

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

Sebastian Maier
(Lehrstuhl Informatik 4)

Übung 5



Wintersemester 2016/2017



Inhalt

Linux

Fehlerbehandlung

Aufgabe: concat

Anhang

Hands-on: Buffer Overflow



Inhalt

Linux

Terminal

Arbeiten unter Linux

Arbeitsumgebung

Manual Pages

Fehlerbehandlung

Aufgabe: concat

Anhang

Hands-on: Buffer Overflow



Terminal - historisches (etwas vereinfacht)

- Als die Computer noch größer waren:



- Als das Internet noch langsam war:



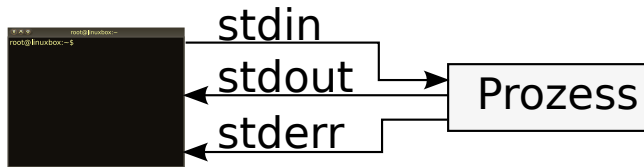
- Farben, Positionssprünge, etc. werden durch spezielle Zeichenfolgen ermöglicht

¹Televideo 925



Terminal - Funktionsweise

- Drei Standardkanäle für Ein- und Ausgaben



`stdin` Eingaben
`stdout` Ausgaben
`stderr` Fehlermeldungen

- Standardverhalten
 - Eingaben kommen von der Tastatur
 - Ausgaben & Fehlermeldungen erscheinen auf dem Bildschirm



Terminal - Standardkanäle umleiten

- `stdout` Ausgabe in eine Datei schreiben

```
1 find . > ordner.txt
```

- `stdout` wird häufig direkt mit `stdin` anderer Programme verbunden

```
1 cat ordner.txt | grep tmp | wc -l
```

- Vorteil von `stderr`

⇒ Fehlermeldungen werden weiterhin am Terminal ausgegeben

- Übersicht

- > Standardausgabe `stdout` in Datei schreiben
- >> Standardausgabe `stdout` an existierende Dateien anhängen
- 2> Fehlerausgabe `stderr` in Datei schreiben
- < Standardeingabe `stdin` aus Datei einlesen
- | Ausgabe eines Befehls direkt an einen anderen Befehl weiterleiten



Shell - Wichtige Kommandos

- Wechseln in ein Verzeichnis mit `cd` (change directory)

```
1 cd /proj/i4spic/<login>/aufgabeX
```

- Verzeichnisinhalt auflisten mit `ls` (list directory)

```
1 ls
```

- Datei oder Ordner kopieren mit `cp` (copy)

```
1 cp /proj/i4spic/pub/aufgabeX/vorgabe.h /proj/i4spic/<login>/↵  
   ↳ aufgabeX
```

- Datei oder Ordner löschen mit `rm` (remove)

```
1 rm test1.c  
2 # Ordner mit allen Dateien löschen  
3 rm -r aufgabe1
```



Shell - Programme beenden

- Per Signal: CTRL-C (Kann vom Programm ignoriert werden)
- Von einer anderen Konsole aus: `killall cworld` beendet alle Programme mit dem Namen "cworld"
- Von der selben Konsole aus:
 - CTRL-Z hält den aktuell laufenden Prozess an
 - `killall cworld` beendet alle Programme mit dem Namen cworld
 - ⇒ Programme anderer Benutzer dürfen nicht beendet werden
 - `fg` setzt den angehaltenen Prozess fort
- Wenn nichts mehr hilft: `killall -9 cworld`



Arbeitsumgebung

- Unter Linux:
 - Kate, gedit, Eclipse cdt, Vim, Emacs,
- Zugriff aus der Windows-Umgebung über SSH (nur Terminalfenster):
 - Editor unter Linux via SSH:
 - mcedit, nano, emacs, vim
 - Editor unter Windows:
 - AVR-Studio ohne Projekt
 - Notepad++
 - Dateizugriff über das Netzwerk
 - Übersetzen und Test unter Linux (z.B. via Putty)



Übersetzen & Ausführen

- Programm mit dem GCC übersetzen ²

```
1 gcc -pedantic -Wall -Werror -O2 -std=c99 -D_XOPEN_SOURCE=500 -o ↗  
   ↘ cworld cworld.c
```

- Aufrufoptionen des Compilers, um Fehler schnell zu erkennen
 - -pedantic liefert Warnungen in allen Fällen, die nicht 100% dem verwendeten C-Standard entsprechen
 - -Wall warnt vor möglichen Fehlern (z.B.: if(x = 7))
 - -Werror wandelt Warnungen in Fehler um
- -O2 führt zu Optimierungen des Programms
- -std=c99 setzt verwendeten Standard auf C99
- -D_XOPEN_SOURCE=500 fügt unter anderem die POSIX Erweiterungen hinzu, die in C99 nicht enthalten sind
- -o cworld legt Namen der Ausgabedatei fest (Standard: a.out)
- Ausführen des Programms mit ./cworld

²Abgaben werden von uns mit diesen Optionen getestet



Manual Pages

- Das Linux-Hilfesystem
- aufgeteilt nach verschiedenen Sections
 - 1 Kommandos
 - 2 Systemaufrufe
 - 3 Bibliotheksfunktionen
 - 5 Dateiformate (spezielle Datenstrukturen, etc.)
 - 7 verschiedenes (z.B. Terminaltreiber, IP, ...)
- man-Pages werden normalerweise mit der Section zitiert: printf(3)

```
1 # man [section] Begriff  
2 man 3 printf
```
- Suche nach Sections: man -f Begriff
- Suche von man-Pages zu einem Stichwort: man -k Stichwort



Inhalt

Linux

Fehlerbehandlung

Bibliotheksfunktionen

Kommandozeilenparameter

Aufgabe: concat

Anhang

Hands-on: Buffer Overflow



Fehlerursachen

- Fehler können aus unterschiedlichsten Gründen im Programm auftreten
 - Systemressourcen erschöpft
 - ⇒ `malloc(3)` schlägt fehl
 - Fehlerhafte Benutzereingaben (z.B. nicht existierende Datei)
 - ⇒ `fopen(3)` schlägt fehl
 - Transiente Fehler (z.B. nicht erreichbarer Server)
 - ⇒ `connect(2)` schlägt fehl



Fehlerbehandlung

- Gute Software erkennt Fehler, führt eine angebrachte Behandlung durch und gibt eine aussagekräftige Fehlermeldung aus
- Kann das Programm trotz des Fehlers sinnvoll weiterlaufen?
- Beispiel 1: Ermittlung des Hostnamens zu einer IP-Adresse für Log
 - ⇒ Fehlerbehandlung: IP-Adresse im Log eintragen, Programm läuft weiter
- Beispiel 2: Öffnen einer zu kopierenden Datei schlägt fehl
 - ⇒ Fehlerbehandlung: Kopieren nicht möglich, Programm beenden
 - ⇒ Oder den Kopiervorgang bei der nächsten Datei fortsetzen
 - ⇒ Entscheidung liegt beim Softwareentwickler



Fehler in Bibliotheksfunktionen

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
 - erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage!)
- Fehlerursache wird meist über die globale Variable `errno` übermittelt
 - Bekanntmachung im Programm durch Einbinden von `errno.h`
 - Bibliotheksfunktionen setzen `errno` nur im Fehlerfall
 - Fehlercodes sind immer > 0
 - Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe `errno(3)`)
- Fehlercodes können mit `perror(3)` und `strerror(3)` ausgegeben bzw. in lesbare Strings umgewandelt werden

```
1 char *mem = malloc(...); /* malloc gibt im Fehlerfall */
2 if(NULL == mem) {        /* NULL zurück */
3     fprintf(stderr, "%s:%d: malloc failed with reason: %s\n",
4         __FILE__, __LINE__-3, strerror(errno));
5     perror("malloc"); /* Alternative zu strerror + fprintf */
6     exit(EXIT_FAILURE); /* Programm mit Fehlercode beenden */
7 }
```



Erweiterte Fehlerbehandlung

- Signalisierung von Fehlern normalerweise durch Rückgabewert
- Nicht bei allen Funktionen möglich, z.B. `getchar(3)`
- Rückgabewert EOF sowohl im Fehlerfall als auch bei End-of-File
- Erkennung im Fall von I/O-Streams mit `ferror(3)` und `feof(3)`

```
1 int c;
2 while ((c=getchar()) != EOF) { ... }
3 /* EOF oder Fehler? */
```

```
1 int c;
2 while ((c=getchar()) != EOF) { ... }
3 /* EOF oder Fehler? */
4 if(ferror(stdin)) {
5     /* Fehler */
6     ...
7 }
```



```
1 ...  
2 int main(int argc, char *argv){  
3     strcmp(argv[argc - 1], ...) )  
4     ...  
5     return EXIT_SUCCESS;  
6 }
```

- Übergabeparameter:
 - main() bekommt vom Betriebssystem Argumente
 - argc: Anzahl der Argumente
 - argv: Vektor aus Strings der Argumente (Indices von 0 bis argc-1)
- Rückgabeparameter:
 - Rückgabe eines Wertes an das Betriebssystem
 - Zum Beispiel Fehler des Programms: return EXIT_FAILURE;



Linux

Fehlerbehandlung

Aufgabe: concat
Aufgabenstellung
Dynamische Speicherverwaltung
Umgang mit Strings

Anhang

Hands-on: Buffer Overflow



Aufgabe: concat

- Zusammensetzen der übergebenen Kommandozeilenparameter zu einer Gesamtzeichenfolge und anschließende Ausgabe
 - Bestimmung der Gesamtlänge
 - Dynamische Allokation eines Buffers
 - Schrittweises Befüllen des Buffers
 - Ausgabe der Zeichenfolge auf dem Standardausgabekanal
 - Freigabe von dynamisch allokiertem Speicher
- Implementierung eigener Hilfsfunktionen:

```
1 size_t str_len(const char *s)  
2 char *str_cpy(char *dest, const char *src)  
3 char *str_cat(char *dest, const char *src)
```
- Wichtig: Korrekte Behandlung von Fehlern (!)



Dynamische Speicherverwaltung

```
1 void *malloc(size_t size);  
2 void free(void *ptr);
```

- malloc(3) allokiert Speicher auf dem Heap
 - reserviert mindestens size Byte Speicher
 - liefert Zeiger auf diesen Speicher zurück
- malloc(3) kann fehlschlagen ⇒ Fehlerüberprüfung notwendig

```
1 char* s = (char *) malloc(strlen(...) + 1);  
2 if(s == NULL){  
3     perror("malloc");  
4     exit(EXIT_FAILURE);  
5 }
```

- Speicher muss später mit free(3) wieder freigegeben werden

```
1 free(s);
```

- Was ist ein Segfault?
⇒ Zugriff auf Speicher der dem Prozess nicht zugeordnet ist
≠ Speicher der reserviert ist



Umgang mit Strings (1)

"hallo" $\equiv$ 

- Repräsentation von Strings
 - Zeiger auf erstes Zeichen der Zeichenfolge
 - null-terminiert: Null-Zeichen kennzeichnet Ende $\Rightarrow$ `strlen(s) != Speicherbedarf`
- `printf(3)` Formatierungsstrings
 - `%s` String
 - `%d` Dezimalzahl
 - `%c` Character
 - `%p` Pointer
 - ...



Umgang mit Strings (2)

- `size_t strlen(const char *s)`
 - Bestimmung der Länge einer Zeichenkette `s` (ohne abschließendes Null-Zeichen)
 - Rückgabewert: Länge
 - Dokumentation: `strlen(3)`
- `char *strcpy(char *dest, const char *src)`
 - Kopieren einer Zeichenkette `src` in einen Buffer `dest` (inkl. Null-Zeichen)
 - Rückgabewert: `dest`
 - Dokumentation: `strcpy(3)`
 - Gefahr: Buffer Overflow ($\Rightarrow$ `strncpy(3)`)
- `char *strcat(char *dest, const char *src)`
 - Anhängen einer Zeichenkette `src` an eine existierende Zeichenkette im Buffer `dest` (inkl. Null-Zeichen)
 - Rückgabewert: `dest`
 - Dokumentation: `strcat(3)`
 - Gefahr: Buffer Overflow ($\Rightarrow$ `strncat(3)`)



Inhalt

Linux

Fehlerbehandlung

Aufgabe: concat

Anhang

Arbeiten im Terminal
Debuggen
Valgrind

Hands-on: Buffer Overflow



Arbeiten im Terminal

- Navigieren & Kopieren:

```
1 cp /proj/i4spic/pub/aufgabeX/vorgabe.h /proj/i4spic/<login>/ ↵  
   ↳ aufgabeX  
2 # oder  
3 cd /proj/i4spic/<login>/aufgabeX  
4 cp /proj/i4spic/pub/aufgabeX/vorgabe.h .
```

- Kompilieren:

```
1 gcc -pedantic -Wall -Werror -O2 -std=c99 -D_XOPEN_SOURCE=500 -o ↵  
   ↳ cworld cworld.c
```

- Bereits eingegebene Befehle: Pfeiltaste nach oben

- Besondere Pfadangaben:

- `.` aktuelles Verzeichnis
- `..` übergeordnetes Verzeichnis
- `~` Home-Verzeichnis des aktuellen Benutzers

$\Rightarrow$ Eine Verzeichnisebene nach oben wechseln: `cd ..`



Debuggen

```
1 gcc -g -pedantic -Wall -Werror -O0 -std=c99 -D_XOPEN_SOURCE=500 -c  
  ↪ o cworld cworld.c
```

- -g aktiviert das Einfügen von Debug-Symbolen
- -O0 deaktiviert Optimierungen
- Standard-Debugger: gdb

```
1 gdb ./cworld
```

- „schönerer“ Debugger: cgdb

```
1 cgdb --args ./cworld arg0 arg1 ...
```

- Kommandos

- b(reak): Breakpoint setzen
- r(un): Programm bei main() starten
- n(ext): nächste Anweisung (nicht in Unterprogramme springen)
- s(tep): nächste Anweisung (in Unterprogramme springen)
- p(rint) <var>: Wert der Variablen var ausgeben

⇒ **Debuggen ist (fast immer) effizienter als Trial-and-Error!**



Valgrind

- Informationen über:

- Speicherlecks (malloc/free)
- Zugriffe auf nicht gültigen Speicher

- Ideal zum Lokalisieren von Segmentation Faults (SIGSEGV)

- Aufrufe:

- valgrind ./cworld
- valgrind --leak-check=full --show-reachable=yes --track-origins
 ↪ =yes ./cworld



Inhalt

Linux

Fehlerbehandlung

Aufgabe: concat

Anhang

Hands-on: Buffer Overflow



Hands-on: Buffer Overflow

- Passwortgeschütztes Programm

```
1 # Usage: ./print_exam <password>  
2 $ ./print_exam spic  
3 Correct Password  
4 Printing exam...
```

- Ungeprüfte Verwendung von Benutzereingaben ⇒ Buffer Overflow

```
1 long check_password(const char *password)  
2 {  
3     char buff[8];  
4     long pass = 0;  
5  
6     strcpy(buff, password); // buffer overflow  
7     if(strcmp(buff, "spic") != 0){  
8         pass = 1;  
9     }  
10    return pass;  
}
```

- Mögliche Lösungen

- Prüfen der Benutzereingabe und/oder dynamische Allokation des Buffers
- Sichere Bibliotheksfunktionen verwenden ⇒ z. B. strncpy(3)

