环境，确保
TeraVAP 运行时的稳定性。

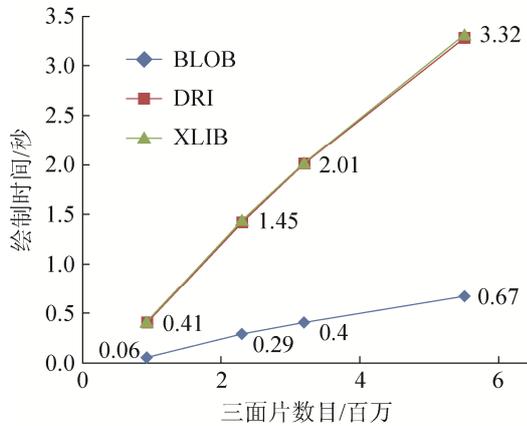


图 4 不同绘制模型的绘制交互性能

3 实际应用

JMCT(J Monte Carlo Transport Code)是基于
JCOGIN 开发的具有自主知识产权的中子光子耦
合蒙特卡罗粒子输运软件^[11],支持多群和连续能量
模拟,可进行区域复制并行、区域分解并行及两者
联合的二级并行的粒子模拟计算,并具有良好的可
扩展性。

在高精度大亚湾压水堆中子平均通量数值模
拟实际应用中,图 5(a)为大亚湾压水堆几何构型与
燃料棒中子体平均通量耦合绘制示意图,中子通量
分布以燃料棒几何实体构型绘制。颜色填充图+数
据切割操作来描述大亚湾核电站压水堆模型中子
体平均通量在全堆芯分布规律。图 5(b)为高精度临
界反应堆全堆芯 pin-by-pin 模型,24 种标准几何构
件,75 万实体构件,24 亿网格单元,其中堆芯共
有 157 个燃料组件。图 5(c)单个燃料组件的精细结
构示意图,每个 Pin-by-Pin 组件含 17×17 个栅元,
红色部分为控制棒,粉色部分为燃料棒,黄色和绿
色部分为控制棒和燃料棒的外围套管等。

图 6 左图所示,反应堆放射源部署于堆芯中部
时中子平均通量分布规律,中子平均通量分布以全
堆芯中部向外围扩散,符合理论规律;右图为单组
件燃料棒中子平均通量分布图,燃料棒轴向分为

16 层,以管状分布,其网格单元数目约为 74 万。

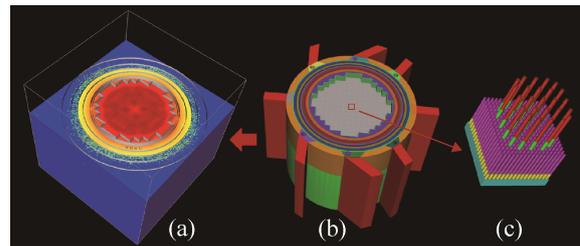


图 5 高精度大亚湾压水堆中子平均通量数值模拟结果

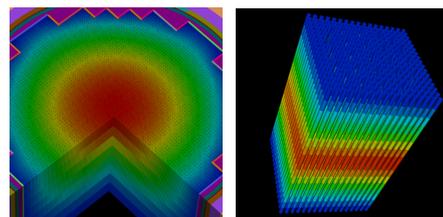


图 6 大亚湾 3/4 堆芯及单组件中子平均通量分布

性能测试模型为大亚湾真实压水堆中子平均
通量数值模拟,评测绘制燃料棒中子平均通量的交
互性能。测试平台为 HP 服务器,硬件配置为
Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 2.00 GHz 和
NVIDIA Quadro K600 显卡。如 2.2 节所述,DRI
驱动框架与 XLIB 驱动框架在交互性能差异不大,
故异构硬件绘制模型交互性能测试分别以 BLOB
硬件绘制模型与 XLIB 软件绘制模型为测试对象,
其交互性能如图 7 所示。横坐标为三角面片数目;
主纵坐标为交互绘制时间,即三维图形旋转操作后
图像绘制时间;次纵坐标为交互性能加速比。当网
格规模从 300 万~2 000 万,BLOB 绘制模型和 XLIB
绘制模型的交互时间都成线性增长。总体而言,
BLOB 绘制模型相比 XLIB 绘制模型的交互性能获
得约为 14 倍加速比。

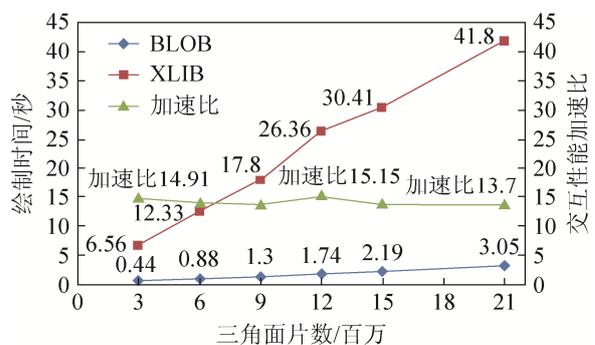


图 7 大亚湾反应堆中子平均通量绘制的交互性能评测

面向百万量级几何实体反应堆几何模型、上千方的三角面片的可视化绘制, OpenGL 立即绘图方式(immediate mode)已无法满足交互性能。使用 OpenGL 显示列表(Display List)方法, 把 OpenGL 命令设计成命令高速缓存, 被处理成适合于图形硬件的格式, 能优化程序运行性能。不同的图形硬件格式的 OpenGL 命令流, 其绘制性能也有所差异。如图 8 所示, 使用显示列表方法, BLOB 硬件绘制模型和 XLIB 软件绘制模型的绘制时间依然随三角面片数目的增加呈线性增长。三角面片数从 600 万~1 500 万, BLOB 硬件绘制模型+显示列表与 XLIB 软件绘制模型+显示列表相比交互性能可获得 90 倍以上的性能加速比。当三角面片数目达到 2 千万时, 由于 3D 图形硬件内存限制, BLOB 硬件绘制模型的绘制时间有所增加, 性能略有下降, 仍获得约为 38 倍的性能加速比。

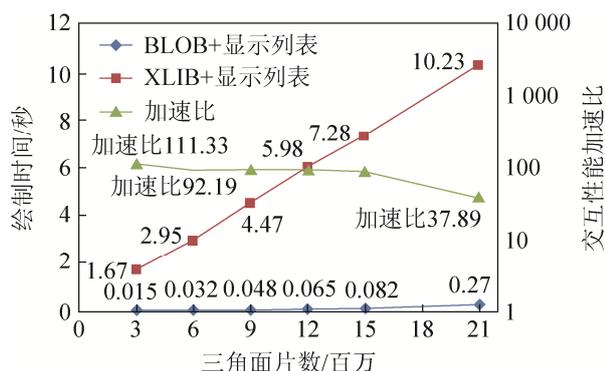


图 8 不同绘制模型+显示列表技术的交互性能评测

4 结论

综上所述, 图形驱动感知的异构硬件高效绘制模型, 从系统硬件环境层面实现了复杂环境驱动架构和图形驱动的自适应匹配, 创建最优化的硬件绘制环境, 提高图形绘制的交互性能。该模型采用运行时虚拟层技术, 解耦高层 OpenGL 应用程序与系统底层图形驱动之间的依赖, 依据应用程序的运行环境状态, 智能配置底层图形驱动库, 对原有程序改动很少; 采用冗余式驱动池来管理复杂多样的图形驱动库, 具有可扩展性和驱动库多样性; 基于图形驱动架构的运行智能感知技术识别并获取底

层图形驱动环境信息; 最后基于图形驱动动态加载技术来自适应地匹配当前图形驱动架构。异构硬件绘制模型集成到 TB 量级可视分析平台 TeraVAP, 在高置信度核反应堆中子体平均通量可视分析实际应用中获得良好效果。该技术需随图形驱动架构的演变而需不断完善和扩充, 并提供更为强大的通用图形硬件访问模块, 确保 OpenGL 程序的运行时稳定性的同时, 充分利用高端图形硬件, 大幅提高程序的绘制效率。

参考文献:

- [1] Xiao Li, Ai Zhiwei, Wang Hongkun. Parallel visualization of the simulations on tens of thousands of cores [J]. Computer Engineering & Science (S1007-130X), 2012, 34(8): 160-165.
- [2] 沈卫超, 曹立强, 夏芳, 等. 面向数值模拟数据的 HDF5 性能优化 [J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(增 1): 314-318.
- [3] Engel K, Kraus M, Th Ertl. High-quality pre-integrated volume rendering using hardware-accelerated pixel shading [C]// Eurographics Workshop on Graphics Hardware'01, ACM SIGGRAPH, 2001. USA: ACM, 2001: 9-16.
- [4] 张纯, 毛菁霞, 张如鸿, 等. 基于图形硬件加速的体绘制关键技术综述 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(7): 1732-1734.
- [5] 刘华海, 王攀, 蔡勋, 等. 面向多核 CPU 多 GPU 的节点内并行混合绘制模型 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(1): 94-99.
- [6] 张翀, 赵刚, 江勇. 基于 VxWorks 操作系统的三维图形驱动开发 [J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2009, 22(2): 62-64.
- [7] 朱奕杰. 基于 Linux 的 OpenGL 性能及其跨平台应用程序开发研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [8] 赵海涛, 张晓明, 樊双丽, 等. 跨多种平台的 OpenGL 解决方案 [J]. 测控技术, 2012, 31(8): 102-104.
- [9] 官酩杰. 基于 OpenGL ES 的移动平台图形渲染引擎研究与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [10] 金锋, 武志辉. 轻量级嵌入式 Linux 图形驱动程序与图形用户接口 [J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(3): 233-236.
- [11] 李刚, 张宝印, 邓力, 等. 大内存精细反应堆模型的蒙特卡罗区域分解并行计算 [J]. 核动力工程, 2014, (增 2): 228-230.