Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü5 – C und Sicherheit

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2014 – 08. bis 12. Dezember 2014

https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS14/V_SP2

Agenda

25-Hacking_handout

Agenda

25-Hacking_handout

Stack-Aufbau eines Prozesses

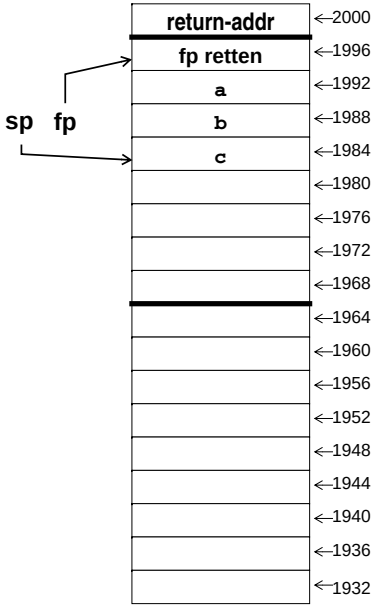
- Bei jedem Funktionsaufruf wird ein **Stack-Frame** angelegt, der u. a.
  - lokale Variablen der Funktion
  - Aufrufparameter an weitere Funktionen
  - gesicherte Register

  ... enthält
- Beim Rücksprung wird dieser Stack-Frame wieder abgeräumt
- Stack-Organisation ist abhängig von:
  - Prozessorarchitektur
  - Compiler (auch von Version und Flags)
  - Betriebssystem
- Im Folgenden: Beispiel für Linux auf einem x86-Prozessor (32-Bit, typisch für CISC-Architektur)
  - Spezifikation: `http://sco.com/developers/devspecs/abi386-4.pdf`
  - RISC-Prozessoren mit Register-Files gehen anders vor

25-Hacking_handout

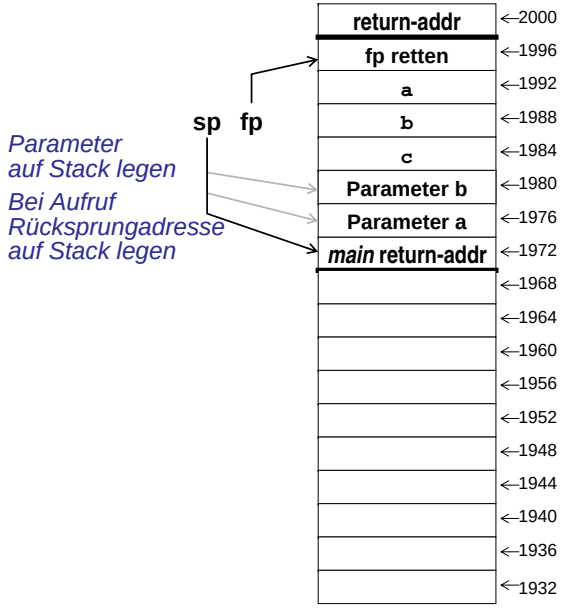
```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}
```

Stack-Frame für main erstellen
&a = fp - 4
&b = fp - 8
&c = fp - 12




```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}
```

Parameter auf Stack legen
Bei Aufruf Rücksprungadresse auf Stack legen

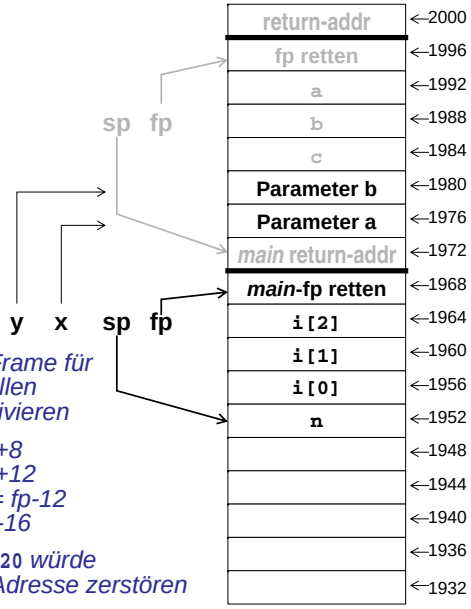



```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}

int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}
```

Stack-Frame für f1 erstellen und aktivieren

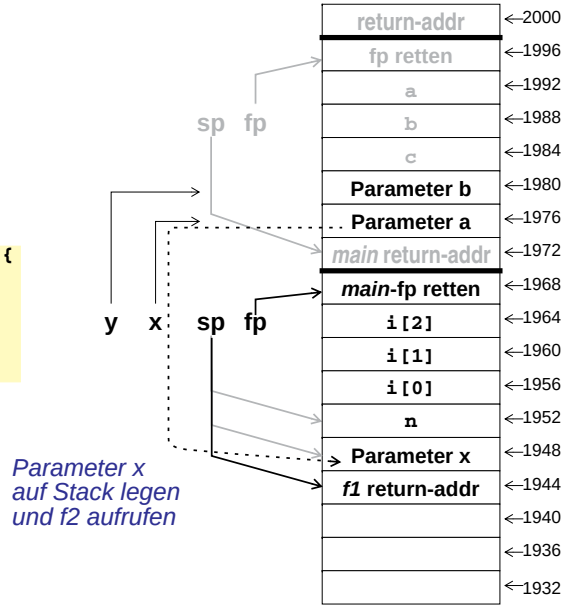
&x = fp+8
&y = fp+12
&(i[0]) = fp-12
&n = fp-16

`i[4] = 20` *würde return-Adresse zerstören*

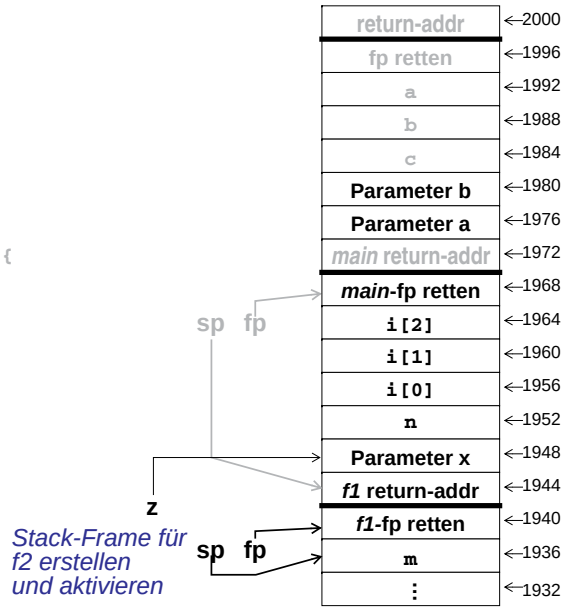



```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}

int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}
```

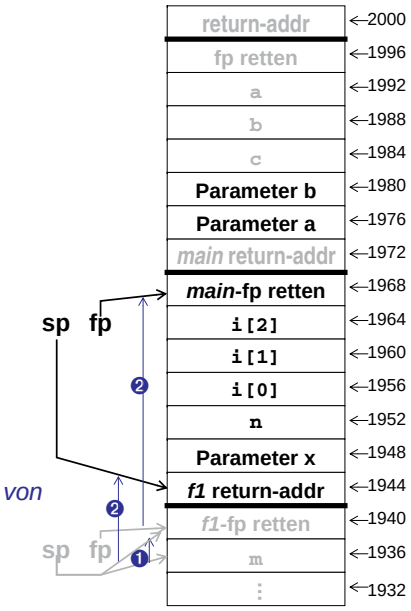
Parameter x auf Stack legen und f2 aufrufen



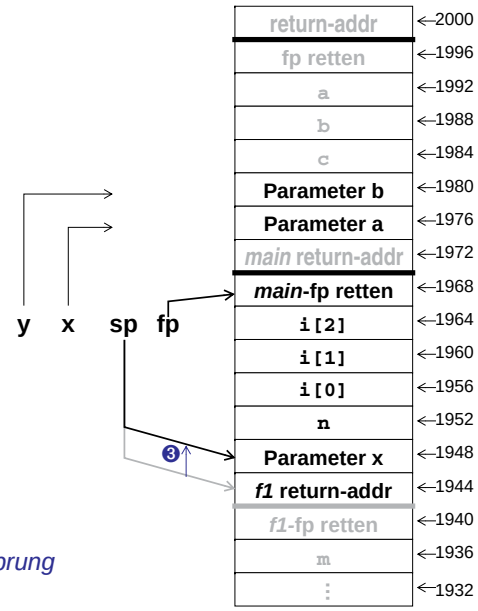
```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}

int f2(int z) {
        int m;

        m = 100;

        return(z+1);
}
```



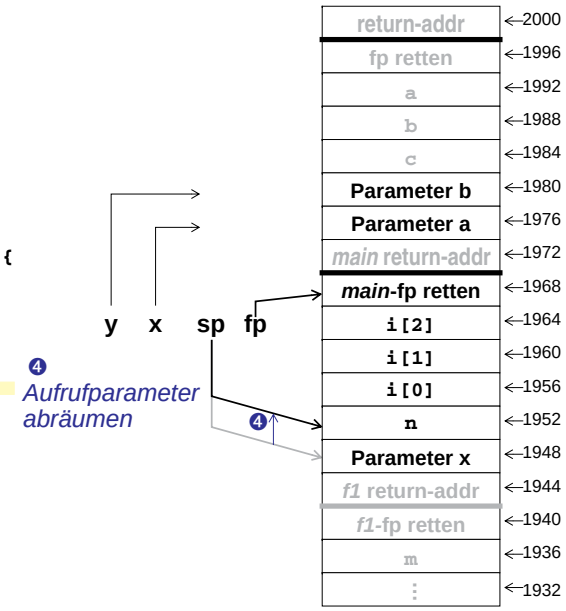

```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}

int f2(int z) {
        int m;

        m = 100;

        return(z+1);
}
```



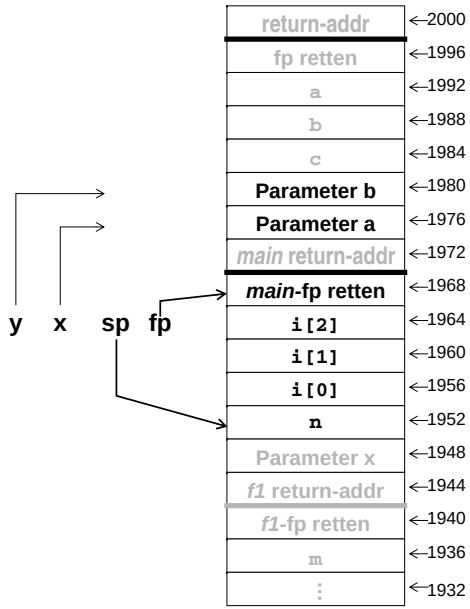

```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}

int f2(int z) {
        int m;

        m = 100;

        return(z+1);
}
```



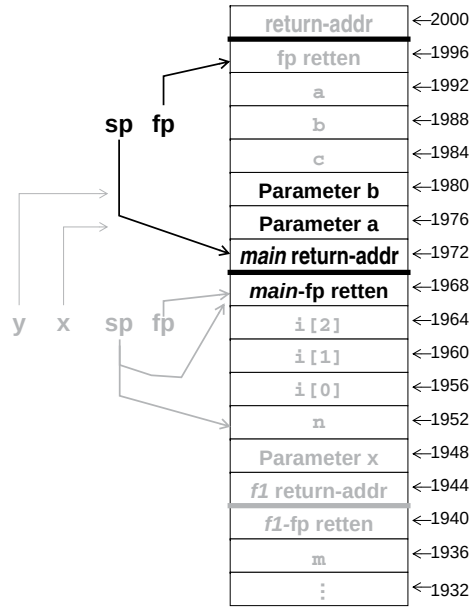

```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}
```



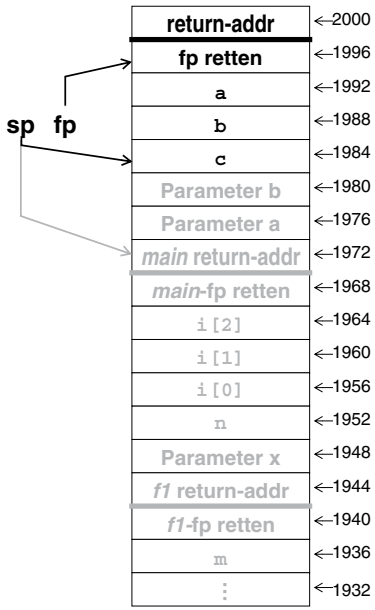
```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}
```



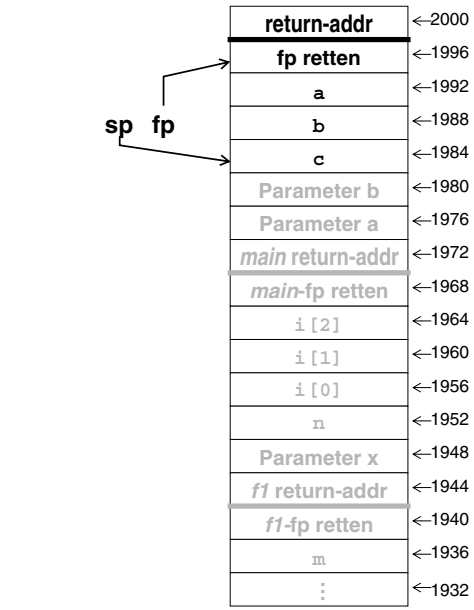

```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}
```




```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}


int f1(int x, int y) {
        int i[3];
        int n;

        x++;

        n = f2(x);

        return(n);
}
```




```
main() {
        int a, b, c;

        a = 10;
        b = 20;

        f1(a, b);

        return(a);
}
```



Agenda

Live-Hacking

- Simples Authentifizierungs-Programm (z. B. einem Netzwerkdienst vorgeschaltet):
  1. Passwortabfrage
  2. Korrektes Passwort → Starten einer Shell
- Code liegt in `/proj/i4sp2/pub/hack-demo`
  - Ausführen mit Skript `run.sh`
- Schaffen wir es die Shell zu starten, ohne das korrekte Passwort zu kennen?

Live-Hacking

- Passwort-Authentifizierung:

```
static int authenticate(void) {

    fputs("Password: ", stdout);
    fflush(stdout);

    char password[8 + 1]; // Maximum: 8 characters and '\0'
    int n = scanf("%s", password);
    if (n == EOF)
        return -1;

    return checkPassword(password);
}
```

- `scanf()` überprüft nicht auf Pufferüberschreitung!
  - Das Array `password` liegt auf dem Stack
  - Nach dem Einlesen von 9 Zeichen überschreiben alle folgenden Zeichen andere Daten auf dem Stack

Angriffsplan

1. Pufferüberlauf innerhalb von `authenticate()` hervorrufen
2. Rücksprungadresse mit der Adresse der Funktion `executeShell()` überschreiben
3. Shell benutzen und freuen :-)

Analysieren des Code-Layouts

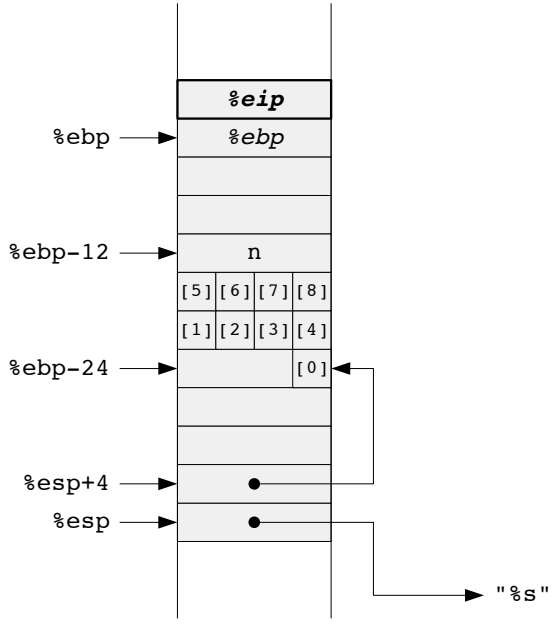
- Wo im Textsegment liegen unsere Funktionen?

```
$ nm auth
080489e0 r PASSWD_FILE
08048a04 r SHELL
08049b8c d _DYNAMIC
08049c88 d _GLOBAL_OFFSET_TABLE_
080489c4 R _IO_stdin_used
         w _ITM_deregisterTMCloneTable
         w _ITM_registerTMCloneTable
         w _Jv_RegisterClasses
08048b7c r __FRAME_END__
08049b88 d __JCR_END__
08049b88 d __JCR_LIST__
08049cd8 D __TMC_END__
08049cd8 A __bss_start
08049cd0 D __data_start
08048730 t __do_global_dtors_aux
08049b84 t __do_global_dtors_aux_fini_array_entry
08049cd4 D __dso_handle
08049b80 t __frame_dummy_init_array_entry
         w __gmon_start__
0804899a T __i686.get_pc_thunk.bx
08049b84 t __init_array_end
08049b80 t __init_array_start
         U __isoc99_scanf@@GLIBC_2.7
08048930 T __libc_csu_fini
08048940 T __libc_csu_init
         U __libc_start_main@@GLIBC_2.0
08049cd8 A _edata
08049ce8 A _end
080489a0 T _fini
080489c0 R _fp_hw
08048568 T _init
08048690 T _start
0804884c t authenticate
0804877c t checkPassword
08049ce4 b completed.5730
         U crypt@@GLIBC_2.0
08049cd0 W data_start
080486c0 t deregister_tm_clones
         U execl@@GLIBC_2.0
080488b4 t executeShell
         U exit@@GLIBC_2.0
         U fclose@@GLIBC_2.1
         U ferror@@GLIBC_2.0
         U fflush@@GLIBC_2.0
         U fgetpwent@@GLIBC_2.0
         U fopen@@GLIBC_2.1
08048750 t frame_dummy
         U fwrite@@GLIBC_2.0
080488ee T main
         U perror@@GLIBC_2.0
         U puts@@GLIBC_2.0
080486f0 t register_tm_clones
08049ce0 B stdout@@GLIBC_2.0
         U strcmp@@GLIBC_2.0
```


Analysieren des Stack-Layouts


```
$ objdump -d auth
0804884c <authenticate>:
 804884c:       55                      push   %ebp
 804884d:       89 e5                   mov    %esp,%ebp                Aufbauen des Stack-Frames
 804884f:       83 ec 28                sub    $0x28,%esp
 8048852:       a1 a0 9c 04 08          mov    0x8049ca0,%eax
 8048857:       89 44 24 0c             mov    %eax,0xc(%esp)
 804885b:       c7 44 24 08 0a 00 00    movl   $0xa,0x8(%esp)
 8048862:       00
 8048863:       c7 44 24 04 01 00 00    movl   $0x1,0x4(%esp)
 804886a:       00
 804886b:       c7 04 24 fe 89 04 08    movl   $0x80489fe,(%esp)
 8048872:       e8 79 fd ff ff          call   80485f0 <fwrite@plt>
 8048877:       a1 a0 9c 04 08          mov    0x8049ca0,%eax
 804887c:       89 04 24                mov    %eax,(%esp)
 804887f:       e8 2c fd ff ff          call   80485b0 <fflush@plt>
 8048884:       8d 45 eb                lea    -0x15(%ebp),%eax          Lesen der Adresse von password
 8048887:       89 44 24 04             mov    %eax,0x4(%esp)
 804888b:       c7 04 24 09 8a 04 08    movl   $0x8048a09,(%esp)
 8048892:       e8 e9 fd ff ff          call   8048680 <__isoc99_scanf@plt>
 8048897:       89 45 f4                mov    %eax,-0xc(%ebp)           Schreiben von n
 804889a:       83 7d f4 ff             cmpl   $0xffffffff,-0xc(%ebp)
 804889e:       75 07                   jne    80488a7 <authenticate+0x5b>
 80488a0:       b8 ff ff ff ff          mov    $0xffffffff,%eax
 80488a5:       eb 0b                   jmp    80488b2 <authenticate+0x66>
 80488a7:       8d 45 eb                lea    -0x15(%ebp),%eax
 80488aa:       89 04 24                mov    %eax,(%esp)
 80488ad:       e8 ca fe ff ff          call   804877c <checkPassword>
 80488b2:       c9                      leave
 80488b3:       c3                      ret
```


Stack-Layout beim Aufruf von `scanf()`



Ausnutzen des Pufferüberlaufs

- Manipulierenden Eingabe-Datenstrom mit Hilfe eines kleinen Programms erzeugen, das
  - zuerst eine Bytesequenz schickt, die zu Stack-Überlauf und fehlerhaftem Rücksprung (und damit zum Aufruf von `executeShell()`) führt:
    - 9 Bytes fürs `char`-Array
    - 4 Bytes für Variable `n`
    - 12 Bytes für Füll-Slots und Frame-Pointer
    - 4 Bytes für die neue Rücksprungadresse `0x080488b4`
      → Byte-Order beachten!
    - 1 Byte `'\n'` zum Abschließen der Eingabe
  - anschließend alle Zeichen von `stdin` hinterherschickt (die bekommt dann die in `executeShell()` gestartete Shell)
- Hilfsprogramm starten und Ausgabe an den `auth`-Prozess senden

Einschleusen von eigenem Schadcode

- In unserem Beispiel ist der im Rahmen des Angriffs auszuführende Code bereits Bestandteil des Programms
- Gefährlichere Alternative:
  - Zusätzlich zu der Manipulation der Rücksprungadresse schickt man eigenen Maschinencode hinterher – und manipuliert die Rücksprungadresse so, dass sie auf den mitgeschickten Code im Stack zeigt
  - Falls die Stack-Adresse nur grob bekannt ist, baut man eine „Rutsche“ aus *NOP*-Instruktionen vor den eigentlichen Schadcode
- Übliches Ziel: auf dem angegriffenen Rechner eine fernsteuerbare Shell bekommen

Weitere Einfallstore

- Pufferüberläufe sind nur eine von vielen möglichen Sicherheitslücken in C-Programmen
- Ganzzahlüber-/unterläufe:

```
// Lies width und height vom Benutzer
int *matrix = malloc(width * height * sizeof(*matrix));
// Befuelle matrix mit Daten vom Benutzer
```

  - Falls `width * height * sizeof(*matrix) > SIZE_MAX`, wird zu wenig Speicher für die Matrix alloziert!
  - Puffer auf dem Heap wird überlaufen
- Format-String-Angriffe:

```
// Lies string vom Benutzer
printf(string);
```

  - Benutzer kann `printf()` einen beliebigen Format-String unterjubeln
  - Durch geschicktes Einfügen von `%`-Platzhaltern kann er beliebige Stack-Inhalte auslesen und u. U. beliebige Speicherinhalte überschreiben

Agenda

Vermeiden von Pufferüberläufen in C

- Allerwichtigste Schutzmaßnahme ist das Bauen robuster Software!
- Die folgenden Funktionen sind **absolut tabu** – man kann sie nicht korrekt verwenden:
  - `scanf("%s", buffer);`
    - Stattdessen: `char buffer[10]; scanf("%9s", buffer);`
  - `gets()`
    - Seit SUSv4 nicht mehr Teil der Standardbibliothek :-)
    - Stattdessen `fgets()` benutzen
- Nur mit Vorsicht zu genießen sind u. a. `strcpy()`, `strcat()`, `sprintf()` und eigene Schleifenkonstrukte
- Korrekte Implementierungsmöglichkeiten:
  1. Den Zielpuffer von vornherein mit der richtigen Größe anlegen
     - Wenn das geht, ist es immer der beste Weg!
  2. `snprintf()` benutzen
     - Alternativen `strncpy()`, `strncat()` haben keine wohldefinierte Semantik
     - Beispiel: `strncpy()` terminiert String nicht mit `'\0'`, falls Puffer zu klein :-(

Technische Gegenmaßnahmen

- Fehlerfreie Software ist eine Utopie :-/
- Das Ausnutzen von Pufferüberläufen kann aber durch technische Maßnahmen immerhin erschwert werden

Hardware-Ebene: *NX-Bit*

- Rechteverwaltung für Speicherseiten (`rwx`):
  - Prüfung jedes Speicherzugriffs durch die MMU
  - Sprung in eine als nicht ausführbar markierte Seite → Trap
  - Gängige Richtlinie: `W^X` – entweder schreiben oder ausführen
- Unterstützung in allen modernen CPU-Architekturen
  - Ausnahme: Intel x86 (vor x86_64)
- Verhindert z. B. Ausführen von Schadcode auf Stack oder Heap
- Manipulierte Sprünge auf existierende Code-Sequenzen sind aber weiterhin möglich (*Return-Oriented Programming*)

Technische Gegenmaßnahmen

Betriebssystem-Ebene: *Address-Space Layout Randomisation*

- Zufällige Positionierung der Sektionen im logischen Adressraum
- Erschwert Angriffe, bei denen Adressen bekannt sein müssen
- Umsetzbarkeit:
  - Heap, Stack: bei allen Programmen möglich
  - Daten, BSS, Code: Programm muss als *Position-Independent Executable* kompiliert worden sein (`-fPIE`)

Compiler-Ebene: *Canaries / Stack Cookies*

- Ablegen einer (zufälligen) magischen Zahl in jedem Stack-Frame
- Vor Rücksprung wird überprüft, ob der Wert verändert wurde
- Im GCC Aktivierung mit `-fstack-protector`

Agenda

Hacking

- Shell-Server `harsh` (*Holey Assailable Remote Shell*):
  - Läuft auf Rechner `faui00a.cs.fau.de`, Port 10443
    - Verbindungen nur aus dem CIP-Netz (131.188.30.0/24)
    - Verbinden z. B. mit `netcat`: `nc -q0 faui00a 10443`
  - Startet nach Eingabe des richtigen Passworts eine einfache Shell: `cash` (*Castrated Shell*)
  - `cash` erlaubt Registrierung des eigenen Namens in einer *Hall of Fame*
- Quell- und Binärcode (32-Bit) in `/proj/i4sp2/pub/harsh`
- Teilnahme freiwillig, keine Bewertung
- Exploit basteln:

1. Schwachstelle im Quellcode finden
2. Binärcode analysieren (`nm`, `objdump`, `gdb`)
3. Position und Layout der interessanten Daten und Codestücke herausfinden
4. Manipulierten Datenstrom bauen und einschleusen
5. ???
6. PROFIT!

Hacking

- Bildbearbeitungs-Server `i4s` (*i4 Insecure Image Inversion Service*):
  - Details siehe `/proj/i4sp2/pub/i4s/doc/readme.txt`
- Beide Dienste voraussichtlich ab kommender Woche bis Semesterende erreichbar

(Originalbild: `http://hackerstreefarm.com`)