上海交通大學
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

KASLR in the age of MicroVMs

EuroSys 2022

Benjamin Holmes, Jason Waterman, Dan Williams

2022 年 5 月 6 日

第一部分

Outline

Outline

microVM 很关注启动速度，因此 microVM 通常省略 bootstrap 步骤，直接进入虚拟机 kernel 中启动，但是这使得 vm 缺少了 KASLR 的保护。

这篇文章分析了为什么不能够在 bootloader 过程中实现 KASLR，并且将 KASLR 的功能实现在 monitor 中，取得了能够接受的性能开销。

第二部分

Background

microVMs

上海交通大學 SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

microVMs: 常用于 serverless 中，运行时间短，必须能够快速启动。之所以是 vm 而不是 container 是因为 vm 的安全性更高。

Booting a microVM

通过 bootloader 启动 bzImage

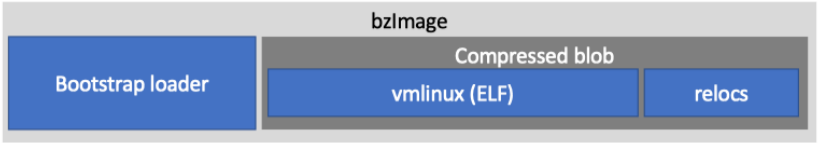


Figure 2. Components of Linux bzImage

Booting a microVM

kernel 直接启动

Modern 的 VM monitors(Fire-cracker, Cloud Hypervisor, QEMU) 都支持跳过 bootstrap 直接启动一个未被压缩的 kernel，而不是 bzImage。
直接启动 vm 的 kernel 将不能够给 vm 实现 KASLR。

KASLR

KASLR 是对在 kernel 启动的时候对整个 kernel 做一个基地址随机化，来抵抗 ROP 攻击。
KASLR 的两个主要问题不再是问题:

- KASLR 在 kernel 运行过程中只进行一次（启动时）随机化: microVMs 本身运行时间很短
- KASLR 粒度太大，一旦发生了内核地址泄漏，整个内核的 KASLR 就相当于无用: kptr_restrict, FGKASLR

Bring back KASLR to microVM

KASLR 作为防止 OS 受到攻击的关键措施之一，并且自身的很多问题得到解决，所以作者强调 KASLR 还是有用武之地的。作者认为应该为 microVM 实现 KASLR。

第三部分

Contribution

Contribution 1: 指出 microVM 缺少 KASLR

上海交通大學 SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

microVM 缺少 KASLR 的保护，作者指出了这一点，并说这是他们的贡献之一。

Contribution 2: 分析了为什么不能够在 bootstrap 中实现 KASLR

由于 bootstrap 启动的 bzImage 是压缩的，而 direct boot 的 kernel image 是未经过压缩的，作者首先研究 compress 对于 microVM kernel 启动时间的影响。

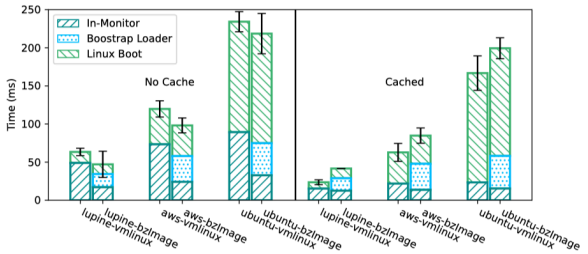


Figure 4. Boot times for compressed (with LZ4) and uncompressed kernels

实验 1

分析有无 cache 的情况下，bootloader boot 和 direct boot 哪个更快

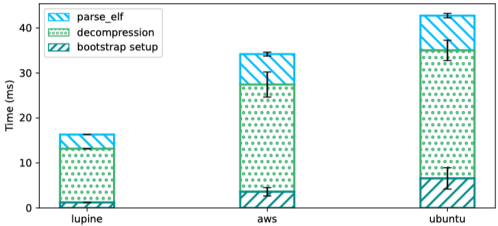


Figure 5. Breakdown in cost of in the Linux bootstrapping process

实验 2

分析 bootloader 中时间花在了哪些步骤

既然 bootloader 中的主要时间是花在了解压缩上，而 bootloader 又是现阶段 KASLR 基于的工具，那一个直接的想法就是 bootloader 不需要解压缩，直接 load 一个 uncompressed kernel，进行地址随机化就行。这样启动时间就会比 bzImage 好很多，事实上是否如此呢？

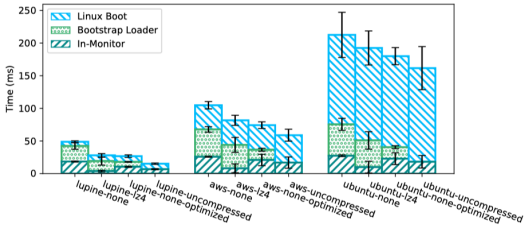


Figure 6. Bootstrap timings comparing LZ4 to compression "None".

实验 3

bootloader 加载未经过压缩的 kernel(不解压，直接 copy)

性能甚至比加载压缩的 kernel 还要差，作者修改了 bootloader 后，跳过了两次多余的 image 拷贝后，再次测试：

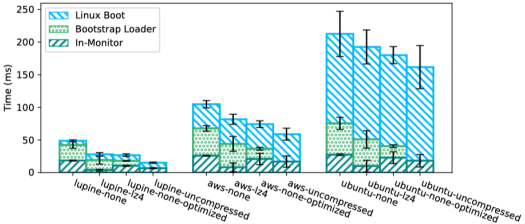


Figure 6. Bootstrap timings comparing LZ4 to compression "None".

实验 4

优化 bootloader 后的启动时间

none-optimized 依旧比 uncompressed 要慢，作者认为 bootloader 中实现 KASLR 是不可行的。于是引入了他们的设计 in-monitor KASLR。

Contribution 3: 提出了在 monitor 中为 vm 实现 KASLR 的设计，并在 Firecracker 中实现

核心的设计是在 monitor 中完成原来在 bootloader 中完成的 parse ELF 和重定位这两个事情。然后直接跳转到 guest kernel 中运行。

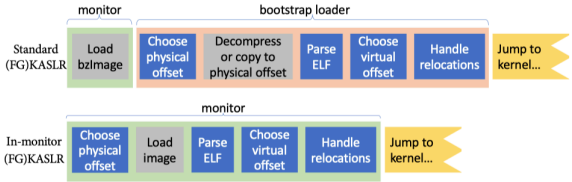


Figure 7. In-monitor KASLR eliminates expensive/redundant bootstrapping.

相当于除了解压缩其他 bootloader 做的事情都在 monitor 中完成

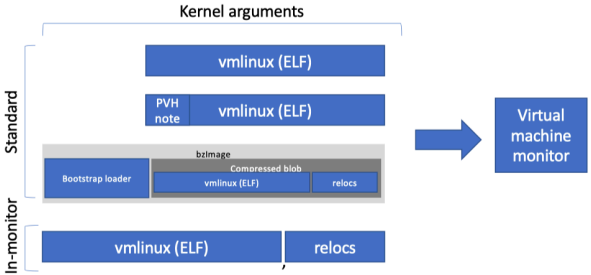


Figure 8. Possible kernel input to microVMs. In-monitor KASLR takes an uncompressed kernel with relocation information.

为了完成 relocation 需要额外的 input 信息 (bzImage 里面的 relocs)

第四部分

Implementation

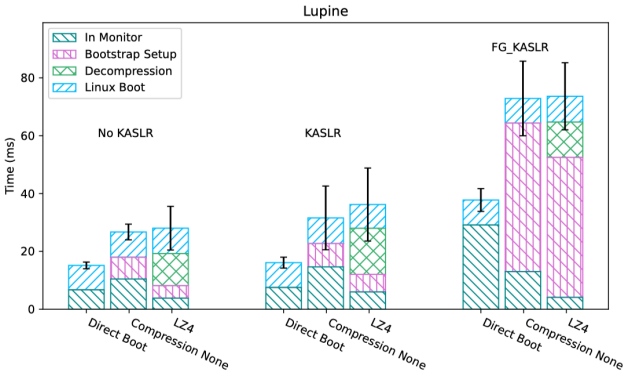
实现

在 Fire-cracker v0.26 中实现了 in-monitor 的 KASLR 与 FGKASLR。
KASLR 不超过 200 行，FGKASLR 不超过 1000 行。
简要介绍下实现上的一些点:

- 重定位后不立刻更新/proc/kallsyms,ORC stack unwinder table(用于 stacktrace)。因为 micro-VMs 的应用程序其实不会访问它。
- vmlinux.relocs 由 kernel build 程序直接生成，monitor 直接读就好
- 直接使用 Rust 语言提供的随机数
- hardcode 内核启动参数 (实现还不完备)

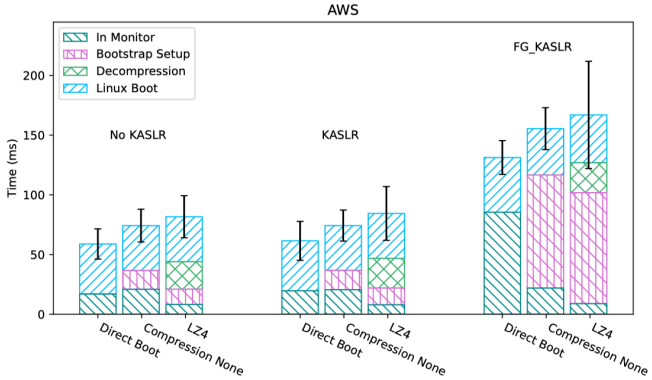
第五部分

Evaluation



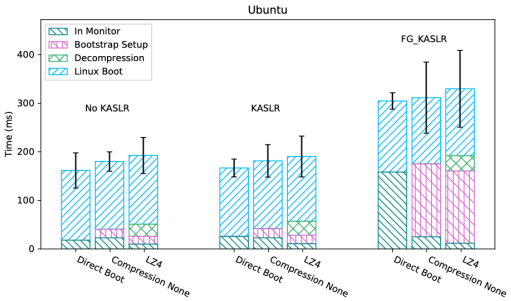
(a) Lupine kernel config

图: lupine kernel 代表 single-purpose 很小的 kernel config，用于 unikernel-based environments



(b) AWS kernel config

图: AWS kernel 指 FireCracker 上 vm 用的 kernel config，代表 micro-vm 的配置



(c) Ubuntu kernel config

图: Ubuntu 是 Ubuntu 18.04 的 config，代表 kernel 发行版的配置

in-monitor KASLR 相对于之前提到过的修改过的 bootloader 实现 KASLR 的方式比起来在 Luping，AWS 和 Ubuntu 分别有 15ms, 13ms, 16ms 的启动时间提升。相比于传统的 bzImage boot 则分别有 20ms, 23ms, 25ms 的启动时间提升。

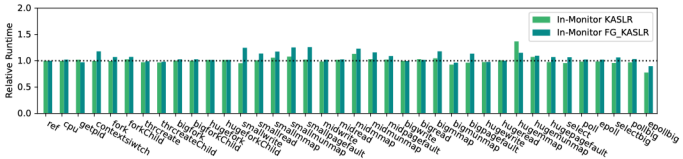


Figure 11. Relative runtime on LEBench kernel microbenchmarks between the baseline *aws-nokaslr* and a KASLR-enabled kernel needed by in-monitor KASLR *aws-kaslr* shows low impact on overall system performance.

通过 in-monitor 中实现 KASLR 对整体性能的 overhead 很小，通过 LEBench microbenchmarks 测试得出 KALSR 仅有不到 1% 的运行时间影响，FGKASLR 会慢上大约 7%。

第六部分

Discussion

当前的工作是建立在有 cache 的情况下未压缩的 kernel image 比 bzImage 启动更快的前提下，但是在 unikernel 的情况下，每个 app 对应一个 kernel，这时候没有足够的 cache 缓存 kernel image。这可能导致这种情况下重新在 bootloader 实现 KASLR 更佳

第七部分

Conclusion

总结

- 为 microVM 在 monitor 中实现了 (FG)KASLR
- 在 monitor 中实现 KASLR 是一个非常直接的想法
- 在 monitor 中 KASLR 实现是一个比较工程的问题
- 论文也并没有表现出它们有哪些创新的设计，反而将很大的篇幅介绍背景，motivation 和测试步骤。

上海交通大學
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

谢 谢

Benjamin Holmes, Jason Waterman, Dan Williams · KASLR in the age of MicroVMs