운영체제 과제#02

제출자 : 2019101074 안용상

1. cat/proc/cpuinfo 결과

dydtkddhkdwk@dydtkddhkdwk-virtual-machine:~$ cat /proc/cpuinfo
processor : 0
vendor_id : AuthenticAMD
cpu family : 23
model : 113
model name : AMD Ryzen 5 3500X 6-Core Processor
stepping : 0
cpu MHz : 3593.251
cache size : 512 KB
physical id : 0
siblings : 1
core id : 0
cpu cores : 1
apicid : 0
initial apicid : 0
fpu : yes
fpu_exception : yes
cpuid level : 16
wp : yes
flags : fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr pge mca cmov pat pse36 clflush mmx fxsr sse sse2 syscall nx mmxext fxsr_opt pdpe1gb rdtscp lm constant_tsc rep_good nopl tsc_reliable nonstop_tsc cpuid extd_apicid tsc_known_freq pni pclmulqdq ssse3 fma cx16 sse4_1 sse4_2 x2apic movbe popcnt aes xsave avx f16c rdrand hypervisor lahf_lm extapic cr8_legacy abm sse4a misalignsse 3dnowprefetch osvw topoext ssbd ibpb vmmcall fsgsbase bmi1 avx2 smep bmi2 rdseed adx smap clflushopt clwb sha_ni xsaveopt xsavec xgetbv1 xsaves clzero wbnoinvd arat umip rdpid overflow_recov succor
bugs : fxsave_leak sysret_ss_attrs null_seg spectre_v1 spectre_v2 spec_store_bypass retbleed smt_rsb
bogomips : 7186.50
TLB size : 3072 4K pages
clflush size : 64
cache_alignment : 64
address sizes : 45 bits physical, 48 bits virtual
power management:

processor : 1
vendor_id : AuthenticAMD

cpu family : 23
model : 113
model name : AMD Ryzen 5 3500X 6-Core Processor
stepping : 0
cpu MHz : 3593.251
cache size : 512 KB
physical id : 2
siblings : 1
core id : 0
cpu cores : 1
apicid : 2
initial apicid : 2
fpu : yes
fpu_exception : yes
cpuid level : 16
wp : yes
flags : fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr pge mca cmov pat pse36 clflush mmx fxsr sse sse2 syscall nx mmxext fxsr_opt pdpe1gb rdtscp lm constant_tsc rep_good nopl tsc_reliable nonstop_tsc cpuid extd_apicid tsc_known_freq pni pclmulqdq ssse3 fma cx16 sse4_1 sse4_2 x2apic movbe popcnt aes xsave avx f16c rdrand hypervisor lahf_lm extapic cr8_legacy abm sse4a misalignsse 3dnowprefetch osvw topoext ssbd ibpb vmmcall fsgsbase bmi1 avx2 smep bmi2 rdseed adx smap clflushopt clwb sha_ni xsaveopt xsavec xgetbv1 xsaves clzero wbnoinvd arat umip rdpid overflow_recov succor
bugs : fxsave_leak sysret_ss_attrs null_seg spectre_v1 spectre_v2 spec_store_bypass retbleed smt_rsb
bogomips : 7186.50
TLB size : 3072 4K pages
clflush size : 64
cache_alignment : 64
address sizes : 45 bits physical, 48 bits virtual
power management:

2. lsmod결과

Module Size Used by
my_module3 16384 0
isofs 53248 1
vsock_loopback 16384 0
vmw_vsock_virtio_transport_common 45056 1 vsock_loopback
vmw_vsock_vmci_transport 32768 2
vsock 49152 7
vmw_vsock_virtio_transport_common,vsock_loopback,vmw_vsock_vmci_transport

```
binfmt_misc            24576  1
intel_rapl_msr         20480  0
snd_ens1371            28672  2
snd_ac97_codec        176128  1 snd_ens1371
intel_rapl_common      40960  1 intel_rapl_msr
gameport               24576  1 snd_ens1371
crct10dif_pclmul       16384  1
ac97_bus               16384  1 snd_ac97_codec
snd_pcm               159744  2 snd_ac97_codec,snd_ens1371
nls_iso8859_1          16384  1
ghash_clmulni_intel    16384  0
snd_seq_midi           20480  0
snd_seq_midi_event     16384  1 snd_seq_midi
snd_rawmidi            45056  2 snd_seq_midi,snd_ens1371
vmw_balloon            28672  0
aesni_intel           376832  0
crypto_simd            16384  1 aesni_intel
cryptd                 24576  2 crypto_simd,ghash_clmulni_intel
snd_seq                77824  2 snd_seq_midi,snd_seq_midi_event
joydev                 32768  0
input_leds             16384  0
serio_raw              20480  0
snd_seq_device         16384  3 snd_seq,snd_seq_midi,snd_rawmidi
snd_timer              40960  2 snd_seq,snd_pcm
snd                   114688  11
snd_seq,snd_seq_device,snd_timer,snd_ac97_codec,snd_pcm,snd_rawmidi,snd_ens1371
soundcore              16384  1 snd
vmw_vmci               90112  2 vmw_balloon,vmw_vsock_vmci_transport
mac_hid                16384  0
sch_fq_codel           24576  2
vmwgfx                372736  6
drm_ttm_helper         16384  1 vmwgfx
ttm                    98304  2 vmwgfx,drm_ttm_helper
drm_kms_helper        200704  1 vmwgfx
fb_sys_fops            16384  1 drm_kms_helper
syscopyarea            16384  1 drm_kms_helper
sysfillrect            20480  1 drm_kms_helper
sysimgblt              20480  1 drm_kms_helper
msr                    16384  0
parport_pc             53248  0
ppdev                  24576  0
lp                     28672  0
parport                73728  3 parport_pc,lp,ppdev
```

```
drm                   581632  10 vmwgfx,drm_kms_helper,drm_ttm_helper,ttm
pstore_blk             16384  0
pstore_zone            32768  1 pstore_blk
ramoops                32768  0
reed_solomon           28672  1 ramoops
efi_pstore             16384  0
ip_tables              32768  0
x_tables               57344  1 ip_tables
autofs4                45056  2
hid_generic            16384  0
usbhid                 65536  0
hid                   159744  2 usbhid,hid_generic
crc32_pclmul           16384  0
psmouse               180224  0
ahci                   49152  1
libahci                49152  1 ahci
e1000                 159744  0
mptspi                 24576  2
mptscsih               49152  1 mptspi
mptbase               106496  2 mptspi,mptscsih
scsi_transport_spi     32768  1 mptspi
i2c_piix4              32768  0
pata_acpi              16384  0
floppy                118784  0
```

3. GPT코드 메모리 취약점 및 트리거 방법 내용설명

우선 지피티가 제공해준 코드는 다음과 같다.

```
#include <linux/module.h>//Linux 커널 모듈 개발을 위한 기본 헤더 파일
#include <linux/kernel.h>//커널 모듈 개발을 위해 필요한 커널 함수와 매크로를 포함하는 헤더 파일
#include <linux/proc_fs.h> //proc 파일 시스템을 사용하기 위한 헤더 파일
#include <linux/uaccess.h> //사용자 공간과 커널 공간 간의 데이터 복사를 지원하는 함수를 포함하는 헤더 파일
#define PROC_ENTRY_FILENAME "my_proc_entry"
static struct proc_dir_entry *proc_entry;
static ssize_t my_write(struct file *file, const char __user *buffer, size_t count, loff_t *f_pos){
    char input[128];
    if (copy_from_user(input, buffer, count)){
    }
    input[min(count, (sizeof(input)-1))] = '\0';
    printk(KERN_INFO "my_proc_entry was written: %s\n", input);
    return count;
}

static const struct proc_ops myops = {
    .proc_write = my_write;
}
int init_module(){
```

```
    printk(KERN_INFO "Loading module...\n");
    proc_entry = proc_create(PROC_ENTRY_FILENAME, 0666, NULL, &myops);
    if (proc_entry == NULL){
        printk(KERN_INFO "Couldn't create proc entry \n");
        return -ENOMEM;
    }
    return 0;
}
void cleanup_module(){
    printk(KERN_INFO "Unloading module...\n");
    proc_remove(proc_entry)
}
```

GPT코드의 메모리 취약점을 찾아내기 위해, 먼저 GPT가 제시한 코드를 간략히 살펴보겠다

먼저 init_module()함수는 쉘에서 insmod라는 명령어를 실행시킬 때, 실행이 되며, 모듈을 초기화하고 로딩시키며, 사용자가 그 안에서 정의한 코드를 실행시킨다.

그 안을 살펴보면 먼저 printk라는 함수가 있는데, 이는 dmesg로 띄운 로그화면에 메세지를 출력하게 해주는 함수이다.

그 다음 proc_entry라는 변수를 초기화해주는데, proc_entry란 proc_dir_entry구조체로 위에서 정의했다. 이 proc_dir_entry구조체는 간략하게 프로세스 파일 시스템관련 작업에 대한 핸들을 저장하는 변수라고 생각할 수 있다.

이에 할당연산자 우측의 함수 proc_create()함수를 보자. 이 함수는 두가지 기능을 수행한다.

파라미터로 건네받은 인자들을 이용해서, 프로세스 파일을 /proc경로에 생성하고, 두번째로 그 파일에 대한 핸들을 구조체로써 반환하며 proc_entry 변수에 저장하게 한다.

이때 /proc경로에 생성되는 파일의 이름은 PROC_ENTRY_FILENAME이라고 위에서 정의한 매크로에 정의된 이름이다.

그리고 파라미터의 마지막 &myops는 위에서 정의한 proc_ops구조체의 myops구조체 인스턴스이다. 이 proc_ops구조체는 프로세스 파일에 대한 작업 콜백 함수를 정의해놓은 구조체이다. 프로세스 파일로부터 데이터를 읽거나, 프로세스 파일에 데이터를 쓰거나 할때, 즉 프로세스 파일과 관련해서 어떤 작업을 할 때, 작업이 진행되는 시점에서 호출되어 원하는 동작을 수행하도록 하는 코드가 모인곳이다. 그러한 구조체에는 read,write 등등 관련 함수들이 멤버함수로써 정의되어있고, 그 구조체로 인스턴스를 정의하면 그 멤버함수들을 그대로 내려받는다.

그런데 이때, GPT의 코드에서는 proc_ops구조체의 .proc_write멤버함수를 사용자 정의함수인 my_write()라는 함수로 대체하고 있다.

이제 my_write()라는 함수를 사용자 정의해놓은 부분을 보자. my_write()함수는 어떻게 만들어졌는지 살펴보면, 유저영역에서 작성한 데이터가 담긴 버퍼를 건네받아, 커널영역의 버퍼인 input이라는 이름의 버퍼에 옮겨 담는 함수이며, 그 작업이 끝나면, input버퍼안에 들어간 문자열데이터를 dmesg화면의 로그에 출력해주는 함수이다.

그리고 마지막으로 clean_up이라는 함수는 로딩된 모듈을 언로드해주는 함수이다.

GPT가 준 이코드에서 메모리 취약점이 생길 수 있는 코드부분을 생각해봤다.

굉장히 다양할 수 있지만, 나는 my_write()함수 내에서 그 취약점을 찾아냈다.

```
static ssize_t my_write(struct file *file, const char __user *buffer, size_t count, loff_t *f_pos){
    char input[128];
    if (copy_from_user(input, buffer, count)){
        return -EFAULT;
    }
    input[min(count, (sizeof(input)-1))] = '\0';
    printk(KERN_INFO "my_proc_entry was written: %s\n", input);
    return count;
}
```

위와 같이 my_write함수가 정의되어 있는데

input을 크기 128의 문자배열로 선언하는 코드 대신에

char *input = NULL;의 코드로 바꿔넣는다면 어떨까?

그리고 input[0] = ‘A’;라는 코드를 넣어서 input이 가리키는 곳의 값에 접근하는 코드를 넣는다면 어떻게 될까?

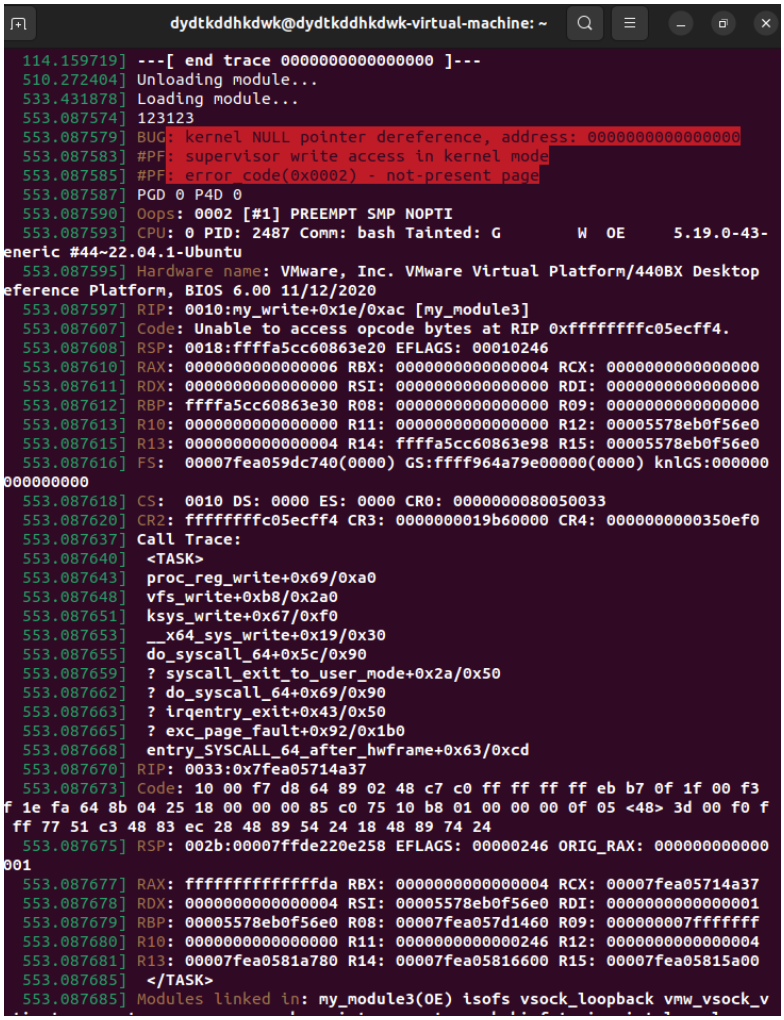
런타임에 이러한 코드가 그대로 실행이 된다면, 널포인터의 값에 접근하려 하는 것이기 때문에, 유효한 메모리 주소에 대한 값접근이 아니라서 예외가 발생하게 된다. 컴파일 시간에 이를 잡아내지 못하기 때문에, 컴파일 오류 없이 진행이되고, 런타임에서 커널 크래시가 일어난다.

```
static ssize_t my_write(struct file *file, const char __user *buffer, size_t count, loff_t *f_pos){
    char *input = NULL;
    input[0] = 'A';
    if (copy_from_user(input, buffer, count)){
        return -EFAULT;
    }
    input[min(count, (sizeof(input)-1))] = '\0';
    printk(KERN_INFO "my_proc_entry was written: %s\n", input);
    return count;
}
```

실제로 이렇게 해서 컴파일을 시킨뒤, 모듈을 적재하고 echo로 아무 값이나 전달해서 my_write콜백함수를 호출했을 때, 실제로 그 부분이 크래시의 트리거가 되는 것을 직접 확인했다.

따라서 GPT가 제공해준 코드는, NULL POINTER에 대해 메모리 취약점을 가지고 있었다고 할 수 있다.

4. dmesg 전체 코드




```
irtio_transport_common vmw_vsock_vmci_transport vsock binfmt_misc intel_rapl_msr
snd_ens1371 snd_ac97_codec intel_rapl_common gameport crct10dif_pclmul ac97_bus s
nd_pcm nls_iso8859_1 ghash_clmulni_intel snd_seq_midi snd_seq_midi_event snd_rawm
idi vmw_balloon aesni_intel crypto_simd cryptd snd_seq joydev input_leds serio_ra
w snd_seq_device snd_timer snd soundcore vmw_vmci mac_hid sch_fq_codel vmwgfx drm
_ttm_helper ttm drm_kms_helper fb_sys_fops syscopyarea sysfillrect sysimgblt msr
parport_pc ppdev lp parport drm pstore_blk pstore_zone ramoops reed_solomon efi_p
store ip_tables x_tables autofs4 hid_generic usbhid hid crc32_pclmul psmouse ahci
 libahci e1000 mptspi mptscsih mptbase scsi_transport_spi i2c_piix4 pata_acpi flo
ppy [last unloaded: my_module3]
[  553.087756] CR2: 0000000000000000
[  553.087758] ---[ end trace 0000000000000000 ]---
[  553.087760] RIP: 0010:my_write+0x1e/0xac [my_module3]
[  553.087766] Code: Unable to access opcode bytes at RIP 0xffffffffc05ecff4.
[  553.087767] RSP: 0018:ffffa5cc60863e20 EFLAGS: 00010246
[  553.087769] RAX: 0000000000000006 RBX: 0000000000000004 RCX: 0000000000000000
[  553.087771] RDX: 0000000000000000 RSI: 0000000000000000 RDI: 0000000000000000
[  553.087772] RBP: ffffa5cc60863e30 R08: 0000000000000000 R09: 0000000000000000
[  553.087773] R10: 0000000000000000 R11: 0000000000000000 R12: 00005578eb0f56e0
[  553.087774] R13: 0000000000000004 R14: ffffa5cc60863e98 R15: 00005578eb0f56e0
[  553.087776] FS:  00007fea059dc740(0000) GS:ffff964a79e00000(0000) knlGS:000000
0000000000
[  553.087777] CS:  0010 DS: 0000 ES: 0000 CR0: 0000000080050033
[  553.087779] CR2: ffffffffc05ecff4 CR3: 0000000019b60000 CR4: 0000000000350ef0
```

5. 크래시 로그에 대해서 학습 후 내용을 설명

커널 크래시에 대한 로그정보는 매우 길다.

그래서 이번 경우에 해당하는 커널크래시 로그정보를 크게 5가지 구획으로 위에서부터 나온순서대로 나눠 정리해봤다

첫번째	크래시의 종류에 대한 핵심 요약
두번째	현재 하드웨어 스펙에 대한 설명
세번째	크래시가 유발된 순간의 명령어 위치에 대한 상세정보(오프셋까지) 요약
네번째	크래시가 발생한 그 순간에 수많은 다양한 레지스터들이 갖고있던 값들을 레지스터이름과 짝지어서 출력하는 부분
다섯번째	Call Trace라고 불리는 호출추적에 대한 로깅정보를 출력하는 부분

이 다섯가지 구획에서 물론 모든 정보가 중요하지만 첫번째 세번째 다섯번째에 대한 정보가 보다 더 중요하다고 생각한다. 그래서 그 부분에 대한 설명을 요약해보겠다.

첫번째 구획. 크래시의 종류에 대한 핵심 요약은 다음과 같다.

[553.087579] BUG: kernel NULL pointer dereference, address: 0000000000000000 부터

[553.087590] Oops: 0002 [#1] PREEMPT SMP NOPTI 까지 이어지는 로그는 다음과 같다.

가장 위의 로그 문장은 커널에서 NULL 포인터 역참조 오류가 발생했고, 해당 버그가 0x0000000000000000 주소에서 발생했다는 것을 알려주며, 그 뒤로 이어지는 로그들은 NULL 포인터 역참조 오류의 과정을 보다 상세하게 기술해준다. 커널 모드에서 슈퍼바이저 쓰기 접근을 시도했지만, 쓰고자 하는 값의 주소가 널포인터이기 때문에, 그에 대응하는 페이지에 대한 권한을 현재 프로세스는 갖고있지 않으며, 그에따라 PageFault오류가 나게되었다는 의미를 함축하고 있다. 또한 마지막 줄은 커널 패닉이 오류코드 0002로써 발생했다는 것을 알려준다.

세번째 구획. 크래시가 유발된 순간의 명령어 위치에 대한 상세정보(오프셋까지) 요약한 부분

[553.087597] RIP: 0010:my_write+0x1e/0xac [my_module3]
[553.087607] Code: Unable to access opcode bytes at RIP 0xffffffffc05ecff4

위 두 로그는 현재 실행중인 명령어의 위치인 RIP의 값을 알려주고 있다. 즉 커널 크래시가 난 순간에 위치했던 명령어 위치. 다시말해 크래시가 일어난 명령어의 위치를 로깅하고 있다. 그 위치를 my_module3라는 모듈의 my_write함수에서 그 함수 전체크기 0xac중에 0x1e만큼 떨어진 곳으로 설명하고 있다. 또한 RIP 주소 0xffffffffc05ecff4에서 명령어 바이트에 접근할 수 없음을 알려주고 있다.

다섯번째 구획. Call Trace라고 불리는 호출추적에 대한 로깅정보를 출력하는 부분

Call Trace아래부분은 다음과 같다. <Task>태그부터 </Task>태그까지 아래로 갈 수록 호출순서의 역순으로 함수들의 호출을 추적한 로그를 출력해준다. 이 정보로 현재 스택상태를 알 수 있고, 현재 호출상태를 파악할 수 있다.

추가로 Modules linked in으로 시작하는 긴 문장이 있는 부분이 있는데, 시스템에서 현재 로드된 모듈의 목록을 보여준다. 그 부분을 살펴보면 가장 먼저, 크래시를 유발한 코드를 담고있는 my_module3 모듈이 출력이되는 것을 볼 수 있다.