

桌面云环境下的高性能 vGPU 计算性能分析

缪静文,王 召,俞 俊,朱广新,杨云飞,程 聪

(南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院有限公司),江苏 南京 211000)

摘 要:作为一种典型的云计算应用模式,桌面云改变了用户使用计算机的传统方式。随着桌面云应用的逐渐普及,如何加速图形处理和提高 GPU 利用率,已成为桌面云环境下使用 GPU 的关键问题。针对该问题,文中利用 vGPU 技术和南瑞桌面云 NCloud-D 搭建原型系统,分析在桌面云环境中使用 vGPU 技术实现 GPU 共享的可行性。在此基础上有针对性地设计实验,研究对比现有 vGPU 虚拟桌面与物理机的性能,分析不同图形帧缓冲区分配方案下的 vGPU 虚拟桌面性能,分析 vGPU 虚拟桌面多并发的性能。实验结果表明,vGPU 技术对 GPU 资源有较高的利用效率,桌面云环境下的 vGPU 虚拟桌面与物理机性能相当,基本能满足图形加速处理的实际业务需求。

关键词:GPU 虚拟化;图形加速;桌面云;性能分析

中图分类号:TP399

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)11-0184-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.11.037

Performance Analysis of High Performance vGPU in Desktop Cloud Environment

MIAO Jing-wen, WANG Zhao, YU Jun, ZHU Guang-xin, YANG Yun-fei, CHENG Cong

(NARI Group Limited Corporation (State Grid Electric Power Research Institute Limited Corporation),
Nanjing 211000, China)

Abstract: As a typical cloud computing application model, desktop cloud changes the traditional way users use computers. With the popularity of desktop cloud applications, how to speed up graphics processing and improve GPU utilization have become key issues in the use of vGPU in desktop cloud environment. For this, we use GPU virtualization technology and NCloud-D to build a prototype system for analysis of the feasibility of using GPU sharing in the desktop cloud. On this basis, we design a series of experiments to compare performance between vGPU virtual desktops and the physical machine. In addition, we analyze the performance of vGPU virtual desktops when various amounts of graphics frame buffer assigned and the concurrent performance of vGPU virtual desktops. The experiment shows that the vGPU technology has a high utilization of GPU resources. The vGPU virtual desktop in the desktop cloud has the same performance as the physical machine, which can basically meet the business requirements of graphics acceleration processing.

Key words: GPU virtualization; graphics acceleration; desktop cloud; performance analysis

0 引言

随着虚拟化技术^[1-2]的迅速发展,桌面云成为一大研究热点,成为电力企业率先选择云化的解决方案。作为一种典型的云计算应用模式,桌面云以其统一的管理、便捷的接入与弹性的服务等优点改变了用户使用计算机的传统方式。桌面云系统^[3]通过终端设备来访问云端的应用程序或者访问云端整个虚拟桌面。桌面云采用瘦客户端+云服务的模式,所有的服务运行在服务端。服务端统一管理所有服务器的计算、存储与网络资源,负责将用户和具体资源做映射,并负责将

具体资源调度给用户。瘦客户端只需少量的计算、存储与网络资源。

当前的处理器体系结构呈多样化发展趋势,其中 GPU^[4-5]作为协处理器的一种已成为当代高性能计算机系统的重要组成部分之一。1999 年,NVIDIA 将世界上第一款 GPU 推向市场。2007 年,NVIDIA 提出了 CUDA(compute unified device architecture)统一计算设备架构。GPU 功能已从单纯负责图形处理和渲染发展到高速并行计算。鉴于其强大的并行计算能力和高吞吐率等,GPU 成为高性能计算领域的主流加速

收稿日期:2018-12-26

修回日期:2019-04-26

网络出版时间:2019-06-26

基金项目:国家电网有限公司“提升信息系统可靠性保障能力应用研究科技项目”(500409081)

作者简介:缪静文(1988-),女,硕士,工程师,CCF 会员(96212M),研究方向为云计算与电力系统信息通信。

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190626.0840.072.html>

器。近年来,GPU 虚拟化^[6-8]成为了计算机辅助设计与图形学领域中的重要研究热点之一。

文中使用最新的 GPU 虚拟化技术和南瑞桌面云 NCloud-D 搭建原型系统。在此基础上,提出性能测量方法和评价指标,并针对性地设计了大量实验,以分析桌面云环境下的 GPU 虚拟化的性能。实验结果表明,最新的 vGPU 可以提供虚拟桌面较高的图形加速性能。

1 问题提出

目前,桌面云系统主要采用 CPU 处理器以及模拟的虚拟显卡技术。CPU 处理图形的效率低,而 GPU 的图形处理性能可达 CPU 的数十倍。在虚拟机中使用 GPU 结合 CPU 进行图形计算的方案,可提高图形处理性能^[9]。随着桌面云应用的逐渐普及,如何加速图形处理和提高 GPU 利用率,成为桌面云环境下使用 GPU 的关键问题。

针对上述问题,文献[10]采用 GPU 核心透传给一台虚拟桌面的 GPU 直通方案,虚拟桌面上能满足图形工作站等高端场景应用,但是无法同时共享给多台虚拟桌面使用。文献[11]使用 vGPU 方案直接共享 GPU,通过安装在虚拟机上的图形驱动直接访问切片后的 GPU 资源。这种方式带来硬件加速图形的所有优势,发挥出物理 GPU 的更多性能,从而实现虚拟机更高的图形处理能力和扩展能力。文献[12]中搭建了 vGPU 和 GamingAnywhere 原型系统,将云游戏运行在虚拟化环境中,云游戏的响应延迟和画面质量略有下降,但基本满足云游戏的需求,在多个虚拟机中并发

运行云游戏时能公平地分配到 GPU 资源。

桌面云环境下将 GPU 资源^[13-15]集中在云端管理,按需为不同场景调度 vGPU。凭借 vGPU 技术,每台虚拟桌面的图形命令被直接传递至 GPU,GPU 硬件实现时间分片(time-sliced),从而共享虚拟化图形性能。然而实践表明,vGPU 可能会影响桌面云环境下的用户体验。多台虚拟桌面共享 GPU 后的图形处理性能决定能否在桌面云环境中的实施。为此,文中使用 GPU 和南瑞桌面云 NCloud-D 搭建原型系统,分析在桌面云环境中使用 vGPU 实现 GPU 共享的可行性。

2 原型系统设计

2.1 系统整体架构

南瑞桌面云 NCloud-D 整体分为办公域、桌面云管理域、研发域和 vGPU 高性能域。桌面云宿主机集群位于信息内网,均采用四条千兆链路分别接入两台核心交换机,实现网络负载均衡与链路冗余,提高服务器接入的可靠性;将网络划分为用户数据网络、管理网络、迁移网络等多个相互隔离的网络,且每个网络都具有高可用性及足够的带宽。vGPU 高性能域将物理 GPU 分片成多个 vGPU,每个 vGPU 分配给各台虚拟桌面使用。在存储网接入方面,桌面云服务器均采用双链路分别接入两台网络交换机和 SAN 交换机,实现存储网络的链路冗余,提高存储网络接入的可靠性。利用集中式存储,构建统一的虚拟化资源池,构建异构存储设备的统一管理,实现存储资源的整合调度,实现热点数据及用户数据的分层存储。

原型系统整体架构如图 1 所示。

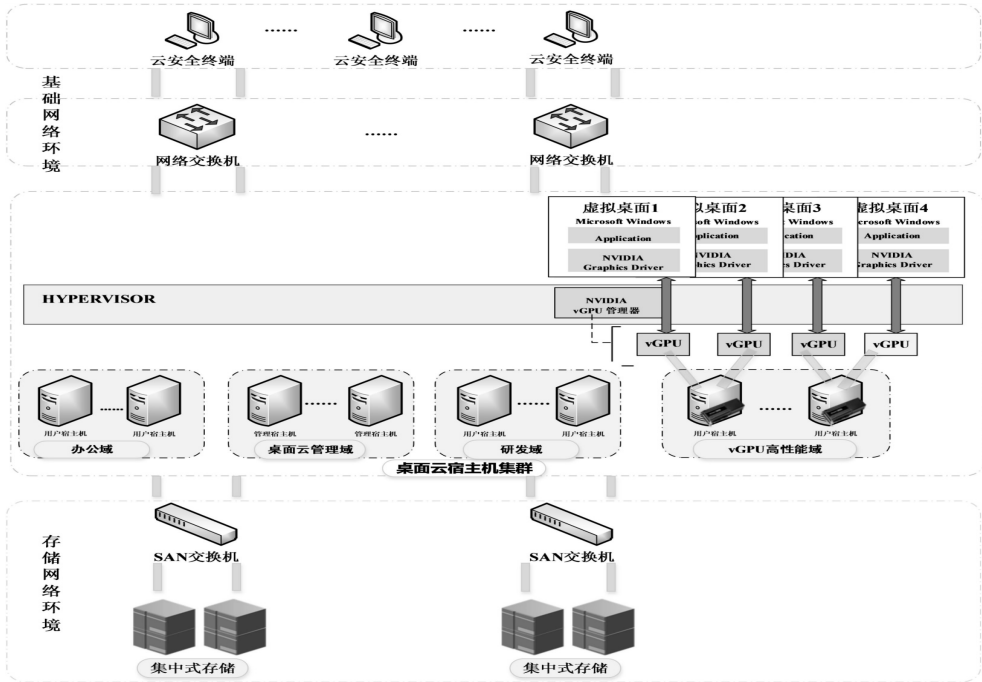


图 1 原型系统整体架构

2.2 原型系统的 vGPU 内部架构

桌面云下的 GPU 资源内部架构如图 2 所示。可以看出,NVIDIA 的 vGPU 管理器部署在宿主机操作系统程序中,通过调度模块对各个虚拟机上的 GPU 资源进行调度。为了提升 GPU 的性能,调度模块负责向宿主机操作系统上的 GPU 驱动程序发送任务,不负责

该任务是否被正确处理。vGPU 帧缓冲区在创建 vGPU 时从物理 GPU 帧缓冲区分配。vGPU 保留对该帧缓冲区的独占使用,直到它被销毁。驻留在物理 GPU 上的所有 vGPU 共享对 GPU 引擎的访问,包括 3D 图形、视频解码和编码引擎。最后,执行结果返还给发起请求的虚拟桌面操作系统中的 3D 应用程序。

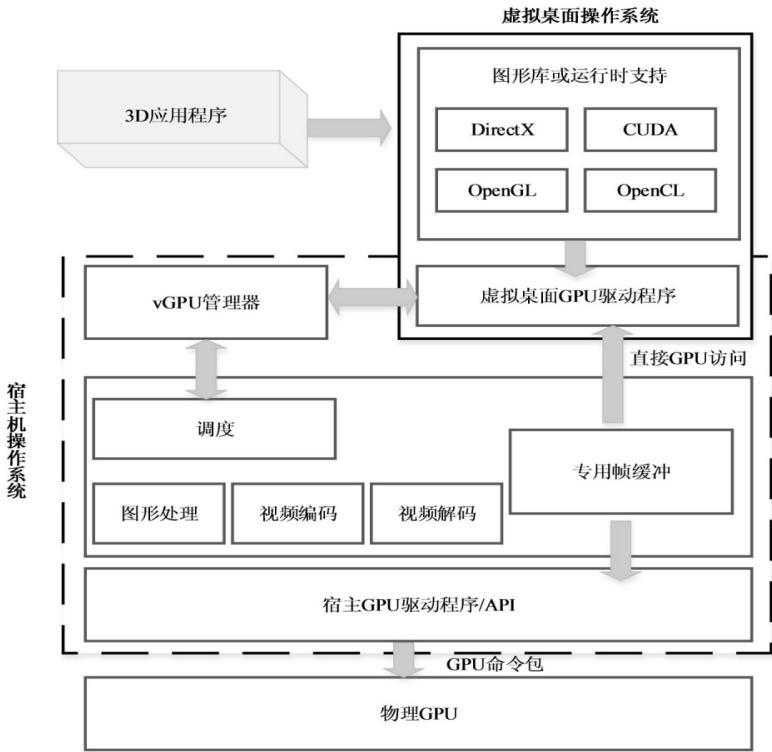


图 2 桌面云下的 vGPU 内部架构

3 测量方法和性能指标

3.1 测量方法

GPU 应用程序开发的图形处理接口主要有两类:OpenGL 与 DirectX。文中两种实验软件涵盖了 OpenGL 和 DirectX 接口。OpenGL 是当前图形应用最广泛的标准,也是开发可交互、可移植的 2D 与 3D 图形应用程序的首选环境。DirectX 是由微软公司创建的多媒体编程接口。

作为 CPU 和显卡测试系统,CineBench 最多可支持 256 个逻辑核心,还加强了着色器、抗锯齿、阴影、灯光以及反射模糊等的考察,对 CPU 性能的检测更加准确。CineBench 的第一项测量使用 CPU 渲染一张高精度的 3D 场景画面,在单处理器单线程下只运行一次;第二项测量针对显卡的 OpenGL 性能。文中的实验设计针对显卡的 OpenGL 性能。

PassMark PerformanceTest 软件的 3D 图形测试旨在评估使用 DirectX 最常见功能时显卡的性能,测量了 3D 图像的创建和显示速度。DirectX 应用程序编程接口(API),允许开发人员创建游戏和其他高性能多

媒体应用程序。该软件涵盖了 DirectCompute、DirectX 11、DirectX 10、DirectX 9 Complex、DirectX 9 Simple 这五种类型。

3.2 性能指标

在实验设计及性能分析前,特此说明,NVIDIA 为保护每个虚拟显卡用户的性能,默认限制了每个虚拟显卡用户的性能上限。如果想充分发挥虚拟显卡的性能,需把默认参数 pciPassthru0. cfg. frame_rate_limiter 的值修改为 0。

(1)FPS (frames per second)是画面每秒传输帧数,每秒钟帧数越多,所显示的动作就会越流畅。FPS 是测量用于保存、显示动态视频的信息数量。FPS 是 CineBench 测量虚拟显存性能主要的结果,所以实验用 FPS 结果来反映虚拟显存的性能。

(2)3D Graphics Mark。PassMark PerformanceTest 中的 3D Graphics Mark 得分来衡量虚拟显卡的综合 3D 处理性能。

4 实验设计与性能分析

vGPU 实现了虚拟桌面对 GPU 的共享,一台服务

器可以同时运行多个虚拟桌面。然而实践表明,共享 GPU 可能会影响桌面云环境下的用户体验。为了验证桌面云环境下 vGPU 的可行性,本节设计一系列实验分析 vGPU 的图形加速性能,从 FPS 值和 3D Graphics Mark 得分来分析使用 vGPU 技术对桌面云环境下用户体验的影响。

4.1 节设计南瑞桌面云环境下 NVIDIA 的 GRID K1、Tesla M60 与物理机的性能对比实验。4.2–4.4 节设计南瑞桌面云环境下 GRID K2 显卡的 vGPU 单并发与多并发性能实验。

表 1 NVIDIA 各型号显卡的性能参数

显卡型号	GPU 数量	显存容量	显存配置	显存 I/O	总 CUDA 核心数	显存频率
GRID K1	4	4 GB/GPU	32 pcs256M×16 DDR3	128-bit	768	891 MHz
Tesla M60	2	8 GB/GPU	32 pcs256M×16 GDDR5	256-bit ×2	4 096	2.5 GHz
GRID K2	2	4 GB/GPU	32 pcs128M×16 GDDR5 SDRAM	256-bit	3 072	2.5 GHz

表 2 vGPU 虚拟桌面与物理机的配置对比

类型	操作系统版本	CPU	内存	显卡/虚拟显存
台式机	Win7 旗舰版 SP1 64 位	4 核 3.3 GHz	8 GB	Intel HD Graphics 4600
vGPU 虚拟桌面 1	Win7 企业版 SP1 64 位	4 核 3.2 GHz	8 GB	M60 虚拟显存 1 GB
vGPU 虚拟桌面 2	Win7 企业版 SP1 64 位	4 核 2.8 GHz	8 GB	K1 虚拟显存 1 GB

本实验通过 Cinebench 软件对比 vGPU 虚拟桌面、物理机、普通虚拟桌面的 OpenGL 性能,对相同显存配置的台式机(4C8G)、vGPU 桌面云虚拟机(M60 显卡)、vGPU 桌面云虚拟机(K1 显卡)与普通虚拟桌面进行性能评分。虚拟桌面与台式机各进行 4 次实验,求取平均值,性能对比结果如表 3 所示。

表 3 vGPU 虚拟桌面与物理机的性能对比

	台式机	vGPU 虚拟桌面-M60	vGPU 虚拟桌面-K1	虚拟桌面(无 vGPU)
FPS 值	29.27	120.93	30.58	运行失败

配置 NVIDIA K1 vGPU 的虚拟桌面基本上达到本实验中物理机图形加速的性能,配置 NVIDIA M60 vGPU 的虚拟桌面的图形性能超过本实验中物理机的图形加速性能。未分配 vGPU 的虚拟桌面无法支撑调用 OpenGL 编程接口的软件。实验结果表明,桌面云环境下的 vGPU 虚拟桌面与物理机运行 OpenGL 的性能相当,使用 vGPU 技术能满足图形处理的实际业务需求。

4.2 单台 vGPU 虚拟桌面分配不同图形帧缓冲区时的 FPS

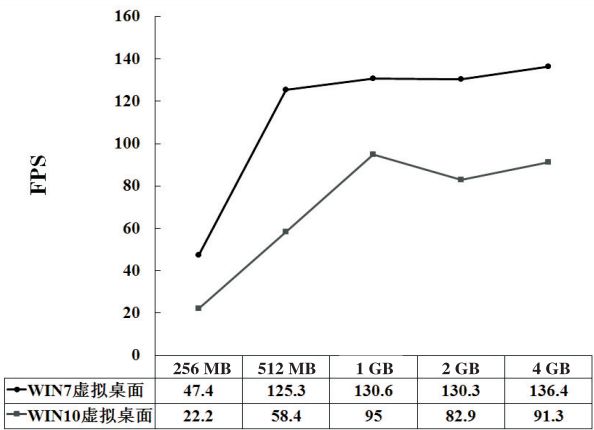
本实验中单台 vGPU 虚拟桌面的配置为 4vCPU 8

表 1 展示了 NVIDIA 各型号显卡的性能参数。K2 显卡是由 2 块 4 GB GPU 芯片组成的,虚拟显存(图形帧缓冲区)只能从一个芯片中进行划分,所以单台虚拟桌面虚拟显存的最大分配方案为 4 GB,最小分配方案为 256 MB。桌面云环境中 K2 显卡采用直通模式时,在虚拟桌面中被识别为 2 块 4 GB 的显卡,所以 3D 应用程序其实也只能用到一块 4 GB 显卡的性能。

4.1 vGPU 虚拟桌面与物理机性能对比

vGPU 虚拟桌面的配置与台式机的配置如表 2 所示。

GB 内存。通过 Cinebench 软件分别对在 WIN7 和 WIN10 虚拟桌面中分配不同图形帧缓冲区(不同虚拟显存)时 OpenGL 的 FPS 值进行实验。虚拟桌面每种虚拟显存的分配方案均进行 5 次实验,并求取平均值,结果如图 3 所示。



不同图形帧缓冲区分配方案

图 3 虚拟桌面分配不同图形帧缓冲区时的 FPS

虚拟桌面的 256 MB 显存分配无法与其他显存分配方案共存,已开机其他显存配置方案时,会提示父资源池中的可用图形资源量不足,无法执行该操作。由

图 3 发现,Windows7 虚拟桌面分配 4 GB 图形帧缓冲区(虚拟显存)时的最大 FPS 值为 136。虚拟显存为 256 M 时,FPS 值最低,虚拟显卡性能明显较差。虚拟桌面中分配 512 MB、1 GB、2 GB、4 GB 的图形帧缓冲区(虚拟显存)时,实验得到的 FPS 值差不多。因此,桌面云中虚拟显卡的性能与所分配的虚拟显存大小没有正比关系。对比 Windows7 虚拟桌面与 Windows10 虚拟桌面的 FPS 值,实验结果表明 Windows7 虚拟桌面对 OpenGL 的支持相对较好。所以,支持 OpenGL 的画图类软件在 Windows7 虚拟桌面上性能更佳。

4.3 vGPU WIN7 虚拟桌面并发实验

本节设计 Windows7 虚拟桌面(4vCPU 8 GB 内存)固定分配 1 GB 图形帧缓冲区(虚拟显存)的并发实验,并求取 FPS 的总和,每种并发实验进行 5 次,并求取平均值,结果如表 4 所示。

表 4 vGPU WIN7 虚拟桌面并发的 FPS

FPS	虚拟桌面 1	虚拟桌面 2	虚拟桌面 3	虚拟桌面 4	FPS 总和
单并发	128.9	-	-	-	128.9
2 并发	102.88	82.06	-	-	184.94
3 并发	64.5	61.1	59.7	-	185.3
4 并发	48.14	45.87	46.03	47.66	187.7

从图 4 可以看出,K2 显卡(一块 4 GB GPU 芯片)并发的 FPS 总和最大约 188。在 4.1 节单台 WIN7 虚拟桌面分配 4 GB 虚拟显卡时,Cinebench 实验的最大 FPS 值为 130,此结果受限于单并发实验工具本身。

vGPU WIN7虚拟桌面并发时的FPS值

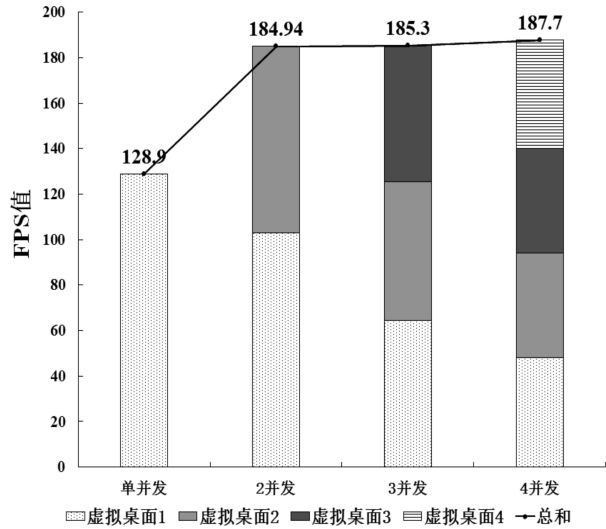


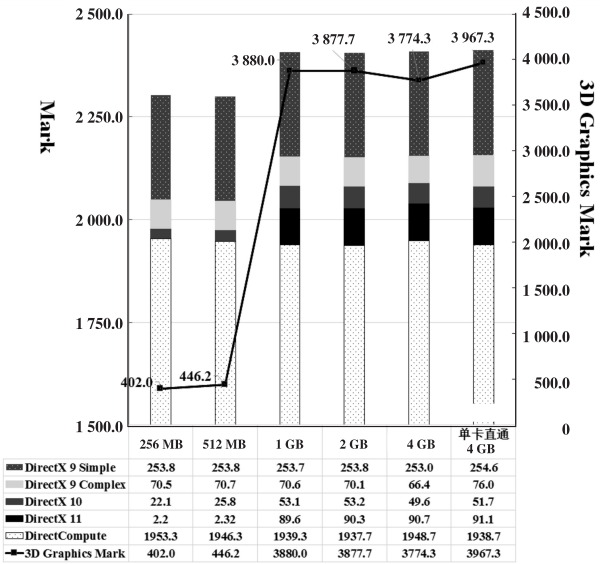
图 4 vGPU WIN7 虚拟桌面并发的 FPS

随着并发的虚拟桌面增多,每台虚拟桌面的 FPS 值滑落得较明显。进一步分析得知,不同并发数实验时,配置相同的虚拟桌面彼此间性能相当。这表明在 vGPU 技术中使用了基于 FPS 感知的 GPU 调度策略,每台虚拟桌面近似于公平获得宿主机的 GPU 资源。

通过增加集群中部署 GPU 的宿主机的数量,可以提升并发的虚拟桌面享受基本 GPU 加速的性能。

4.4 虚拟桌面分配不同图形帧缓冲区时的综合 3D 图形得分

本实验采用 PassMark PerformanceTest 软件,设计 Windows7 虚拟桌面(4vCPU 8 GB 内存)分配不同图形帧缓冲区(不同虚拟显存)时在 DirectCompute、DirectX 11、DirectX 10、DirectX 9 Complex、DirectX 9 Simple 这五种类型时的性能得分,最终得到 3D Graphics Mark 综合评分。每种虚拟显存的分配方案进行 5 次实验,求取平均值。一块 8 GB 的 K2 显卡直通给虚拟机时,会被其识别为 2 块 4 GB 显卡,实际实验只能触及一块 4 GB 显卡的性能瓶颈。最终实验结果如图 5 所示,其中折线表示 3D Graphics Mark 的综合评分。



不同图形帧缓冲区分配方案

图 5 WIN7 虚拟桌面分配不同图形帧缓冲区时的得分

从图 5 可以看出,WIN7 虚拟桌面的图形帧缓冲区(虚拟显存)分配 1 GB、2 GB、4 GB、单卡直通 4 GB 时,3D Graphics Mark 数值差不多,显存大小用来支持分辨率,在满足分辨率需求的情况下,实验评分接近。WIN7 虚拟桌面的虚拟显存分配为 512 M、256 M 时,3D Graphics Mark 数值较低,无法支撑调用 DirectX 编程接口的软件。

5 结束语

文中设计了 vGPU 与南瑞 NCloud-D 桌面云搭建原型系统。在此基础上,设计了大量实验,以分析桌面云环境下的 GPU 虚拟化性能。实验结果表明,vGPU 技术对 GPU 资源有较高的利用效率,桌面云环境下的 vGPU 虚拟桌面与物理机性能相当,基本能满足桌面云中图形加速处理的实际业务需求;在多个虚拟桌面并发运行的场景中,各虚拟桌面能公平分配到 GPU 资

源。该研究可以作为桌面云环境下 vGPU 的工程实践依据。对于桌面云环境下的 OpenGL 类软件,单台虚拟桌面预分配 1 GB 虚拟显存,再根据用户实际使用情况(显示器数量、显示分辨率、模型大小、模型复杂程度)进行变更;对于桌面云环境下的未知业务场景,预分配 1 GB 虚拟显存,可达到场景和性能的最优配比。

参考文献:

- [1] AGARWAL S, BISWAS R, NATH A. Virtual desktop infrastructure in higher education institution: energy efficiency as an application of green computing[C]//Fourth international conference on communication systems and network technologies. Bhopal, India: IEEE, 2014: 601–605.
- [2] HUI L Y, SEOK K H, KI K B. Desktop computer virtualization for improvement security power consumption and cost by SBC (server based computer)[J]. International Journal of Security and Its Applications, 2015, 9(5): 141–152.
- [3] CALYAMA R, PATALIAC R, BERRYMAN A, et al. Utility-directed resource allocation in virtual desktop clouds[J]. Computer Networks, 2011, 55(18): 4112–4130.
- [4] SHI Lin, CHEN Hao, SUN Jianhua, et al. vCUDA: GPU-accelerated high-performance computing in virtual machines[J]. IEEE Transactions on Computers, 2012, 61(6): 804–816.
- [5] 孙传伟, 安虹, 孙荪, 等. CPU-GPU 融合架构上的缓存性能分析与优化[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(2): 47–52.
- [6] DOWTY M, SUGERMAN J. GPU virtualization on VMware's hosted I/O architecture[J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2009, 43(3): 73–82.
- [7] LIU Ming, LI Tao, JIA N, et al. Understanding the virtualization “Tax” of scale-out pass-through GPUs in GaaS clouds: an empirical study[C]//IEEE international symposium on high performance computer architecture. Burlingame, CA, USA: IEEE, 2015: 259–270.
- [8] 张玉洁. 基于多 GPGPU 并行计算的虚拟化技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
- [9] SCOTT S. The evolution of GPU accelerated computing[C]//Proceedings of IEEE SC companion: high performance computing, networking storage and analysis. Salt Lake City, Utah, USA: IEEE, 2012: 1636–1672.
- [10] YANG C T, WANG H Y, OU W S, et al. On implementation of GPU virtualization using PCI pass-through[C]//Proceedings of IEEE 4th international conference on cloud computing technology and science. Taipei, Taiwan: IEEE, 2012: 711–716.
- [11] Microsoft Corporation. vGPU: a real time GPU emulator; U. S., 8711159[P]. 2014-04-29.
- [12] 戴加伟, 白光伟, 沈航, 等. GPU 虚拟化环境下云游戏性能分析[J]. 小型微型计算机系统, 2018, 39(2): 214–218.
- [13] 刘红艳. GPU 虚拟化在虚拟化桌面系统中的应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [14] 石林. GPU 通用计算虚拟化方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [15] 闵芳, 张志先, 张玉洁. 虚拟化环境下多 GPU 并行计算研究[J]. 微电子学与计算机, 2016, 33(3): 69–75.

订

正

我刊在 2019 年 29 卷第 10 期 74–78 页刊载的《基于 GDAL 库的温度推算模型的研究与实现》一文,作者分别是:刘文毫 1,卫建国 12*,张春梅 1,杨豫 3,刘兆宇 3,由于编辑人员的工作失误,遗漏了第二作者卫建国的作者简介,做此订正:卫建国(1973–),男,软件设计师和气象电子高级工程师,通讯作者(weijian0269@163.com),主要从事农业气象遥感应用、图形图像、GIS 等业务系统开发。