UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Fuzzing Practical Lab

Software Security

a.a. 2023/2024

Laurea Magistrale in Ing. Informatica

Roberto Natella

Challenge

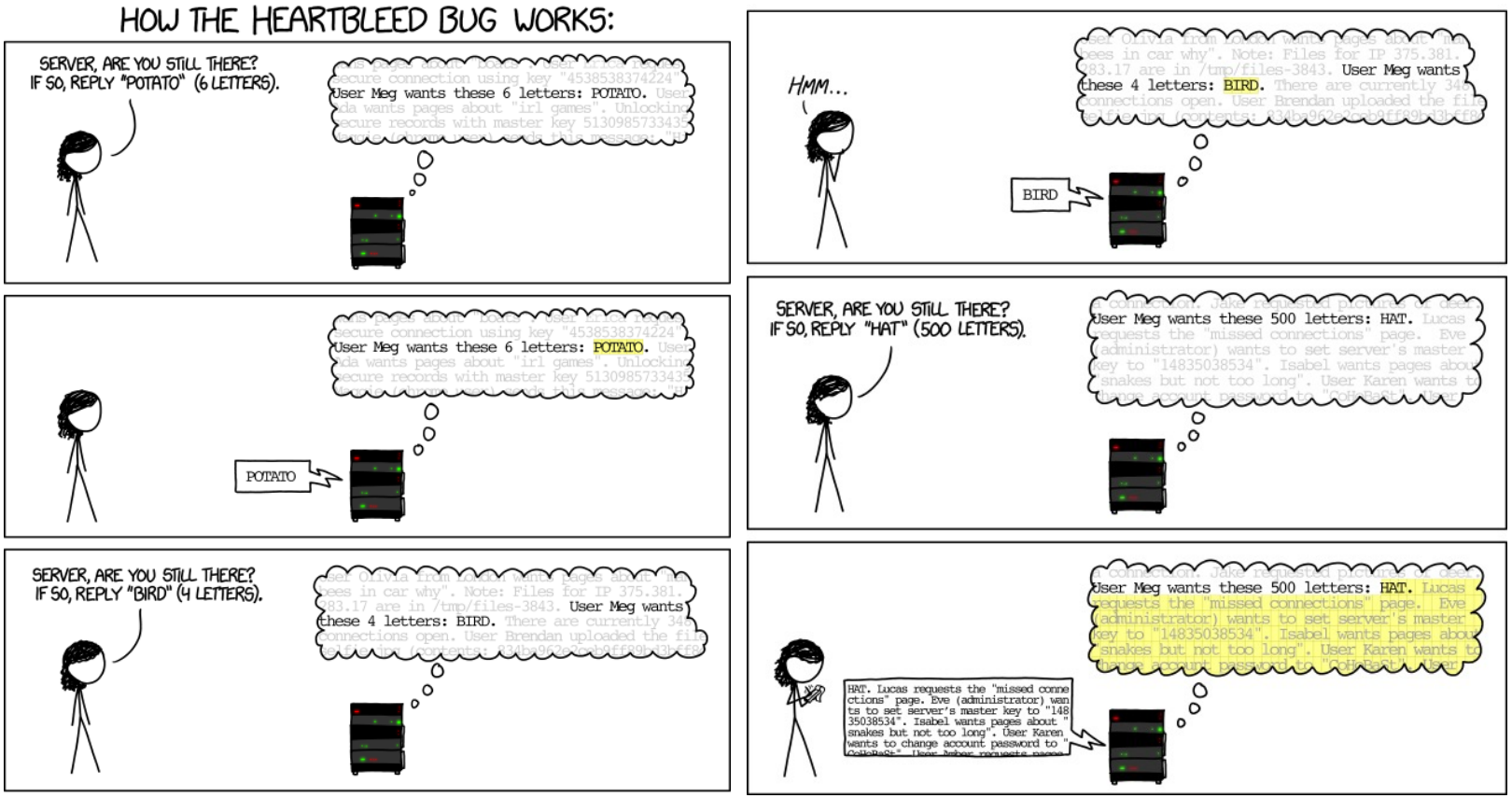
- Challenge (required):
  - Fuzz OpenSSL with **AFL** and **Address Sanitizer** (ASAN)
  - Reproduce Heartbleed
  - Interpret results, diagnose the bug

- Challenge (extra):
  - Try crashing the program without ASAN
  - Analyze the program with Valgrind
  - Run AFL with performance optimizations
  - Fix Heartbleed

Challenge: Fuzzing OpenSSL

- **OpenSSL** è una libreria che implementa i protocolli TLS (Transport Layer Security) ed SSL (Secure Socket Layer)
- Nel 2014, è stata riscontrata una vulnerabilità **buffer over-read** (CVE-2014-0160) nel componente Heartbeat Extension
- È possibile identificarla usando AFL con ASAN
- La versione vulnerabile della libreria è la **1.0.1f**

Challenge: Fuzzing OpenSSL



Challenge: Fuzzing OpenSSL

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

- Se si utilizza la VM del corso, **AFL** è già installato
- Altrimenti, installare **AFL** usando il package manager della propria distribuzione Linux
- In Ubuntu, è disponibile il pacchetto "**AFLplusplus**"

```
$ sudo apt install afl++
```

Challenge: Fuzzing OpenSSL

- Dal repository Git del corso, nella sotto-cartella "**fuzzing/heartbleed**", prelevare il **codice sorgente della libreria OpenSSL**
- Sarà copiato nella sottocartella "**openssl**"

```
$ git pull
$ git submodule init
$ git submodule update
```

- Compilare la **libreria OpenSSL**, abilitando anche **ASAN**

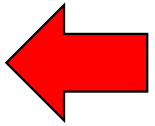
```
$ cd openssl
$ <variabili di ambiente CC, CXX> ./config -d -g -no-shared
$ <variabili di ambiente ASAN> make build_libs
```

Challenge: Fuzzing OpenSSL

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

- You can compile the library and the test harness either using **GCC**:
  - **afl-gcc** (for C code, **CC** environment var.)
  - **afl-g++** (for C++ code, **CXX** environment var.)

- Or, you can use the **Clang** compiler suite:
  - **afl-clang-fast** (for C code, **CC** environment var.)
  - **afl-clang-fast++** (for C++ code, **CXX** environment var.)



IN DOUBT, PICK THIS ONE!

Challenge: Fuzzing OpenSSL

- Completare il seguente programma di "test harness" (**handshake.cc**)
- **Leggere 100 byte da STDIN**, e **copiarli in un array "data" di byte**

handshake.cc

```
int main() {
  static SSL_CTX *sctx = Init();
  SSL *server = SSL_new(sctx);
  BIO *sinbio = BIO_new(BIO_s_mem());
  BIO *soutbio = BIO_new(BIO_s_mem());
  SSL_set_bio(server, sinbio, soutbio);
  SSL_set_accept_state(server);

  /* TODO: To spoof one end of the handshake, we need
           to write data to sinbio here */

  BIO_write(sinbio, data, size);

  SSL_do_handshake(server);
  SSL_free(server);
  return 0;
}
```

Complete this part, using **read()** to copy 100 bytes from **STDIN** into an array **data[100]**

This function **calls the target library**, using the input data. Replace "size" with 100.

https://stackoverflow.com/questions/15883568/reading-from-stdin

Challenge: Fuzzing OpenSSL

- Compilare il **test harness**, utilizzando il **compilatore fornito da AFL**, e abilitando **ASAN**

```
$ <var. ASAN> <compilatore AFL C++> handshake.cc
            -o handshake
            openssl/libssl.a openssl/libcrypto.a
            -I openssl/include -ldl
```

- Per eseguire il programma, **creare un certificato fittizio** con il comando "openssl"

```
$ openssl req -x509 -newkey rsa:512
      -keyout server.key -out server.pem
      -days 365 -nodes -subj /CN=a/
```

Challenge: Fuzzing OpenSSL

- Creare una cartella "input", con il **seed** per il fuzzing
- Usare come seed un **semplice file di testo** (es., un file la parola "ciao")
- Avviare AFL con il test harness
- Attendere un breve tempo (es. 5 minuti), verificare che venga rilevato un crash

```
$ afl-fuzz <parametri> -- <programma target>
```

Fare attenzione a NON usare **@@**, in modo che gli input siano passati **via STDIN**

Diagnose the bug (ASan)

- Eseguire nuovamente il programma "handshake" (senza AFL), passandogli in ingresso il file con l'input che causa il crash

```
$ ./handshake < file_input_crash
```

- Interpretare l'output di ASAN
  - che **tipo di errore che è stato rilevato**?
  - qual è **il punto nel codice di OpenSSL** che causa l'errore?
  - qual è **il punto nel codice di OpenSSL** che ha allocato il buffer?

Diagnose the bug (GDB)

- Eseguire ancora una volta "handshake", **via GDB**
- Se **ASan** è abilitato, inserire un **breakpoint** prima di lanciare l'esecuzione (ferma il processo prima di terminare)
- Ispezionare lo **stack frame**, ed il contenuto della variabile "**payload**"

```
gdb> set breakpoint pending on
gdb> break __asan::ReportGenericError
gdb> run < file_input_crash
...
gdb> backtrace
gdb> frame 2
gdb> print/x payload
```

Diagnose the bug (inputs)

- Si confronti il contenuto della variabile "**payload**" con il **contenuto del file di input**
- Quali sono i byte dell'input che provocano l'errore?

```
$ hexdump -C file_input_crash
```

Challenge extra

- Modify the test harness to use AFL **"persistent mode"** (__AFL_LOOP)
  - Recommended: Compile with **afl-clang-fast++**
  - Otherwise: To use **afl-g++**, you have to add defines in the test harness
  - See https://github.com/AFLplusplus/AFLplusplus/blob/stable/instrumentation/README.persistent_mode.md
- How much does it improve the **throughput of test executions**?
  - Compare throughput with/without persistent mode
- How long it takes to trigger the crash?

Challenge extra

- Check that, **without ASAN**, the crash cannot be triggered. Why?

- Experiment with **Valgrind** to diagnose the crash

Challenge extra: fix Heartbleed

- L'errore è legato alla seguente struttura dati
- Definita in *include/openssl/ssl3.h*

```
typedef struct ssl3_record_st
        {
/*r */  int type;               /* type of record */
/*rw*/  unsigned int length;    /* How many bytes available */
/*r */  unsigned int off;       /* read/write offset into 'buf' */
/*rw*/  unsigned char *data;    /* pointer to the record data */
/*rw*/  unsigned char *input;   /* where the decode bytes are */
/*r */  unsigned char *comp;    /* only used with decompression - malloc()ed */
/*r */  unsigned long epoch;    /* epoch number, needed by DTLS1 */
/*r */  unsigned char seq_num[8]; /* sequence number, needed by DTLS1 */
        } SSL3_RECORD;
```

Challenge extra: fix Heartbleed

- L'errore è legato alla seguente struttura dati
- Definita in *include/openssl/ssl3.h*

```
typedef struct ssl3_record_st
        {
/*r */  int type;
/*rw*/  unsigned int length;     /* How many bytes available */
/*r */  unsigned int off;        /* read/write offset into 'buf' */
/*rw*/  unsigned char *data;     /* pointer to the record data */
/*rw*/  unsigned char *input;    /* where the decode bytes are */
/*r */  unsigned char *
/*r */  unsigned long
/*r */  unsigned char
        } SSL3_RECORD
```

Il valore di "`length`" deve essere maggiore o uguale a "`payload_length + 1+2+16`"

"`data`" è un vettore di byte, strutturato come:

type (1 byte)	**payload_length** (2 byte)	**...dati...** (variabile)	**...padding** (arrotonda a 16)

Challenge extra: fix Heartbleed

- **Correggere** il codice vulnerabile per prevenire l'attacco
  - aggiungere "return 0" se "payload_length" è eccessivamente elevato

```
unsigned char *p = &s->s3->rrec.data[0], *pl;
unsigned short hbtype;
unsigned int payload;
unsigned int padding = 16; /* Use minimum padding */

/* Read type and payload length first */
hbtype = *p++;
n2s(p, payload);

...
/* Enter response type, length and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RESPONSE;
s2n(payload, bp);
memcpy(bp, pl, payload);
```

Challenge extra: fix Heartbleed

- **Correggere** il codice vulnerab
  - aggiungere "return 0" se "payloa to

```
unsigned char *p = &s->s3->rrec.data[0], *pl;
unsigned short hbtype;
unsigned int payload;
unsigned int padding                                    */

/* Read type and p
hbtype = *p++;
n2s(p, payload);
<INPUT VALIDATION>
...
/* Enter response type,      th and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RES
s2n(payload, bp);
memcpy(bp, pl, payl
```

"**s->s3->rrec**" contiene la struct "**SSL3_RECORD**", inclusi "**length**" e "**data**"

Scrive in "**hbtype**" il primo byte ("**data[0]**")

Scrive in "**payload**" i successivi 2 byte ("**data[1]**, **data[2]**")

Se i dati sono invalidi, scartare il messaggio in questo punto, con "**return 0**"

More labs

- Fuzzing 101 (GitHub Security Labs)
  - WinAFL, QEMU instrumentation, fuzzing JS engines
  - https://github.com/antonio-morales/Fuzzing101