

## 应用虚拟化技术研究进展

陈靖, 黄聪会, 孙璐, 龚水清

(空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077)

**摘要** 应用虚拟化是支撑软件即服务的关键技术。分析并给出了应用虚拟化的定义,探讨了应用虚拟化的优势及研究现状,指出当前应用虚拟化研究主要集中于实现问题,缺乏对应用虚拟化服务质量的研究。从平台依赖性和分布式架构角度将应用虚拟化分为同构或异构应用虚拟化以及本地或远程应用虚拟化,详细分析了不同类型应用虚拟化的实现原理,存在的典型应用虚拟化软件及其特点。从评测指标和评估方法角度探讨了应用虚拟化服务质量评估方法。最后,针对应用虚拟化在服务质量方面面临的挑战,提出应用虚拟化的研究趋势。

**关键词** 应用虚拟化;软件即服务;虚拟执行环境;性能评测;应用程序流

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.06.013

**中图分类号** TP311 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)06-0054-05

### Survey of the Research on Application Virtualization Technology

CHEN Jing, HUANG Cong-hui, SUN Lu, GONG Shui-qing

(Information and navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Application virtualization is a key technology to support the software as a service. This paper analyzes and gives out the definition of application virtualization, discusses the advantages and research status of application virtualization, and points out that the current application virtualization research is mainly centred on implementation issues, but negligent of the service quality of application virtualization. From the angle of platform dependence and distributed architecture, the application virtualization can be divided into homogeneous or heterogeneous application virtualization and local or remote application virtualization. And the paper analyzes the different types of application virtualization implementation principles in detail as well as the corresponding typical application virtualization software and their characteristics. Subsequently, the paper approaches the service quality evaluation method of application virtualization from the perspective of evaluation indicators and evaluation methods. Finally, aimed at the challenges faced by the service quality of application virtualization, the paper presents the research trends in application virtualization.

**Key words:** application virtualization; software as a service; virtual execution environment; performance evaluation; application streaming

**收稿日期:** 2013-07-10

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61172083)

**作者简介:** 陈靖(1963-),女,山西洪洞人,教授,博士生导师,主要从事分布式系统理论与技术研究。

E-mail: jingchen0803@gmail.com

随着互联网技术的发展和应用程序的成熟,软件即服务(Software as a Service, SaaS)<sup>[1]</sup>作为一种新兴的软件应用模式逐渐开始流行。在这种模式下,软件即服务提供商将应用程序统一部署在服务器上,客户则根据自己的实际需求通过互联网向软件即服务提供商订购所需的应用软件服务,软件即服务提供商则根据客户订购服务的多少和时间进行收费。SaaS 避免了企业将大量的时间和资金用于购买、构建和维护基础设施和应用程序,有效地降低了企业 IT 投资的成本,因此具有广阔的市场应用前景。据 Gartner 估计,到 2015 年全球软件即服务的收入将会达到 213 亿美元<sup>[2]</sup>。

当前 SaaS 以浏览器为交互方式,将服务器端应用程序提供给用户使用。这种交互模式存在一些限制,将制约 SaaS 的进一步发展。在基于浏览器的交互模式下,SaaS 将无法为客户提供更丰富的应用服务,应用服务的实现过程将十分缓慢,且无法利用当前众多成熟的非浏览器交互模式的应用软件<sup>[3]</sup>。然而,随着应用虚拟化技术的发展,SaaS 提供应用程序服务的方法将不再局限于浏览器交互模式,而是以一种更接近用户使用习惯和悄无声息的方式为用户提供应用程序服务,从而推动 SaaS 进一步发展。

## 1 应用虚拟化研究现状

### 1.1 应用虚拟化定义及优势

当前应用虚拟化并没有一致认可的定义。VMware 认为通过应用虚拟化技术,应用程序的部署、执行、升级等操作均在一个隔离环境中进行,避免了对本地操作系统配置的更改,确保了本地操作系统和其他应用程序的完整性<sup>[4]</sup>。Wikipedia 则将应用虚拟化定义为一种将应用程序及其依赖环境从底层操作系统中包装出来的软件技术。通过该技术,应用程序将误以为它直接与操作系统及其控制的资源交互,但实际并非如此<sup>[5]</sup>。Margaret Rouse 则认为应用虚拟化是使应用程序的安装与使用该应用程序的客户计算机相分离的技术,它包括 2 种实现方式,即远程应用虚拟化和应用程序流<sup>[6]</sup>。上述定义大多从当前应用虚拟化的表现形式界定应用虚拟化,存在以偏概全的嫌疑,没有强调应用虚拟化的核心思想——实现应用程序与操作系统的解耦合。因此,本文将应用虚拟化定义为一种通过创建应用程序虚拟执行环境,实现应用程序与操作系统解耦合的技术。

应用虚拟化技术可有效解决应用程序数量增多带来的管理压力、应用程序配置冲突、部署困难等问

题,采用应用虚拟化技术将带来以下几方面优势:

1) 有利于增强应用程序的可移植性和兼容性。通过应用虚拟化技术,可支持应用程序运行在异构平台上,例如开源软件 Wine 支持 Windows 应用程序在 Linux 上运行<sup>[7]</sup>。也可支持应用程序在不同版本或不同环境配置的同构操作系统环境中运行,例如开源软件 CDE 通过对 Linux 应用程序的打包,支持打包后的 Linux 应用程序在各种不同发行版的 Linux 操作系统上运行<sup>[8]</sup>。

2) 有利于增强底层操作系统的可靠性和安全性。通过应用虚拟化技术,可避免应用程序之间的配置冲突,避免不可靠或不安全的应用程序对底层操作系统和其他应用程序的损害。

3) 有利于降低企业用于系统集成和管理应用程序的费用。通过应用虚拟化技术,可减少企业采购应用程序的费用,降低应用程序管理的难度,为应用程序的按需使用、配置、升级等提供便利。

### 1.2 应用虚拟化现状分析

作为 SaaS 的重要支撑技术,应用虚拟化随着 SaaS 的脚步不断发展,并引起了学术界和工业界的广泛关注。目前,国际上许多著名的计算机公司纷纷推出各自的商业产品,如 VMware ThinApp、Citrix XenApp、Microsoft App-V、InstallFree 等<sup>[9]</sup>。相对于 IT 企业完整的应用虚拟化产品和解决方案,学术界在应用虚拟化的研究方面比较落后,但部分研究人员对这种新兴的虚拟化技术产生了浓厚的兴趣,并开始重视应用虚拟化技术的研究。例如文献[8]中将 Linux 程序依赖的代码文件、数据文件、环境配置等自动打包,并采用系统调用插入技术监控 Linux 程序的执行,以消除程序对底层 Linux 平台环境的依赖。文献[10]中针对面向移动设备的应用虚拟化中存在的延迟问题和越区切换问题,提出一种分布式的服务器配置方案以及相应的越区切换协议。文献[11]中围绕应用虚拟化构建过程中的方法学问题,提出了单一映射、拆分映射、聚合映射、复杂映射等四种主要的应用虚拟化模式。文献[12]中针对已存在的应用虚拟化解决方案中 3D 图形应用性能不高的问题,提出一种使用隔离软件执行系统的新型应用虚拟化机制,该机制提高了应用虚拟化中 3D 渲染应用的图形显示性能。文献[13]中提出一种基于应用虚拟化技术的方法用于拆分、执行和管理可定制的应用程序。文献[14]中探讨了使用开源标准 HTML5 实现应用虚拟化的可行性。文献[15]中将应用虚拟化技术运用在 IPTV 机顶盒中,通过将 Web 应用运行在远程的云平台,视频输出以流的方式推送到 IPTV 机顶盒,很好地解决了高负

载 Web 应用与 IPTV 机顶盒计算能力弱和内存小之间的矛盾。从上述研究分析可知,当前学术界主要集中在研究应用虚拟化的实现问题,缺乏对应用虚拟化服务质量的研究。

## 2 应用虚拟化技术分析

当前存在多种具有不同设计目标和实现原理的应用虚拟化技术。例如,根据应用程序依赖的虚拟执行环境是否支持异构操作系统平台分为同构或异构应用虚拟化,根据是否采用分布式架构分为本地或远程应用虚拟化。下面将详细分析各种不同类型应用虚拟化的实现原理、实例及其特点。

### 2.1 同构应用虚拟化

同构应用虚拟化实现了应用程序与操作系统的解耦合,但并不支持应用程序在异构平台上运行。

#### 2.1.1 面向同构的本地应用虚拟化

在面向同构的本地应用虚拟化技术中,通常围绕 2 个问题进行研究:一是如何提取应用程序的依赖环境,如应用程序依赖的动态链接库、数据文件、环境配置等。二是如何创建应用程序的本地虚拟执行环境。前者可实现应用程序的免安装,便于应用程序的升级,增强应用程序的可移植性,有利于降低应用程序部署的难度。后者即解决应用程序与本地底层操作系统环境的依赖问题。在面向同构的本地应用虚拟化中,本地虚拟执行环境的创建将通过注册表系统虚拟化、文件系统虚拟化、内核对象虚拟化等资源虚拟化技术实现<sup>[9]</sup>。

当前已存在多个面向同构的本地应用虚拟化的实例,如 Windows 平台下的 VMware ThinApp 和 Linux 平台下的开源软件 CDE。VMware ThinApp 的体系结构见图 1。通过跟踪应用程序安装过程前后快照的变化,VMware ThinApp 将应用程序打包成一个自给自足的可执行文件<sup>[16]</sup>。

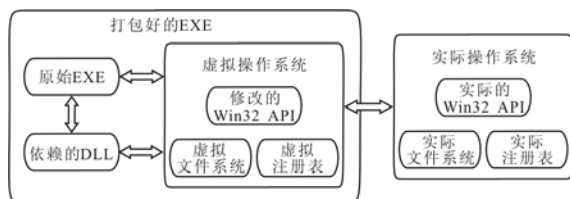


图 1 VMware ThinApp 体系结构

Fig.1 VMware ThinApp architecture

#### 2.1.2 面向同构的远程应用虚拟化

面向同构的远程应用虚拟化采用分布式的体系结构,应用软件以服务的形式封装部署在服务器端,客户端通过远程桌面服务、浏览器方式或应用程序流技术(Application Streaming)<sup>[17]</sup>调用远程的应用

程序服务。当采用远程桌面服务技术或浏览器方式时,客户端只负责程序的输入和输出,应用程序实际运行在服务器端,消耗服务器端的资源。这种方式在客户端资源受限的情况下极为适用,如客户端是手机、平板电脑等移动通信设备时。而当采用应用程序流技术时,服务器端将应用程序分成数量不多的段,并以流的方式将应用程序启动时所需的代码段推送到客户端,以提高应用程序在客户端执行时的启动速度。当客户端需要应用程序更多的功能时,服务器端再将所需的部分推送到客户端。结合缓存和预取技术,将进一步提高应用程序服务的响应速度。

面向同构的远程应用虚拟化将使企业用户在软件分发和管理上带来更高的回报,降低总的软件所有权开销,因此成为当前各大 IT 企业力推的一种应用虚拟化类型,如微软的 App-V。微软 App-V 的工作原理见图 2。

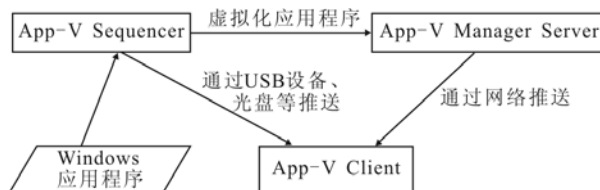


图 2 App-V 工作原理

Fig.2 App-V operational principle

### 2.2 异构应用虚拟化

异构应用虚拟化不仅实现了应用程序与操作系统的解耦合,更支持应用程序在异构平台上运行。

#### 2.2.1 面向异构的本地应用虚拟化

在面向异构的本地应用虚拟化技术中,首先必须解决应用程序在异构平台中运行这个基本问题。针对该问题,存在 2 种解决方案<sup>[18]</sup>:一是采用编程语言级虚拟化技术,如 Java 虚拟机。二是采用程序库级虚拟化技术,如开源软件 Wine。编程语言级虚拟化技术在支持应用程序跨平台运行方面存在局限性,限制了编写应用程序的高级语言,例如在 Java 虚拟机的支持下只有 Java 语言编写的应用程序才能跨平台运行。而程序库级虚拟化技术则支持绝大部分应用程序跨平台运行,如 Wine 支持 Windows 应用程序在 Linux、Unix、Mac OS 上运行。因此程序库级虚拟化技术更适合解决该问题。

在解决应用程序在异构平台中运行这一问题后,面向异构的本地应用虚拟化技术即可开展提取应用程序的依赖环境和创建应用程序的本地虚拟执行环境的研究。提取应用程序的依赖环境可借鉴成熟的技术,如快照、动态监控等。而创建应用程序的本地虚拟执行环境则可在程序库级虚拟化技术的基

础上实现。

### 2.2.2 面向异构的远程应用虚拟化

面向异构的远程应用虚拟化技术与面向同构的远程应用虚拟化技术类似,存在的差异是前者将支持服务器端的应用程序以流的方式推送到基于异构平台的客户端,并在客户端中运行。当应用程序完全在服务器端运行时,面向异构的远程应用虚拟化技术可降低对客户端的限制。如思杰的 XenApp。思杰 XenApp 的工作原理与微软的 App-V 类似,但 XenApp 支持各种各样平台的客户端,如 DOS、Windows XP、Vista、Win7、Windows Mobile、Mac OS X、iPhone、Linux、Android、UNIX、Java、IBM OS/2 Warp、Blackberry 和 Symbian OS。当应用程序需要推送到本地客户端执行时,面向异构的远程应用虚拟化必须在本地客户端创建支持应用程序在异构平台中运行的虚拟执行环境。

## 3 应用虚拟化质量评估方法

应用虚拟化的服务质量是影响其市场表现,获取用户认可的重要因素,然而当前缺乏评估应用虚拟化服务质量的方法。因此本节将从应用虚拟化质量评估需求角度探讨其评测指标和评估方法。

### 3.1 评测指标

当前对应用虚拟化的评估大多集中在性能方面,如评估应用程序的启动时间、加速比等。然而,仅仅评估应用虚拟化性能是不够的,其服务质量还受到隔离性、可靠性、安全性等质量属性的影响。因此从应用虚拟化应用需求的角度提出一些评测指标。这些指标包括:启动时间、加速比、隔离度、平均无故障时间、安全性。

1)启动时间。应用程序的启动时间是衡量不同类型应用虚拟化的重要标准,是获得用户认可的重要因素。通常本地应用虚拟化的应用程序启动时间取决于其依赖的虚拟执行环境的效率,而远程应用虚拟化的应用程序启动时间则受网络状况制约。

2)加速比。加速比是指采用应用虚拟化后的应用程序完成一项任务所需时间与本地应用程序完成同一任务所需时间的比值。由于本地应用虚拟化与远程应用虚拟化的体系结构和运营模式不同,因此应分别测量本地和远程应用虚拟化的加速比。

3)隔离度。隔离度即指应用程序逃离应用虚拟化创建的虚拟执行环境,影响底层操作系统及其它应用程序的可能性。通常而言,只有当应用程序在本地客户端执行时,评测应用虚拟化的隔离性才有意义,因为当应用程序在远程服务器端运行时,它

无法直接影响本地客户端。

4)平均无故障时间。平均无故障时间是衡量应用虚拟化可靠性的一个指标。当前存在多种因素影响应用虚拟化环境中应用程序的可靠性,如网络中断、应用程序依赖环境提取不完全、虚拟执行环境 Bug 等。可靠性的强弱是评估不同类型应用虚拟化的重要依据。

5)安全性。安全性是用户考虑应用虚拟化时最关心的一个问题。应用虚拟化环境中应用程序是否威胁底层操作系统平台的安全、应用虚拟化环境中的数据的安全、如何保证与远程服务器的交互安全等都是应用虚拟化安全性必须解决的问题。

### 3.2 评估方法

在选取质量评测指标后,即可采用性能测量和性能建模 2 种方法进行评估。性能测量即采用基准程序从微观或宏观的角度测量应用虚拟化的性能表现。这是当前测量应用虚拟化服务质量的主要方法。不足之处是当前缺乏成熟的针对应用虚拟化的测试规范。性能建模即在对应用虚拟化系统进行抽象和简化的基础上,建立应用虚拟化系统的数学模型,然后运用数学理论与方法求解系统模型的性能参数和指标,最后分析性能和系统及负载之间的关系。性能建模方法无需成本费用、灵活性高,但模型中存在简化和假设,故与实际系统存在一定偏差,且应用难度较大。

## 4 应用虚拟化研究趋势

尽管各大 IT 企业大力推动应用虚拟化的发展,并推出了各种商业化的应用虚拟化产品,但通过解析当前的应用虚拟化技术和相关产品,可知应用虚拟化还面临许多的挑战,如性能优化、平台依赖、可靠性、安全性等。为应对这些挑战,并加速应用虚拟化的发展,今后应用虚拟化的研究趋势如下:

1)应用虚拟化性能优化研究。对远程应用虚拟化而言,通信信道的质量将严重影响其性能。如何在低质量的通信信道下保证远程应用虚拟化的性能至关重要。在本地应用虚拟化中,如何提高虚拟执行环境的效率,使应用程序在其上的性能接近在本地执行环境中运行的性能也是下一步本地应用虚拟化性能优化的研究重点。

2)弱化应用虚拟化的平台依赖性。当前对异构应用虚拟化的研究还不够成熟。在面向异构的本地应用虚拟化研究中,应用程序在异构平台中运行的可靠性、性能、安全性还需要进一步提升。而在面向异构的远程应用虚拟化研究中,当前还不支持应用

程序在基于异构平台的客户端本地运行。

3)应用虚拟化的可靠性研究。如前文所述,应用虚拟化的可靠性受到多种因素的影响。在面临这些因素时,如何采用各种错误避免、查错、纠错、容错等技术以增强应用虚拟化的可靠性是未来应用虚拟化的一个重要研究方向。

4)应用虚拟化的安全性研究。如何保证应用虚拟化中应用程序服务的可信,如何确保用户数据的安全,如何确保用户与远程应用虚拟化服务器的交互安全是应用虚拟化理论研究的重要内容。

## 5 结语

随着服务器虚拟化、桌面虚拟化、应用虚拟化、网络虚拟化和存储虚拟化的不断发展,虚拟化技术深入地融入到整个 IT 基础设施中,完全地改变了人们管理和使用各种 IT 基础设施的方式。作为整个虚拟化技术王国中的重要一环,应用虚拟化技术在管理和使用应用软件服务方面存在巨大的商业前景,并成为 SaaS 这一商业模式的重要支撑技术。目前,应用虚拟化已存在一些成熟的商业产品,并受到各大 IT 厂商的强力支持,但应用虚拟化在性能、可靠性、安全性以及支持异构平台等方面还存在不少问题,需要进一步研究。

## 参考文献(References):

- [1] Hai H, Sakoda S. SaaS and integration best practices[J]. Fujutsi science technology journal, 2009, 45(3): 257-264.
- [2] Wikipedia. Software as a service[EB/OL]. (2012-05-24) [2013-6-28]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Software-as-a-Service>.
- [3] 张悠慧,李艳华,郑纬民. Cloudow: 一种基于用户层虚拟化的软件即服务模式运行系统[J]. 中国科学:信息科学, 2012, 42(3):253-263.  
ZHANG Youhui, LI Yanhua, ZHENG Weimin. Cloudow: A SaaS runtime system based on the user-level virtualization technology[J]. Scientia sinica: informationis, 2012, 42(3): 253-263. (in Chinese)
- [4] VMware. ThinApp FAQ[EB/OL]. (2008-6-17)[2013-6-28]. <http://www.vmware.com/files/pdf/ThinAppFAQ.pdf>.
- [5] Wikipedia. Application virtualization. [EB/OL]. [2013-6-28]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Application-virtualization>.
- [6] Margaret Rouse. App virtualization[EB/OL]. (2011-11-1) [2013-6-28]. <http://searchvirtualdesktop.techtarget.com/definition/app-virtualization>.
- [7] 王亚军, 刘金刚. Windows 程序运行于 Linux 系统的技术[J]. 计算机应用, 2009, 29(8):2128-2131.  
WANG Yajun, LIU Jin'gang. Techniques of Windows programs running in Linux system[J]. Journal of computer ap-  
plications, 2009, 29(8):2128-2131. (in Chinese)
- [8] Guo P J, Engler D. CDE: using system call interposition to automatically create portable software packages [C]//Proceedings of the 2011 USENIX conference on USENIX annual technical conference. Berkeley: USENIX association, 2011: 21-26.
- [9] Sun H, Wo T. Virtual execution environment for windows applications[C]//Proceeding of the 2011 IEEE international conference on cloud computing and intelligence systems. Beijing: IEEE press, 2011: 382-386.
- [10] Hung C P, Min P S. Infrastructure arrangement for application virtualization services[C]//Proceeding of the 9th international information and telecommunication technologies symposium, Brazil: IEEE press, 2010: 78-85.
- [11] 刘士军, 武蕾. 应用虚拟化模式研究[C]//哈尔滨全国服务计算学术会议论文集. 哈尔滨: 万方数据, 2010: 1-5.  
LIU Shijun, WU Lei. Application virtualization model research[C]//Proceeding of the 2010 CCF national conference on service computing. Harbin: WANFANG Data, 2010: 1-5. (in Chinese)
- [12] Jang S M, Choi W H, Kim W Y. An efficient application virtualization mechanism using separated software execution system[J]. International journal of software engineering and its applications, 2012, 6(4):257-264.
- [13] Ku K I, Choi W H, Chung M, et al. Method for distribution, execution and management of the customized application based on software virtualization[C]//Proceeding of the 12th international conference on advanced communication technology. Phoenix Park: IEEE press, 2010: 493-496.
- [14] Ganji R R, Mitrea M, Joveski B, et al. HTML5 as an application virtualization tool[C]//Proceeding of the 16th international symposium on consumer electronics. Harrisburg, PA: IEEE press, 2012: 1-4.
- [15] Lee K H, Kim D H, Baek G T. Web application virtualization for IPTV[C]//Proceeding of the 14th Asia-Pacific network operations and management symposium. Seoul: IEEE press, 2012: 1-4.
- [16] 金海. 计算系统虚拟化: 原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.  
JIN Hai. Computing system virtualization: principles and applications[M]. Beijing: Tsinghua university press, 2008. (in Chinese)
- [17] 钟亮, 胡春明, 沃天宇, 等. 支持软件按需流式加载的预取机制[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(7):1178-1189.  
ZHONG Liang, HU Chunming, WO Tianyu, et al. Prefetching mechanism for on-demand software streaming[J]. Journal of computer research and development, 2011, 48(7): 1178-1189. (in Chinese)
- [18] Huang C, Chen J, Zhang L, et al. Performance evaluation of virtualization technologies for Windows programs running on linux operating system[C]//Proceeding of the second International conference on network computing and Information security. Berlin Heidelberg: Springer, 2012: 759-766.

(编辑:徐楠楠)