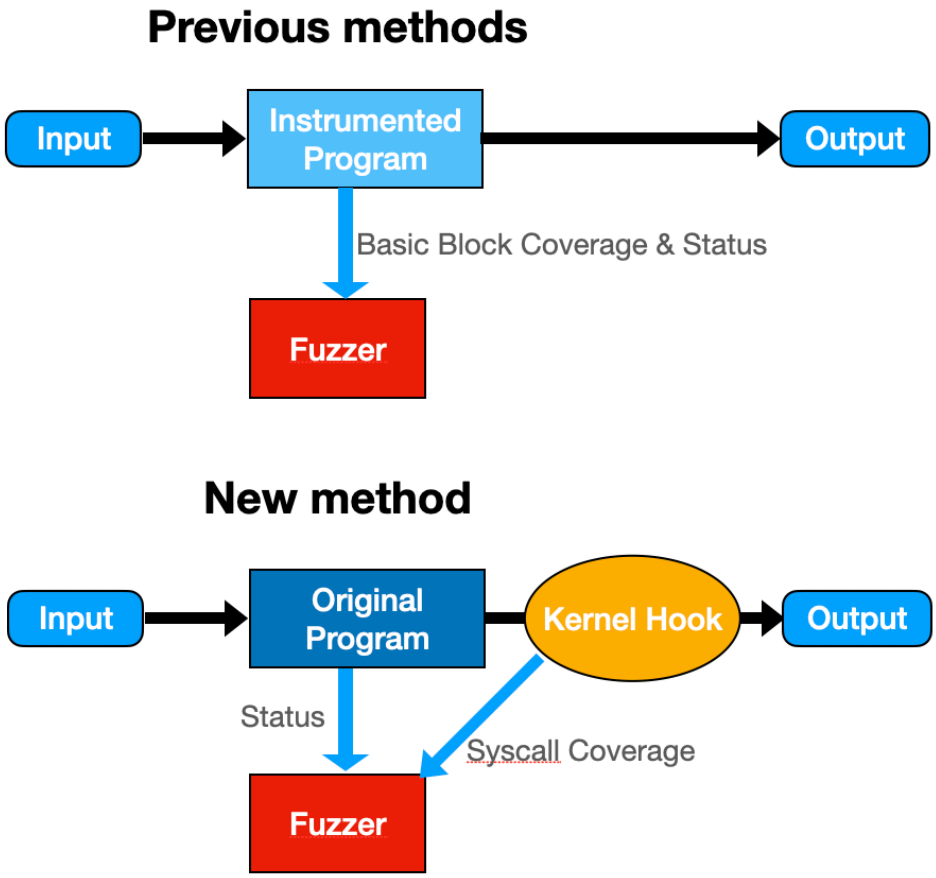
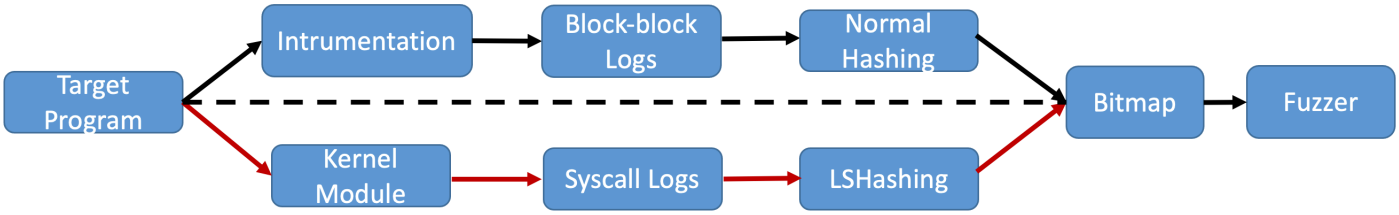
AFL-SYS 介绍与使用文档

AFL-SYS（暂定名，maintained by Jifan Xiao & Zixi Zhao）是一个不使用插桩方法的**无源码模糊测试框架**，使用系统调用日志信息作为新的指导信息，适用性上相比传统方法有更多优势。

架构与设计



- 传统的Fuzzer获取变异指导信息的方法是程序插桩，而在无源码时为了达成插桩，一般会使用静态或动态的二进制重写方法。这种方法一则大多数效率较为低下，二则大多对于被测试二进制文件要求苛刻。
- AFL-SYS使用一个**名为NoDrop的内核模块**获取每次程序执行的系统调用日志信息，将对应的日志发送给主体Fuzzer。主体Fuzzer在AFL的基础上进行了修改，可以分析获取到的日志信息，用以指导后续的文件变异和调度，从而绕开插桩这一获取覆盖率信息的方法。
- 具体来说，在Coverage Pipeline这一部分上的区别如下图所示：（上方为传统方法，下方为AFL-SYS）



- AFL-SYS并没有改动较多AFL原有的变异和计算优先级的算法，仍然**保留了原有的bitmap**，使bitmap反映当前的路径覆盖情况。但是**AFL-SYS得到的"路径"信息并非传统意义上的路径**，而是以一条独特的syscall日志作为一条新路径的反映。因此，实际上在运行过程中面板上所显示的"path"指的是独特的syscall日志的数量，而非传统AFL插桩获得的独特的block edge数量。理论上讲，这两者之间存在正相关关系，不同的执行路径基本上都会产生不同的syscall日志，但实际实验中也发现有特例，无法变异出新的syscall日志"路径"，对于这些特例则暂时没有较好的办法。
- 以伪代码形式表现两种路径的区别：

Algorithm 1 Encoding of AFL

Input: $BB_src \rightarrow BB_dst, prevLoc$
Output: $prevLoc$ - hash value for the next branch

1: $curLoc = random(BB_dst)$
2: $bitmap[curLoc \oplus prevLoc] \mathrel{+}= 1$
3: $prevLoc = curLoc \gg 1$

Algorithm 2 Encoding of AFL-SYS

Input: S - syscall logs of one execution

1: $s_1, s_2, ..., s_k \leftarrow getNgrams(S)$
2: **for all** s_i **do**
3: $\quad hash \leftarrow LSHash(s_i)$
4: $\quad bitmap[hash] \mathrel{+}= 1$
5: **end for**

模块与流程

本部分首先介绍AFL-SYS中重要的模块，并通过一次的执行流程的分析讲解各个模块之间的协作。

AFL-SYS的主要模块

- **NoDrop**：一个内核模块，基于*sysdig*的内核进行了修改，修复了高压下丢包的问题，并完成了针对Fuzzing频繁重新启动的优化、与Fuzzing对接的API设计等。
- **Forkserver**：调度各个模块的核心，也兼具每次fork新进程并监控的作用。
- **Fuzzer**：Fuzzer主体程序，负责接收参数、初始化、检查各项内容，然后与Forkserver沟通，发送开辟新进程的命令，变异输入文件，接收覆盖率信息并计算输入文件池中的优先级，以及打印信息、处理各项信号等任务。
- **LSHashing**：一个Python脚本，会在初始化时与Forkserver建立联系。如有必要，会提供*LocalSensitiveHashing*的计算功能。
- **TestPaths**：一组Python脚本套件，读取保留下的输入文件并转化为传统AFL中的bitmap和path信息，用于实验对比。
- **FunctionHook**：Hook一些重要的库函数并获取其参数等作为补充的日志信息，可以通过编译选项启用。目前版本中效果不明显，因此默认不启用。

AFL-SYS的一次执行流程

- 首先，装载**NoDrop**到内核中。
- 按照与AFL类似的格式接收Fuzzing指令，**Fuzzer主体程序**初始化，建立**Forkserver**及其通信管道，Forkserver再启动建立**LSHashing**，以及与NoDrop建立联系。
- Fuzzer主体程序执行多次calibrate_case()函数，对初始种子池做遍历，获取初始路径和数据。

- Fuzzer主体程序按照AFL的算法开始变异种子文件，并传送给run_target()函数，该函数会给Forkserver发送信息，让其fork被测程序后执行对应输入并捕获syscall log信息，更新到bitmap。
- 每次，执行完毕后Fuzzer主体程序会检查bitmap，并更新“路径”等信息，然后按照bitmap指导后续变异出的输入文件优先级。如果有开启input file dump，则会在run_target()函数中每次执行前先将输入文件拷贝到对应的文件夹。
- 等待用户键盘输入停止指令，然后信号处理函数设置快速结束标志，各个模块迅速终止工作，导出相关信息。
- 如果需要获得传统Fuzzer格式下的度量信息，且之前开启了input file dump，则可以在导出了输入文件的文件夹下执行**TestPaths**的脚本，获得对应的bitmap或路径信息。

目录结构

afl-sys-demo

```
.
├── Makefile                                // make配置文件
├── afl-analyze.c                           // AFL 原有文件
├── afl-as.c                                // AFL assembler
├── afl-as.h                                // AFL assembler 头文件
├── afl-cmin                                // AFL 输入文件剪裁器
├── afl-fuzz.c                              // 新Fuzzer主体程序
├── afl-gcc.c                               // AFL compiler
├── afl-gotcpu.c                            // 获取cpu状态
├── afl-plot                                // 为bitmap绘图
├── afl-showmap.c                           // 读取输入文件并获取对应（传统）bitmap
├── afl-sys-showmap.c                       // 读取输入文件并获取对应（syscall）
bitmap
├── afl-tmin.c                              // AFL 输入文件剪裁器
├── afl-whatsup                             // AFL原有文件
├── alloc-inl.h                             // 内存分配头文件
├── begin.sh                                // 记录实验中的各种执行命令
├── calculateMD5.py                         // 为文件生成MD5
├── config.h                                // 配置文件
├── debug.h                                 // debug所需头文件
├── dictionaries                            // AFL原有文件夹，测试样例的词典
├── docs                                    // AFL原有文档
├── exit.sh                                 // 退出执行的命令脚本（目前版本已不需要）
├── forkserver.h                            // Forkserver部分
├── funchook                                // FunctionHook部分
│   ├── allfile-hooking.c
```

```
│   └── hooking.so
├── hash.h                                  // 传统hash函数实现
├── include                                 // 与NoDrop模块同步一些信息的头文件
│   ├── common.h
│   ├── events.h
│   ├── export.h
│   └── ioctl.h
├── libdislocator                           // 省略，原版AFL所用的库
├── libtokencap                             // 同上
├── llvm_mode                               // 同上
├── logs                                    // debug模式下存储各个log信息的文件夹
│   ├── cur_log.txt
│   ├── cur_tuple
│   ├── cur_tuple1
│   ├── cur_tuple2
│   ├── logging.txt
│   └── tupleComp.txt
├── lsh.py                                  // LSHashing模块
├── qemu_mode                               // 原版AFL-QEMU所需的QEMU部分
│   ├── build_qemu_support.sh
│   └── patches
│       ├── afl-qemu-cpu-inl.h
│       ├── configure.diff
│       ├── cpu-exec.diff
│       ├── elfload.diff
│       ├── memfd.diff
│       └── syscall.diff
├── test-instr.c                            // AFL原版文件，用于测试是否有插桩
├── test_paths.py                           // TestPaths套件之一
├── test_readtuple
├── test_readtuple.c
├── test_readtuple.py                       // TestPaths套件之一
├── testcases                               // 原版AFL中自带的测试样例，省略内部结构
└── types.h                                 // 一些类型的规定头文件

55 directories, 194 files
```

NoDrop

```
.
├── CMakeLists.txt
├── README.md
├── benchmark                               // 用于检测NoDrop本身性能的benchmark
│   ├── apache2
```

```
6  │   │   ├── apache2_install.sh
7  │   │   ├── apr-1.7.0.tar.bz2
8  │   │   ├── apr-util-1.6.1.tar.bz2
9  │   │   ├── http-test-files-1.tar.xz
10 │   │   └── httpd-2.4.48.tar.bz2
11 │   ├── nginx
12 │   │   ├── http-test-files-1.tar.xz
13 │   │   ├── nginx-1.21.1.tar.gz
14 │   │   └── nginx_install.sh
15 │   ├── redis
16 │   │   ├── redis-6.0.9.tar.gz
17 │   │   └── redis_install.sh
18 │   ├── test_7z.py
19 │   ├── test_nginx.py
20 │   ├── test_openssl.py
21 │   ├── test_postmark.py
22 │   └── test_redis.py
23 ├── include                                  // 导出的头文件，用于给外部程序引用
24 │   ├── common.h
25 │   ├── events.h
26 │   ├── export.h                             // 与events_table.c等文件同步
27 │   └── ioctl.h
28 ├── kmodule                                  // 核心代码部分
29 │   ├── CMakeLists.txt
30 │   ├── Makefile.in
31 │   ├── elf.c
32 │   ├── events.c                             // 处理一个syscall event的hook
33 │   ├── fillers.c
34 │   ├── fillers.h
35 │   ├── fillers_table.c
36 │   ├── flags.h
37 │   ├── loader.c
38 │   ├── nod_main.c
39 │   ├── nodrop.h                             // 控制各项参数的头文件
40 │   ├── privil.c
41 │   ├── proc.c                               // 控制与用户态进程交互的API
42 │   ├── procinfo.c
43 │   ├── procinfo.h
44 │   ├── syscall.h                            // syscall 头文件
45 │   ├── syscall_table.c
46 │   ├── tables
47 │   │   ├── dynamic_params_table.c
48 │   │   ├── events_table.c                   // 记录syscall信息的表格，决定log格式
49 │   │   └── flags_table.c
50 │   └── trace.c
51 ├── monitor
52 │   ├── CMakeLists.txt
```

```
53 │   ├── mmheap
54 │   │   ├── mmheap.c
55 │   │   └── mmheap.h
56 │   ├── musl.specs
57 │   ├── script_x86-64.ld
58 │   └── src
59 │       ├── dynlink.h
60 │       ├── main.c
61 │       ├── pkeys.h
62 │       └── startup.c
63 ├── musl                                    // 外部库依赖，省略内部结构
64 └── scripts
65     ├── CMakeLists.txt
66     ├── StressTesting
67     │   ├── 1.txt
68     │   ├── CMakeLists.txt
69     │   ├── attack.c
70     │   ├── attack.sh
71     │   ├── stress.c
72     │   └── stress.sh
73     ├── ctrl                                 // 一个用于测试的接口程序
74     │   ├── CMakeLists.txt
75     │   └── nodrop-ctl.c                     // 该程序可以获取API中的信息
76     ├── getmusl.sh
77     ├── mkfig
78     │   ├── CMakeLists.txt
79     │   ├── draw.cpp
80     │   ├── matplotlibcpp.h
81     │   └── pyconfig.cmake
82     ├── musl-1.2.3.tar.gz
83     └── tests
84         ├── CMakeLists.txt
85         └── multithread.c
86
87 70 directories, 514 files
```

安装配置

目前已知NoDrop模块在Linux 4.15和5.4版本的内核工作良好，其他版本尚未测试。建议使用4.15版本内核的系统。

安装NoDrop

- 找到仓库中NoDrop的部分，进入其目录
- 运行目录下的 scripts/getmusl.sh 脚本，以获得依赖musl
- 创建一个build文件夹，进入其中运行：

```
cmake ..
make load
```

- 如果遇到提示需要gcc版本号大于8，安装gcc-8并在执行命令前添加

```
export CC=gcc-8
```

- （可选）如果需要测试NoDrop的工作情况，可以在build文件夹中运行

```
make scripts
./scripts/ctrl/ctrl clean
./scripts/ctrl/ctrl fetch
```

clean与fetch分别是ctrl脚本的两个功能，应该能够分别看到"Success"的反馈和被监控进程的syscall log（如果没有运行被监控进程则应该反馈为空）

- （高级）进入kmodule文件夹中，可以修改修改nodrop.h中对应的NoDrop参数。比如比较重要的被监控进程名，对应于NOD_TASK宏的定义，默认的被监控进程名为toTest。另外，MAX_EVENTS宏定义了单次执行最多接收的syscall event数量，可以通过修改该宏控制此参数。注意，内核模块无法完成热修改，修改此文件后，注意清除build文件夹下缓存并重新进行编译和装载。

安装afl-sys(demo)

- 找到仓库中afl-sys-demo的部分，进入其目录
- 在该目录下执行make即可
- （可选）如果需要观察debug信息，则通过编译选项开启debug模式：

```
make debug=1
```

此时，对应的debug信息文件应存在于afl-sys-demo/logs/logging.txt

- （可选）如果需要开启LocalSensitiveHashing替代原有的普通Hash函数（注意，当前版本此选项会带来比较多的时间开销），也有对应的编译选项：

```
make lsh=1
```

- （可选）如果需要开启Library Hooking补充syscall log信息（注意，经测试，当前版本此选项效果提升并不多），也有对应的编译选项：

```
make lib_hooking=1
```

- 以上几个可选的编译选项间可以组合

使用示例

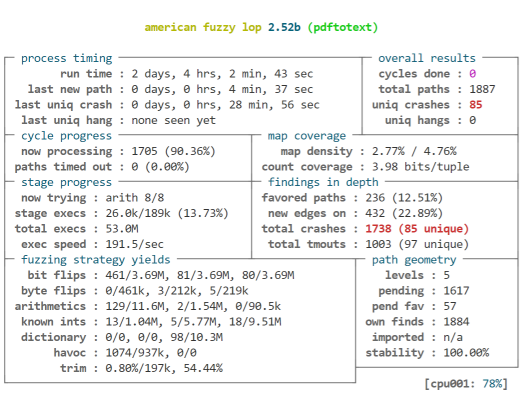
- AFL-SYS的大多数参数用法与AFL相同，但注意要将被测程序的binary名称改为toTest（或根据自己在nodrop.h文件中的修改情况自行调整）
- 比如，如果要执行一个针对于xpdf suite的测试，提前将pdftotext的binary改为toTest，然后命令为：

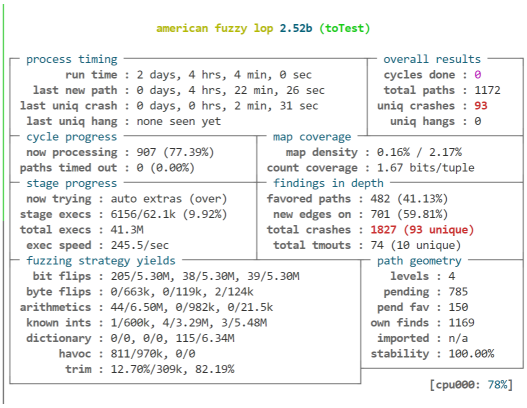
```
./afl-fuzz -i ../xpdfTest/inputs -o ../xpdfTest/output ../xpdfTest/toTest @@ ../xpdfTest/out/null
```

- 由于syscall监控部分可能会占用额外的内存，因此 -m 选项所提供的内存空间基础上，AFL-SYS默认会再加100M。不过如果使用了ASAN或要测试非常大的binary，建议还是开启-m none选项以取消内存限制
- 更多的使用指令可以参见begin.sh

实验效果

- 实验中，相比SOTA的二进制重写为基础的binary-only fuzzer，AFL-SYS在速度和效率上的表现有好有坏。一个较为理想的benchmark：xpdf suite上，AFL-SYS（右）与源码编译插桩的AFL（左）的速度与效率对比如图：



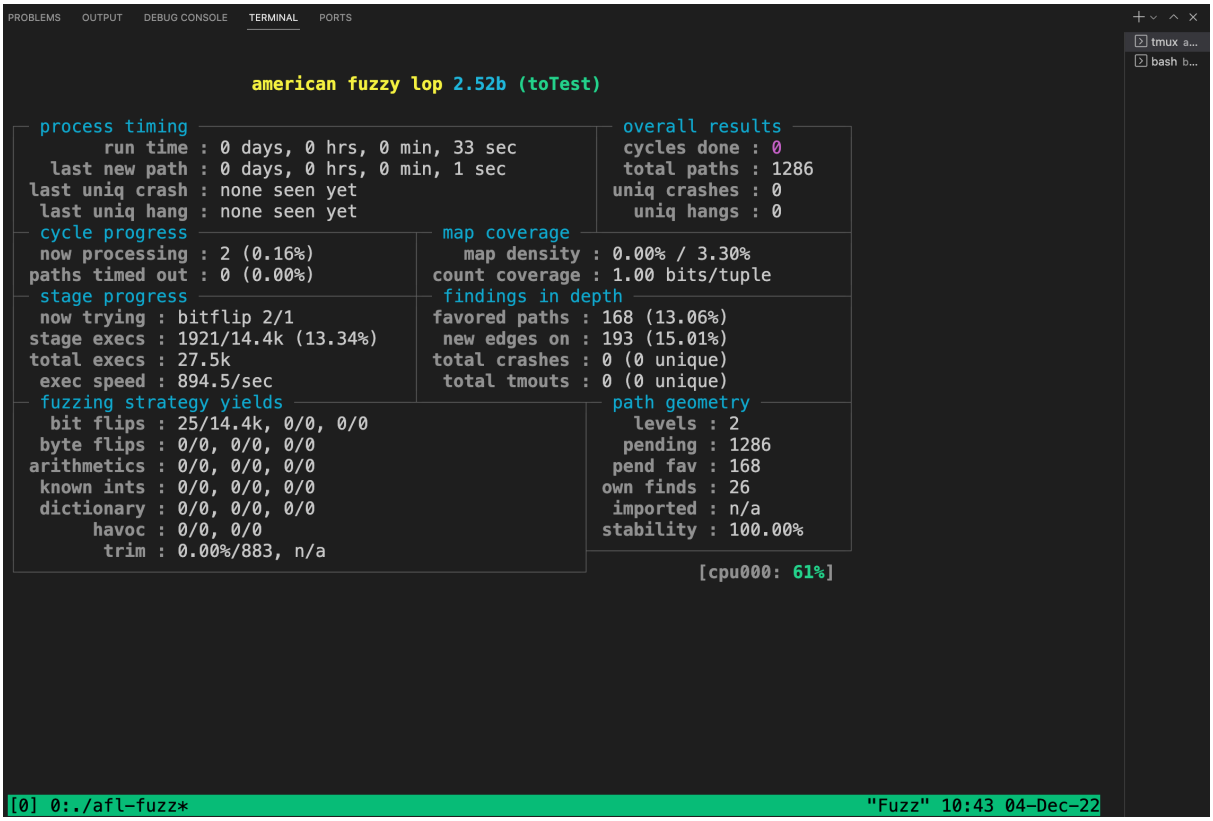


当然，也存在诸如gzip这种benchmark，在我们的实验中虽然速度较高，但难以发现新的“路径”，即不同的syscall log。

- 但在**non-stripped binary**，**obfuscated binary**等binary形式的适用性上，AFL-SYS是最为广泛的。诸如RetroWrite、StochFuzz等都要求strpped binary才能工作，而ZAFL虽然不需要此前提，但也无法突破obfuscation等技术的限制：

```
(base) xjf@Fuzz:~/zafl$ zafl.sh ../tcpdumpTest/obuild/bin/tcpdump ../tcpdumpTest/obuild/tcpdump.zafl
Zafl: Detected main at: 0x0000000000403d00
Zafl: Transforming input binary /home/xjf/tcpdumpTest/obuild/bin/tcpdump into ../tcpdumpTest/obuild/tcp
dump.zafl
Zafl: Issuing command:  /home/xjf/zipr/installed/tools/ps_zipr.sh /home/xjf/tcpdumpTest/obuild/bin/tcpd
ump ../tcpdumpTest/obuild/tcpdump.zafl  -c rida  -c move_globals   -c zax -o move_globals:--elftables-o
nly -o move_globals:--no-use-stars  -o zax:--stars     -o zax:--enable-floating-instrumentation       -
o zax:'-e 0x0000000000403d00'
Using Zipr backend.
Detected ELF non-PIE executable.
Performing step rida [dependencies=mandatory] ...Done.  Successful.
Performing step pdb_register [dependencies=mandatory] ...Done.  Command failed! **********************
***************
The pdb_register step is necessary, but failed.  Exiting ps_analyze early.
Zafl: error transforming input program
```

但AFL-SYS并不受影响：



- 目前实验和优化仍在继续，后续仍会有代码和实验结果上的更新。