

SPICE 在透明桌面服务机制中的应用及优化研究

王 斌 余佳齐 李伟民 朱 翀 盛津芳
(中南大学信息科学与工程学院 湖南 410083)

摘 要 随着计算机网络和虚拟化技术的发展,桌面虚拟化解决方案日益成熟。桌面虚拟化技术改变过去分散、独立的服务模式,给用户提供一个统一、安全的桌面体验服务。SPICE(Simple Protocol for Independent Computing Environment)作为开源的虚拟桌面解决方案能提供高性能、动态自适应的虚拟桌面服务。通过虚拟化技术和 SPICE 协议构建桌面虚拟化平台,为用户提供桌面虚拟化服务,即透明桌面服务。但目前该方案还存在不足,如不能适用于用户可控性高的环境,图形交互体验质量也有待提高。由此对 SPICE 进行了相关优化,实现了虚拟主机与客户端主机间的文件互传,同时针对 SPICE 图形交互进行了改进,缩短了用户操作的响应时间。最后通过实验验证该优化能提供用户可控性更强、体验质量更好的服务。

关键词 桌面虚拟化,SPICE,透明桌面服务,文件传输,图形优化

中图法分类号 TP302 文献标识码 A

Research on Application and Optimization of SPICE in Transparent Desktop Service Mechanism

WANG Bin YU Jia-qi LI Wei-min ZHU Chong SHENG Jin-fang

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Hunan 410083, China)

Abstract With the development of computer network and virtualization technology, the desktop virtualization solution is becoming more and more mature. Desktop virtualization technology changes the past decentralized and independent service mode and provides users a kind of unified and secure desktop service. The SPICE(Simple Protocol for Independent Computing Environment) can provide the dynamic adaptive virtual desktop service with high performance as an open source virtual desktop solution. Based on virtualization technology and SPICE protocol, this article built a desktop virtualization platform to provide users with desktop virtualization services, named the transparent desktop services. However, there are still many deficiencies in this solution. For instance, it cannot be applied to the environment of high user controllability, and the quality of graphic interactive experience is to be improved. Therefore, SPICE was optimized in this paper. A transparent file transfer mechanism was proposed, which achieves file transfer between Guest OS and client. And the performance of SPICE graphical interaction was improved, which reduces response time of users' operations. Finally, experiment results show that the optimizations can provide users with higher user-controllable service and better experience quality.

Keywords Desktop virtualization, SPICE, Transparent desktop service, File transfer, Graphical optimization

1 引言

随着虚拟化技术^[1]的发展,虚拟化可以部署到桌面级别,称为桌面虚拟化。桌面虚拟化技术越来越受到关注,在企业办公、在线学习等诸多领域得到了广泛应用。桌面虚拟化是一种基于中心服务器的计算模型,建立在服务器虚拟化的基础之上。所有的桌面虚拟主机在数据中心进行托管并统一管理,在远程数据中心运行 DaaS(desktop-as-a-service)服务解决方案,本质上是把桌面作为一种服务提供给用户^[2]。这是一种廉价的、安全的、并且易于维护的新兴虚拟桌面传输方法,通过执行在远端服务器中虚拟机的应用程序,用户可以在任何地点、任何设备上访问任何应用程序^[3]。但在提供桌面

服务时保证用户的交互体验质量是一个关键的问题^[4]。

虚拟桌面传输协议是桌面虚拟化技术的核心,在保证和改善用户交互体验质量时发挥着重要作用。当前主流的虚拟桌面技术厂商已经确定了各自的桌面传输协议,主要包括 Microsoft 的 RDP(Remote Desktop Protocol)^[5]、VMware 的 PCoIP(PC-over-IP)^[6]、Citrix 的 ICA(Independent Computing Architecture)^[7]、Red Hat 的 SPICE^[8]等。协议的对比如表 1 所列。

通过表 1 可知当前主流虚拟桌面均有一定的缺陷,不能完全适用于所有应用场景。而其中 SPICE 协议是一个开源的虚拟桌面传输协议,为用户提供与本地主机相似的交互体验,并尝试分担部分 CPU 密集型和 GPU 密集型的任务到客

本文受科技部国际合作项目“基于透明计算的智能移动终端网络化操作系统(2013DFB10070)资助。

王 斌(1973—),男,博士,教授,CCF 会员,主要研究方向为软件工程、分布式计算,E-mail:wb-esut@mail.csu.edu.cn;余佳齐(1990—),男,硕士生,主要研究方向为软件工程;李伟民(1988—),男,博士生,主要研究方向为分布式计算、大数据;朱 翀(1991—),男,硕士生,主要研究方向为软件工程;盛津芳 女,博士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为大数据和分布式计算。

客户端。SPICE 采用独特的分层技术架构、分类压缩技术、支持图像自适应处理等技术架构,具有对传输带宽要求较低、图像展示体验好、传输安全性高等优点。但 SPICE 本身也有一些不足之处,影响了用户服务质量,如不同图像压缩算法之间切换开销大、服务端读取命令延迟、视频处理能力不足、用户可控性不强等^[9]。

表 1 主流虚拟桌面传输协议比较

特性	RDP	PCoIP	ICA	SPICE
传输带宽要求	高	高	低	中
图像展示体验	低	高	中	高
双向音频支持	中	低	高	高
视频播放支持	中	低	中	高
用户外设支持	高	低	高	中
传输安全性	中	高	高	高
支持厂商	Microsoft	VMware	Citrix	Red Hat

基于当前 SPICE 的架构和实现机制,一些改进方案已经提出。文献^[9]提出了采用 JPEG2000 压缩算法替换原有图形压缩算法,实现图像的渐进传输,图像和视频压缩算法之间可以平滑地进行切换,由此减少不同压缩算法切换导致的图像抖动问题。文献^[10]利用离散小波变换对 MJPEG 压缩中的离散余弦变换进行替换,构建新的视频压缩方法,用以增强 SPICE 的视频处理能力。然而,目前针对 SPICE 的改进方案大部分都是基于压缩算法来优化图形以及视频的传输机制,但是在操作频繁、交互性高的场景下,这类优化机制并不能很好的适应,而且对于虚拟桌面服务的可控性也很少有考虑。

本文以桌面虚拟化技术为基础,构建了基于 SPICE 的虚拟桌面服务,即透明桌面服务。同时针对目前 SPICE 中存在的问题,对 SPICE 做了改进和优化,包括增加了用户可控的透明文件互传机制,优化了图形交互机制。目的在于增强用户对桌面服务的可控性,提高虚拟桌面的服务质量,并且通过对比实验验证了该优化机制的有效性。

2 SPICE 研究分析

SPICE 基础架构包括客户端、服务端和 SPICE 协议^[11]。客户端部署在用户终端设备上,显示虚拟桌面同时接收外设的输入。服务端提供动态链接库(libspice)和虚拟设备接口,使用 SPICE 协议与客户端进行通信。SPICE 协议定义了一组协议消息,用于服务端和客户端间的通信,这些消息不依赖于任何专用的传输层协议并且能够灵活选择加密算法^[11]。跟 SPICE 协议相关的组件包括 QXL 驱动、QXL 设备等。QXL 驱动位于服务端的虚拟主机(Guest OS)中,接收操作系统和应用程序的图形命令,将其转化为 QXL 图形设备命令。QXL 设备部署在服务端的 Hypervisor 中,用于处理各个虚拟机发来的图形操作。

SPICE 的虚拟桌面服务实质上是将程序在服务端运行时产生的图形命令经过处理后传输到客户端刷新显示。SPICE 采用懒情的推模式^[12]图形刷新机制,由服务端定时推出经过合并和覆盖处理的 QXL 图形命令(graphic command)到客户端进行刷新显示,而底层采用 TCP 协议进行传输。如图 1 所示, Guest OS 负责向操作系统的图形引擎(GDI/X Engine)发出图形处理操作,图形引擎把图形命令发送给 QXL 驱动, QXL 驱动把该命令转换为 QXL 命令后推送到 QXL 设备的

图形命令循环队列(Command Ring)中, libspice 库不断从中获取图形命令,然后添加到图形命令树(Display Tree)上。图形命令树对 QXL 命令进行组织和优化,优化的 QXL 命令推送到发送队列中,传送到 SPICE 客户端用于刷新显示。

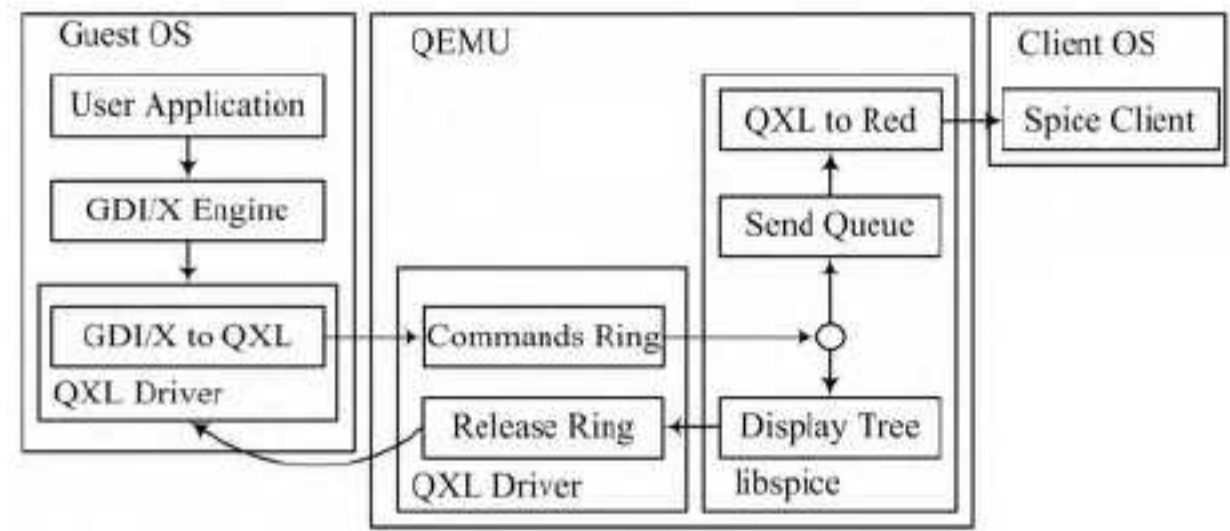


图 1 SPICE 图形指令流传输

在 SPICE 虚拟桌面服务传输中,桌面图形的渲染操作消耗大量的计算机资源。如果图形渲染操作都在服务器端进行,服务器会承载很大的负担。SPICE 协议能够自适应地感知并且利用客户端设备的处理能力,服务端可以只传输图形的处理命令,图形的渲染则可以在客户端进行^[8]。这不仅减少了网络传输的数据量,节省了带宽,而且能有效地利用客户端的计算和处理能力。

另一方面,由于 SPICE 采用的是服务端推动和懒情刷新的图形处理机制,当处于用户操作频繁,交互性高的场景时,SPICE 并不能很好地适应,用户操作的延迟很高,影响了用户的体验质量。此外,虽然用户可以通过传输各种操作命令向服务端获取所需服务,但是用户不能从服务端获取或者传输文件,将文件在服务端进行共享,这在一定程度上影响了用户的主导地位和控制权。

3 透明桌面服务机制阐述

本文通过虚拟化技术和 SPICE 协议构建桌面虚拟化平台,并实现了相关的原型系统,称为透明桌面服务平台。透明桌面平台的目的在于改变过去分散、独立的桌面模式,为用户提供统一的高质量的桌面应用服务。其系统架构如图 2 所示。

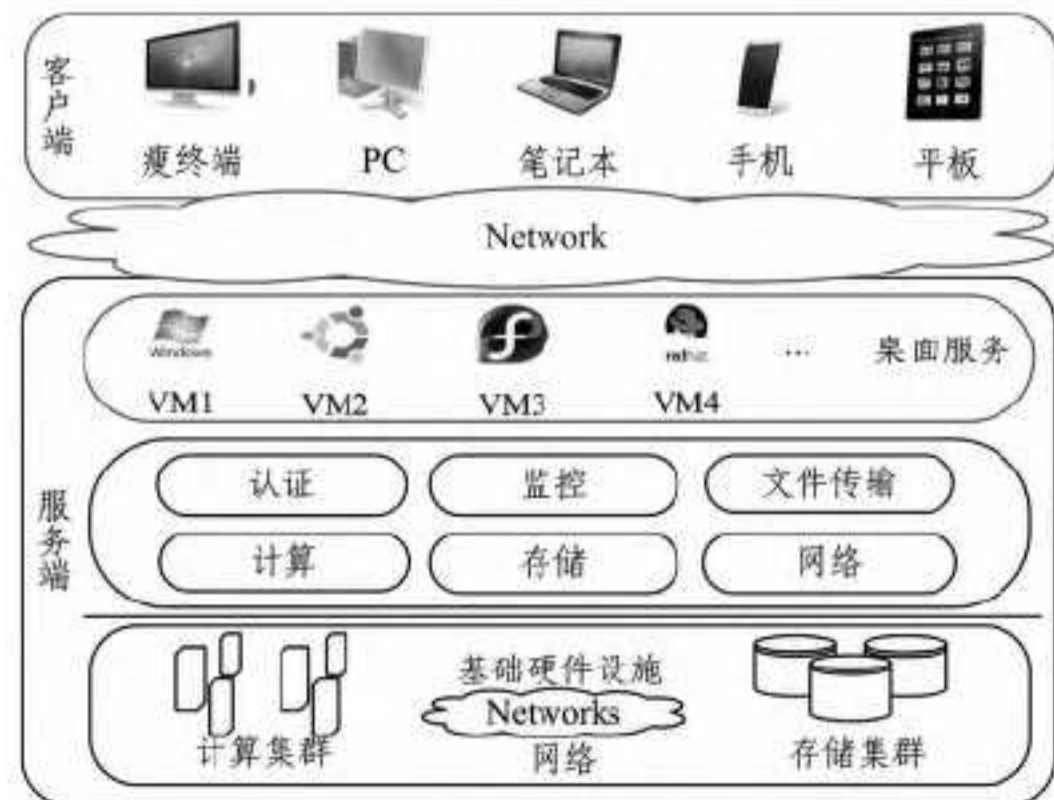


图 2 透明桌面服务架构

透明桌面服务平台包括透明服务端、透明客户端和传输网络。服务端统一管理计算、存储和网络资源,并将操作系统以桌面服务的形式提供给客户端,客户端为透明桌面系统入口,为用户提供各种平台下个性化的桌面应用服务。具体描述如下:

(1) 服务端: 利用分布式存储以及虚拟化技术, 服务端将基础硬件设施(包括计算集群、存储集群、网络资源以及相关设备等)抽象为统一的虚拟资源, 实现将计算、存储、网络转化为服务提供给上层服务, 为虚拟主机构建基础的硬件环境。同时, 服务端对各计算节点上的计算、存储和网络资源进行统一管理 and 调度。另一方面, 服务端将操作系统、应用程序与文件/数据均视为服务, 服务以虚拟主机的形式具体体现。可以为不同的用户或用户组提供特定需求的虚拟主机或虚拟主机群, 从而实现用户服务的跨平台和跨操作系统。所有的软硬件资源均以桌面服务的形式通过使用 SPICE 协议经由网络提供给用户。

(2) 客户端: 透明桌面客户端是用户在终端设备上访问透明桌面系统的入口, 实现了桌面环境与终端设备解耦合, 通过 SPICE, 其能够充分利用客户端终端设备的系统资源, 给用户呈现与物理桌面近乎一致的桌面应用环境。同时客户端支持多样化的终端设备访问, 其可以是有一定计算能力的设备, 如 PC 机、平板电脑和智能手机, 也可以是仅有部分通信协议和管理程序的瘦终端。

综上所述, 透明桌面系统屏蔽了终端设备的硬件差异, 为终端用户提供了统一的桌面应用环境, 使得用户可以随时随地通过电脑、手机、平板等多种终端设备获取自己所需的桌面服务, 并且具有跨平台、跨操作系统、网络带宽要求低等特点。

但是仅仅利用桌面虚拟化技术和 SPICE 的透明桌面具有一些缺陷。首先, 透明桌面只能向虚拟主机传输操作命令和数据, 但是不能传输文件。这在一定程度上限制了用户对服务的可控性。其次, 透明桌面在交互性高的场景下服务体验效果欠佳, 这是 SPICE 自身所存在的缺陷造成的。因此本文在透明桌面服务机制的基础上, 对其做了进一步的优化, 以提供更好的虚拟桌面服务。

4 SPICE 优化

本文从两个方面对 SPICE 进行了优化。首先为 SPICE 增加了可控、安全的文件互传机制, 并应用于透明桌面服务, 即透明文件互传机制, 增强了用户对服务的可控性。此外, 利用客户端的计算能力, 针对高交互场景下 SPICE 的图形交互性能进行了优化。

4.1 透明文件互传机制

传统的 SPICE 虚拟桌面服务中, 客户端与服务端只能互传指令和数据, 不能互传文件, 而且对虚拟主机文件存储位置也不能灵活控制。另外, 传统的文件传输机制在网络传输层一般采用 TCP 或者 UDP 协议来实现端到端文件传输功能, 这必须保证端与端之间的网络是可达的。但在透明桌面环境中 Guest OS 的网络是 Server 端虚拟出来的, 用户可以对 Guest OS 的网络环境进行灵活配置, 所以并不能保证 Guest OS 与外界存在网络连接。由此本文在 SPICE 架构上提出一种基于虚拟设备的文件互传机制。

如图 3 所示, 透明文件传输机制采用在 Server 端转发消息的策略, 来保证 Client OS 与 Guest OS 的通信。这要求 Server 必须能同时与 Client OS 和 Guest OS 保持通信。其中 Server 通常能够与 Client OS 通信, 因为用户想要得到透明桌面服务必须通过网络与 Server 建立连接。Server 与 Guest

OS 如何进行通信则是本文需要解决的问题。本文通过 Server 端的 QEMU 为 Guest OS 创建一个虚拟字符设备(字符设备是指在 I/O 传输过程中以字符为单位进行传输的设备, 按照字符流的方式被有序访问), 并在 Guest OS 中使用相应的驱动程序实现对字符设备的读写操作, 由此实现 Guest OS 与 Server 间的通信。同时本文在 Guest OS 中运行文件代理服务, 此服务实时监测用户对文件的操作。当文件传入虚拟主机时, 代理根据客户端传来的文件元信息在 Guest OS 内建立文件, 然后通过驱动获取文件数据并将其写入文件, 完成文件的传输。文件传出过程与之类似。Server 在上述过程中保持监听 Guest OS 与 Client OS 发送的消息, 并将消息转发到对应的 OS。

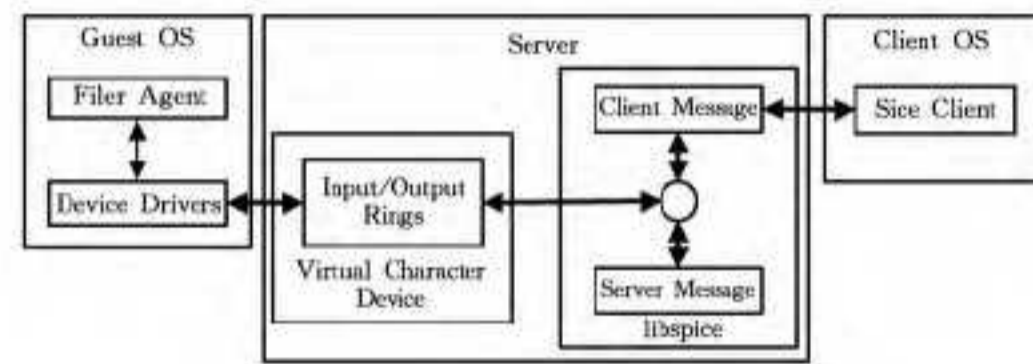


图 3 文件传输数据流图

虽然通过 Server 转发消息, 实现了 Guest OS 与 Client OS 不直接连接而相互通信, 但是此时的通信环境比较特殊。Guest OS 与 Server 通过虚拟字符设备进行通信, 本质上是线程间通过管道进行通信, 此通信是有序且可靠的; 同时, Server 与 Client OS 通过 TCP 进行通信, 这部分通信也是有序且可靠的。但是对于 Guest OS 与 Client OS 来说, 整个连接并非绝对可靠, 例如 Server 与 Client OS 在文件传输过程中通信突然断开, Guest OS 并不能得到通知, 只能继续发送或者等待数据。所以 Guest OS 与 Client OS 之间建立的是一个有序但并不可靠的连接。

为了保证在此特殊网络环境下的文件传输可靠性, 本文提出了 SSFXP 协议(Simple Spice File Xfer Protocol)。该协议包含 3 种类型消息: START、STATUS 和 DATA。START 消息包含文件元信息, 标志文件传输的开始。DATA 消息用于传输文件内容。STATUS 消息表示文件传输的状态, 包括 CAN_SEND_DATA、CANCELLED、ERROR 和 SUCCESS。传输过程如图 4 所示, Guest OS 和 Client OS 通过 Server 消息转发实现文件传输, 并且通过 STATUS 消息来保证 Guest OS 与 Client OS 之间传输的可靠性, 如果文件传输过程中客户端与服务端的连接突然断开, 服务端将主动向 Guest OS 发送错误状态消息, 取消本次传输, 由此保证文件传输的可靠性。

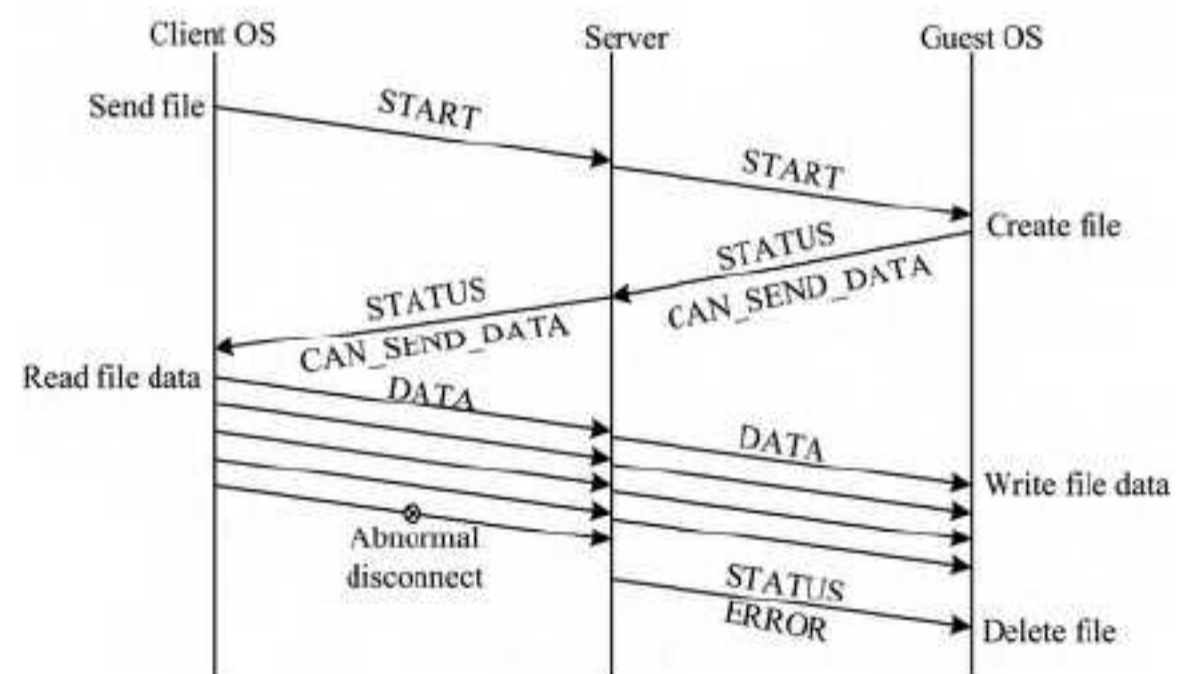


图 4 基于 SSFXP 协议的文件传输过程

总而言之,透明文件互传机制是一种在透明桌面服务下新型的文件传输机制。它增强了用户对服务的可控制性,让用户获得了更多的主导权。

4.2 图形交互优化

如图 5 所示,SPICE 图形处理过程采用固定频率推动的懒惰刷新机制以及消息同步确认机制。SPICE 服务端将若干显示命令缓存,然后在需要时将图形命令处理与合并后发送到客户端,每隔 10ms 刷新一次屏幕。这有助于降低传输的数据量,但是增加了用户获取服务的响应时间,影响了用户的交互体验质量。此外,服务端每发送一定数目的 QXL 图形命令后就停止发送,等到接收到客户端的确认信息后才继续发送图形命令。

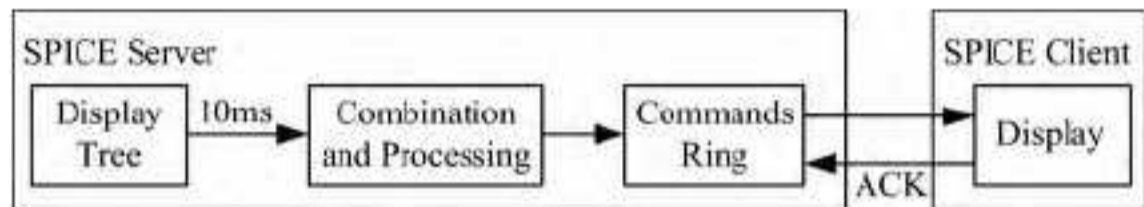


图 5 优化前的 SPICE 图形处理过程

由以上分析可知,SPICE 在图形处理过程中注重降低带宽消耗及网络传输的数据量,但没有考虑用户在不同场景下对服务响应时间容忍度不一样的问题,忽略了服务响应的及时性。这使得 SPICE 在普通应用场景下能获得较好的用户体验,但在交互性高的应用场景中效果却不佳。由此本文提出一种基于客户端探测的图形交互优化方案,充分利用客户端拥有的计算能力,使得 SPICE 在不影响普通场景下体验质量的同时,提高了高交互应用场景下的用户体验质量。

优化后的 SPICE 图形处理过程如图 6 所示。客户端增加了一个主动探测模块,不断地探测用户对外设的使用频率,当这个使用频率大于已设定好的阈值时,则判定用户处于高交互性场景。然后将探测结果转换成 SPICE 协议消息推送给服务端,服务端根据收到的消息自动选择图形刷新模式。对于高交互应用场景,优化后的 SPICE 将刷新间隔由 10ms 改为 2ms,并且将发送确认命令的图形命令间隔数量从 20 提高到 80,同时不再做合并覆盖处理和视频流检测,这缩短了用户获取服务响应的的时间,使用户可以在高交互式应用中有更好的体验。对于普通场景,继续采用 SPICE 原处理方式,每隔 10ms 从图形命令环中取出图形命令进行合并覆盖处理和视频流检测之后再发给客户端。

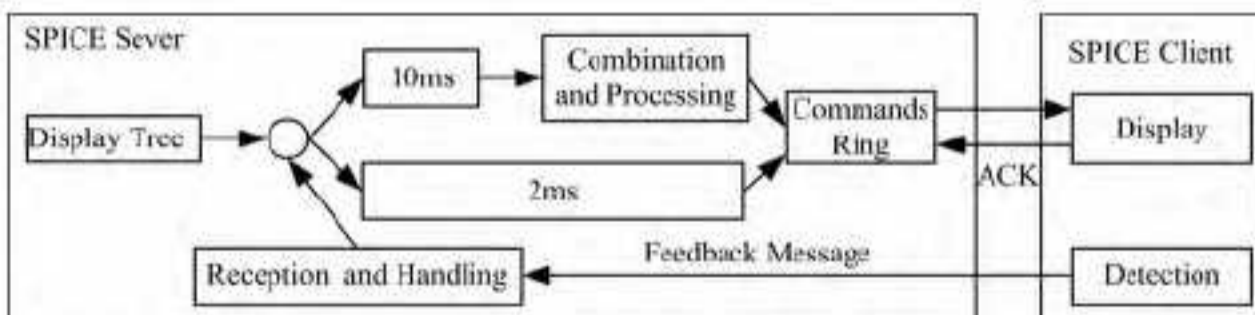


图 6 优化后的 SPICE 图形处理过程

优化后的 SPICE 图形交互机制有效地利用了透明桌面客户端的计算能力来减少高交互场景下用户获取服务的响应时间,提高了图形交互体验质量,这一点在后续的实验中得到了验证。

5 测试与比较

本文对提出的透明文件互传机制和图形交互优化方案进行了测试,并在一定范围内进行了比较。文件传输测试中,传输速率是主要的评判指标。传输速率受文件大小和带宽影响

比较大,因此本文测试了不同大小的文件在不同网络带宽下透明文件互传机制的文件传输速率,并将其和传统的即时通讯(Instant Messaging,IM)软件进行了比较。

根据文献[13],虚拟桌面的性能应该根据客户端的用户体验来评判,而其中用户操作的响应时间对性能体验最为关键[14]。由此本文通过捕捉客户端在向服务端获取服务时所产生网络数据包,经过分析得到用户操作的响应时间,以此来衡量虚拟桌面的图形交互质量。

实验测试平台包括一台服务器和一台 PC 机。服务器运行透明桌面服务端,提供虚拟主机所需的环境,并利用 iproute2 软件来控制网络延时。PC 机运行桌面客户端,同时通过交换机来控制网络带宽,保证实验在可控的网络环境下进行。具体配置如表 2 所列。

表 2 实验配置表

机器名称	硬件配置	OS 及相关软件
服务端	CPU: Intel(R) E5-2609	CentOS 6.5
	MEM: 64G	透明桌面服务端
	DISK: 4T	iproute2
客户端	CPU: Intel(R) i5-3470	Windows 7 旗舰版
	MEM: 8G	透明桌面客户端
	DISK: 500G	Wireshark 等
交换机	H3C S5024P	

5.1 透明文件互传机制的测试和比较

透明文件互传机制实现了无论 Guest OS 在任何网络情况下均可以与客户端主机进行文件传输。本文对比了透明文件互传机制和传统 IM 通信软件在各种带宽下,不同大小的文件的传输速率,其对比结果如表 3 所列。

表 3 传输速率对比

带宽	传输机制	传输速率(kB/s)		
		10M	100M	1000M
4M	透明文件传输	396.4	397.8	396.6
	IM 软件	371.8	380.7	364.2
8M	透明文件传输	797.3	795.1	796.2
	IM 软件	690.4	730.4	717.3
无带宽限制	透明文件传输	13284	13362	13432
	IM 软件	11641	11487	11464
Guest OS 无网	透明文件传输	13487	13324	13357
	IM 软件	/	/	/

通过表 3 可知,IM 通信软件在 Guest OS 有网络的情况下下才可以实现文件传输,并且在传输文件时速率并不稳定。相比之下,无论 Guest OS 在有网络还是无网络的情况下文件互传系统均可以进行文件传输,传输速率比传统的 IM 通信软件要快,几乎接近带宽的最大传输速率,并且传输速率保持稳定。由此可以看出文件互传系统能够很好地适应透明桌面环境,提供高速稳定的文件传输功能。

5.2 SPICE 交互优化测试和比较

良好的响应时间是保证交互式会话满意度的关键,交互性能会受到带宽和延迟的影响,但延迟是更大的挑战[8]。本文利用 WireShark 工具抓取用户操作高交互类图形软件(例如 Auto CAD, Photoshop 等)时的数据包,测试得到了原 SPICE 和优化后的 SPICE 在不同网络延迟下用户操作的响应时间,如图 7 所示。为保证每次测试时用户输入的无差异性,使用工具录制了用户操作应用程序的脚本,从而模拟出一

(下转第 348 页)

存使用率的数据,可见随着在线人数的增加,CPU使用率和内存使用率的增加速率会越来越慢,50个用户数之后则会相对稳定,而且不会超过服务器CPU使用率和内存使用率的报警范围,证明该系统在用户数较多的情况下依然可以正常运行。表3则分析了使用本文所介绍的方法实现的桌面云系统与传统的桌面维护工作的比较,可见提出的方法优于普通的桌面维护方法,特别是在软件兼容性、新软件的安装及升级、数据安全等方面,优势更加突出。表4分析了本文介绍的桌面云系统与VMware和Citrix的比较,在客户端形态、用户数据漫游和用户使用习惯等方面优于后两者,能够为现有用户提供更加便捷、成本更低的桌面维护解决方案,同时还可以不改变用户的使用习惯,令用户更容易接受。

结束语 本文介绍了一种使用VDI模式实施桌面云系统的方法,并将之应用于高校办公桌面的维护中。通过实验,对本文成果进行了验证,并与普通桌面维护的工作量以及业界流行的VMware和Citrix进行了比较,说明本文介绍的桌面云系统具有良好的可用性和易用性,可以扩展到其它领域的桌面维护使用。

(上接第324页)
致的用户操作。

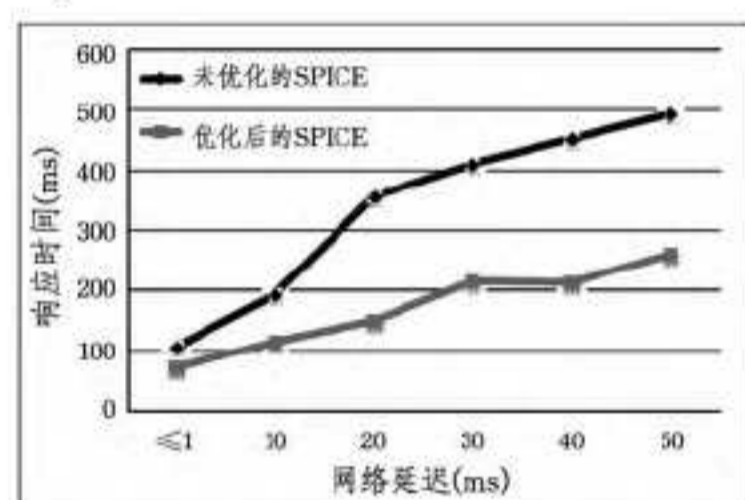


图7 响应时间对比

优化后的SPICE在不同延迟中,响应时间均低于原SPICE,尤其是在网络延迟较高的情况下,优势更为明显,显著改善了图形交互体验的质量。这是由于优化后的SPICE增加了ACK确认图形命令的数量,从而减少了ACK发送的次数,降低了图形交互性能对延迟的敏感度。

结束语 通过研究和分析桌面虚拟化技术和SPICE的实现机制,在此基础上构建了透明桌面服务平台,为用户提供可控的高质量的桌面服务。并针对SPICE在透明桌面服务环境中遇到的文件管理以及图形交互问题提供了优化方案。实验结果表明,透明文件互传系统能很好地适应透明桌面服务环境,实现Guest OS在任何网络情况下均可以与客户端主机进行稳定的文件传输。SPICE图形交互的优化方案在不同的网络环境下,均能有效降低用户操作响应时间,提高用户体验的质量。

参考文献

[1] Yan L. Development and application of desktop virtualization technology[C]// 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks(ICCSN). IEEE, 2011: 326-329
[2] Deboosere L, Vankeirsbilck B, Simoens P, et al. Cloud-based

参考文献

[1] 张颖. 桌面云平台系统研究与实践[D]. 上海: 复旦大学, 2012
[2] 俞科峰. 桌面云关键技术及在电信运营商的应用研究[J]. 广东通信技术, 2012(11): 47-51
[3] 崔益峰. 桌面云在高职院校教学用计算机管理中的应用[J]. 电脑与电信, 2012(7): 66-68
[4] 罗婕, 宁天桥. 服务器虚拟化技术在计算机实验室的实践应用[J]. 计算机时代, 2010(2): 44-46
[5] Zhou Yi-min, Guo Hui-hui. A Research of USB Device Redirection Mechanism over IP network in Desktop Cloud System[C]// National Conference on Information Technology and Computer Science, 2012: 197-200
[6] Deboosere L, Vankeirsbilck B, Simones P, et al. Efficient Resource Management for Virtual Desktop Cloud Computing[J]. J Supercomput, 2012(2): 741-767
[7] 许彬, 陈宁江, 胡丹丹. SBC模式下桌面云系统用户容量优化策略研究[J]. 电信科学, 2012(10): 53-57
[8] desktop services for thin clients[J]. Internet Computing, IEEE, 2012, 16(6): 60-67
[9] Dasilva D A, Liu L, Bessis N, et al. Enabling Green IT through Building a Virtual Desktop Infrastructure[C]// 2012 Eighth International Conference on Semantics, Knowledge and Grids (SKG). IEEE, 2012: 32-38
[10] Tolia N, Andersen D G, Satyanarayanan M. Quantifying interactive user experience on thin clients[J]. Computer, 2006, 39(3): 46-52
[11] Microsoft, Windows Remote Desktop Protocol [RDP] and Windows Terminal Services[OL]. <http://www.microsoft.com>
[12] VMware, VMware View™ 4 with PCoIP[OL]. <https://www.vmware.com>
[13] C. Inc., Citrix Independent Computing Architecture (ICA) and Citrix Xen App[OL]. <http://www.citrix.com>
[14] Redhat. Spice for newbies[OL]. <http://spice-space.org/docs/spice-for-newbies.pdf>, 2014
[15] 徐浩, 兰雨晴. 基于SPICE协议的桌面虚拟化技术研究与改进方案[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(12): 20-25
[16] Redhat. Spice protocol[OL]. <http://spice-space.org/docs/spice-for-newbies.pdf>, 2014
[17] 乔咏. SPICE协议的视频传输分析与改进[D]. 济南: 山东大学, 2013
[18] Lai A M, Nieh J. On the performance of wide-area thin-client computing [J]. ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), 2006, 24(2): 175-209
[19] Nieh J, Yang S J, Novik N. Measuring thin-client performance using slow-motion benchmarking[J]. ACM Transactions on Computer System, 2003, 21(1): 87-115
[20] Casas P, Seufert M, Egger S, et al. Quality of experience in remote virtual desktop services[C]// 2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013). IEEE, 2013: 1352-1357