基于虚拟机的可信云计算平台研究与设计

邢剑锋,王鹏飞,沈 松
(海军蚌埠士官学校 信息技术系,安徽 蚌埠 233012)

摘 要:针对云计算中数据和计算的保密性和完整性无法保证的问题,设计了一种基于虚拟机的可信赖云计算平台,它为客户虚拟机安全执行提供封闭环境,允许用户在执行虚拟机前先检验服务商,以确保服务安全。

关键词:云计算;可信赖;虚拟机
中图分类号:TP393.08 **文献标识码**:A **文章编号**:1674-7720(2010)16-0075-03

Reaserch and design of trusted cloud-platform based on virtual machine

XING Jian Feng, WANG Peng Fei, SHEN Song
(Department of Information Technology, Bengbu Naval Petty Officer Academy, Bengbu 233012, China)

Abstract: Cloud computing infrastructures enable companies to cut costs. However, currently there is no means to verify the confidentiality and integrity of their data and computation. To address this problem, propose the design of a trusted cloud computing platform (TCCP). TCCP enables infrastructure as a service providers to provide a closed box execution environment that guarantees confidential execution of guest virtual machines. Moreover, it allows users to attest to the IaaS provider and determine the service is secure before they launch their virtual machines.

Key words: cloud compute; trust; virtual machine

云计算服务能够大大节约存储和计算数据的成本,但由于安全问题,多数企业却对此表现很冷淡。近期有研究[1]发现,企业最关心的是数据的安全性和失去数据控制权会对隐私带来什么样的危害,而不仅仅是如何降低数据存储和处理的成本。云服务商的雇员很有可能篡改或者泄露用户数据,甚至是公司的财务状况,从而对用户造成巨大危害。

本文提出一种可信赖云计算平台(TCCP),可以确保外包给基础设施服务(IaaS)的计算的保密性和完整性。TCCP 为用户 VM 提供了一个封闭的执行环境,避免云服务商的特权用户窥视或者篡改内容,在执行 VM 申请前,用户可以远程判断服务后台运行的 TCCP 是否可信。该方法拓展了整体服务验证的概念,使用户能够预估计算执行安全性。

1 相关知识

1.1 基础设施服务(IaaS)

当前众多云服务商提供不同的软件层级服务,在较低层可以提供客户访问服务商控制的整体虚拟机,客户和系统用户需要配备虚拟机上运行的软件;在较高层级可以完全在线运行,无需客户干预;在高软件层级运行服务更难保证计算的保密性,因为服务本身需要操作客户数据的软件。本文主要研究低层级 IaaS 云服务商,此时更容易保证客户虚拟机安全运行。

如图 1 所示,以 Eucalyptus 为例,系统包含一个或多个运行客户虚拟机的镜像(典型的如 Xen)的节点簇,而 Eucalyptus 拥有一系列组件来管理这些簇。简言之,需要将所有这些组件集中到一个云管理者 CM(Cloud Manager)。

从客户角度,Eucalyptus 提供了一个可执行、可管理和可终止 VM 的 Web 服务接口,虚拟机镜像 VMI 运行 VM,而 CM 负载 VMI。VM 启动以后,用户可以利用普通

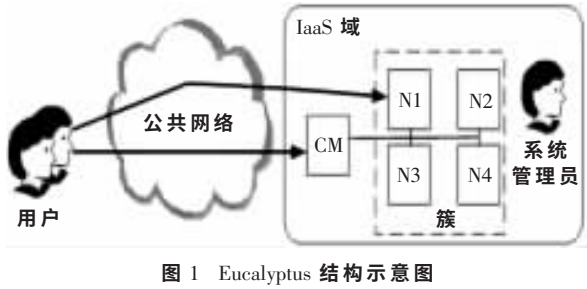


图 1 Eucalyptus 结构示意图

工具登录,如 ssh。除了用户接口,CM 还提供管理服务,如添加或删除 VMI 或用户。Xen 支持热迁移,允许 VM 在执行时更换物理主机,而过程对用户透明,这种迁移对于簇内资源整合和负载平衡有重要意义。

1.2 攻击模型

云服务商的系统管理员拥有控制后台的特权,可以实施多种攻击以访问客户虚拟机内存。IaaS 提供商不会允许某人拥有全部特权,而且也部署了严格的安全设施,严格访问权限策略,保护硬件的物理安全。可以认为服务商能够阻止对机器物理访问的攻击,但系统管理员还是需要簇内机器的访问特权来管理机器上运行的软件。因此 TCCP 必须做到以下两点:(1)确保虚拟机在安全保护域内运行;(2)任何时候,拥有根权限的系统管理员远程登录运行虚拟机的机器,都不能访问虚拟机内存。

1.3 可信赖计算

可信赖计算群(TCG)提出了一系列的软硬件技术来构建可信赖平台,而且给出了可信赖平台模块(TPM)集成的设计标准。TPM 支持私钥(EK)并将此作为身份识别的唯一标准,还支持一些不可修改的加密方法,不同厂商设备使用不同的公钥识别集成模块。

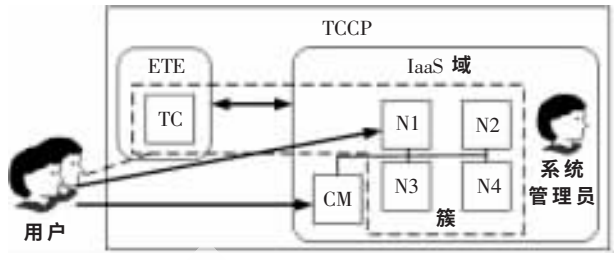
可信赖平台[2-4]改进了 TPM 集成特性,使其可以远程识别。在启动时,主机计算一个由启动软件序列哈希值组成的测度列表 ML,启动软件即 BIOS、启动项、软件执行平台等。ML 安全载入主机 TPM,远程一方利用当前 n_U 挑战运行在主机的平台,平台调用 TPM 生成包含 ML 和 n_U 的应答信息,并用 TPM 的私钥加密,主机将信息反馈给远程方,远程方利用对应的 EK 公钥解密,这样就完成了对主机的认证。通过核验 ML 和 n_U,远程方可以鉴别主机上运行的平台是否可信赖。

可信赖平台如 Terra[3],执行瘦 VMM,即强制使用封闭执行环境,这样拥有主机全部特权的用户也无法窥视和篡改客户 VM,即使机器重启 VMM 也可以保证自身的完整性。因此远程方可以通过验证主机上运行的平台,证实 VMM 的可信性,如此即可保证其客户 VM 的计算是安全的。

假设传统可信赖平台能够保证单台主机上的计算安全性,保证 IaaS 服务的最自然的想法就是在服务后台每个节点都部署平台,然而这样是不够的,不论 VM 载入时(通过操作 CM)还是运行时(通过迁移),系统管理员都可以将客户 VM 转移到没有运行平台的节点上。所以平台验证机制并不能保证远程方得到的测度列表 ML 就是 VM 运行(或即将运行)主机的真实信息。因此,TCCP 需要设计远程验证方法,保证后台平台资源持久安全。

2 可信赖云计算平台

可信赖云计算平台 TCCP 加强了 IaaS 后台,使其可以在不改变结构的情况下提供封闭执行环境,如图 2 所示。TCCP 可信赖计算的基础包含可信赖虚拟机映像(TVMM)和可信赖协调者(TC)两个方面。



N:可信赖节点;TC:可信赖协调者;CM:不可信赖云管理者,为用户提供一系列服务;ETE:外部可信赖实体,负责维护 TC

图 2 可信赖云计算平台组成图

后台每个节点运行掌控客户 VM 的 TVMM,并防止被特权用户窥视和篡改。TVMM 可以保护自身安全性并遵守 TCCP 协议,节点被嵌入经验证的 TPM 并通过安全启动进程加载 TVMM。

TC 管理一系列可以安全运行客户 VM 的节点,称为可信赖节点,节点必须位于安全域内并运行 TVMM,这要求 TC 保存节点安全域的记录,并判断该节点是否运行着可信赖 TVMM。TC 管理诸如簇中添加或移除节点、由于维修或升级需临时关闭节点等事件。通过 TC 验证,用户可以判断 IaaS 是否安全。

为了 VM 的安全,每个节点上运行的每个 TVMM 必须与 TC 相配合,目的是:(1)将 VM 限制在可信赖节点上;(2)在 VM 迁移时保证其状态不受窥视和篡改。这些保护措施关键在加载和迁移 VM 时的操作,为了保护这些操作,TCCP 制订了具体协议。

假设由外部可信赖实体(ETE)来管理 TC,并为 TC 更新部署在 IaaS 域中一系列节点和可信赖配置的信息,最重要的是管理 IaaS 的系统管理员在 ETE 内部没有特权,因此不能篡改 TC。本文假设 ETE 由没有与 IaaS 服务商共谋动机的第三方维护。

2.1 节点管理

通过保存包括安全域内节点、识别节点可信平台模块(TPM)的公开识别密钥 EK_N^P 和预期测度列表 ML_N 的目录,TC 可以动态管理一系列掌控 VM 的可信赖节点。ETE 保证 TC 部分参数安全公开可用,包括 EK_{TC}^P、ML_{TC} 和 TK_{TC}^P,ML_N 和 ML_{TC} 是远程方在识别节点 N 或 TC 上运行的平台时希望收到的值。

节点必须在 TC 注册,并遵守如图 3 所描述的协议。前两步节点 N 验证 TC,节点 N 向 TC 发起挑战 n_N,TC 返回经 EK_{TC}^P 加密的 ML_{TC},如果 ML_{TC} 与预期相符,即表示 TC 是可信赖的。TC 在返回信息 2 中包含了对节点N的挑战 n_{TC},第三步节点 N 产生密钥对$<TK_N^P, TK_N^P>$,并将公钥随验证消息 3 发给 TC。如果 TC 成功验证节点 N 的身份,则发送消息 4 确认节点是可信赖的。

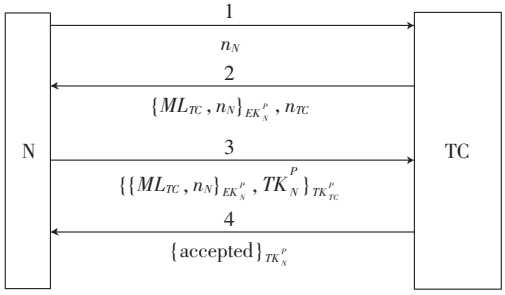


图 3 节点迁移过程中的消息交换

当可信赖节点重启时，TCCP 必须保证节点仍然是可信赖的，否则节点会威胁 TCCP 的安全性。为此若节点内存仅保存 TK_N^P，机器重启密钥就会丢失，节点就会被 TCCP 阻止，因此节点必须重新注册。

2.2 虚拟机管理

加载 VM 时，TCCP 需要保证：(1)VM 加载到可信赖节点；(2)系统管理员无权窥视和篡改初始 VM 状态。VM 初始状态 α 包含虚拟机镜像 VMI 和用户公钥。

参与 VM 装载的各方都必须遵守如图 4 所示的协议。该协议制定的依据是在加载 VM 前，用户不知道 VM 将加载到哪个物理节点上，并且在服务的所有参与者中只有 TC 可信赖。首先用户生成会话密钥 K_{VM}，发送消息 1 到 CM，消息包含 α 和 α 用会话密钥加密的哈希值以及用 TK_{TC}^P 加密的 K_{VM}。用 TC 的公钥加密会话密钥，保证只有经 TC 授权的可信赖节点才能访问 α。

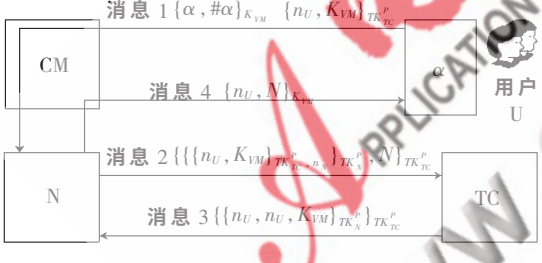
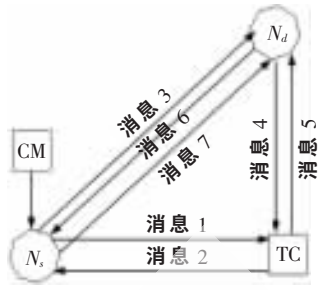


图 4 装载 VM 过程中的消息交换

收到加载 VM 请求后，CM 指派簇中节点 N 加载 VM，并将请求转发给 N。因为启动 VM 需要访问 α，节点 N 向 TC 发送消息 2，TC 用私钥 TK_N^P 解密消息，验证 N 是否可信。如果 TC 信赖节点库中没有节点 N 的公钥，则拒绝该请求，这可能是由于 CM 将请求转移到了恶意系统管理员控制的节点，否则认为节点是可信赖的。TC 解密会话密钥，并在消息 3 中发送给节点 N，此时 N 就可以解密 α 并启动 VM。最后节点发送消息 4 给用户，消息包含节点运行 VM 的证明。

在实时迁移[5]中，运行中的 VM 的状态信息在源节点 N_s 和目标节点 N_d 间迁移。为保证操作的安全性必须使两个节点互信，而且 VM 状态必须可信并且在完成迁移前是不可修改的。图 5 所示是参与 VM 安全迁移的消息队列，首先 N_s 请求 TC 检验 N_d 是否可信，消息 3 中，N_s 向 N_d 发起 VM 迁移申请并附加会话密钥 K_S。N_d 验证 N_s 是否可信。如果两个节点都认证成功，N_d 通知 N_s 接受 K_S，在消息 7 中 N_s 最终将 VM 状态哈希值加密发送给 N_d，VM 迁移成功。



消息 1：$\{\{N_d, n_{s1}\}_{TK_N^P}, N_S\}_{TK_{TC}^P}$

消息 2：$\{\{n_{s1}, TK_{N_d}^P\}_{TK_{N_s}^P}\}_{TK_{TC}^P}$

消息 3：$\{\{K_s, n_{s2}\}_{TK_{N_d}^P}, N_s\}_{TK_{N_d}^P}$

消息 4：$\{\{N_s, n_d\}_{TK_{N_d}^P}, N_d\}_{TK_{TC}^P}$

消息 5：$\{\{n_d, TK_{N_s}^P\}_{TK_{N_d}^P}\}_{TK_{TC}^P}$

消息 6：$\{n_d\}_{K_s}$

消息 7：$\{VM_{id}, \#VM_{id}\}_{K_s}$

图 5 VM 迁移过程中的消息交换

企业普遍应用云计算的主要阻力源自对数据和计算的保密性和完整性的担心，本文提出一种可信云计算平台 TCCP，它可以为 IaaS 服务提供一个封闭执行环境，保证了客户 VM 执行的机密性，允许用户验证 IaaS 提供商并在装载其虚拟机前先判断服务是否安全。

参考文献

[1] CircleID Reporter.Survey：cloud computing 'No Hype', but fear of security and control slowing adoption[C/OL].(2009-02-26)[2010-03-01].http://www.circleid.com/posts/20090226_cloud_computing_hype_security/.

[2] BERGER S, CACERES R, GOLDMAN K A.vTPM：virtualizing the trusted platform module[R].In Proc.of USENIX-SS'06, Berkeley, CA, USA, 2006.

[3] GARFINKEL T, PFAFF B, CHOW J.Terra：a virtual machine-based platform for trusted computing[C].In Proc.of SOSP'03, 2003.

[4] MURRAY D G, MILOS G, HAND S.Improving xen security through disaggregation[C].In Proc. of VEE'08, New York, NY, USA, 2008.

[5] CLARK C, FRASER K, HAND S.Live migration of virtual machines[C].In Proc.of NSDI'05, Berkeley, CA, USA, USENIX Association.

(收稿日期：2010-03-23)

作者简介：

邢剑锋，男，1981年生，讲师，硕士，主要研究方向：P2P和云计算。

王鹏飞，男，1984年生，讲师，硕士，主要研究方向：网络安全和光纤通信。

沈松，男，1973年生，副教授，主要研究方向：网络安全和交换技术。