KCon

2019

Zhanlu Lab, Tencent Inc.

针对Docker容器网络的ARP欺骗与中间人攻击

演讲人：王凯 Kame Wang

关于我

- 王凯，Kame Wang；
- 腾讯安全湛泸实验室高级研究员；
- 中国科学院大学信息安全博士；
- 研究兴趣包括：云安全、移动安全、区块链、自动化漏洞挖掘。

腾讯湛泸实验室
TENCENT ZHANLU LAB

目录
CONTENTS

01 PART 01 **研究背景**

02 PART 02 **本地测试**

03 PART 03 **云端测试**

04 PART 04 **讨论与总结**

PART.01

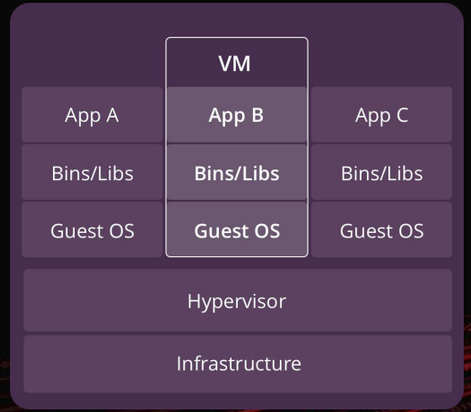
CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, AND CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ON ADD RELATED TITLE WORDS.

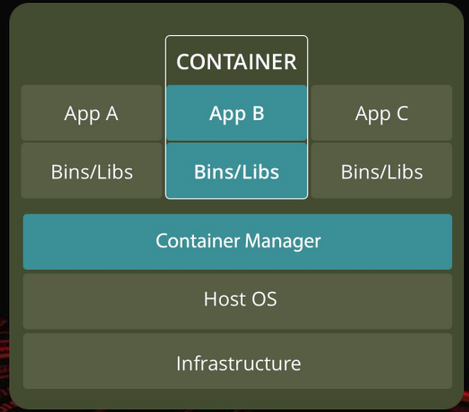
研究背景

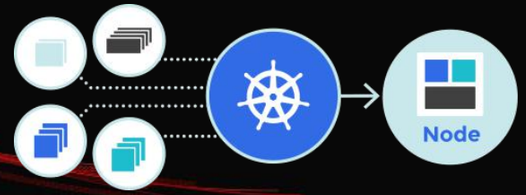
- Docker及其虚拟网络
- ARP欺骗与中间人攻击

容器技术简介

- 共享底层操作系统的进程间隔离技术
- 底层技术：Namespace、Cgroup …
- 优缺点 (vs 虚拟化技术)：
  - ✓ 优点：低成本、高效率、易部署
  - ✓ 缺点：共享内核，隔离不充分







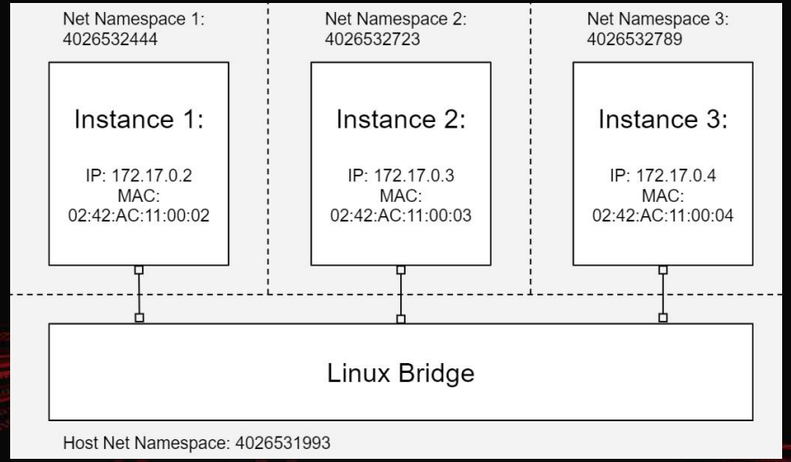
Docker容器网络

- 系统向Docker实例提供网络通信能力

  ① 宿主系统虚拟网桥（bridge）;

  ② 宿主系统创建一对虚拟网口;

  ③ 将虚拟网口分别添加到Docker实例和虚拟网桥.



ARP欺骗

- 网络通信基于IP地址 vs 网卡接受数据基于Mac地址
- ARP表： IP地址 -> MAC地址
- ARP查询与反馈

```
Who has 172.17.0.2? Tell 172.17.0.3
172.17.0.2 is at 02:42:ac:11:00:04
```

- ARP欺骗： ARP数据包真实性无法验证

```
/ # arp -a
? (172.17.0.4) at 02:42:ac:11:00:04 [ether]  on eth0
? (172.17.0.1) at 02:42:fa:4f:be:25 [ether]  on eth0
```

```
/ # arp -a
? (172.17.0.4) at 02:42:ac:11:00:04 [ether]  on eth0
? (172.17.0.2) at 02:42:ac:11:00:04 [ether]  on eth0
? (172.17.0.1) at 02:42:fa:4f:be:25 [ether]  on eth0
```

中间人攻击

- 以ARP欺骗为基础可实现局域网内的中间人攻击

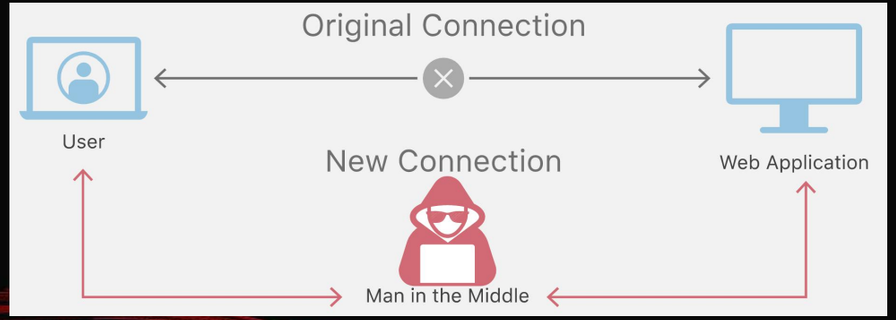
  例：欺骗受害者，使其ARP缓存表中网关IP对应Mac地址遭到篡改。

- 中间人攻击的传统实现思路

  使用原始套接字，在数据链路层进行数据帧的收发、监控和修改。

- 攻击场景举例

  钓鱼攻击、会话劫持、Https中间人攻击……



在Docker容器网络里也是这样的吗?

PART.02

CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, AND CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ON ADD RELATED TITLE WORDS.

本地测试

- 测试环境搭建
- ARP欺骗的实现方法及成功条件
- 中间人攻击的实现方法及成功条件

本地测试环境的搭建

- 创建3个Docker容器实例 (Ubuntu映像):

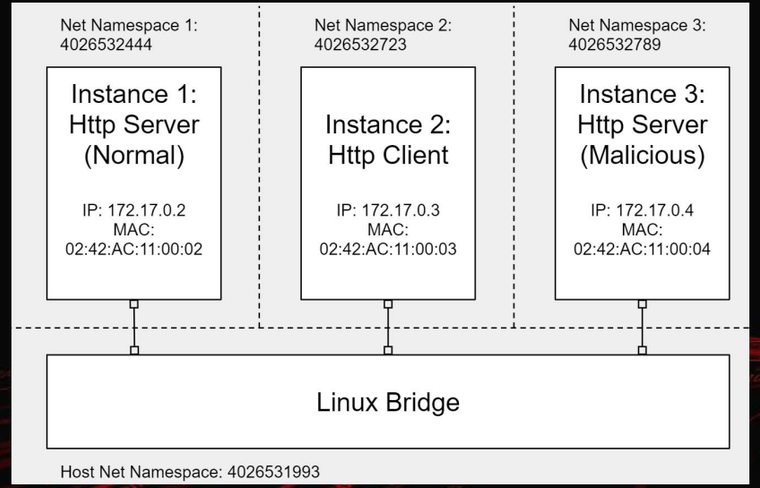
① 正常服务（No.1），正常Http服务器;

② 受害者（No.2），向正常服务器发送Http请求;

③ 攻击者（No.3），进行ARP欺骗和中间人攻击。

- 中间人攻击PoC效果:

  实现服务内容的篡改。



// 直接请求正常服务

/ # wget -O - 172.17.0.2

Connecting to 172.17.0.2 (172.17.0.2:80)

hello from **NORMAL server.**

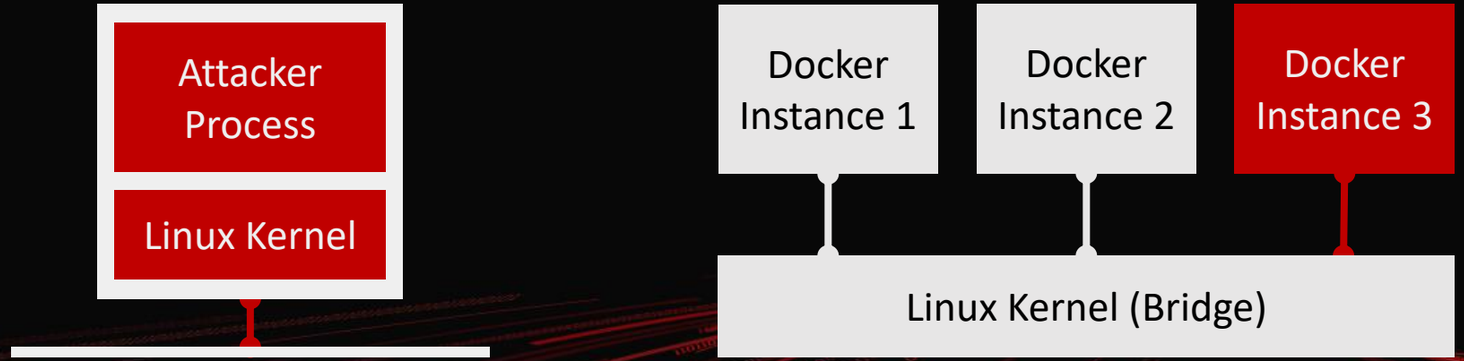
// 直接请求攻击者的恶意服务

/ # wget -O - 172.17.0.4

Connecting to 172.17.0.4 (172.17.0.4:80)

hello from **MIMA server.**

基于设备 VS 基于Docker的攻击



ARP欺骗的实现方法

① 创建原始套接字：操控数据链路层数据。

② 构造数据帧头部：

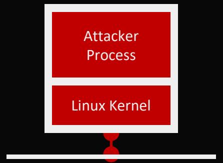
目的Mac为受害者，源Mac为攻击者。

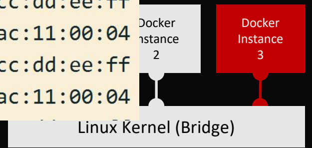
③ 构造ARP包数据（即数据帧内容）：

目的IP为受害者IP，源IP为伪造目标（正常服务器）IP。

④ 重复发送上述恶意构造的数据包.

Source Mac	Dest Mac	Protc	Info
02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ARP	172.17.0.2 is at 02:42:ac:11:00:04
aa:bb:cc:dd:ee:ff	02:42:ac:11:00:02	ARP	172.17.0.3 is at aa:bb:cc:dd:ee:ff
02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ARP	172.17.0.2 is at 02:42:ac:11:00:04
aa:bb:cc:dd:ee:ff	02:42:ac:11:00:02	ARP	172.17.0.3 is at aa:bb:cc:dd:ee:ff
02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ARP	172.17.0.2 is at 02:42:ac:11:00:04
aa:bb:cc:dd:ee:ff	02:42:ac:11:00:02	ARP	172.17.0.3 is at aa:bb:cc:dd:ee:ff
02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ARP	172.17.0.2 is at 02:42:ac:11:00:04
aa:bb:cc:dd:ee:ff	02:42:ac:11:00:02	ARP	172.17.0.3 is at aa:bb:cc:dd:ee:ff
02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ARP	172.17.0.2 is at 02:42:ac:11:00:04





ARP欺骗的成功条件

- 原始套接字的使用条件：

① UID: 0 (i.e. Root)

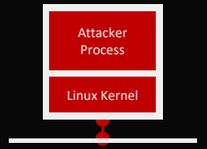
② CAP_NET_RAW

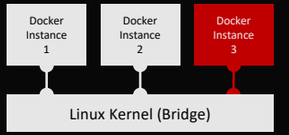
- 关于Root用户的权限限制：

✓ Linux capabilities (2.2版本引入)

✓ 粗粒度 -> 细粒度

✓ /proc/{pid}/status or getcaps {pid}





中间人攻击的方法与条件

方法1：修改IP地址

- 关键指令：

```
ifconfig eth0 172.17.0.2
```

- 成功条件：

① Root

② CAP_NET_ADMIN

方法2：添加子IP

- 关键指令：

```
ifconfig eth0 add 172.17.0.2
```

- 成功条件：

① Root

② CAP_NET_ADMIN

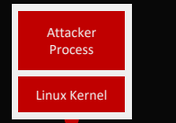
方法3：利用Netfilter实现NAT

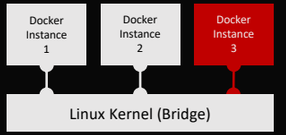
- 关键指令：

```
iptables -t nat -A PREROUTING -d
172.17.0.2 -j DNAT --to 172.17.0.4
```

- 成功条件：

① Root　　② CAP_NET_ADMIN





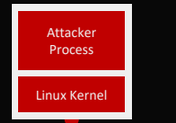
中间人攻击的方法与条件

方法4：原始套接字 + 网卡级混杂模式

- 关键代码：

```
sock = socket(PF_PACKET, SOCK_RAW, htons(ETH_P_ALL));
ifr.ifr_flags |= IFF_PROMISC;
ioctl(sock, SIOCSIFFLAGS, &ifr);
```

- 成功条件：Root + CAP_NET_RAW + CAP_NET_ADMIN

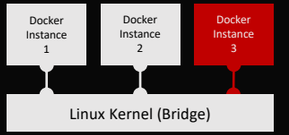


方法5：原始套接字 + 套接字级混杂模式

- 关键代码：

```
sock = socket(PF_PACKET, SOCK_RAW, htons(ETH_P_ALL));
mr.mr_type = PACKET_MR_PROMISC;
setsockopt(sock, SOL_PACKET, PACKET_ADD_MEMBERSHIP, &mr, mrsz);
```

- 成功条件：Root + CAP_NET_RAW



中间人攻击的方法与条件 -- 小结

方法	Root	NET_ADMIN	NET_RAW
修改IP	√	√	
添加子IP	√	√	
NAT转换IP	√	√	
原始套接字 & 网卡混杂	√	√	√
原始套接字 & 套接字混杂	√		√

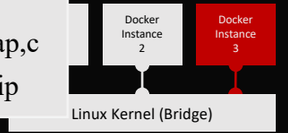
***：本地测试环境中的权限查看（Ubuntu映像）**

 # ps -ef

```
UID        PID  PPID  C STIME TTY          TIME CMD
root         1     0  8 02:46 pts/0    00:00:00 /bin/bash
root        12     1  0 02:46 pts/0    00:00:00 ps -ef
```

 # getpcaps 1

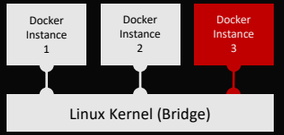
Capabilities for `1': =
cap_chown,cap_dac_override,cap_fowner,cap_fsetid,cap_kill,cap_setgid,cap_setuid,cap_setpcap,cap_net_bind_service,**cap_net_raw**,cap_sys_chroot,cap_mknod,cap_audit_write,cap_setfcap+eip



不受控内核带来的小麻烦

No.	Source IP	Dest IP	Source Mac	Dest Mac	Protoc	Info
168	172.17.0.3	172.17.0.2	02:42:ac:11:00:03	02:42:ac:11:00:04	TCP	55496 → 80 [SYN] Seq=0 Win=29
173	172.17.0.4	172.17.0.3	02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ICMP	Redirect (Redirec
174	172.17.0.3	172.17.0.2	02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:02	TCP	[TCP Out-Of-Order] 55496 → 80

- 混杂模式下的原始套接字是“并联”的，无法影响内核正常处理流程；
- 不受控内核判定No.168数据帧不应由本地接受，导致No.173-174发出。
- ICMP重定向消息影响不大；
- TCP转发机制会带来攻击者与正常服务器之前时间竞争。



小麻烦的解决方案

- 思路：阻断服务器向客户端发送响应数据的途径；
- 手段：针对正常Http服务的ARP欺骗。

实例1（服务器）上被毒化得ARP缓存：

```
root@9a57a2bb0ff3:/# arp -a
? (172.17.0.4) at 02:42:ac:11:00:04 [ether] on eth0
? (172.17.0.3) at aa:bb:cc:dd:ee:ff [ether] on eth0
? (172.17.0.3) at aa:bb:cc:dd:ee:ff [ether] on eth0
```

No.	Source IP	Dest IP	Source Mac	Dest Mac	Protoc	Info
168	172.17.0.3	172.17.0.2	02:42:ac:11:00:03	02:42:ac:11:00:04	TCP	55496
173	172.17.0.4	172.17.0.3	02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	ICMP	Redire
174	172.17.0.3	172.17.0.2	02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:02	TCP	[TCP C
175	172.17.0.2	172.17.0.3	02:42:ac:11:00:02	aa:bb:cc:dd:ee:ff	TCP	80 → 5
176	172.17.0.2	172.17.0.3	02:42:ac:11:00:04	02:42:ac:11:00:03	TCP	[TCP C

中间人攻击Demo

实例2（客户端）上被毒化的ARP缓存与被篡改的Http响应：

```
root@0b3b65b2b57f:/# arp -a

? (172.17.0.2) at 02:42:ac:11:00:04 [ether] on eth0
? (172.17.0.2) at 02:42:ac:11:00:04 [ether] on eth0
root@0b3b65b2b57f:/#
root@0b3b65b2b57f:/# wget -O - 172.17.0.2
--2019-08-16 01:55:11--  http://172.17.0.2/
Connecting to 172.17.0.2:80... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 25 [text/html]
Saving to: 'STDOUT'

-                     0%[                    ]       0  --.-KB/s
hello from MIMA server.
-                   100%[===================>]      25  --.-KB/s    in 0s

2019-08-16 01:55:11 (493 KB/s) - written to stdout [25/25]
```

```
176 172.17.0.2  172.17.0.3  02:42:ac:11:00:04  02:42:ac:11:00:03  TCP  [TCP Out-Of-Order
183 172.17.0.2  172.17.0.3  02:42:ac:11:00:04  02:42:ac:11:00:03  TCP  80 → 55496 [ACK]
184 172.17.0.2  172.17.0.3  02:42:ac:11:00:04  02:42:ac:11:00:03  TCP  [TCP Retransmissi
188 172.17.0.2  172.17.0.3  02:42:ac:11:00:04  02:42:ac:11:00:03  TCP  [TCP Retransmissi

0  02 42 ac 11 00 03 02 42  ac 11 00 04 08 00 45 00   ·B·····B ·····E·
0  00 4d e4 71 40 00 40 06  fe 11 ac 11 00 02 ac 11   ·M·q@·@· ········
0  00 03 00 50 d8 c8 ba db  23 35 9b d6 50 4a 80 18   ···P···· #5··PJ··
0  00 eb 47 57 00 00 01 01  08 0a 5d 56 0c ff f9 50   ··GW···· ··]V···P
0  e0 03 0a 68 65 6c 6c 6f  20 66 72 6f 6d 20 4d 49   ···hello  from MI
0  4d 41 20 73 65 72 76 65  72 2e 0a                  MA serve r.·
```

PART.03

CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, AND CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ON ADD RELATED TITLE WORDS.

云端测试

- 被测云服务的选取
- 主流云厂商的测试
- 攻击PoC

被测目标的选取

- 被测目标的选择原则：
  - ✓ 恶意攻击可以影响到其他用户的Docker容器；
  - ≈ 不同用户的Docker实例运行于同一宿主机上。

- 常见云厂商Docker服务：
  - ✓ ~~单纯的Docker容器服务；~~
  - ✓ ~~基于K8S进行集群化部署的容器化服务程序。~~
- 不符合需求的原因：
  - ✓ Docker实例部署于用户自有云主机；
  - ✓ Docker实例内进程的UID与权限因用户配置而异。

- FaaS（Function as a Service, 函数服务）：
  - ✓ 一种新型云服务场景；
  - ✓ 为用户函数提供云端执行服务，支持NodeJS、Python等语言；
  - ✓ 基于Docker容器实现函数执行环境的隔离；
  - ✓ 不同用户函数的Docker实例可能共享宿主机。

平台名称	服务名称
腾讯云	无服务器云函数 SCF
阿里云	函数计算
华为云	函数工作流
百度云	函数计算 CFC
IBM	Cloud Functions
AWS	AWS Lambda
GCP	Cloud Functions

```
15:32:09.004 Hostname: localhost
15:32:09.004 IP: 127.0.0.1
15:32:09.004 MAC:29:db:a2:d9:f3:df
15:32:09.004 Get Route Info:
15:32:09.194 STDOUT:
15:32:09.194 Iface Destination Gateway Flags RefCnt Use Metric Mask MTU Window IRTT
15:32:09.194 STDERR:
15:32:09.195
15:32:09.196 Get ARP Info:
15:32:09.395 STDOUT:
15:32:09.395 IP address HW type Flags HW address Mask Device
15:32:09.395 STDERR:
15:32:09.395
15:32:09.396 Get Dev Info:
15:32:09.784 STDOUT:
15:32:09.784 Inter-| Receive | Transmit
15:32:09.784 face |bytes packets errs drop fifo frame compressed multicast|bytes pac
15:32:09.784 eth0: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15:32:09.784 eth1: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15:32:09.784 eth2: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15:32:09.784 lo: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

KCon

- 常见风险防范手段：
  - ✓ UID ≠ 0；
  - ✓ Root用户无CAP_NET_RAW；
  - ✓ *极度受限的执行环境(GCP)。*

某云厂商FaaS平台攻击PoC

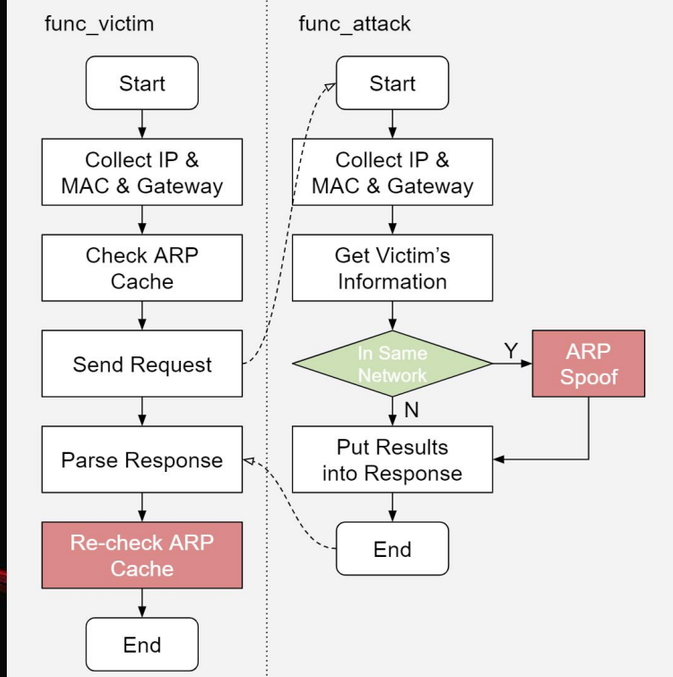
- 函数代码执行进程满足攻击条件：
  - ✓ UID == 0 & CAP_NET_RAW 权限。
- 真实云环境测试原则：
  - ✓ 不影响正常用户的使用；
  - ✓ 不对平台带来其他影响。

Before attack, check ARP records.

IP address	HW type	Flags	HW address	Mask	Device
172.16.109.1	0x1	0x2	0a:58:ac:10:6d:01	*	eth0

In one same network, recheck ARP records.

IP address	HW type	Flags	HW address	Mask	Device
172.16.109.30	0x1	0x2	aa:bb:cc:dd:ee:ff	*	eth0
172.16.109.1	0x1	0x2	0a:58:ac:10:6d:01	*	eth0



KCon

PART.04

CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, AND CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ADD RELATED TITLE TEXT, CLICK ON ADD RELATED TITLE WORDS.

讨论与总结

讨论与总结

- FaaS上进一步攻击的思路拓展：
  - ✓ 信息窃取：基于数据包嗅探；
  - ✓ 网络探测：基于端口扫描、网络结构探测；
  - ✓ 关键设施攻击：如K8S的部分功能模块。
- FaaS架构的安全加固：
  - ✓ 基于微内核 or 虚拟机，隔离不同用户的Docker容器。
- Docker容器内实施ARP欺骗与中间人攻击的总结：
  - ✓ 能力受限：UID + Capbility；
  - ✓ 行为受限：IP Forward内核行为无法禁止；
  - ✓ 受害者功能网络化：云平台上的容器实例多依赖网络通信；
  - ✓ 节点生命周期更灵活：Docker实例灵活的调度机制。

谢谢观看

演讲人：王凯 （Kame Wang）

Email：kamewang@tencent.com