

U3 3. Übung

- Vorstellen der Aufgabe 1: lilo
- Fehlerbehandlung
- Dynamische Speicherverwaltung
- Debugging mit GDB
- Generisches Sortieren mit **qsort(3)**
- Übersetzen von Projekten mit Hilfe von **make(1)**



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

U3-1 Fehlerbehandlung

- Fehler können aus unterschiedlichsten Gründen im Programm auftreten
 - Systemressourcen erschöpft
 - ➡ **malloc(3)** schlägt fehl
 - Fehlerhafte Benutzereingaben (z.B. nicht existierende Datei)
 - ➡ **open(2)** schlägt fehl
 - Transiente Fehler (z.B. nicht erreichbarer Server)
 - ...
- 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: Benutzer gibt ungültige URL in den Browser ein
 - ➡ Fehlerbehandlung: Fehlermeldung anzeigen, Programm läuft weiter
 - ◆ Beispiel 2: Kopierprogramm: Öffnen der Quelldatei schlägt fehl
 - ➡ Fehlerbehandlung: Fehlermeldung anzeigen, Kopieren nicht möglich, Programm beenden



1 Fehlerbehandlung: Beendigung des Programmes

- Tritt ein Fehler auf, der ein sinnvolles Weiterarbeiten verhindert, muss das Programm beendet werden und einen Programmabbruch anzeigen.
- Signalisierung des Fehlers an Aufrufer des Programms über den Exitstatus
 - ◆ Exitstatus 0 zeigt erfolgreiche Programmausführung an
 - ◆ Werte ungleich 0 zeigen einen Fehler bei der Ausführung an
 - Die Bedeutung des entsprechenden Wertes ist nicht standardisiert
 - Manchmal enthält die Manpage Informationen über die Bedeutung des Exitstatus
- libc bietet vordefinierte Makros für den Exitstatus an:
 - ◆ **EXIT_SUCCESS**
 - ◆ **EXIT_FAILURE**
- Exitstatus des letzten Befehls ist in der Shell-Variable `$?` gespeichert

2 Erkennung und Ausgabe von Fehlern

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
 - erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage, Sektion **RETURN VALUES**)
- Die Fehlerursache wird über die globale Variable **errno** übermittelt
 - Der Wert **errno=0** ist reserviert, alles andere ist ein Fehlercode
 - Bibliotheksfunktionen setzen **errno** im Fehlerfall (sonst nicht zwingend)
 - Bekanntmachung im Programm durch Einbinden von **errno.h**
- Fehlercodes können mit **perror(3)** als lesbare Strings ausgegeben werden

```
char *mem = malloc(...); // malloc gibt im Fehlerfall
if(NULL == mem) {        // NULL zurück
    perror("malloc");    // Ausgabe der Fehlerursache
    exit(EXIT_FAILURE);  // Programm mit Fehlercode beenden
}
```

- ◆ **perror(3)** darf nur verwendet werden, wenn die **errno** gesetzt wurde
- ◆ sonst mit Hilfe von **fprintf(3)** eigene Fehlermeldung auf **stderr** ausgeben

3 Fehlererkennung bei fgets

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
```

- ◆ Rückgabewert NULL sowohl im Fehlerfall als auch bei End-of-File

■ Erkennung im Fall von I/O-Streams mit **ferror(3)** und **feof(3)**

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
if (ferror(stdin)) {
    // Fehler
}
```

U3-2 Debuggen mit dem gdb

- Ein Debugger dient zum Suchen und Finden von Fehlern in Programmen
- Im Debugger kann man u.a.
 - ◆ das Programm schrittweise abarbeiten
 - ◆ Variablen- und Speicherinhalte ansehen und modifizieren
 - ◆ core dumps (Speicherabbilder beim Programmabsturz) analysieren
 - Erlauben von core dumps (in der laufenden Shell):
 - z. B. **limit coredumpsize 1024k** oder **limit coredumpsize unlimited**
- Programm muss mit der Compileroption **-g** übersetzt werden

```
gcc -g -o hello hello.c
```

- Aufruf des Debuggers mit **gdb <Programmname>**

```
gdb ./hello
```

1 Auffinden von Fehlern mit Hilfe eines Debuggers

```

void initArray(int *array, unsigned int size) {
    int i;
    for ( i=0; i<=size; i++ ) {
        array[i] = 0;
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    int *array;
    int buf[8];
    array = buf;

    initArray(buf,8);

    while ( array != buf+8 ) {
        printf("%d\n", *array);
        array++;
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}                                     /* Auch unter /proj/i4sp1/pub/gdb/gdb.c */

```

2 Referenz: Kommandos des GDBs

- Programmausführung beeinflussen
 - ◆ Breakpoints setzen:
 - **b** [<Dateiname>:]<Funktionsname>
 - **b** <Dateiname>:<Zeilennummer>
 - ◆ Starten des Programms mit **run** (+ evtl. Befehlszeilenparameter)
 - ◆ Fortsetzen der Ausführung bis zum nächsten Stop mit **c** (continue)
 - ◆ schrittweise Abarbeitung auf Ebene der Quellsprache mit
 - **s** (step: läuft in Funktionen hinein)
 - **n** (next: behandelt Funktionsaufrufe als einzelne Anweisung)
 - ◆ Breakpoints anzeigen: **info breakpoints**
 - ◆ Breakpoint löschen: **delete breakpoint#**

2 Referenz: Kommandos des GDBs

- Variableninhalte anzeigen/modifizieren
 - ◆ Anzeigen von Variablen mit: **p expr**
 - **expr** ist ein C-Ausdruck, im einfachsten Fall der Name einer Variable
 - ◆ Automatische Anzeige von Variablen bei jedem Programmstopp (Breakpoint, Step, ...): **display expr**
 - ◆ Setzen von Variablenwerten mit **set <variablenname>=<wert>**
- Ausgabe des Funktionsaufruf-Stacks (backtrace): **bt**
- Quellcode an aktueller Position anzeigen: **list**
- Watchpoints: Stoppt Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
 - ◆ **watch expr**: Stoppt, wenn sich der Wert des C-Ausdrucks **expr** ändert
 - ◆ **rwatch expr**: Stoppt, wenn **expr** gelesen wird
 - ◆ **awatch expr**: Stoppt bei jedem Zugriff (kombiniert **watch** und **rwatch**)
 - ◆ Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints

U3-3 Dynamische Speicherverwaltung - Nachtrag

- Verändern der Größe von Feldern, die durch **malloc()** bzw. **calloc()** erzeugt wurden:

```
int* numbers = malloc( n*sizeof(int) );
if ( numbers == NULL ) { ... }

... // Speicherbedarf gestiegen

neu = realloc( numbers, (n+10) * sizeof(int));
if(neu == NULL) { ... free(numbers); ... }
numbers = neu;
```

- ◆ Neuer Speicherbereich enthält die Daten des ursprünglichen Speicherbereichs (wird automatisch kopiert; aufwändig)
- ◆ Sollte **realloc()** fehlschlagen, wird der ursprüngliche Speicherbereich nicht freigegeben
 - Explizite Freigabe mit **free()** notwendig.

U3-4 Generisches Sortieren mit qsort

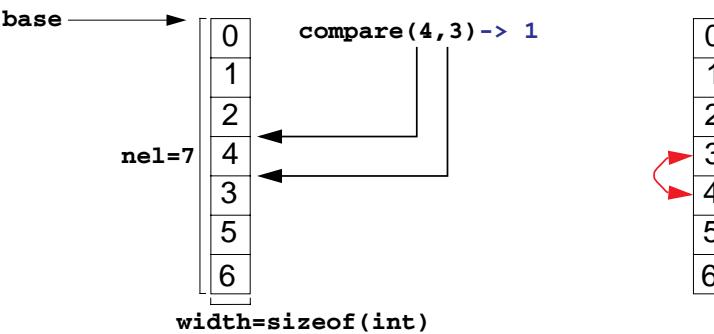
- Vergleich nahezu beliebiger Daten
 - ◆ alle Daten müssen die gleiche Größe haben
- qsort weiß nicht, was es sortiert (wie der Vergleich zu bewerkstelligen ist)
 - ◆ Aufrufer stellt Routine zum Vergleich zweier Elemente zur Verfügung
- Prototyp aus `stdlib.h`:

```
void qsort(void *base,
           size_t nel,
           size_t width,
           int (*compare) (const void *, const void *));
```

- Bedeutung der Parameter:
 - ◆ **base**: Zeiger auf das erste Element des zu sortierenden Feldes
 - ◆ **nel**: Anzahl der Elemente im zu sortierenden Feld
 - ◆ **width**: Größe eines Elements
 - ◆ **compare**: Vergleichsfunktion

1 Arbeitsweise von `qsort(3)`

- `qsort` vergleicht je zwei Elemente mit Hilfe der Vergleichsfunktion
 - ◆ sind die beiden Elemente falsch angeordnet, werden diese getauscht



- ◆ Die Funktion vergleicht die beiden Elemente und liefert:
 - < 0, falls Element 1 kleiner gewertet wird als Element 2 (1, 5 : -4)
 - 0, falls Element 1 und Element 2 gleich gewertet werden (5, 5 : 0)
 - > 0, falls Element 1 größer gewertet wird als Element 2 (9, 1 : 8)

2 Vergleichsfunktion

- Die Vergleichsfunktion erhält Zeiger auf Feldelemente
 - ◆ Beispiel: Vergleichsfunktion für `int`

```
int intCompare(const int *, const int *);
```

- `qsort()` kennt den tatsächlichen Datentyp nicht
 - ◆ Prototyp ist generisch mit `void`-Zeigern parametriert

```
void qsort(..., int (*compare) (const void *, const void *));
```

- Cast erforderlich
 - ◆ entweder innerhalb der Funktion `intCompare()`
 - ◆ oder bei der Übergabe des Funktionszeigers an `qsort()`
 - `const`-Zusicherung: Funktion ändert die verglichenen Werte nicht

3 Exkurs: Funktionszeiger

- ## ■ Notation von Funktionstypen

Diagram illustrating the components of the function pointer declaration:

- Rückgabetyp**: Return type (`int`)
- Funktionszeiger**: Function pointer (`*`)
- Parameterliste**: Parameter list (`(const void *, const void *)`)

- ♦ wird ein Name benötigt, wird dieser hinter dem geklammerten * notiert

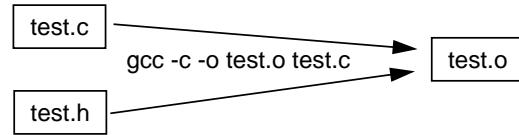
- #### ■ Cast wie bei allen anderen Datentypen

```
int intCompare(const int *, const int *); // Prototyp  
  
int (*compare) (const void *, const void *) =  
    (int (*) (const void *, const void *)) intCompare;
```

- ◆ Funktionszeiger-Variable mit Namen `compare` wird die Adresse der typ-inkompatiblen Funktion `intCompare` zugewiesen

U3-5 Make

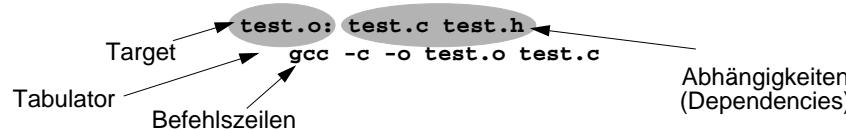
- Grundsätzlich: Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien
 - ◆ für uns interessant: Erzeugung einer .o-Datei aus einer .c-Datei



- Ausführung von *Update*-Operationen (auf Basis der Modifikationszeit)

1 Funktionsweise

- Regeldatei mit dem Namen **Makefile**
 - ◆ Targets (was wird erzeugt?, hier: test.o)
 - ◆ Abhangigkeiten (woraus?, hier: test.c, test.h)
 - ◆ Befehlszeilen (wie?, hier: entsprechendes GCC-Kommando)

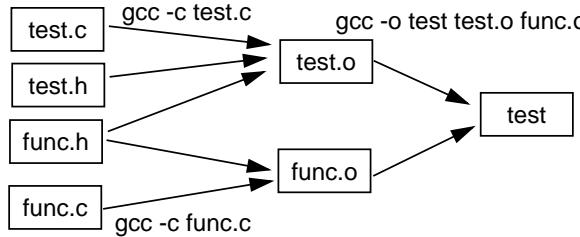


- ◆ jede Zeile wird in einer neuen Shell ausgeführt
 - cd in einer Zeile hat keine Auswirkung auf die nächste Zeile

- das zu erstellende Target kann beim `make`-Aufruf angegeben werden (z.B. `make test.o`)

- ◆ ohne explizite Target-Angabe bearbeitet make das **erste** Target im Makefile
 - Dieses ist normalerweise das Target **all**

2 Beispiel mit mehreren Modulen



```

all: test

test: test.o func.o
    gcc -o test test.o func.o

test.o: test.c test.h func.h
    gcc -c test.c

func.o: func.c func.h
    gcc -c func.c
  
```

3 Makros

- in einem Makefile können Makros definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- Verwendung der Makros mit `$(NAME)` oder `$(NAME)`

```
test: $(SOURCE)
    gcc -o test $(SOURCE)
```

- Erzeugen neuer Makros durch Ersetzung in existierenden Makros

```
OBJS = $(SOURCE:.c=.o)
```

◆ In allen Wörtern, die auf den Suchstring .c enden, wird dieser durch .o ersetzt

- Erzeugung neuer Makros durch Konkatenation

◆ ALLOBJS = \$(OBJS) hallo.o

- Gängige Makros:

◆ CC C-Compiler-Befehl

◆ CFLAGS Optionen für den C-Compiler

4 Dynamische Makros

- \$@ Name des Targets (hier: *test*)

```
test: test.c
$(CC) -o $@ test.c
```

- \$* Basisname des Targets (ohne Dateiendung, hier *test*)

```
test.o: test.c test.h
$(CC) -c $*.c
```

- \$< Name der ersten Abhängigkeit

```
test.o: test.c test.h
$(CC) -c $<
```

- \$^ Mit Leerzeichen getrennte Liste aller Abhängigkeiten

```
test: test.o func.o
$(CC) -o $@ $^
```

5 Suffix-Regeln

- Allgemeine Regel zur Erzeugung einer Datei mit einer bestimmten Endung aus einer gleichnamigen Datei mit einer anderen Endung.

- Beispiel: Erzeugung von .o-Dateien aus .c-Dateien

```
%.o: %.c
$(CC) $(CFLAGS) -c $<
```

- Explizite Regeln überschreiben die Suffix-Regeln

```
test.o: test.c
$(CC) $(CFLAGS) -DXYZ -c $<
```

- Regeln ohne Kommandos können Abhängigkeiten überschreiben

```
test.o: test.c test.h func.h
◆ die Suffix-Regel wird weiterhin zur Erzeugung herangezogen
```

6 Pseudo-Targets

- Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei
- Deklaration als Abhängigkeiten des Spezial-Targets **.PHONY**
 - .PHONY: all clean install**
 - ◆ so deklarierte Targets werden immer gebaut, auch wenn eine gleichnamige Datei bereits existiert, die aktueller als die Abhängigkeiten ist
- Aufräumen mit **make clean**

```
clean:
    rm -f $(OBJS) test
```
- Projekt bauen mit **make all** (Konvention: **all** ist immer erstes Target)


```
all: test
```
- Installieren mit **make install**

```
install: all
    cp test /usr/local/bin
```

7 Beispiel verbessert

```
SOURCE = test.c func.c
OBJS = $(SOURCE:%.c=% .o)
HEADER = $(SOURCE:%.c=% .h)
CC = gcc
CFLAGS = -Wall -Werror -std=c99 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=600

.PHONY: all

all: test

test: $(OBJS)
    $(CC) $(LDFLAGS) -o $@ $(OBJS)

%.o: %.c
    @echo Folgende C-Datei wird neu uebersetzt: $<
    $(CC) $(CFLAGS) -c $<

# korrekte Abhaengigkeiten
test.o: test.c $(HEADER)
func.o: func.c func.h
```