**密级:**

**密级:**（涉密论文填写密级，公开论文不填写）



**硕士学位论文**

**一种适用于云平台的环境敏感型恶意软件检测 方法研究**

**作者姓名： 周广哲**

**指导教师： 贾晓启 研究员 中国科学院信息工程研究所**

**学位类别： 工学硕士**

**学科专业： 信息安全**

**研究所： 中国科学院信息工程研究所**

**2018年5月**

**An Effective Environment-sensitive Malware Detection System for the Cloud**

**By**

**Zhou Guangzhe**

**A Dissertation Submitted to**

**University of Chinese Academy of Sciences**

**In partial fulfillment of the requirement**

**For the degree of**

**Master of Information Security**

**Institute of Information Engineering**

**Chinese Academy of Science**

**May, 2018**

**中国科学院信息工程研究所**

**研究生学位论文独创性声明**

本人声明所呈交的学位论文是本人在贾晓启导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的内容外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国科学院信息工程研究所或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示谢意。

论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

学位论文作者签名： 签字日期：

**学位论文版权使用授权说明**

本学位论文作者完全了解中国科学院信息工程研究所有关保留、使用学位论文的规定。特授权中国科学院信息工程研究所可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编，以供查阅和借阅。同意研究所向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

**（保密的论文在解密后应遵循此规定）**

学位论文作者签名： 导师签名：

签字日期： 签字日期：

# 摘 要

近年来，环境敏感型恶意软件数量快速增长，成为云计算建设运营的重要威胁。它们不仅能够恶意占用计算资源，而且可以攻击其他云用户，甚至底层平台来窃取云用户的私密信息。随着越来越多的私密信息和高商业价值信息迁移到云端，研究者们越来越关注云的安全问题。环境敏感型恶意软件可以识别自身所处的环境，并在不同环境下执行不同的恶意行为，这为检测该类恶意软件带来了极大的困难。

针对上述问题，本文对面向云平台的环境敏感型恶意软件检测方法进行研究，根据该方法设计和实现了一个检测系统，并对其进行了效果测试。作者主要的完成工作如下：

1）设计一种面向云平台的环境敏感型恶意软件检测架构FindEvasion。本系统充分利用虚拟化技术从客户机中透明提取可疑软件，然后在多环境平台下执行可疑软件分析，最终识别出环境敏感型恶意软件。

2）设计MBSS算法来比较恶意软件在多环境下的行为，并判断恶意软件是否具备环境敏感能力。该算法能够解决环境敏感型恶意软件通过执行干扰行为来对抗检测的问题，通过消除干扰行为，使得检测更加有效。

3）对上述架构进行系统实现，并对原型和MBSS算法进行了功能测试。 实验结果表明，相较于未消除干扰行为的情况，本系统能够更加有效的检测环境敏感型恶意软件，在精准度为100%的情况下，召回率提高到60%。

**关键词**：云安全； 环境敏感型恶意软件； MBSS； 透明提取； 多环境

# ABSTRACT

In recent years, environment-sensitive malwares are growing rapidly and they pose significant threat to cloud platforms. These malwares can not only occupy the computing resources maliciously, but also attack other tenants and even the underlying platform to steal the other tenants’ private data. As more and more data with sensitve and high commercial value information is migrated to the Cloud, researchers paid more attention to the malware detection for the Cloud. The environment-sensitive malware can identify the operating environment and perform corresponding malicious behaviors in different environments. This greatly increased the difficulty of detection.

To address the problems mentioned above, we study an effective environment-sensitive malware detection system for the cloud. Then, we present the design and the implementation according to the approach, and evaluate the function of our prototype. The thesis makes the following contributions:

1) We present a system called FindEvasion for detecting environment-sensitive malwares. Our system makes full use of the virtualization technology to transparently extract the suspicious program from the guest VM, and then performs suspicious program analysis on multiple operating environments to make the environment-sensitive malware exhibit the evasive behavior.

2) We introduce a novel evasion detection algorithm, named MBSS, for behavioral profiles comparsion. Our algorithm can cope with the interference behaviors to make the detection more effective.

3) We present experimental evidence that demonstrates that the operations of eliminating interference behaviors are effective for detecting enviornment-sensitive malwares, and the recall rate is increased to 60% with 100% precision.

Keywords: Cloud Security, Environment-sensitive Malware, MBSS, Transparent Extraction, Multiple Operating Environments

目录

[第一章 绪论 3](#_Toc500507111)

[1.1 研究背景和目的 3](#_Toc500507112)

[1.2 国内外研究现状 3](#_Toc500507113)

[1.3 本文主要研究内容 3](#_Toc500507114)

[1.3.1 贡献点 3](#_Toc500507115)

[1.3.2 论文结构 3](#_Toc500507116)

[第二章 系统设计 3](#_Toc500507117)

[2.1 系统架构图 3](#_Toc500507118)

[2.2 系统关键点描述 3](#_Toc500507119)

[第三章 系统实现 3](#_Toc500507120)

[3.1 基于虚拟化的恶意软件无感知提取 3](#_Toc500507121)

[3.2 可疑软件行为序列规范化 3](#_Toc500507122)

[3.2.1 Behavior Profile 3](#_Toc500507123)

[3.2.2 规范化操作 3](#_Toc500507124)

[3.3 环境敏感型恶意代码检测模型 3](#_Toc500507125)

[3.3.1 MBSS算法模型 4](#_Toc500507126)

[3.3.2 消除干扰行为 4](#_Toc500507127)

[第四章 实验评估及结果 4](#_Toc500507128)

[4.1 实验环境介绍 4](#_Toc500507129)

[4.2 选择最优参数β 4](#_Toc500507130)

[4.3 评估MBSS算法 4](#_Toc500507131)

[4.4验证去除干扰行为的有效性 4](#_Toc500507132)

[第五章 总结和展望 4](#_Toc500507133)

[5.1 研究总结 4](#_Toc500507134)

[5.1.1 贡献点 4](#_Toc500507135)

[5.1.2 相关工作比较 4](#_Toc500507136)

[5.2 未来展望 4](#_Toc500507137)

[参考文献 4](#_Toc500507138)

# 第一章 绪 论

## 1.1 研究背景

随着互联网带宽的不断升级，云计算在日常生活中的应用已经相当普及。几年内，云计算已经从新兴技术发展成为当今的热点技术。互联网行业巨头如亚马逊、微软、谷歌和阿里等纷纷投入云服务的浪潮，在世界范围内抢占云市场份额，其中公有云以其良好的服务质量和灵活性备受用户的青睐，用户和企业正逐步将个人信息和公司业务迁移到云端。根据市场研究机构Forrester Research数据显示，全球云计算市场规模将由2011年的407亿美元增至2020年的2410亿美元。

与此同时，恶意程序的传播和进化也正在迅速推进，恶意程序的数量不断增长，其带来的安全问题也日益突出。据《第十四次全国信息网络安全状况暨计算机和移动终端病毒疫情调查分析报告》指出，恶意软件所造成的网络安全事故占所有计算机网络安全事件的51.4%。云作为个人私密信息和企业高商业价值信息的聚集地，恶意代码对它的兴趣和威胁无疑呈上升趋势。Macfee实验室发布的《2017安全威胁趋势预测》指出未来四年内的14个安全发展趋势中云威胁就占据了11个。一旦云租户上传恶意代码，这些代码不仅可能恶意占用业务资源，也可能会攻击其他用户甚至底层平台，进而盗取其他用户的数据信息。云计算中心通常会部署成千上万台物理服务器和虚拟服务器，服务器之间通过网络进行连接，若要为如此大规模的服务器集群安装和维护防御软件，工作量可想而知极其复杂繁琐，如果某台服务器遭受到恶意代码的攻击或底层虚拟化平台被攻破，那么通过网络传播，整个服务器集群就有相当大的概率被感染。而一旦保存有企业核心机密或者用户隐私信息的高敏感、高价值数据被窃，后果和危害则远高于个人终端或单业务系统。

在众多种类的恶意代码之中，有一类新型的恶意代码，称作环境敏感型恶意代码，该类恶意代码具有较高的智能性，可以识别当前的运行环境，并根据环境的不同而执行不同的恶意行为，这极大的增加了检测难度。2011年Rovnix家族被首次发现，该家族恶意代码插件众多，具有反调试、反沙箱等技术手段，同时具有收集用户信息、盗取比特币、盗取银行密码、远程控制等功能。当它们在运行时，会首先检测自身所处的环境，如果检测到此时自身处于调试环境或沙箱环境中的时候就会直接退出或睡眠，否则会释放恶意行为。KASIDET 家族等也同样属于环境敏感型的。由于该类恶意代码隐蔽性较好，不易被发现，所以恶意软件作者普遍采用该类技术，这导致环境敏感型的恶意代码越来越多。

在上述背景下，如何高效的检测云平台客户机中的环境敏感型恶意软件成为当下研究的热点。

## 1.2 国内外研究现状

国内外学者就环境敏感型恶意软件的检测做出了很多的研究，首先是在动态分析方面，动态分析就是在一个程序运行时进行测试和评估。近年来，为了分析恶意软件，很多的动态分析工具被开发出来。这些动态分析工具大都是基于沙箱技术实现，所谓的沙箱就是在一个可控的操作系统环境下执行一个应用程序。为了实现恶意软件的动态行为监控，一些工具在系统内部通过HOOK技术拦截系统API，这种方式的代表有CWSandbox和Norman Sandbox。该方式易于实现，但是却容易被环境敏感型恶意软件所识别进而绕过监测；另一种方式就是基于模拟器Qemu技术实现，该类型代表有VMScope，TTAnalyze和Panorama；最后一种方式就是基于硬件虚拟化技术实现，代表有Ether，VMWatcher和HyperDbg。

在透明监控方面，为了防止环境敏感型恶意代码绕过监测，开发透明分析平台很有必要。Cobra采用动态代码翻译机制，同反调试技术进行对抗。它可以通过修改内存属性来执行行为的分析。此外，还有很多的工具采用在虚拟机外部进行监控，达到透明监控的目的。例如Ether，基于硬件虚拟化机制实现，可以透明监控虚拟机内部程序的动态行为。但是，这些工具并不能有效的检测出环境敏感型恶意软件。

在相似性检测方面，Chen 等人提出了环境敏感型恶意软件使用的反虚拟化和反调试技术的详细分类。根据他们的实验，如果环境敏感型恶意软件处于调试器环境或虚拟机环境下，它们就会表现出较少的恶意行为。Lau等人提出了一种基于动静结合跟踪技术进行虚拟机检测的方法。Disarm通过部署两种分析环境来比较行为的差异性，这需要同一个样本在每个环境下重复运行多次，该过程能减少随机文件名所带来的误差，最后通过Jaccard相似性算法来计算偏离值Score。还有BareCloud采用纯物理机环境，即在系统内部没有任何的监控组件。它只考虑那些能对系统产生持久性影响的操作，并基于Jaccard相似度算法提出Hierarchical Similarity算法来计算偏离值Score。其中BareCloud系统和本文工作的主要差异在于我们部署了多样化的环境并提出全新的算法，该算法能够解决干扰行为的影响，使得结果更加准确。

## 1.3 本文工作

已有的研究工作在抗恶意软件干扰行为方面和透明检测方面还有很多的不足，导致检测效果不佳，精准度较低，漏报率较高，尚有很大的改进空间。针对上述问题，本文围绕环境敏感型恶意软件检测进行深入研究，主要工作包含以下几个方面：

1、本文设计并实现了一个面向云环境的环境敏感型恶意代码的检测系统FindEvasion。该系统充分利用虚拟化技术，可以从客户机中透明的提取可疑软件到多环境分析平台，然后在多环境分析平台中执行恶意软件分析进而发现偏离特征。

2、本文设计并实现了一种基于Cosine算法的新型算法MBSS。相比较于已有的其他算法，MBSS算法的优势在于具备抗干扰能力，可以消除环境敏感型恶意软件执行干扰行为所带来的影响，使得行为比较的结果更加准确且更具鲁棒性。

3、本文实验证明，消除干扰行为能够更加有效的检测出环境敏感型恶意软件，本系统能有效的检测出云平台客户机中的环境敏感型恶意软件，在100%的精度下，召回率可以提高到60%。

## 1.4 论文组织结构

本文组织结构如下。

第一章：绪论。本章主要介绍云计算发展背景，环境敏感型恶意软件定义和对当前云计算安全的威胁，以及当前安全监测工具的不足，相关研究现状等内容。

第二章：相关技术概述。本章首先介绍云计算和虚拟化技术，然后针对硬件辅助虚拟化技术、系统调用、中断和异常、Xen架构以及相关机制（如超级调用、事件通道、影子页表）、Cosine余弦相似度和Hierarchical Similarity算法等本文中用到的具体技术进行详细介绍。

第三章：系统设计。本章首先介绍了面向云平台的环境敏感型恶意软件检测系统的方案设计，然后基于需求给出了系统的设计架构图，并对架构进行模块功能详细介绍和关键技术的描述，最后对系统的工作流程进行详细介绍。

第四章，系统实现。本章根据系统设计进行系统实现，包括每个模块功能的具体实现，所用到的技术等。接着对可疑软件行为序列提出一种规范性的方法，包括行为特征的四元组抽象表达方式和三种行为规范化方法，用以减少误差。最后介绍本文提出的可抗干扰的MBSS算法，详细介绍算法细节，并给出伪代码实现。

第五章，系统分析与测试。本章设计四组实验对系统进行全方面的评估测试，首先介绍实验环境，包括所用到的工具、配置等信息，接着详细介绍实验的细节，所用到的数据集等，并专门设计实验为MBSS算法中用到的参数选择最优值。最后，对实验结果进行了总结和分析。

第六章，总结和展望。本章对本文的研究背景、研究内容和成果进行总结，并规划下一步的研究方向，对未来进行展望。

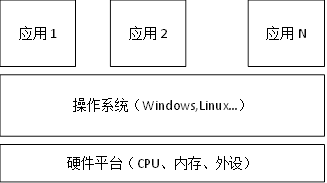
# 第二章 相关技术概述

## 2.1 云计算与虚拟化技术

云计算是当今的热点技术，根据美国国家标准技术研究院NIST定义，其常见交付模型主要有三种：基础设施即服务IaaS，平台即服务PaaS和软件即服务SaaS。这三种类型存在层级关系，基础设施在最下端，平台在中间，软件在顶端。SaaS层的作用是将应用作为服务提供给客户，用户只要接上网络，就可以通过浏览器直接使用在云端上运行的应用，无需本地安装；PaaS层的作用是将一个开发平台作为服务提供给用户，用户在使用时，无需关心服务器、操作系统、网络和存储等资源的管理，省去部署和搭建环境的过程，节省了时间；IaaS层的作用是提供虚拟机或者其他资源作为服务给用户，用户可以从供应商那里获得他所需要的存储等资源来装载相关的应用，节省了维护成本和办公场地。云计算并不是一项全新的技术，而是多种传统技术及其配套商业模式演进的产物，主要包括虚拟化技术、分布式数据库存储技术、大规模数据管理技术、信息安全等，其中虚拟化技术是云计算的核心技术，为云计算服务提供基础架构层面的支撑。可以说，没有虚拟化技术就没有云计算服务的落地与成功。

虚拟化就是将物理IT资源转换为虚拟IT资源的过程。这些IT资源包括服务器、存储设备、网络、电源等等。从上世纪60年代就出现了虚拟化技术，早期操作系统只能进行单任务处理，后来引入分时系统，使得多任务同时处理成为了可能，而分时系统就是依据虚拟化技术实现的。

与传统的计算机架构不同，虚拟化的计算机架构在系统中加入了一个虚拟机管理器（VMM）层，如下图所示。



传统体系架构

应用1

应用N

Windows xp

虚拟机44 1

虚拟机N

应用1

应用N

RedHat Linux

虚拟机管理器（VMM）

硬件平台（CPU、内存、外设）

虚拟化体系架构

通过对比上面两幅架构图，我们可以看出虚拟化技术改变了传统计算机的层次结构。在操作系统层和真实硬件层之间加入VMM层，实现了客户机操作系统之间的隔离，良好的隔离性保证了客户操作系统之间的安全性。VMM层具有最高的管理权限，能够控制资源的分配，上层的所有虚拟机都由VMM层进行创建、销毁和调度。在虚拟化体系架构下，客户机操作系统不能直接操作真实的硬件，需要将请求传达给VMM层，由VMM层协助其访问真实的硬件。

根据VMM提供的虚拟平台类型可以将VMM分为两类：

1）完全虚拟化：完全虚拟化是指不需要对上层操作系统进行任何的修改就可以正常运行，上层操作系统察觉不到自身是工作在虚拟平台上的。

2）半虚拟化：半虚拟化方式需要对上层操作系统进行源码级修改使其正常工作，因此上层操作系统能察觉自身工作在虚拟平台上。该方式性能优良，尤其是其前后端分离设备架构，IO性能接近裸机，但是对操作系统的修改过程十分繁琐。

其中完全虚拟化经历了两个阶段：软件辅助的完全虚拟化和硬件辅助的完全虚拟化。

1）软件辅助的完全虚拟化：由于早期X86架构没有在硬件层面上对虚拟化提供支持，因此只能通过软件进行实现，典型的做法是二进制代码翻译，即通过扫描客户机的二进制代码，将难以虚拟化的指令修改为支持虚拟化的指令。该方式虽然可行，但性能极差，并且很难在架构上保持其完整性。

2）硬件辅助的完全虚拟化：为了弥补软件辅助虚拟化的不足，Intel等CPU厂商直接在硬件层面上对虚拟化提供支持，如VT-X等技术。在硬件层面即可拦截上层操作系统对敏感指令或敏感资源的访问，从而通过异常的方式报告给VMM。该方式在不修改上层操作系统的情况下，极大的提高了系统性能，而虚拟化技术也随之进入了蓬勃发展期。

## 2.2 硬件辅助虚拟化

所谓硬件辅助虚拟化是指在CPU、IO设备等硬件中加入专门针对虚拟化的支持，使得系统软件可以更加容易、高效的实现虚拟化功能。

Intel Virtualization Technology（Intel VT）是Intel平台上硬件虚拟化技术的总称。在CPU虚拟化方面，Intel VT提供了VT-x技术；在内存虚拟化方面，Intel VT提供了EPT技术；在IO虚拟化方面，Intel VT提供了VT-d技术。在本文中主要运用了VT-x技术，下面对该技术进行详细介绍。

VT-x提出了两种操作模式：根操作模式和非根操作模式。其中，根操作模式是指虚拟机监控器VMM运行所处的模式；而非根操作模式是指客户机运行所处的模式。每种模式都有自己的特权级（0环到3环）。VT-x中，非根模式下敏感指令引起的“陷入”被称为VM-Exit，VMM可以通过VM-Exit使处理器由非根模式切换到根模式。相应的，VMM可以通过VM-Entry使处理器由根模式切换到非根模式。

VMX根操作模式

VM Exit

VMX非根操作模式

Ring3

Ring0

Ring3

Ring0

VMCS1

VM1

Ring3

Ring0

VMCS2

VM2

Ring3

Ring0

VMCSn

VMn

为了完成根模式和非根模式之间的切换，Intel在VT-x技术中增加了12条新的指令，包括VMPTRLD、VMPTRST、VMCLEAR、VMREAD、VMWRITE、VMCALL、VMLAUNCH、VMRESUME、VMXOFF和VMXON。其中VMCALL允许一个客户机在非根操作下请求VMM为它服务，该指令会导致客户机主动“陷入”到VMM层中，完成非根模式到根模式的转换。

为了更好的支持CPU虚拟化，VT-x引入了虚拟机控制结构VMCS。VMCS是保存在内存中的数据结构，包含了虚拟CPU的相关寄存器的内容和虚拟CPU相关的控制信息，每个VMCS对应一个虚拟CPU。VMCS块格式如表所示。

|  |  |
| --- | --- |
| 字节偏移 | 内容 |
| 0 | VMCS版本标识 |
| 4 | VMX-abort指示器 |
| 8 | VMCS数据区 |

其中VMCS数据区包括6大类信息。有客户机状态域、宿主机状态域、VM-Entry控制域、VM-Execution控制域、VM-Exit控制域和VM-Exit信息域。

VM-Entry控制域中的“事件注入”用到了VM-Entry Interruption-Information字段，该字段是一个32位的整形值，格式如表所示。每次发生VM-Entry切换到非根模式时，CPU就会检查这个字段的最高位（bit 31），如果是1，则根据bit10:8指定的中断类型和bit7:0指定的向量号在当前客户机中引发一个异常或中断。

|  |  |
| --- | --- |
| 位 | 内容 |
| 7:0 | 中断或异常向量 |
| 10:8 | 中断类型  0：外部中断  1：保留  2：非屏蔽中断  3：硬件中断  4：软件中断  5：特权软件异常  6：软件异常  7：保留 |
| 11 | 错误代码传递 |
| 30:12 | 保留 |
| 31 | 合法 |

## 2.3 系统调用

在x86架构中，CPU一共提供了4个特权级（0环到3环），其中0环特权级最高，3环特权级最低。内核程序运行在0环（内核态），而应用程序运行在3环（应用态）。为了保护系统的安全，应用程序所能执行的操作有限，大部分需要内核来协助完成。所以操作系统为应用程序提供了接口，即系统调用，来完成应用态到内核态的切换。

最初，系统调用是通过汇编指令INT 0x80来完成。相关的参数通过寄存器进行传递：寄存器eax保存系统调用号，其他参数依次保存在寄存器ebx、ecx、edx、esi和edi中。以系统调用号为索引，就可以在系统调用表中找到相应的处理函数入口地址。系统调用结束时，通过指令iret完成内核态到应用态的切换。

在执行INT 0x80汇编指令时，会首先保存上下文环境，将SS、ESP、EFLAGS、CS、EIP等寄存器信息依次压入内核栈中，关于内核栈的位置，可以通过TSS数据结构找到。然后通过系统调用号找到处理函数入口地址，转到相应函数处继续执行。

由于执行INT 0x80中断涉及较多的栈切换和门描述符权限检查等操作，会消耗很多的CPU周期，时间开销比较大，系统效率较差。为解决该问题，Intel引入sysenter和sysexit两条指令来快速的完成系统调用进入和系统调用退出。sysenter指令需要用到三个寄存器，即SYSENTER\_EIP\_MSR、SYSENTER\_CS\_MSR和SYSENTER\_ESP\_MSR。其中SYSENTER\_EIP\_MSR寄存器中保存着系统调用处理函数第一条指令的地址，在执行sysenter指令时，该寄存器的值会被加载到EIP寄存器中，成为接下来CPU取指的起始地址；SYSENTER\_CS\_MSR寄存器中值的低16位为内核代码段的段选择符，在执行sysenter指令时，该值会被加载到CS寄存器中；SYSENTER\_ESP\_MSR寄存器中保存着内核栈的栈指针，在执行sysenter指令时，该值被加载到ESP寄存器中。同样的，sysexit指令完成系统调用的退出工作，该指令需要用到SYSENTER\_CS\_MSR、EDX和ECX三个寄存器。此时SYSENTER\_CS\_MSR寄存器中保存着用户态代码段的段选择符；EDX寄存器中保存着用户态代码的第一条指令地址，在执行sysexit指令时，该寄存器的值被加载到EIP寄存器中，成为接下来CPU取值的起始地址；ECX寄存器中保存着用户态栈的栈指针，在执行sysexit指令时，该值会被加载到ESP寄存器中。

## 2.4 中断和异常

在操作系统中，改变CPU执行指令顺序的事件被称为中断。中断可以分为同步中断和异步中断两类，其中同步中断又称为异常，异步中断才是我们通常意义上的中断。中断和异常的区别在于，中断来源于系统外部，如键盘中断等，而异常来源于处理器内部，例如执行指令发生除零错误等。

中断有两种，可屏蔽中断和不可屏蔽中断。在X86平台上，CPU为中断提供两种外接引脚：NMI和INTR，其中NMI是不可屏蔽中断，INTR是可屏蔽中断。

异常也分两种，CPU探测异常和编程异常。编程异常是指在编程者发出请求时产生，主要用于系统调用；CPU探测异常是指CPU在执行一条指令时检测到的反常条件产生的异常，分为陷阱、故障和异常结束三类。

在X86平台上，每个中断和异常都由一个0-255的整数标识，通常我们把这个8位无符号整数称之为中断向量或异常向量。中断描述符表（IDT）是一个系统表，它与每一个中断或异常向量相对应，每一个向量都在IDT中存放相应的中断或异常处理程序的入口地址。IDT可以存放在系统的任何地方，在48位寄存器IDTR中保存了IDT的物理基地址和最大长度。

在Linux内核中，中断处理又分为上半部和下半部。通常中断的上半部用于处理紧急的操作，把不紧急的任务延迟到下半部去执行。中断下半部有三种实现方式：软中断、tasklet和工作队列。其中软中断是静态编译在内核代码中的，通常不直接使用；tasklet是基于软中断实现的，使用起来较为灵活，但是不能操作睡眠、阻塞等函数；工作队列工作在内核线程的上下文中，可执行睡眠、阻塞等操作，使用起来十分的方便。

在Linux系统中，申请中断使用的函数为request\_irq，该函数会在指定的IRQ号上绑定一个中断处理函数，当该IRQ线上有中断信号传来时，就会触发中断处理函数handler。

|  |
| --- |
| 函数原型 |
| static inline int \_\_must\_check request\_irq(unsigned int irq, irq\_handler\_t handler, unsigned long flags, const char \*name, void \*dev) |

### 2.4.1 缺页异常

当一个程序访问了非法地址或者访问地址合法但该地址尚未分配物理空间时，会发生缺页异常。CPU会捕获该异常，并跳转到IDT表记录的异常处理函数中进行处理，缺页异常的异常向量号为14。当发生缺页异常时，CR2寄存器中记录了触发异常的访问地址。发生页错误时，内核需要根据页错误类型进行判断。错误代码error\_code的bit 0表示缺页（值为0）或保护异常（值为1）、bit 1表示读访问（值为0）或写访问（值为1）、bit 2表示内核态（值为0）或用户态（值为1）、bit 3表示检测到使用保护位（值为1）、bit 4表示缺页在取指令时出现（值为1）。

在虚拟化架构下，当客户机操作系统发生缺页异常时，会导致虚拟机发生VM-Exit，“陷入”到VMM层中，然后由VMM根据错误代码error\_code来分析异常原因并做出相应的处理。

## 2.5 Xen架构及其相关机制

### 2.5.1 Xen架构概述

Xen最初是由英国剑桥大学于2003年研发的半虚拟化开源系统，其整体架构图如下所示。

特权虚拟机Domain0

虚拟机

DomainU

虚拟机

DomainU

虚拟机监控器VMM

硬件

虚拟机监控器VMM位于操作系统和硬件之间，特权虚拟机被称为Domain0，用来辅助VMM管理其他Domain，例如创建、销毁、调度等，而其他虚拟机被称为DomainU。Dom0能够访问真实的设备驱动，因此DomU对于IO设备的访问需要Dom0来协助完成。

最初，在半虚拟化系统Xen下，需要修改客户机操作系统内核才能保证客户机的正常运行。众所周知，在x86架构中，CPU一共提供了4个特权级（0环到3环），其中0环特权级最高，3环特权级最低。当前大多数操作系统只用到了2个环，操作系统内核运行在ring0，而应用程序运行在ring3。而在虚拟化环境下，VMM运行在ring0，操作系统内核特权级降低，运行在ring1，应用程序还是运行在ring3。Guest OS内核特权级的降低导致它无法正常执行一些特权指令和敏感指令，会产生一般保护性错误。所以Xen必须为Guest OS提供一些接口，即超级调用，来协助Guest OS内核来执行这些特权指令和敏感指令。这就不可避免的需要修改Guest OS的源码，将需要执行特权指令和敏感指令的地方全部改变为调用超级调用的接口，如此，则可以保证系统的正常执行。但是这种方式的缺点也是显而易见的，修改操作系统内核十分的困难，同时对于Windows这种不开源的操作系统很难移植到Xen上。所以最初的客户机一般是Linux等开源的操作系统。

后来，Xen中也加入了硬件虚拟化机制，CPU分为root模式和Non-root模式，每种模式都有自己的特权级（0环到3环），这样Guest OS就正常工作在Non-root模式下的ring0，VMM工作在root模式下的ring0。如此一来，就不需要再修改客户机的内核源码就可以使得客户机正常工作，像Windows这样不开源的操作系统也可以移植到Xen上正常工作了，具体的工作方式可以参考上述的硬件虚拟化机制，不再赘述。总之，硬件虚拟化技术的蓬勃发展，使得Xen大为受益，日趋成熟。

### 2.5.2 超级调用

在Xen系统中，Xen作为VMM位于最高特权级ring0，而客户机内核位于ring1。客户机内核特权级的降低使得一些特权操作只能由Xen代为完成。因此，Xen为客户机内核提供了一些接口，即为超级调用。

超级调用与系统调用类似，采用0x82号中断向量端口，即汇编指令INT 0x82。相关的参数依旧是通过寄存器来传递的：寄存器eax保存超级调用号，其他参数依次存放在ebx、ecx、edx、esi和edi中。超级调用号是超级调用表的一个索引，通过它就可以在超级调用表中找到相应的处理函数入口地址。

在半虚拟化系统Xen中，客户机的应用层和内核层都可以发起超级调用。在客户机应用层，由于程序工作在ring3特权级，所以需要通过内核模块privcmd来间接使用超级调用。即在客户机应用层通过ioctl先将超级调用请求传递到客户机内核模块privcmd，再由privcmd申请超级调用。而在客户机内核层，可以通过汇编指令INT 0x82直接完成超级调用的申请。现有最新版本的Xen是通过超级调用页来完成的，超级调用页本质上来说是对INT 0x82的一个封装，只是更加规范化。

### 2.5.3 事件通道

Xen和Domain之间以及Domain和Domain之间需要交互，该交互工作就是通过事件通道机制完成的。事件通道是一种异步通信机制。Xen体系结构上的物理中断、虚拟中断等都是通过事件通道来完成的。

在Xen系统中，每个Domain都有各自的事件通道。X86平台下，每个Domain最多分配1024个事件通道。与事件通道相关的操作都需要通过Xen提供的超级调用HYPERVISOR\_event\_channel\_op来完成。

以Dom0和Xen之间的交互通信为例，可以在Dom0内核通过函数bind\_virq\_to\_irqhandler在指定虚拟CPU上注册一个虚拟中断处理例程，那么在Xen内核中，就可以利用函数send\_guest\_vcpu\_virq通过事件通道向该客户机指定的虚拟CPU中传送一个虚拟中断信号来异步通知Dom0内核有事件发生。

|  |
| --- |
| 函数原型 |
| int bind\_virq\_to\_irqhandler (unsigned int virq, unsigned int cpu, irq\_handler\_t handler, unsigned long irqflags, const char \*devname, void \*dev\_id);  其中第一个参数表示虚拟IRQ号；  第二个参数表示指定的CPU，虚拟IRQ会发往该CPU；  第三个参数表示当收到IRQ时的相应处理函数 |
| void send\_guest\_vcpu\_virq (struct vcpu \*v, uint32\_t virq);  其中第一个参数表示虚拟CPU，虚拟IRQ会发往该vcpu；  第二个参数表示虚拟IRQ号 |

### 2.5.4 影子页表

客户机操作系统维护的页表负责客户机虚拟地址GVA到客户机物理地址GPA地址的转换，如果物理MMU直接装载客户机的页表来进行地址访问，那么由于页表中记录的是客户机物理地址GPA，硬件无法对该地址进行正确翻译。因此，Xen引入影子页表机制来解决该问题。

影子页表与客户机操作系统中的页表一一对应，记录着客户机虚拟地址GVA到宿主机物理地址HPA的地址转换关系。此时，真正被载入物理MMU的页表是影子页表。有了影子页表，普通的内存访问只需要使用影子页表就可以实现从客户机虚拟地址GVA到宿主机物理地址HPA的直接转换，而无需经过先由客户机虚拟地址GVA到客户机物理地址GPA进行转换，再由客户机物理地址GPA到宿主机物理地址HPA进行两次转换。具体过程如下图所示：

客户机虚拟地址

客户机物理地址

客户机操作系统内页表

宿主机物理地址

P2M表

影子页表

影子页表和客户机操作系统内的页表是采用hash算法建立的映射关系，具体来说SMFN=hash（MFN，type）。其中SMFN为影子宿主机物理页帧号，即一个物理页的起始地址右移12位后的数值；MFN为客户机页帧号GFN对应在宿主机上的物理页帧号；type表示影子页表的类型，通常指在影子页表中是第几级页表。

影子页表的更新主要是通过缺页异常来完成的。由于加载入物理MMU的是影子页表，所以访问地址时，如果影子页表中没有相应的地址转换关系，就会发生缺页异常。该异常会被VMM捕获，此时VMM会去判断该缺页异常产生的原因，如果是由于客户机页表与影子页表不一致的原因造成的，就会根据客户机页表同步更新影子页表；如果是由于客户机内部页未分配导致的，就会将该异常抛给客户机，由客户机内部的缺页异常机制进行处理，即分配内存页，并建立相应客户机虚拟地址GVA到客户机物理地址GPA的地址转换关系。

## 2.6 Cosine余弦相似算法

余弦相似度用向量空间中两个向量夹角的余弦值作为衡量两个个体间差异的大小。通常应用在文本相似性和信息检索等领域。

向量a

向量b

如上图所示，向量a和向量b之间有一个夹角，夹角越小表明向量a和向量b之间的相似度越高，也即向量a和向量b所代表的文本越相似。如果两个向量完全重合，则表明向量a和向量b所代表的文本完全相同。

在数学表达式里，向量a和向量b的夹角的余弦计算如下：

由公式可知，余弦值的范围在[-1,1]之间，当值越接近1，就表明夹角越接近0度，也就是两个向量越相似；当值为0时，就表明夹角为0度，此时两个向量完全相等；当值为-1时，就表明夹角为180度，此时两个向量完全不同，这就叫"余弦相似性"。

假设向量a、b的坐标分别为（x1,y1）,（x2,y2），则可以将余弦定理改为如下形式：

对于n维向量，余弦定理同样成立，假设向量a是[a1,a2,a3…an]，向量b是[b1,b2,b3…bn]，则向量a与向量b的夹角的余弦值等于：

## 2.7 Hierarchical Similarity算法

Hierarchical Similarity算法即所谓的分层相似算法，该类算法通常运用在文本相似度计算中。Kirat等人成功将该算法运用在恶意代码行为相似比对之中，通过他们给出的实验结果，可以看出该算法模型具有良好的检测效果（100%的精准度和40%的召回率）。在本文第四章实验部分会用该算法进行对照实验，来评估本文设计的算法模型的优劣，下面对该算法模型进行详细介绍。

令H为分层相似树的树根，LH为树H的所有节点集合，L（H，d）表示在树H深度d的节点集合，δ为树的高度，因此L（H，δ）就代表树H的所有叶子节点集合，同时集合L（H，δ）也代表了所有特征元素p（p∈P，P表示行为特征，显然L（H，δ）和P相等，一个代表树结构的叶子节点，另一个表示一个特征属性元组）。

令P1和P2分别为同一恶意软件m在分析系统a1和a2下的行为特征集合，将这些行为特征集合映射到树H1和树H2上。令PL（H，）表示一个值为（∈LH，LH为树H的所有节点集合）的节点的父节点的值，因此可以在树的每一层d递归的定义match和candidate如下：

定义levelsimH1,H2(d)表示树H1和树H2在深度为d处的相似度，基于Jaccard系数，公式表达如下：

定义行为特征集合P1和P2在树每层上的平均相似度如下：

显然，Sim(P1,P2)的取值区间为[0,1]，基于上面的公式，行为特征集合P1和P2的偏离距离可以定义如下：

定义一个恶意样本D在不同的分析系统a1,a2….an下的行为偏离分数如下，其中Pr是指在参考系统ar下的行为特征集合。

## 2.8小结

在本章主要介绍了论文中涉及到的详细技术细节，具体包括硬件辅助虚拟化技术、系统调用、中断和异常（重点讲述了缺页异常）、Xen架构以及相关机制（包括超级调用、事件通道和影子页表的相关概念及使用），Cosine余弦相似度的概念及计算方法。通过本章的介绍，可以对后面的实现细节有更好的理解。

# 第三章 系统设计

在上一章中概述了本文用到的相关技术及实现细节，本章将介绍面向云平台的环境敏感型恶意软件检测方法的方案设计。首先介绍本系统需要解决的几点功能需求，然后给出系统的架构设计图，最后进行总结。

## 3.1 设计目标

本研究的目标是设计并实现一个面向云平台的环境敏感型恶意软件检测系统架构FindEvasion，该系统能够识别出云平台客户机中运行的一个可疑软件是否是环境敏感型的。

要想对云平台客户机中的可疑软件进行分析，第一步很显然需要将其从客户机中提取出来，而环境敏感型恶意软件对周围环境具有识别性，常规的网络操作如FTP等容易被察觉，进而被绕过，所以需要一种透明无感知的提取方法，虚拟化技术为该方法提供了解决思路。

根据前面的介绍，环境敏感型恶意软件对所处环境具有识别能力，它们可以检测自身所处环境，并根据所处环境的不同，执行不同的操作。为了能够识别出环境敏感型恶意软件在不同环境中执行不同操作这一行为，有必要部署多种类环境，包括沙箱（如Cuckoo）、虚拟机（如VMware）、Hypervisor（如Xen）、调试器（如Ollydbg）等等环境，来使得上述行为暴露出来。换句话说，部署多环境的目的就是为了更好的识别出可疑程序行为上的偏离特征。如果某个可疑程序是对某个特定的环境是敏感的，那么它在该环境下的行为就会明显的区别于在其它环境下的行为。而普通恶意软件在多种类环境下，并不会产生明显的行为偏离特征，因此可以以此排除不具备环境敏感特征的普通恶意软件。

此外，Cuckoo沙箱内部具备行为监控控件，不需要修改即可直接使用，而VMware和Hypervisor两者本身并不具备监控能力，为了能够实时监控内部运行的可疑软件的行为，需要在VMware虚拟机内部插入内核模块，通过SSDT HOOK等技术实现行为监测；同时需要修改Hypervisor内核，加入行为监测组件，在虚拟机外部进行行为监测。多样化的监控手段同样有助于识别出环境敏感型恶意软件。上文提到，环境敏感型恶意软件具备检测周围环境的能力，所以我们需要一个具备对抗该能力的系统。为此，本文选择修改Hypervisor内核，充分利用Hypervisor的高特权性，加入对抗机制，防止被上层操作系统检测到，做到透明化。

由于环境敏感型恶意软件在不同环境下会出现行为上的偏离特征，所以一般来说对同一恶意软件在不同环境下的行为进行相似性比较（如Cosine余弦相似算法）即可得出结论。但是通过对捕获到的行为进行观察，发现环境敏感型恶意软件通常具备干扰混淆能力，它们通常会执行大量干扰性操作，将真实的恶意行为隐藏在大量的干扰性操作之中。而这些干扰性操作会极大的影响最终相似性比较的判断结果，甚至导致完全相反的结论。所以，在FindEvasion系统中需设计一种具备抗干扰能力的算法，只对真实的恶意行为进行比较，减少误差的产生，提高检出率和精确度。

根据上述描述，对FindEvasion系统提出以下几点需求：

1）客户机可疑软件需透明提取。由于FindEvasion系统是面向云平台的检测系统，所以第一步就是要透明的从客户机中提取出可疑软件，再进行分析。本文将利用虚拟化的优势，在可疑软件无法感知的前提下，将可疑软件从客户机中提取出来。

2）本系统应部署多种类环境，多样化的环境有助于发现环境敏感型恶意软件行为上的偏离特征，提高检测效果。

3）本系统需设计抗干扰的相似度检测算法。该算法能够自动去除干扰操作，只留下真实的恶意行为，并对真实的恶意行为进行行为的相似性判断，得到准确可靠的判断结果。

## 3.2 系统架构

基于上述几点需求，整体系统架构图设计如下所示。FindEvasion系统包含左右两个部分。左边部分是云服务节点，负责为租户提供服务。其中在Virtual Machine Monitor（VMM）层包含恶意软件提取模块。该模块充分利用虚拟化Intel VT技术进行透明提取客户机中的可疑软件；右边部分是多环境分析平台，包括沙箱环境，虚拟机环境，Hypervisor环境和调试器环境等等，其中每种环境都有各自的监控组件，能够实时监控可疑软件在该环境下的行为。此外还包括行为规范化模块和算法检测模块。

多环境分析平台

Hypervisor

沙箱

调试器

VMWare

行为规范化

模

块

算

法

检

测

模

块

恶意软件提取模块

提 取

提 取

VMM

云服务结点

客户机

### 3.2.1 模块功能介绍

① 恶意软件提取模块： 该模块主要负责同客户机内核进行交互，根据Intel VT技术从客户机中提取可疑程序，并将该可疑程序传送到多环境分析平台进行分析。

② 行为规范化模块：该模块主要是对各个环境下的可疑软件行为序列进行规范化处理，抽象为四元组的形式，并执行去重、统一化等操作。

③ 算法检测模块： 该模块主要根据本文设计的抗干扰检测算法MBSS进行比较同一恶意程序在多环境下运行的行为特征上的差异，进而给出判断结果，即一个可疑软件是否为环境敏感的。至于MBSS算法会在后面章节进行详细介绍。

### 3.2.2 系统关键技术描述

1. 基于虚拟化的客户机行为捕获技术

在FindEvasion架构中，部署了Hypervisor环境，因此需要对Hypervisor内核进行修改，使得Hypervisor具备客户机行为捕获能力，如监控客户机内部的文件、注册表、网络、驱动加载卸载等操作的信息。

系统的行为本质上来说就是系统调用了一个个的API，所以对系统行为的监控就是对系统API调用的监控。假如客户机操作系统为Windows系统，当进行系统调用时，会通过快速系统调用sysenter完成从用户态到内核态的转变（现代win操作系统基本不再使用INT 0x2E的方式进行系统调用）。所以在VMM层只需要拦截到SYSENTER就知道客户机发生了系统调用行为。然而快速系统调用不是敏感指令，访问快速系统调用时不能自动从GUEST OS自动“陷入”到VMM层中，因此为了捕获该行为需要人为的造成陷入。快速系统调用将使用到一个寄存器，称为sysenter\_eip\_msr，它记录着快速系统调用的入口地址。当客户机进行快速系统调用时，就从这个寄存器中取出快速系统调用的地址到EIP寄存器中，然后跳转到内核态代码。如果在VMM层将客户机的sysenter\_eip\_msr寄存器中赋予一个不存在的地址值，那么当客户机需要调用快速系统调用时，便会访问到一个不存在的地址，此时会引发缺页异常行为，而VMM 可以捕获该缺页异常行为。此时在VMM缺页异常处理函数里通过判断客户机此时的eax寄存器值就可以判断出具体的系统调用号，那么也就知道了所对应的API，通过解析该API的参数，就可以获得一些更为详细的信息，如文件路径，注册表路径，远端IP和端口等等。

如何知道客户机的sysenter\_eip\_msr的值呢？在第二章，本文提到了VMCS结构，每个虚拟机都对应一个VMCS结构，里面记录着客户机的状态域，其中有一个域GUEST\_SYSENTER\_EIP，该域是一个64位的整形值。当客户机发送VM-Exit时，就会将该客户机对应的sysenter\_eip\_msr值保存在域GUEST\_SYSENTER\_EIP中，以便VM-Entry时进行上下文恢复。在VMM中使用VMREAD和VMWRITE指令就可以读取和修改该域。

该过程可以表示如下图所示：



2. Hypervisor对抗机制

恶意软件通常可以利用一些手段检测到自身处于Hypervisor环境之中，CPUID指令就是常用的技术。CPUID指令为用户查询x86 CPU信息提供了接口，该指令可以工作在任何特权级ring0~ring3，这就意味着，恶意软件在ring3特权级就可以直接调用CPUID指令查询当前操作系统的信息。CPUID的使用方式如下：

MOV EAX, 00H

CPUID

向EAX寄存器中输入一个特定的值，再调用CPUID指令，此时在特定的寄存器中就会保存当前操作系统和CPU的一些信息。

在物理机中，向EAX寄存器输入值0x40000000 ，调用CPUID指令将不会有任何的返回信息，但是如果是在Hypervisor环境中，向EAX寄存器输入值0x40000000 ，调用CPUID指令就会返回底层Hypervisor的一些字符串信息。比如底层Hypervisor如果是Xen的话，EBX，ECX和EDX寄存器中就会保存着“XenVMMXenVMM”这样的字符串信息。同理，如果底层Hypervisor是KVM的话，相应的寄存器就会保存着“KVMKVMKVM”这样的字符串信息。基于此，恶意软件可以通过CPUID指令判断自身是否处于Hypervisor环境之下。

为了对抗该操作，需要修改Hypervisor内核。由于CPUID是敏感特权指令，调用该指令会导致客户机“陷入”到VMM层，所以在VMM层就可以判断才是EAX寄存器的信息，如果是0x40000000的话，就不做任何处理直接返回，这样上层客户机就无法得到底层Hypervisor的一些字符串信息。加入该机制后，Hypervisor就会更加透明，无法为上层客户机所感知。

此外，恶意软件通常会执行一些睡眠操作，如Sleep等。恶意软件通过睡眠足够长的时间，不仅可以绕过动态行为检测，而且不易被发现。为了对抗该机制，修改底层Hypervisor内核，通过上述拦截系统API的技术，在VMM层拦截sleep函数。

|  |
| --- |
| 函数原型 |
| Unsigned int sleep（unsigned int seconds）；  第一个参数代表睡眠的时间（单位秒） |

sleep函数的参数为睡眠的时间，单位是秒。所以当在VMM层拦截到sleep操作时，就将睡眠时间动态更改为1ms，这样就可以防止客户机中恶意软件睡眠时间过长，绕过动态分析检测等问题。

### 3.2.3 系统工作流程

下面对本系统的基本工作流程进行介绍：

1）客户机中正在运行一个可疑软件时，恶意软件提取模块利用虚拟化技术和Intel VT技术将其从客户机中提取出来。

2）将提取的可疑软件传送到多环境分析平台，在Hypervisor、沙箱、调试器和VMWare等环境下同时运行该可疑软件。

3）在各个环境下进行行为监控，获取同一个可疑软件在多环境下的行为特征集合，并进行规范化处理。

4）将获取的各环境下的行为特征集合输入到算法检测模块，经过算法计算，得出判断结果，即该可疑软件是否为环境敏感型的。

## 3.3 小结

本章首先介绍了系统需要解决的三点需求，包括透明提取，多环境部署和抗干扰的相似性比对算法。接着根据需求，设计系统架构图并对系统功能模块进行介绍，然后描述了系统中所用到的关键技术点和实现方式，最后详细说明了系统运行时的工作流程。

# 第四章 系统实现

在上一章对FindEvasion系统的整体架构进行了描述，在本章将根据系统架构设计图进行具体的实现，主要包括基于虚拟化的恶意软件无感知提取、可疑软件行为序列规范化和环境敏感型恶意代码算法检测模型三个方面，最后对本章进行小结。

## 4.1 基于虚拟化的恶意软件无感知提取

为了分析客户机系统中的一个可疑程序，我们需要将该可疑程序提取到多环境分析平台。由于可疑程序已经启动运行，所以常规的FTP等网络操作容易被环境敏感型恶意软件所察觉，进而被绕过。所以，我们需要充分利用虚拟化技术来提取客户机中的可疑程序，整个过程不会被环境敏感型恶意软件所察觉。

详细过程如图所示。需要指出的是，我们在客户机内部插入了一个内核模块，该内核模块没有任何的HOOK操作，它可以被底层VMM进行隐藏和保护。因此，恶意软件很难检测到我们的内核模块。举例来说，假设客户机系统为win7，我们在VMM层拦截函数NtQuerySystemInformation（通过拦截系统调用），该函数用于遍历系统内部的模块。如果一个可疑程序调用该函数进行模块遍历查询，那么底层的VMM就会拦截到该行为，并修改其参数信息，返回给上层一个虚假的结果，通过这种方式，就可以欺骗恶意程序，达到隐藏和保护我们的内核模块的目的。

内核模块

内核模块

(2) CopyFile

恶意软件提取模块

客户机

(1) Event Inject

内核

VMM

(4) Notify

(5) Hypercall

(3) VMCALL

(6) WriteFile

Socket

(7)

Dom0

为了更好的理解图中的过程，下面将分步骤进行详细的介绍。

（1）当一个可疑程序运行在客户机中时，提取模块会捕捉到该行为，然后提取模块会对客户机进行事件注入（使用函数vmx\_inject\_extint），异步通知客户机中的模块。

|  |
| --- |
| 函数原型 |
| void vmx\_inject\_extint(int trap, uint8\_t source);  其中第一个参数表示中断号；  第二个参数表示中断的来源，可选值如下：  enum hvm\_intsrc {  hvm\_intsrc\_none,  hvm\_intsrc\_pic,  hvm\_intsrc\_lapic, //表示中断来自APIC  hvm\_intsrc\_nmi,  hvm\_intsrc\_mce,  hvm\_intsrc\_vector  }; |

（2）客户机中的内核模块接收到来自VMM层提取模块的通知，定位可疑程序的可执行文件的位置，并将其拷贝到内存中。

|  |
| --- |
| 函数原型 |
| extern ssize\_t vfs\_read(struct file \*, char \_\_user \*, size\_t, loff\_t \*);  其中第一个参数表示文件对象；  第二个参数表示保存所读取文件信息的内存缓冲区；  第三个参数表示文件偏移 |

（3）客户机中的内核模块调用指令VMCALL，使得虚拟机发生VM-Exit，主动陷入到VMM层中。此时，VMM层的提取模块就可以获得可疑程序的文件信息。

|  |
| --- |
| VMCALL使用方式如下： |
| Push eax  Push ebx  Mov eax, number //超级调用号  Mov ebx, param1 //参数1  Vmcall  Pop ebx  Pop eax |

（4）VMM层的提取模块通过事件通道机制（使用函数send\_guest\_vcpu\_virq，该函数原型信息参见2.5.3章节）异步通知Dom0 中的内核模块。

（5）Dom0 中的内核模块通过超级调用读取提取模块。

|  |
| --- |
| Dom0内核使用超级调用的方式如下： |
| #define \_\_STR(x) #x  #define STR(x) \_\_STR(x)  extern char hypercall\_page[PAGE\_SIZE];  #define \_hypercall5(type, name, a1, a2, a3, a4, a5) \  ({ \  long \_\_res, \_\_ign1, \_\_ign2, \_\_ign3, \_\_ign4, \_\_ign5; \  asm volatile ( \  "call hypercall\_page + ("STR(\_\_HYPERVISOR\_##name)" \* 32)"\  : "=a" (\_\_res), "=b" (\_\_ign1), "=c" (\_\_ign2), \  "=d" (\_\_ign3), "=S" (\_\_ign4), "=D" (\_\_ign5) \  : "1" ((long)(a1)), "2" ((long)(a2)), \  "3" ((long)(a3)), "4" ((long)(a4)), \  "5" ((long)(a5)) \  : "memory" ); \  (type)\_\_res; \  }) |

（6）可执行文件被保存在Dom0中。

|  |
| --- |
| 函数原型 |
| extern ssize\_t vfs\_write(struct file \*, const char \_\_user \*, size\_t, loff\_t \*);  其中第一个参数表示文件对象；  第二个参数表示要写入文件的信息；  第三个参数表示文件偏移 |

（7）使用socket操作将文件从Dom0 发送到多环境分析平台。此时，我们可以使用FTP等网络行为，因为此时的可疑程序只是一个静态的二进制文件，并没有运行，所以它感知不到异常的网络行为。通过上述步骤，就将客户机中的可疑文件提取出来了。

## 4.2 可疑软件行为序列规范化

### 4.2.1 行为特征

当一个可疑程序在多环境分析平台上分析结束后，我们需要提取它的行为特征。Bayer等人提出了一种从系统调用调用序列中提取行为特征的方法。在本文中，将采用类似的方法。

借鉴Bayer等人提出的方法，本文将行为特征BP定义为一个四元组：

BP ：=（obj\_type, obj\_name, op\_name, op\_attr）

其中，obj\_type表示对象的类型，obj\_name表示对象的名字，op\_name表示操作的名字，op\_attr表示操作的属性，用于提供额外的信息。

Obj\_type又可以定义为如下形式：

Obj\_type ：= File（0）| Registry（1）| Syspath（2）| Process/Thread（3） | Network（4）

其中，类型File表示该BP是一个文件操作，比如创建文件等。类型Registry表示该BP是一个注册表键值操作。类型Syspath表示该BP是一个系统关键路径操作，例如%systemroot%路径。类型Process/Thread表示该BP是一个进程或线程操作，例如终止一个进程等等。类型Network表示该BP是一个网络操作，其中包括远端的IP和端口等信息。每一种类型都用整形0,1,2,3,4来表示，这可以减少随后进行行为比较的复杂度。

每一种操作都有自己的名字，通常用API来表示，例如NtDeviceIoControlFile等等。此外，我们需要一个额外的属性信息来区分该操作的具体含义。举个例子，socket系列的API在内核中统一使用 NtDeviceIoControlFile，因此，为了区分出到底是哪个API，我们需要一个额外的属性，如果我们将op\_attr设置为字符串“send”，那么我们就可以知道该网络操作API就是send函数，如果我们将op\_attr设置为字符串“recv”，那么我们就可以知道该网络操作API就是recv函数，依次类推。

### 4.2.2 规范化操作

为了消除不相干因素的影响，得到一个更加可靠的结果，我们有必要执行一些规范化的操作。众所周知，相同的对象在不同的系统环境下，表达形式可能有很大的差异性，而这些差异性会影响最终的结果判断。因此，我们可以执行下面的操作：

1）将行为特征统一表达为小写形式。相同的行为特征在不同的系统环境下通常有着不同的表达形式，有时候使用小写格式，有时候使用大写格式。为了消除这些差异性，本文统一采用小写格式。

2）将SID设置为一个固定值。注册表键HKEY\_USERS\<SID>是一个安全标识符，该值在不同的系统环境下通常也是不同的，为了消除该差异，本文统一设定固定值。

3）重复性检测。一些恶意软件通常会多次执行相同的行为，这会掩盖住真实的恶意行为。因此，如果检测到相同的行为执行了五次以上，就执行去重操作。

## 4.3 环境敏感型恶意代码算法检测模型

### 4.3.1 MBSS算法模型

为了对抗检测，环境敏感型恶意软件通常会执行很多的干扰行为。在不同的环境下，这些干扰行为通常都会出现。如果我们不进行处理，它们就会在行为序列中占据相当大的比例，进而影响相似性比对的结果。先前提出的方法，如Hierarchy Similarity算法等都没有考虑这些问题，有可能得出一个完全相反的结论。针对此问题，本文提出一种算法，命名为MBSS，该算法具有消除干扰行为的能力，使得相似性比较更准确且更具鲁棒性。

**算法模型**

令X= { x1,x2,x3,….xn }，Y= { y1,y2,y3,….ym }，其中x1~xn，y1~ym每一项都代表一个BP，所以集合X就代表了某个可疑软件在一个特定环境下的行为集合。令L（X）表示集合X的元素个数，L（Y）表示集合Y的元素个数，S = X ∩ Y表示集合X和集合Y的交集。本文定义如下递归式：

（1）

其中，

*cpt(X,Y) =*  （2）

在表达式（1）中，β为一个可配置的参数，本文将设计实验选择最优值。向量A是由集合X转换得到，同理，向量B是由集合Y转换得到，具体的转换方法会在后面的算法2中提及。*cpt(X,Y)*函数为基于文本相似度算法实现的集合X和集合Y去干扰操作后的相似度。因此*Sim*(X,Y)就表示集合X和集合Y去干扰操作后的相似度。关于如何去干扰操作，本文后面会进行详细阐述。

从上面的递归表达式，我们可以看出Sim（X,Y）取值范围为[0,1]。因此两个集合的偏离程度可以简单的定义如下：

*Dis*(X,Y)=1-*Sim*(X,Y) （3）

我们可以得出Dis的值范围为[0,1]，且当Dis值越接近0表明行为间的偏离程度越小，越接近1表明行为间的偏离程度越大。定义阈值t，当Dis > t时，表明该样本是环境敏感型，否则认为不是。

**消除干扰操作**

本文设计一种算法来消除干扰操作，具体步骤如下所示：

Step 1）从头开始扫描在不同环境下捕获的BP，如果发现了公共的BP，即四元组的每个元素都是相同的，那么记录此时的位置，继续执行该操作。

Step 2）根据记录的位置，从行为序列中逐项删除这些BP。

Step 3）循环执行步骤1，如发现仍有公共BP，则继续；否则，结束操作。

通过上述操作，即可以消除干扰性行为，只留下真实的恶意行为。最后实验结果表明，该方式效果良好。

本文使用Python实现了上述MBSS算法的伪代码。

|  |
| --- |
| **算法1：MBSS算法** |
| **输入：**一个可疑程序在多环境下的BP集合  **输出：**该可疑程序是否为环境敏感型的  1 def Judge（bp1, bp2）:  2 Dis = 1 – Sim（bp1, bp2）  3 if Dis > t:  4 return TRUE  5 else:  6 return FALSE  7 def Sim（bp1, bp2）:  8 if 0 < len（bp1）<= βand 0 < len（bp2）<= β:  9 return 1  10 elif len（bp1） == 0 and len（bp2） == 0:  11 return 0  12 lines = [line for line in bp1 if line in bp2]  13 if len（lines）== 0:  14 return cpt（bp1, bp2）  15 for line in lines:  16 bp1.remove（line）  17 bp2.remove（line）  18 return Sim（bp1, bp2） |

|  |
| --- |
| **算法2：函数cpt（）** |
| **输入：**去除干扰操作后的BP集合  **输出：**相似性分数  1 def cpt（bp1, bp2）:  2 word1 <- 将bp1 分割成单词集合  3 word2 <- 将bp2 分割成单词集合  4 allwords <- 对集合word1 和 集合word2取并集  5 vector1 = [], vector2 = []  6 for w in allwords:  7 if w in word1:  8 vector1.append(1)  9 else:  10 vector1.append(0)  11 if w in word2:  12 vector2.append(1)  13 else:  14 vector2.append(0)  15 return cosine（vector1, vector2） |

在算法1中，第3行的参数t 是一个阈值。第3~6行给出一个可疑软件是否为环境敏感型的判断结果，当Dis > t时，表明该可疑软件是环境敏感型，否则认为不是。第7~18行是本算法计算相似性分数的核心部分。第12行是为了在bp1和bp2中得到公共的BP。第13~14行表示如果没有公共的BP了的话，就开始计算相似性分数，具体的计算方法在算法2中实现。第15~17行表示如果还有公共的BP，那么就开始执行删除的操作，去除这些公共的BP。

在算法2中，第2~3行是为了将一个四元组的BP分割为单词集合。第6~14行将集合转换为向量，具体是如果一个元素不仅在集合allwords中，同时也在集合word1中，那么向量vector1就添加一个1，否则，添加一个0。第15行利用cosine相似性算法来计算相似性分数，有关Cosine相似性算法细节请参照章节2.6。

## 4.4 小结

本章对FindEvasion系统的实现进行了详尽的描述，包括基于虚拟化的恶意软件透明提取、可疑软件行为序列规范化和MBSS算法模型。不同于其他算法，MBSS算法具备抗干扰的能力，能够去除干扰行为的影响，使得最终的判断结果更加准确，在本章最后，给出了MBSS算法的伪代码实现，和部分代码讲解。

# 第五章 系统分析与测试

在本章将设计实验对FindEvasion系统进行系统分析与测试，首先会介绍实验的环境，包括工具版本，配置信息等，然后设计共四组实验来分别进行测试，并在每次实验后进行分析，最后给出本章小结。

## 5.1 实验环境介绍

实验的测试环境为：使用Xen-4.4.0来搭建云服务节点。在多环境分析平台中使用的Hypervisor环境同样的基于Xen来搭建，沙箱环境使用Sandbox来搭建。此外，使用windbg和ollyDbg来部署调试器环境，使用VMware Workstations12来部署虚拟机环境。同时，我们选择Windows 7 SP1（32位）来作为客户机操作系统，Ubuntu14.04 TLS内核版本3.16.0-30作为宿主操作系统，CPU型号为4核64位Intel Core i5-4590 3.3GHz。

本文使用精确度（Precision）和召回率（Recall）来评价检测效果。具体来说，假设在被检测方法判断为环境敏感型恶意样本中，实际为普通恶意样本的数量为FP，实际为环境敏感型恶意样本的数量为TP，在被检测方法判断为普通恶意样本中，实际为普通恶意样本的数量为TN，实际为环境敏感型恶意样本的数量为FN，精确度、召回率的定义如下：

本文一共设计四组实验，第一组实验是为MBSS算法找到最优的参数β值。第二组实验是通过precision-recall分析来评估MBSS算法。第三组实验是证明消除干扰行为对于检测环境敏感型恶意软件的有效性。第四组实验设计了大规模的测试，用于评估FindEvasion系统整体的可行性和实用性。

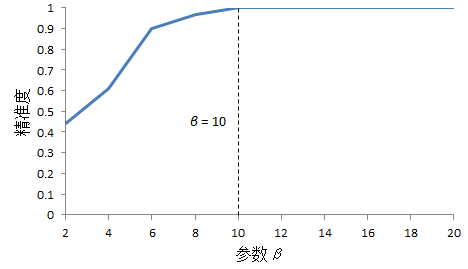
## 5.2 选择最优参数β

在本次实验中，为MBSS算法中的参数β选择一个最优值。

**数据集**

本文随机选择140个环境敏感型恶意软件和140个普通恶意软件作为本次实验的数据集。为简单起见，本文只考虑Win32 PE格式文件。

我们从多环境中提取上述样本的行为特征，并在区间[2,20]中依次调整参数β计算偏离分数。实验结果如图所示，我们可以清楚的看到当参数β超过8时，精确度就达到100%。根据本文提出的MBSS算法，当参数β的取值越高，相似性分数就会越大，偏离分数就会越小。也就是说，如果一个样本被判断为环境敏感型的，那么该判断结果一定是对的，并且精确度为100%。但是，从表达式（1）我们又可以看出，如果参数β选择值过高，相似性分数有很大概率为1，这就导致偏离分数为0，召回率相对来说就会低很多。综合考虑，参数β在区间[9,12]之间取值效果最佳。本文选择参数β的值为10。



## 5.3 评估MBSS算法

在本次实验中，评估本文提出的MBSS算法效果。作为对比，本文选择Hierarchical Similarity算法。

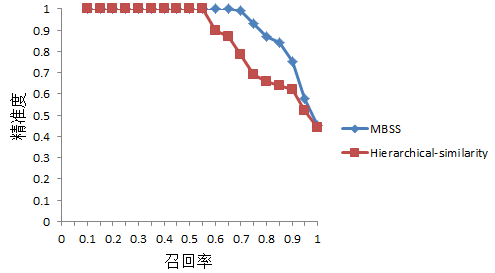
**数据集**

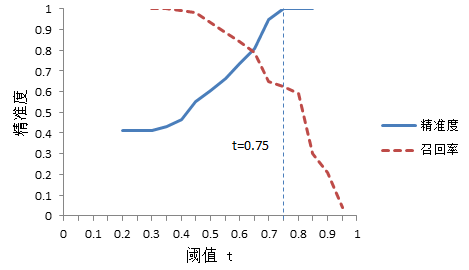
本文选择542个环境敏感型恶意软件和319个普通恶意软件，同样的，选择Win32 PE格式文件作为本次实验的数据集。

我们从多环境中提取上述样本的行为特征，并且使用MBSS算法和Hierarchical Similarity算法同时计算偏离分数。

本文通过动态调整阈值t来执行精准度-召回率分析。如果偏离分数超过阈值t，样本就会被认为是环境敏感型的。实验结果如图4所示。从图中我们可以清楚地看出，MBSS算法的检测效果更优。原因是因为干扰行为会影响环境敏感型恶意软件的检测，而我们提出的MBSS算法具备去除干扰行为的能力。在接下来的实验中，我们将验证去除干扰行为的有效性。

通过对阈值t动态调整，图5展示了MBSS算法的精准度和召回率特征。从图中我们可以清楚的看到，当阈值t取0.75时，可以得到100%的精准度和60%的召回率结果。相比较与Hierarchical Similarity算法，在精准度相同的情况下，本算法的召回率提高了20%左右。





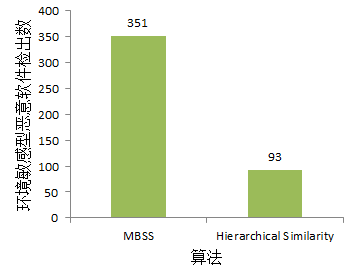
## 5.4 验证去除干扰行为的有效性

由于Hierarchical Similarity算法没有考虑干扰行为的影响，我们可以选择该算法作为参考，通过比较两种算法下环境敏感型恶意软件的检出数量来验证去除干扰行为的有效性。

**数据集**

本文挑选380个环境敏感型恶意软件作为本次实验的数据集。每个恶意软件都执行了大量的干扰行为。同样的，本文只考虑Win32 PE格式文件。

我们从多环境中提取上述样本的行为特征，并使用MBSS算法计算偏离分数。本文使用阈值t=0.75，参数β=10，这些都是通过上述实验得到的最优值。同时，本文也采用Hierarchical Similarity算法计算偏离分数。比较结果如图所示。从图中我们可以看出，MBSS算法的检出数量更多，一共检测出351个环境敏感型恶意软件，所占比例为92.4%，而Hierarchical Similarity算法只检测出93个环境敏感型恶意软件，所占比例为24.5%。也就是说，如果一个环境敏感型恶意软件执行了大量的干扰行为，那么本文提出的MBSS算法检测效果更好。这也证明了去除干扰行为有助于检测环境敏感型恶意软件。



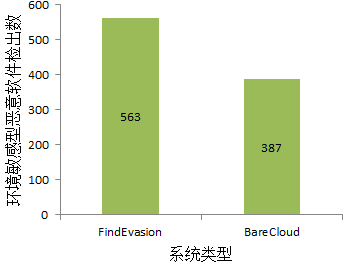
## 5.5 大规模测试

本次实验主要是采用大规模数据集来评估FindEvasion系统的可行性和可用性。为了更好的看出效果，采用BareCloud系统作为对比。

**数据集**

从VXHeaven Virus Collection公开网站上免费下载恶意软件样本，共7257个，同样的，只考虑Win32 PE格式文件。需要指出的是，由于我们不清楚数据集的背景，所以本文无法提供检测的精准度和召回率。

将相同的数据集同时运行在FindEvasion系统和BareCloud系统上，两个系统会做出相应的判断结果。结果如图所示，我们可以清楚的看出FindEvasion系统比BareCloud系统多检测出176个环境敏感型恶意软件。通过手动的逆向分析，我们确认这些样本确为环境敏感型恶意软件。



## 5.6 小结

# 第六章 总结和展望

## 6.1 本文研究工作总结

在云计算日益发展的今天，越来越多的私密信息和高商业价值信息被迁移到云端，这对于恶意代码有着极大的吸引力。恶意软件不仅能够攻击云用户，甚至底层平台来窃取云用户的私密信息，极大的影响了云计算的运营建设。在众多的恶意代码当中，有一类环境敏感型恶意代码，该类型恶意代码具有相当的智能性，能够识别当前所处的环境，并根据环境的不同执行相应的恶意操作。这导致检测环境敏感型恶意软件及其困难。

为解决上述问题，本文提出了一种面向云平台的环境敏感型恶意软件检测架构。通过建立可疑程序动态运行的软件行为模型，设计多环境下可疑程序的软件行为相似度，综合分析判断可疑程序是否具备环境敏感能力。该方法能够有效的检测出云平台中运行的一个程序是否是一个环境敏感型恶意代码。为了识别出环境敏感型恶意软件，本文主要做了以下工作：

1）为了使得环境敏感型恶意软件暴露出在不同环境下的行为偏离特征，本系统部署了多种类环境，包括沙箱，Hypervisor，调试器，VMware等等，通过在多个环境下进行同一恶意软件的行为分析，有利于发现环境敏感型恶意软件的行为偏离特征。

2）为了解决环境敏感型恶意软件执行大量干扰行为所带来的影响，本文提出了MBSS算法来去除干扰行为，只留下真实的恶意行为来使得检测更加准确可靠。MBSS算法基于Cosine相似度算法，用于比较同一恶意软件在多个环境下的行为序列，并计算它们之间的相似程度，若相似程度低，则表示该恶意软件不具备环境敏感特征，否则，表示该恶意软件即环境敏感型恶意软件。

3）为了从云平台客户机中提取出可疑软件进行分析，不同于传统的FTP等方式，本文重分利用虚拟化技术，根据Intel VT提供的事件注入机制，可以无感知透明的提取可疑软件。

经实验验证，相比较与其他的系统，本系统能够准确的识别出环境敏感型恶意软件。本系统在100%精确度下，召回率能够达到60%。相较于现有的系统，召回率提高了大约20%左右。

## 6.2 本文研究工作展望

本文实现了一种适用于云平台的环境敏感型恶意软件检测系统，能够准确的检测出云平台客户机中的可疑软件是否为环境敏感型的。然而，在设计和实现过程中，还有以下几点需要完善：

1）缺少人机交互能力。在未来本系统需要加入人机交互能力，使得系统更加智能化，加入了人的参与和控制，会使得检测更加准确可靠。

2）对于具备“stall code”能力的恶意软件缺乏检测能力。目前来讲，具备“stall code”的恶意软件是所有动态分析系统的检测盲点。常规的动态分析系统通常只会分析5~10分钟，而具备该能力的恶意代码可以在该事件段内执行while循环语句，消耗掉相当长的CPU时间，进而躲避检测。未来需要针对该情况，提出解决办法。

3）日志文件需要记录攻击源头，如IP等。目前恶意软件通常是C&C的，攻击者通过在远端进行命令控制进行攻击，本系统需要记录网络行为，进而发现远端控制的IP、端口等信息，并记录下来。

# 参 考 文 献

# 致 谢

本论文是在我的导师贾晓启研究员和黄庆佳助理研究员的亲切关怀和悉心教导下完成的。在中科院信工所三年的研究生学习生涯，使我受益匪浅、感触颇多。在研究生阶段，良好的科研氛围使我学会了如何撰写学术文章，并在实验室的资助下去往捷克布拉格参与学术会议交流，开阔了眼界，增长了见识。与此同时，组里项目的锻炼让我对所学知识有了更加深入的了解，真正做到了学以致用，掌握了未来工作中适用的各种技能，再次感谢一路上给予我支持和帮助的敬爱的老师和亲爱的同学们。

三年的研究生时光过得飞快，从研一到研三，认识了很多来自天南地步的伙伴，也结识了很多的伙伴，特别是研一住在同一栋公寓里的李健、侯伟涛、杨坤、周梦源、魏子豪、孙硕、蔡子夕和张元瞳等人，他们的乐观、自信深深感染了我，学到了很多。

还有组内的师弟师妹和员工们，台建伟、何运、王畅、周启航等在一块做项目、交流学习，其乐融融，刘冠廷、谢静、杜海超等职工对我工作、生活上的帮助，感谢他们一直的陪伴和支持，让我能够在紧张而又快乐的氛围中学习和成长。

最后，感谢陪伴我的家人，感谢他们的支持和关怀，在此衷心的祝愿我的家人们身体健康，开心快乐。

即将走上社会，开启新的生活，愿自己所学能够回报社会，愿未来的每一天都顺心如意，开心快乐！

# 个人简历、在学期间发表的论文与研究成果

一、作者简历

2011年9月到2015年7月，在重庆大学计算机学院获得学士学位

2015年9月到2018年6月，在中国科学院信息工程研究所攻读硕士学位

二、在学期间发表的论文

Jia X, Zhou G, Huang Q, et al. FindEvasion: An Effective Environment-Sensitive Malware Detection System for the Cloud[C]// International Conference on Digital Forensics and Cyber Crime. Springer, Cham, 2017:3-17.

三、在学期间参见的工程项目、申请的专利

参与的项目：

基于虚拟化的系统行为分析。负责Centos操作系统行为捕获方法的研发。

获奖情况：

2017年 中国科学院大学信息工程研究所优秀学生

申请专利：

一种面向云环境的环境敏感型恶意软件分析检测方法和系统（201711419211.9，已受理）。贾晓启，黄庆佳，台建玮，周广哲，武希耀，白璐，赵崇名，刘冠廷

一种抗干扰的环境敏感型恶意软件行为相似性评测方法和装置（201711420183.2，已受理）**。**贾晓启，黄庆佳，台建玮，周广哲，杜海超，唐静，周梦婷，解亚敏