Report

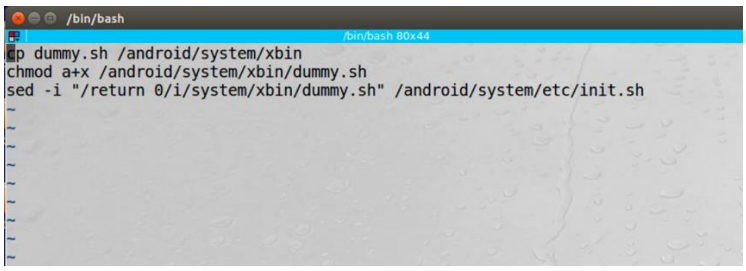
Team Project : Android Rooting Attack

제출일 2019년 12월 13일
과목명 운영체제보안
담당교수 조 성 제 교 수 님
전공 공대 소프트웨어학과
학번 32141183, 32173412
32144548, 32174092
이름 김 지 형, 이 주 선
조 창 연, 정 유 경

이번 실습은 팀과제로 진행되어, 전반적인 실습 내용을 먼저 설명하고 자세한 분석 내용은 뒷부분에서 다루었다.

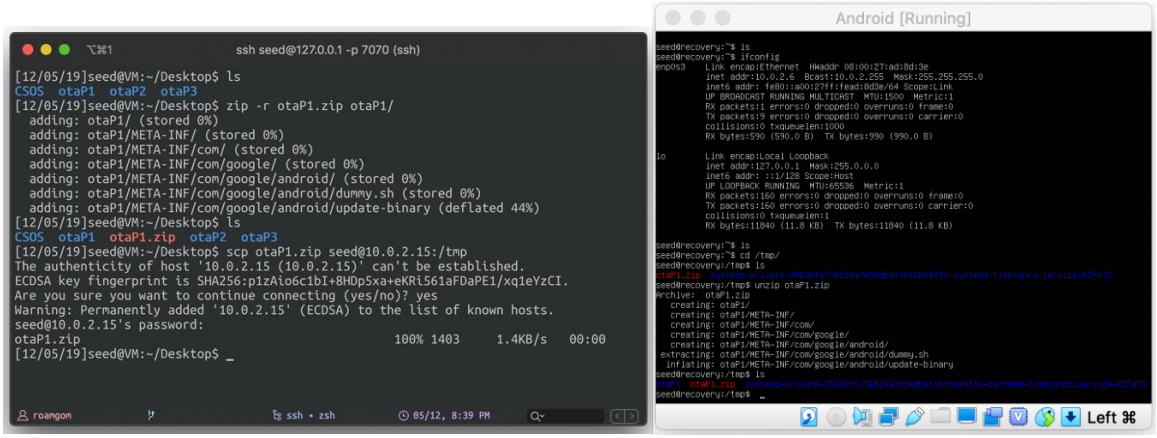
Task 1

1번 과제는 recoveryOS를 통해 update-binary를 실행하여 androidOS의 /system/ 디렉토리에 우리가 원하는 코드(exploit)를 작성하여 전송해보는 실습이다. Dummy.sh에는 /system/dummy을 만들고 그 파일에 hello를 출력하는 쉘코드이며, update-binary는 이 dummy.sh 파일을 안드로이드OS에서 우리가 원하는 디렉토리로 dummy.sh를 복사한 뒤, 실행 권한을 부여한다. 마지막으로 안드로이드OS가 시작할 때 실행된는 init.sh에 해당 dummy.sh 안의 코드를 복사하여 자동으로 실행되게끔 수정하는 파일이며, 2,3번 실습에서도 쓰이는 이번 과제의 핵심 파일이다. 1번 실습에서는 안드로이드OS의 rooting을 위해 필요한 exploit의 전반적인 구조와 flow를 이해하기 위한 의도로 해석했다.

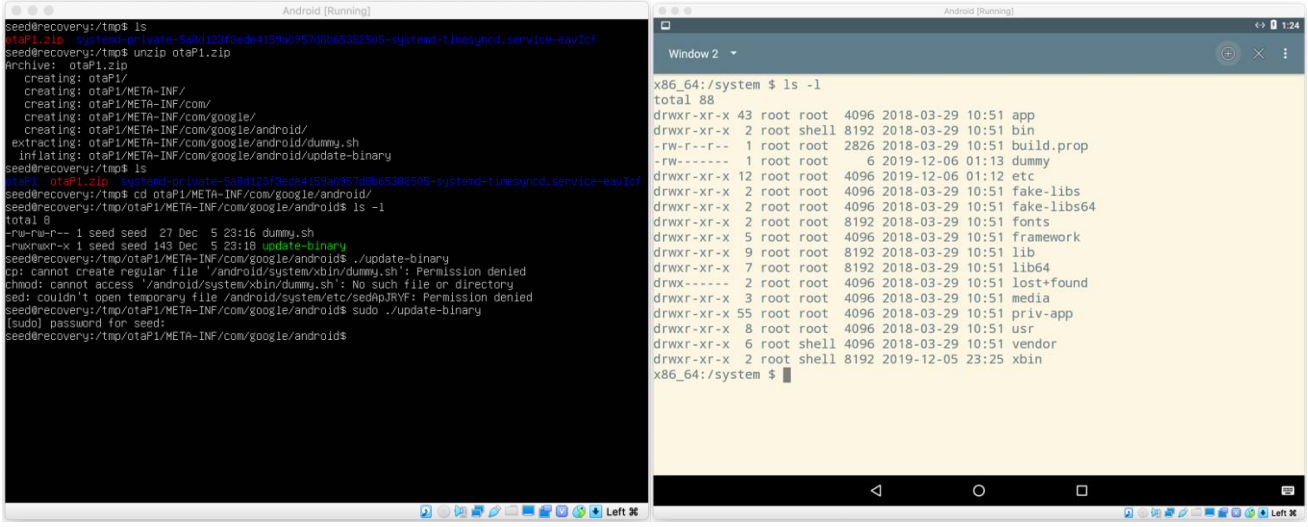


Update-binary

코드 작성은 기존 SEEDOS에서 진행하여 scp를 통해 RecoveryOS로 전달하도록 하였다. 아래와 같은 구조로 된 디렉토리를 zip으로 압축시켜 scp를 통해 /tmp/ 디렉토리로 전송하여 unzip을 한다. 마지막으로 sudo 권한으로 update-binary를 실행한 후, 재부팅을 하여, 터미널앱을 통해 /system/ 디렉토리를 확인하면 dummy 파일에 hello가 적혀있는 걸 확인할 수 있다.



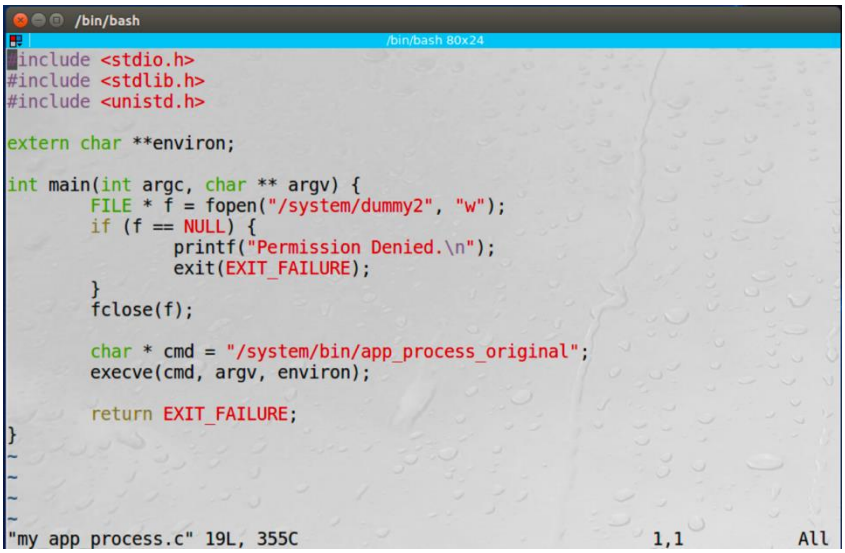
Zip otaP1 & Unzip otaP1.zip



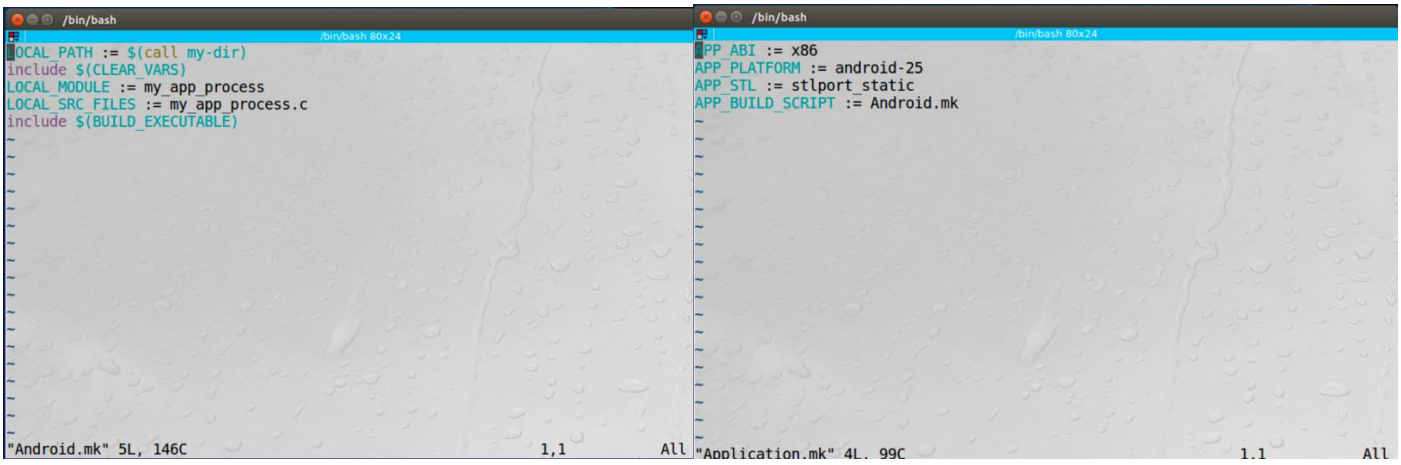
Unzip otap1 and run update_binary & Result

Task 2

1번 실습은 안드로이드OS가 시작할 때 실행하는 init.sh 파일에 우리가 원하는 실행 코드를 입력하여 실행하도록 의도했다. 2번 실습은 안드로이드OS가 항상 실행하는 프로그램인 my_app_process 라는 프로그램을 root 권한으로 실행한다. 이 프로그램은 모든 앱 프로세스의 부모 프로세스이며 어플리케이션을 실행하는 zygote daemon을 실행한다. 2번 실습은 이 my_app_process를 수정하여 zygote 프로세스를 실행함과 동시에 우리가 원하는 코드를 실행하게 만드는 것이다. 2번 실습 역시 1번 실습과 마찬가지로 정해진 폴더 구조로 OTA(Over-The-Air) 패키지를 만든다. Update-binary 파일은 우리가 컴파일하여 생성한 파일을 새로운 my_app_process를 새로 만든 app_process_original에 옮긴 후, root 권한으로 dummy2 파일을 생성한다.

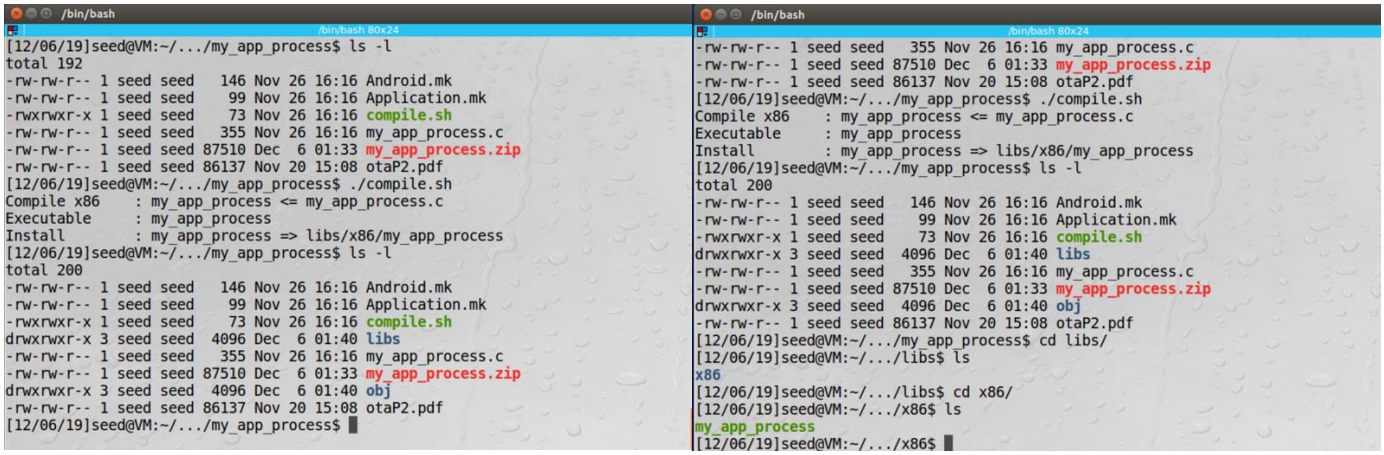


my_app_process.c

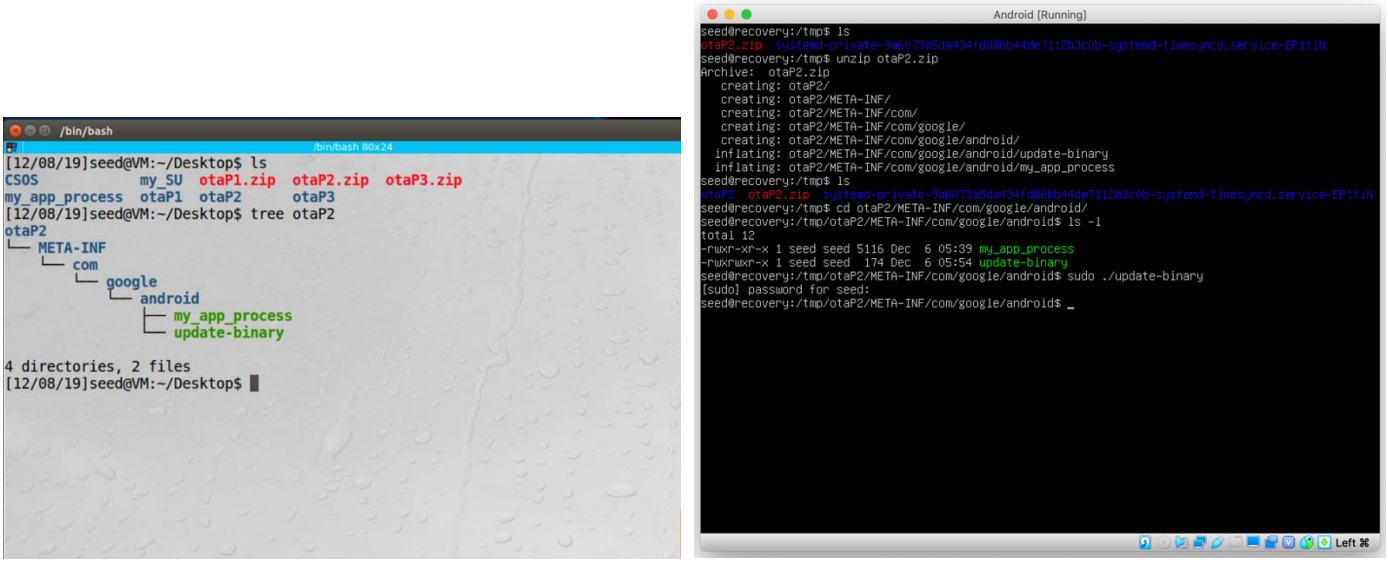


Android.mk & Application.mk

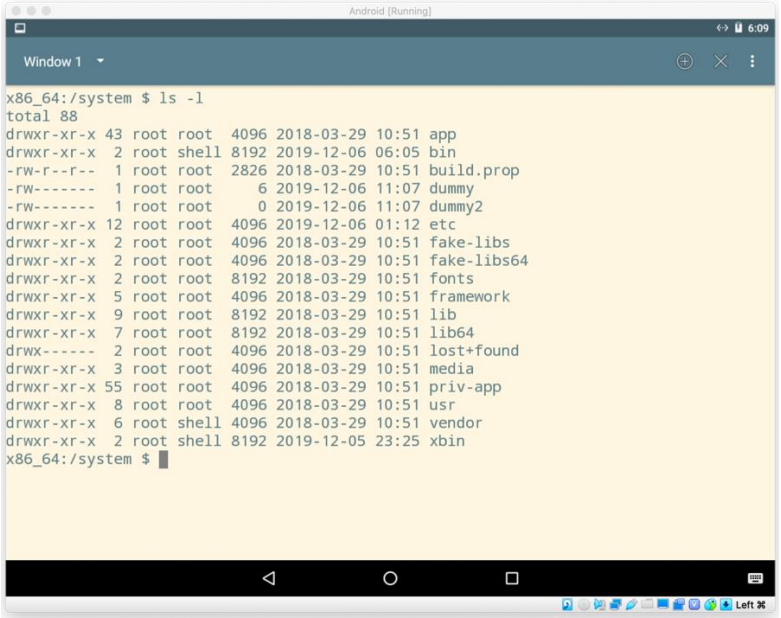
2번 실습은 아래와 같이 컴파일한 my_app_process와 실습1에서 사용한 update-binary를 아래에 출력된 구조와 같이 넣은 뒤 압축하여 scp로 동일하게 전송을 한 뒤, sudo 권한으로 update-binary를 실행하면 root 권한으로 생성된 dummy2가 생성된다.



Compile my_app_process.zip & my_app_process in compiled result



otaP2 Dir Tree & Run Otap2 update-binary on Recovery OS

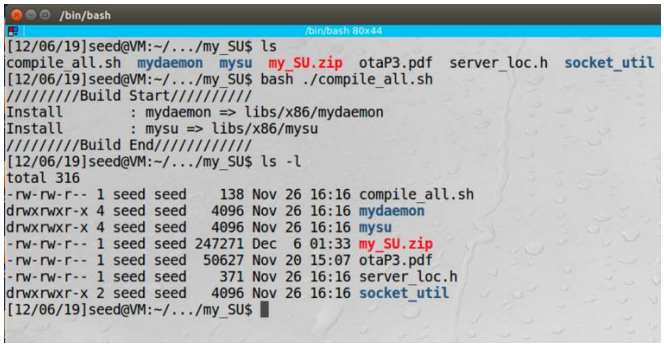


Otap2 Result

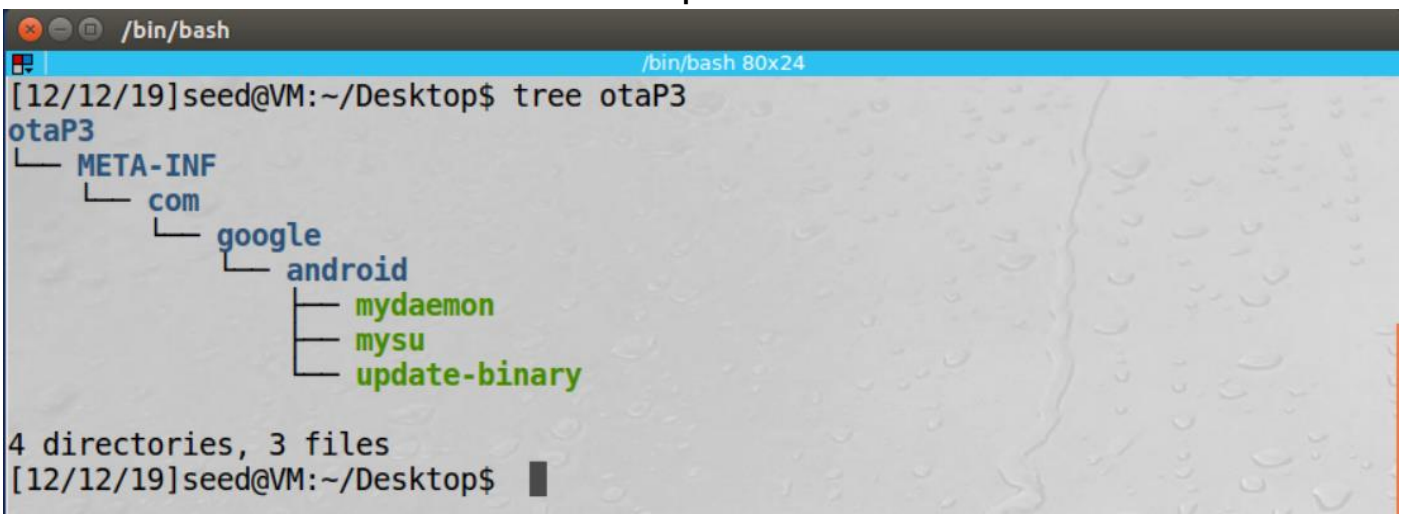
Task 3

실습 3 역시, update-binary는 실습1,2와 동일한 형태이며, 다운받은 소스코드를 컴파일하여 나온 mysu와 mydaemon을 복사 해준 뒤, mydaemon 내용을 init.sh에 넣어 실행시킨다. 유저가 root 권한을 가진 쉘을 가지기 위해는 root daemon에 요청을 보내야한다. 이 때, root daemon이 쉘을 실행하고 그걸 클라이언트(유저)에게 돌려준다. 이를 통해 유저가 root 권한을 가질 수 있다. 결국 쉘 프로세스를 제어하기 위해서는 쉘의 표준 입력, 출력 장치를 제어할 수 있어야 하지만, 쉘 프로세스는 생성될 때 표준 입력, 출력 장치를 상속한다.
루트 권한의 프로세스는 일반 유저 프로그램으로 제어가 불가능하기 때문에, 유저 프로그램의 입력, 출력을 쉘 프로세스에서 사용하게 설정하면 사용자는 쉘 프로세스를 제어할 수 있다.

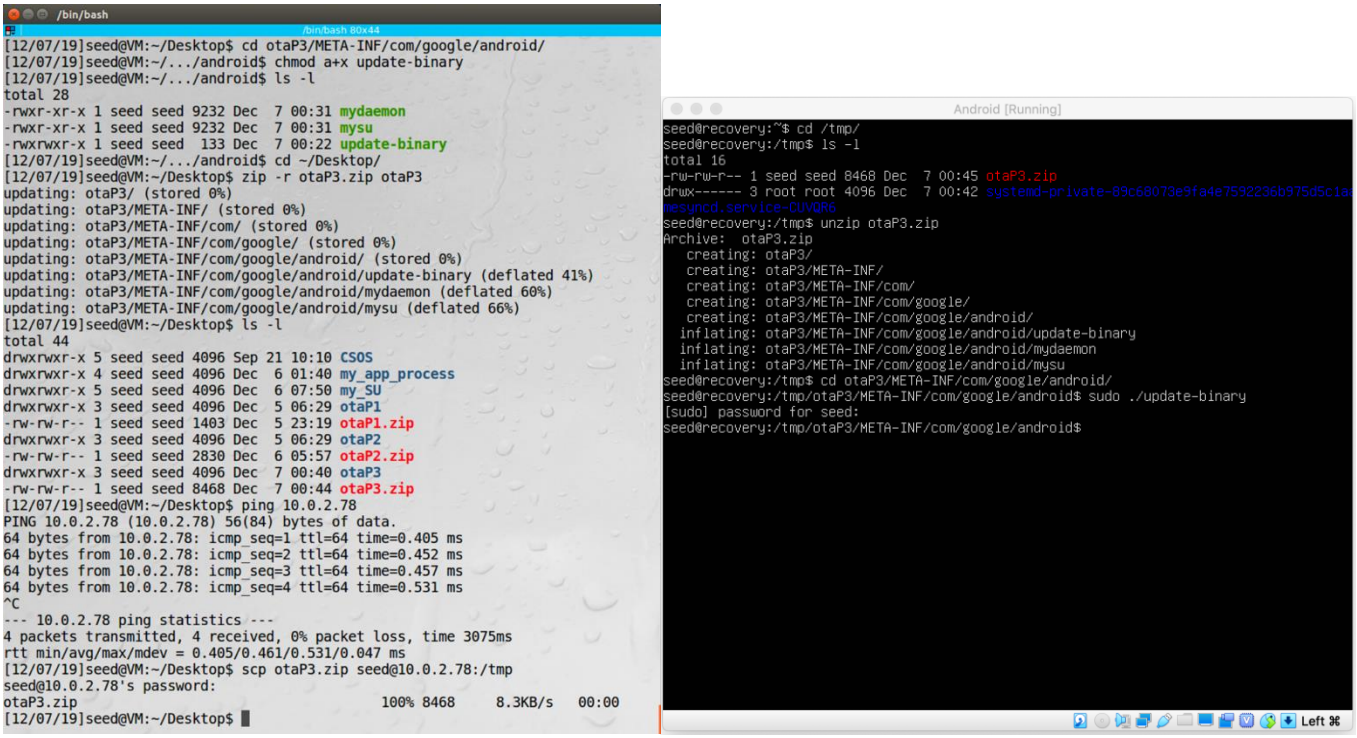
Update-binary



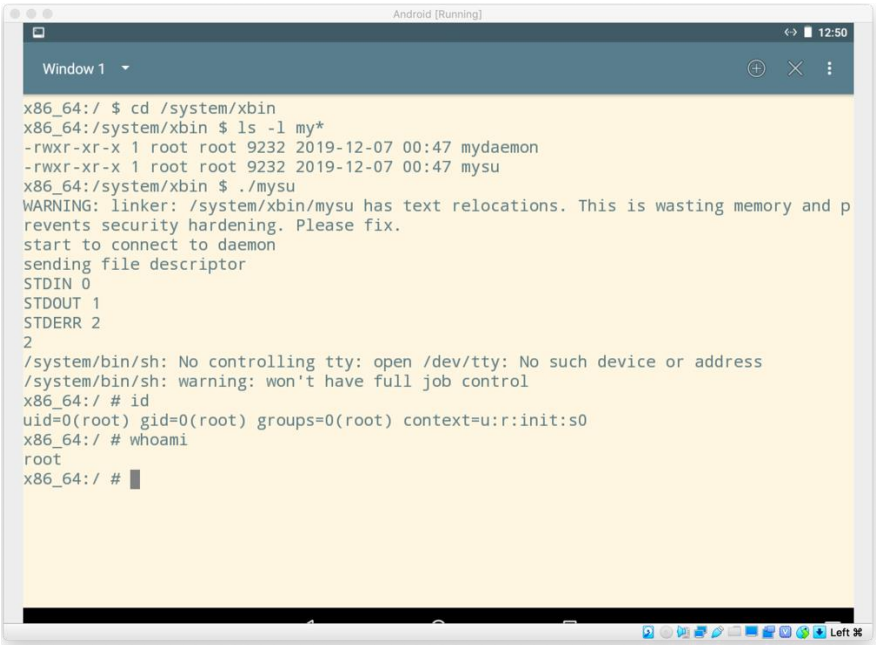
Compile file



otaP3 Dir Tree



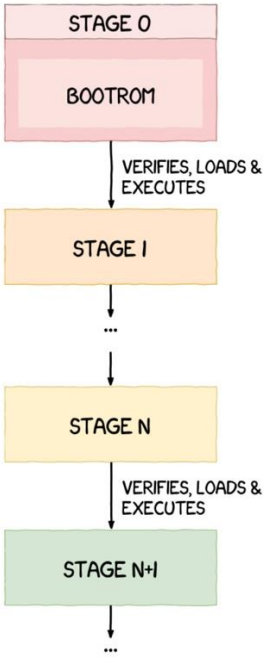
Zip otaP3 & send, unzip otaP3 on recoveryOS



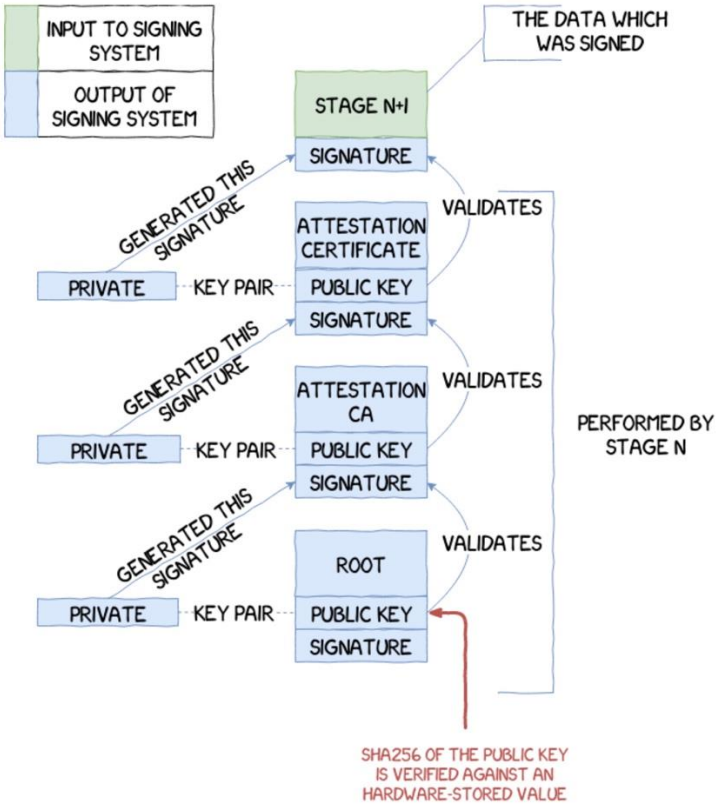
otaP3 result

과제 분석

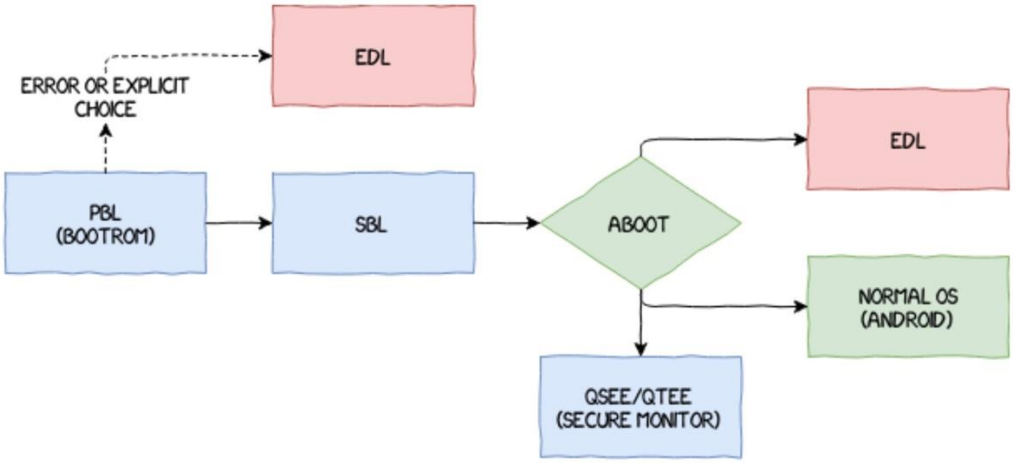
전반적인 Low level 의 Booting Process 는 다음과 같다.



세부적인 과정은 기기 내부의 Chipset 제조사에 따라 달라진다.
Qualcomm 의 경우엔 대략적으로 다음의 과정을 거치게된다.



우선, 처음에는 Vendor 에서는 root certificate 를 가지고 있으며, bootROM 내부에는 public key 가 저장된다. 그리고 이 public key 는 특정 hardware 내부에 hash 값으로 저장되며, 쉽게 tampering 할 수 없다. 이러한 certificate 는 여러 개가 존재하며, 각각 다음 단계의 certificate 를 sign 하게 된다.



Qualcomm secure boot chain 은 다음과 같다.

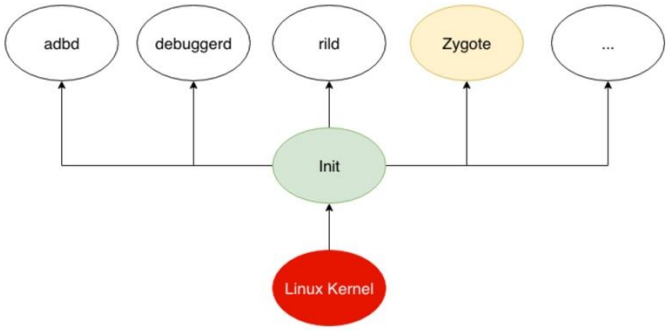
- bootROM 은 Primary Boot Loader (PBL) 이라고도 불리며, CPU 에 의해 제일 먼저 실행되는 코드를 가지고 있다.
- 그 다음 과정에서는 Secondary Boot Loader (SBL)이 실행되는데, 보통은 SBL1 ~ 3 까지 나누어진다. (지금은 eXetended Boot Loader 라고 불리는 XBL 로 바뀌었다)
- SBL 은 QSEE 나 QTEE 로 불리는 Secure Monitor 를 올리게 되는데, 이게 현재 Trusted OS 라고 불리는 TrustZone 내부에서 동작하는 것이다. 그리고, Android Boot Loader (ABL)이라고 불리는 ABOOT 을 올리며, 실행흐름을 ABOOT 으로 넘겨주고, 실행 레벨을 Exception Level 1 (Ring 0)으로 조정한다.

EDL Mode 에서는 해당 코드가 bootROM 에서 실행되기 때문에, 이 상태에서 사용자가 특정 command 를 보낼 때까지 기다리는 상태가 된다.
이 커맨드들 중 하나가 USB 를 통해 signed image 를 보내어, 부팅하는 것이다.
일련의 Boot chain 이 진행된 후에는, 다음과 같은 것들이 실행된다.

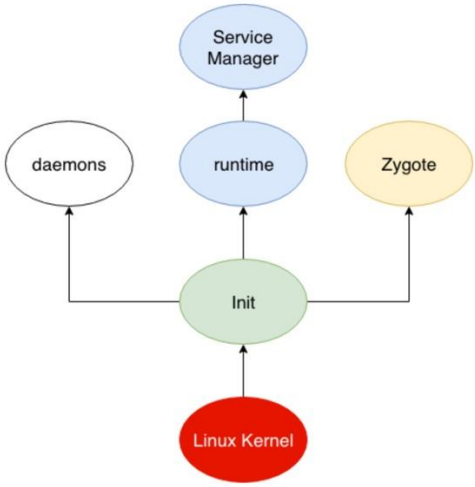
1. Core Kernel initialization (Memory, I/O, Interrupts, etc...)
2. Kernel Driver initialization
3. /root file system mount
4. "init" process start

3 번의 과정까지 진행되면, userspace 에서 볼 수 있는 pid 1 의 init process 를 실행한다.
"init" process 는 Android system 의 핵심적인 요소들을 초기화하는 역할을 한다. 처음에는 모든 Android 는 공통적으로 init.rc 라는 스크립트 파일을 읽어서, 해석 후, 실행하게 된다. 그리고 그 다음에는 init.<machine_name>.rc 를 실행하는데, 이건 device specific 하다. init.rc 에서는 처음에 여러 daemon 들을 실행시키는데 다음과 같은 것들이 있다.

- Android Debug Bridge Daemon
- Debugger Daemon
- Radio Interface Layer Daemon
- ServiceManager



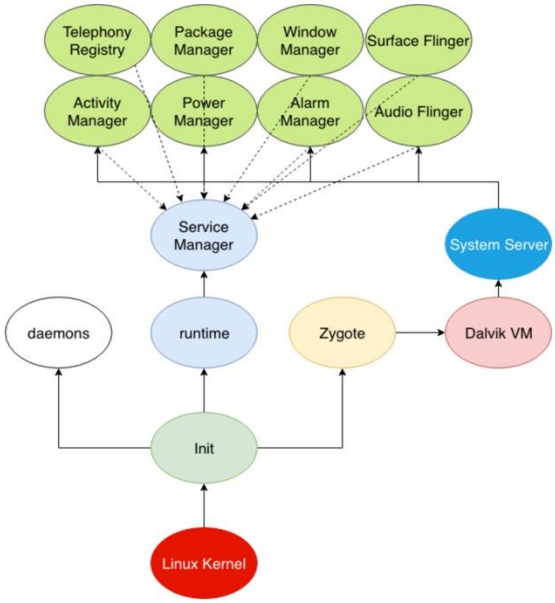
여러 데몬들을 초기화하고난 이후에는, Zygote 라는 process 를 실행하게된다. 본 과제에서 사용하는 app_process 는 사실 Zygote 그 자체라고 할 수 있다. 왜냐하면, Zygote 의 바이너리 이름이 app_process 이기 때문이다. 이 Zygote 는 Android system 에서 사실상 심장과 같은 역할을 한다고 볼 수 있다. 이 프로세스는 Android Application 이 실행될 수 있도록, Android RunTime (ART)이나 Dalvik VirtualMachine (DVM) 환경을 세팅해주는 역할을 한다. 물론, 앱이 실행될 때, 이러한 요청은 내부 IPC 메커니즘에 따르지만, 이는 Booting 과는 상관 없기 때문에, 여기서 다루지는 않겠다. "init"이 여러 데몬을 초기화한 이후, Zygote 를 올린다고 했는데, 그 외에도 다른 runtime service 들을 실행하는 역할을 한다. 전반적인 개요는 다음과 같다.



runtime 은 Service Manager 를 의미하는데, 이는 DNS 와 비슷하게 Service Register / lookup 을 도와주는 매개체 역할을 하게 된다. 그리고 이 Service Manager 는 Android IPC 핵심인 Binder 의 코어 역할을 한다. Service Manager 를 실행하는 역할이 끝나면, Zygote 에서 ART/Dalvik VM instance 를 fork 해주며, System Server 라는 것을 실행하게 된다. System Server 가 관리하는 것은 다음과 같은 것들이 존재한다.

- Entropy Service
- Power Manager
- Alarm Manager
- ...

이 부분들을 정리하면 우측과 같이 요약할 수 있다.



Rooting

1 차적으로 Rooting 이라는 것은 root privilege 를 얻는 것을 의미하며, Samsung Galaxy 나 Google Pixel 등에서는 KNOX 나 SELinux 와 같은 security component 를 전부 무력화하는 과정까지 포함된다. 왜냐하면, root 권한을 가진다라고하여도, 또 다른 보안 요소에 의해, 기능이 제한될 수 있기 때문이다. 즉, 제한된 기능을 전부 해제하여, 모든 리소스에 접근가능한 상태가 되는 것이 Android 에서는 Rooting 이라고 부르며, iOS 에서는 Jailbreak 라고 부른다. 본 과제와 같이, 임의로 OTA 를 통해 root 권한을 얻는 경우도 있지만, 연구적으로나 세계적으로 주목받는 것은 Kernel 컴포넌트나 Boot chain 취약점을 통해, rooting 하는 것이다.

IOS jailbreak & Android rooting

Recovery OS

위에서 설명한 PBL (BootROM)은 Recovery Mode 로 Execution mode 를 변경할 수 있는데, 이를 Emergency Download Mode (EDL) 이라고 한다. 해당 모드로는 다음과 같은 상황에서 접근가능하다.

- SBL 이 손상되거나, 버전이 안맞을 경우
- 보드 상의 특정 테스트 지점에 결함이 있을 경우
- SoC 에 명시된 특정한 키를 booting 시에 눌렀을 때

Recovery mode 에서는 다음과 같은 역할들을 할 수 있다.

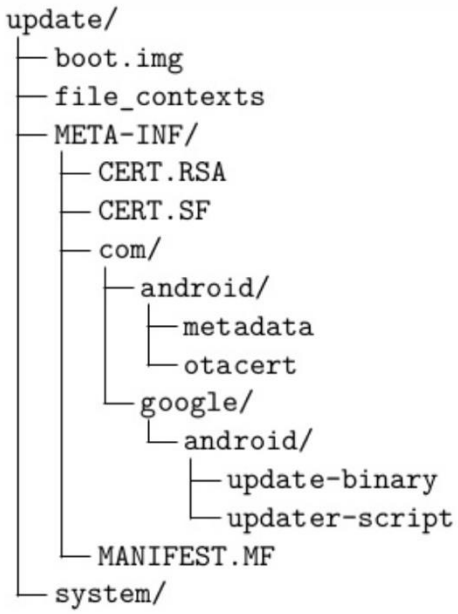
- Install from internal storage
    - 디바이스 내부에 저장된 zip 파일을 Android system 에 설치할 수 있다.
- Install from ADB
    - ADB 를 통해 파일을 추가/삭제/수정 등을 할 수 있다.
- Wipe data and cache
    - 시스템 세팅 재설정
    - 캐시 비우기
    - 파일 전체 지우기

OTA (Over The Air)

Over The Air update 는 무선 방식으로 업데이트 할 소프트웨어나 펌웨어를 가져와서 업데이트 하는 방식을 일컫는다. Android Recovery OS 에서 업데이트 할 때도 이와 같은 방식을 취하는데, 순서는 다음과 같다.

1. update package 를 다운로드 받는다. (Wireless)
2. Package 가 유효한 지, 간단한 signature check 를 하게 된다.
3. Recovery Console 로 Reboot 한다.
4. Package 의 signature 를 다시 체크한다.
5. update 를 적용한다.
6. Android 를 재부팅한다.
7. 마지막으로 Recovery update script 를 실행한다.

Update package 는 다음과 같은 구조를 가지고 있다.



이게 full update archieve 인데, system, boot 그리고 recovery partition 들에 대한 정보를 다 담고 있는 것이다. 핵심적인 부분들만 살펴보면 다음과 같다.

- file_context
    - SELinux label 정보들을 가지고 있는데, 이건 업데이트 이후에 적용된다.

- META-INF
    - APK 파일의 META-INF 와 비슷한 역할을 하는 것이며,

- update-binary
- updater-script
    - OTA update 의 메인 루틴이며, update-binary 가 script 를 올려서, 해석하고 실행하는 역할을 하게 된다.

my_app_process

```
dr-xr-xr-x  16 root    root          0 2019-12-05 21:19 sys
drwxr-xr-x  29 root    root       4096 2019-09-22 16:22 system
-rw-r--r--   1 root    root       6103 1970-01-01 09:00 ueventd.rc
```

Android root filesystem 에서 system 디렉터리는 root 유저가 아니면, 임의로 쓸 수 없다.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

extern char **environ;

int main(int argc, char ** argv) {
    FILE * f = fopen("/system/dummy2", "w");
    if (f == NULL) {
        printf("Permission Denied.\n");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    fclose(f);

    char * cmd = "/system/bin/app_process_original";
    execve(cmd, argv, environ);

    return EXIT_FAILURE;
}
```

my_app_process 는 간단하게 /system/ 디렉터리에 임의 파일을 써넣는 것을 테스트하는 코드이다.
이 코드 자체는 OTA 과정에서 root permission 을 가지고 진행되기때문에, 제대로 되었다면 가능하다.

my_SU (mydaemon)

```c
int main(int argc, char** argv) {
    pid_t pid = fork();
    if (pid == 0) {
        //initialize the daemon if not running
        if (!detect_daemon())
            run_daemon(argv);
        }
    else {
        argv[0] = APP_PROCESS;
        execve(argv[0], argv, environ);
    }
}
```

my_SU 의 daemon 파일도 실행은 간단하다. Parent process 는 기존의 app_process 를 실행시키고, Child process 가 실제 daemon 의 역할을 하게 된다. detect_daemon 의 경우엔, /data/mydaemon/server 에 socket connection 이 이루어지면, daemon 이 존재하며, 아닐 경우엔, run_daemon 루틴으로 들어가게된다.

```c
void run_daemon( char** argv) {
    if (getuid() != 0) {
        ERRMSG("Daemon require root privilege\n");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    //get a UNIX domain socket file descriptor
    int socket = creat_socket();

    //wait for connection
    //and handle connections
    int client;
    while ((client = accept(socket, NULL, NULL)) > 0) {
        if (0 == fork()) {
            close(socket);
            ERRMSG("Child process start handling the connection\n");
            exit(child_process(client,argv));
            child_process(client, argv);
        }
        else {
            close(client);
        }
    }

    //expect daemon never end execution
    //unless socket failed
    ERRMSG("Daemon quits: ");
    ERRMSG(strerror(errno));
    ERRMSG("\n");

    close(socket);
    close(client);

    exit(EXIT_FAILURE);
}
```

이 바이너리 또한, OTA 과정에서 root permission 으로 진행되므로, uid check 루틴이 상단에 있는 것을 확인할 수 있다. /data/mydaemon/server 에 Unix domain socket 을 형성하여, 여기에 클라이언트 접속을 기다린다. client 가 여기에 붙을 경우, child_process 루틴이 실행된다.

```c
//the code executed by the child process
//it launches default shell and link file descriptors passed from client side
int child_process(int socket, char** argv){
    //handshake
    handshake_server(socket);

    int client_in = recv_fd(socket);
    int client_out = recv_fd(socket);
    int client_err = recv_fd(socket);


    dup2(client_in, STDIN_FILENO);      //STDIN_FILENO = 0
    dup2(client_out, STDOUT_FILENO);    //STDOUT_FILENO = 1
    dup2(client_err, STDERR_FILENO);    //STDERR_FILENO = 2

    //change current directory
    chdir("/");

    char* env[] = {SHELL_ENV, PATH_ENV, NULL};
    char* shell[] = {DEFAULT_SHELL, NULL};

    execve(shell[0], shell, env);

    //expect no return from execve
    //only if execve fails
    ERRMSG("Failed on launching shell: ");
    ERRMSG(strerror(errno));
    ERRMSG("\n");

    close(socket);

    exit(EXIT_FAILURE);
}
```

daemon 의 기본 특성상 표준 입출력과 관련된 것이 존재하면 안되는데, 이를 dup2 syscall 을 통해, client 와 socket 통신할 수 있도록, socket descriptor 를 기존 표준 입출력에 덮어준다.

```c
int recv_fd(int sockfd) {
    // Need to receive data from the message, otherwise don't care about it.
    char iovbuf;

    struct iovec iov = {
        .iov_base = &iovbuf,
        .iov_len  = 1,
    };

    char cmsgbuf[CMSG_SPACE(sizeof(int))];

    struct msghdr msg = {
        .msg_iov        = &iov,
        .msg_iovlen     = 1,
        .msg_control    = cmsgbuf,
        .msg_controllen = sizeof(cmsgbuf),
    };

    if (recvmsg(sockfd, &msg, MSG_WAITALL) != 1) {
        goto error;
    }

    // Was a control message actually sent?
    switch (msg.msg_controllen) {
    case 0:
        // No, so the file descriptor was closed and won't be used.
        return -1;
    case sizeof(cmsgbuf):
        // Yes, grab the file descriptor from it.
        break;
    default:
        goto error;
    }

    struct cmsghdr *cmsg = CMSG_FIRSTHDR(&msg);

    if (cmsg            == NULL                 ||
        cmsg->cmsg_len  != CMSG_LEN(sizeof(int)) ||
        cmsg->cmsg_level != SOL_SOCKET          ||
        cmsg->cmsg_type  != SCM_RIGHTS) {
error:
        LOGE("unable to read fd");
        exit(-1);
    }

    return *(int *)CMSG_DATA(cmsg);
}
```

recv_fd 는 iovec 를 통해 client-server 형태로 communication 하게 되는데, 통신에 사용할 file descriptor 1 개만을 input 으로 받게된다. 사실 이 경우에, 굳이 iovec 을 사용할 이유가 없긴 하지만, 아무튼 client 와 통신할 파일 디스크립터를 반환하는 역할을 한다. 그리고 "/system/bin/sh"을 실행시켜주는데, 기본 입출력이 client 의 파일 디스크립터로 변경된 상태이므로, 클라이언트에 interactive root shell 이 떨어지게 된다.

my_SU (mysu)

```c
/*provided by Zhuo Zhang @ Syracuse University*/
//pass dummy message from client to server and wait for response
void handshake_client(int socket) {
    FILE* rand_fp = fopen("/dev/urandom", "r");
    int ack_num;
    fread(&ack_num, sizeof(int), 1, rand_fp);
    fclose(rand_fp);

    write_int(socket, ack_num);
    int back_num = read_int(socket);

    if (back_num != ack_num) {
        shutdown(socket, SHUT_RDWR);
        close(socket);
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
}

/*provided by Zhuo Zhang @ Syracuse University*/
//receive a dummy message from client and send it back
void handshake_server(int socket) {
    int ack_num = read_int(socket);
    write_int(socket, ack_num);
}
```

client 는 동일하게 unix domain socket 에 연결한 후에, handshake 과정을 거치는데, handshake 는 그냥 랜덤 값을 보내놓고, 동일한 값이 리턴되는지 확인하는 것이다.

정상적으로 동작했다면, daemon 에서 I/O redirection 과 dup 가 진행되었으므로, root 권한을 가지게되는데, main 에서 마지막에 execve 를 통해 쉘을 띄워줌으로써, 완전히 유저에게 interactive root shell 을 쓸 수 있게 해준다.

한계점

이번 과제를 진행하며 안드로이드의 전반적인 OS 부팅 구조와 rooting 방법에 대해 공부해볼 수 있었다. 하지만, 이번 과제에서 한계점도 존재했다.

OTA의 정의는 wireless 방식으로 파일을 받아와서, 펌웨어 업데이트를 하는 과정을 노리는 것인데, 리모트에서 받아오는 파일이 아니라는 점이 있다. 또한, secure boot chain이 구현되어 있는 상태에서는 boot/recovery 파티션을 건드리면, 정상 부팅이 불가능하다. 이런 점에 따르면, 이번 과제는 현재 널리 쓰이는 Google의 Pixel 시리즈와 Samsung의 Galaxy 시리즈와 같은 실 기기에는 적용할 수 없다는 점이다.

무엇보다도, recovery OS에서 init.sh에 일종의 명령어들은 모두 root 권한으로 넣게 되는데, 이런 OS가 있더라도, root 권한이 없으면 애초에 불가능한 예제이기 때문에 이번 실습은 매우 특수한 예제임을 알 수 있었다.