

U2 2. Übung

- Aufgabe 2: **qsort(3)**, Wettbewerb
- Debugging mit GDB und valgrind
- Übersetzen von Projekten mit **make(1)**

U2-1 Aufgabe 2: Sortieren mittels qsort

1 Funktion **qsort(3)**

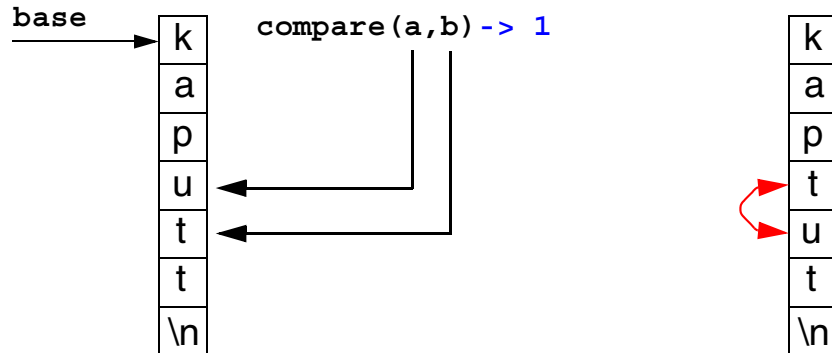
- Prototyp aus `stdlib.h`:

```
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 Feldes, dessen Elemente sortiert werden sollen
 - ◆ **nel** : Anzahl der Elemente im zu sortierenden Feld
 - ◆ **width**: Größe eines Elements
 - ◆ **compare**: Vergleichsfunktion

2 Arbeitsweise von *qsort*(3)

- ◆ **qsort** vergleicht je zwei Elemente mit Hilfe der Vergleichsfunktion *compare*
- ◆ sind die Elemente zu vertauschen, dann werden die entsprechenden Felder komplett ausgetauscht, z.B.:



3 Vergleichsfunktion

- Die Vergleichsfunktion erhält Zeiger auf Feldelemente, d.h. die übergebenen Zeiger haben denselben Typ wie das Feld
- Die Funktion vergleicht die beiden Elemente und liefert:
 - <0 , falls Element 1 kleiner gewertet wird als Element 2
 - 0 , falls Element 1 und Element 2 gleich gewertet werden
 - >0 , falls Element 1 größer gewertet wird als Element 2
- Beispiele
 - ◆ 'z', 'a' : 1
 - ◆ 1, 5 : -4
 - ◆ 5,5 : 0

4 wsort-Wettbewerb

- Wer implementiert das schnellste **wsort**?
- Entkoppelt von Aufgabe 2 ➡ eigene Aufgabe **contest**
 - ◆ Projektverzeichnis `/proj/i4sp/$LOGIN/contest/`
 - ◆ Abgabe (bis 6.12.2009, 13:37): `/proj/i4sp/pub/abgabe contest`
 - ◆ `Makefile` welches ein Programm `wsort` aus beliebigen weiteren Dateien baut, unter Verwendung eurer gewünschten Compiler-Flags!
- Teilnahme allein oder in Teams beliebiger Größe
- Die schnellste Lösung wird mit einem Kasten Zirndorfer prämiert!
- Ideenaustausch und Bekanntgabe von Zwischenzeiten im Forum
➡ <http://fsi.informatik.uni-erlangen.de/forum>
- Unser Pferd im Rennen: `psort` - unschlagbar? :-)
◆ außer Konkurrenz

4 wsort-Wettbewerb: Regeln

- Vollständige Funktionalität entsprechend Aufgabenstellung 2
- Korrektheit bei allen Eingaben
- Compilerflags sind frei wählbar
- Zeitmessung
 - ◆ Referenzrechner: `fau06[a-o]` (Core 2 Quad Q6600, 8 GB RAM)
 - ◆ Pro Wortliste werden mehrere Durchläufe in Reihe gestartet, die kürzeste Zeit gilt
 - ◆ Relevant ist die **Summe der Real-Zeiten** für `wlist5` und `wlist6`
 - ◆ Testen mit: `/proj/i4sp/pub/contest/runtest.sh`

4 wsort-Wettbewerb: Ansatzpunkte für Speedups

- Compiler-Flags
Optimierungsstufe, Zielarchitektur
- Einlesen und Ausgeben
Anzahl der Lese- bzw. Schreiboperationen
- Speicherverwaltung
Wenige Kopieraktionen bzw. Reallokierungen
- Parallelisierung
Arbeit auf mehrere Threads verteilen
- Sortierv Verfahren
qsort(3) ist nicht langsam, aber nicht für alle Zwecke optimal

U2-2 Debuggen mit dem gdb

- Programm muss mit der Compileroption **-g** übersetzt werden

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

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

```
gdb hello
```

- im Debugger kann man u.a.
 - ◆ Breakpoints setzen
 - ◆ das Programm schrittweise abarbeiten
 - ◆ Inhalt Variablen und Speicherinhalte ansehen und modifizieren
- Debugger außerdem zur Analyse von core dumps
 - ◆ Erlauben von core dumps (in der laufenden Shell):
z. B. `limit coredumpsize 1024k` oder `limit coredumpsize unlimited`

1 Breakpoints

- Breakpoints:
 - ◆ **b** [<Dateiname>]:<Funktionsname>
 - ◆ **b** <Dateiname>:<Zeilennummer>
 - ◆ Beispiel: Breakpoint bei main-Funktion

```
b main
```

- Starten des Programms mit **run** (+ evtl. Befehlszeilenparameter)
- Schrittweise Abarbeitung mit
 - ◆ **s** (step: läuft in Funktionen hinein) bzw.
 - ◆ **n** (next: behandelt Funktionsaufrufe als einzelne Anweisung)
- Fortsetzen bis zum nächsten Breakpoint mit **c** (continue)
- Breakpoints anzeigen: **info breakpoints**
- Breakpoint löschen: **delete breakpoint#**

2 Variablen, Stack

- 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**

3 Watchpoints

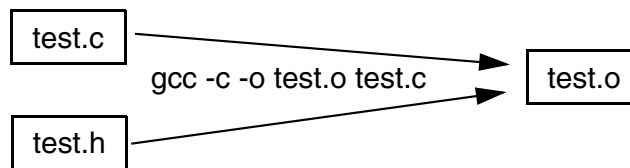
- Stoppt Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
- `watch expr`: Stoppt, wenn sich der Wert des C-Ausdrucks `expr` ändert
- `rwatch expr`: Stoppt, wenn `expr` gelesen wird
- `awatch expr`: Stopp bei jedem Zugriff (kombiniert `watch` und `rwatch`)
- Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints

U2-3 valgrind

- Baukasten von Debugging- und Profiling-Werkzeugen (ausführbarer Code wird durch synthetische CPU auf Softwareebene interpretiert → Ausführung erheblich langsamer!)
 - ◆ Memcheck: erkennt Speicherzugriff-Probleme
 - Nutzung von nicht-initialisiertem Speicher
 - Zugriff auf freigegebenen Speicher
 - Zugriff über das Ende von allokierten Speicherbereichen
 - Zugriff auf ungültige Stack-Bereiche
 - ...
 - ◆ Helgrind: erkennt Koordinierungsprobleme zwischen mehreren Threads
 - siehe Aufgabe 8
 - ◆ Cachegrind: zur Analyse des Cache-Zugriffsverhaltens eines Programms
- Aufrufbeispiel: `valgrind --tool=memcheck wsort` oder `valgrind wsort`

U2-4 Make

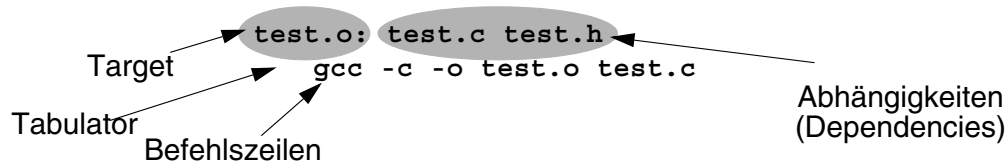
- Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien.
 - ◆ z.B. Erzeugung einer .o-Datei aus einer .c-Datei durch C-Compiler



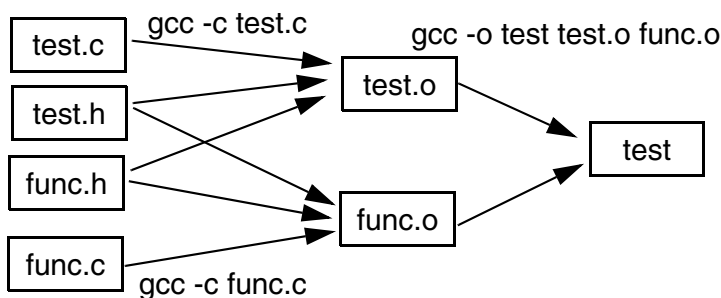
- Ausführung von *Update*-Operationen

- Regeldatei mit dem Namen **Makefile**:

- ◆ Targets (was?) und Abhängigkeiten (woraus?)
- ◆ Befehlszeilen (wie?)



1 Beispiel mit mehreren Modulen



```
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 test.h
    gcc -c func.c
```

2 Allgemeines

- Kommentare beginnen mit # (bis Zeilenende)
- Befehlszeilen müssen mit TAB beginnen
- Nach der letzten Befehlszeile einer Regel muss eine Zeile folgen, die weder mit TAB noch mit # beginnt
- das zu erstellende Target kann beim `make`-Aufruf angegeben werden (z.B. `make test`)
 - ◆ ohne explizite Target-Angabe bearbeitet make das erste Target im Makefile
- beginnt eine Befehlszeile mit @, wird sie nicht ausgegeben
- beginnt eine Befehlszeile mit -, führt ein Fehlschlagen nicht zum Abbruch
- jede Zeile wird in einer neuen Shell ausgeführt
 - ◆ `cd` in einer Zeile hat keine Auswirkung auf die nächste Zeile

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 Konkatination


```
ALLOBJS = $(OBJS) hallo.o
```

4 Dynamische Makros

- `$@` Name des Targets (hier: `test`)


```
test: $(SOURCE)
    gcc -o $@ $(SOURCE)
```
- `$*` Basisname des Targets (ohne Dateiendung, hier `test`)


```
test.o: test.c test.h
    gcc -c $*.c
```
- `$<` Name einer Abhängigkeit (in impliziten Regeln)

5 Eingebaute Regeln und Makros

- `make` enthält eingebaute Regeln und Makros (`make -p` zeigt diese an)
- Wichtige Makros:
 - ◆ `CC` C-Compiler Befehl
 - ◆ `CFLAGS` Optionen für den C-Compiler
 - ◆ `LD` Linker Befehl
(in der Praxis wird aber meist `gcc` verwendet, weil direkter Aufruf von `ld` die Standard-Bibliotheken nicht mit einbindet - `gcc` ruft intern bei Bedarf automatisch `ld` auf)
 - ◆ `LDFLAGS` Optionen für den Linker
- Wichtige Regeln:
 - ◆ `.c.o` C-Datei in Objektdatei übersetzen
 - ◆ `.c` C-Datei übersetzen und linken

6 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

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

- Dateiendungen müssen deklariert werden, als Abhängigkeiten des Spezialtargets `.SUFFIXES`

```
.SUFFIXES: .c .o
```

- 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

7 Beispiel verbessert

```
SOURCE = test.c func.c
OBJS = $(SOURCE:.c=.o)
HEADER = $(SOURCE:.c=.h)

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

# Suffix-Regeln
.SUFFIXES: .c .o

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

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

func.o: func.c $(HEADER)
```

8 GNU Make Erweiterungen

- Funktionsumfang von POSIX.2 make sehr eingeschränkt
- viele Make Implementierungen mit z.T. inkompatiblen Erweiterungen
 - ◆ BSD Make (verschiedene Variationen)
 - ◆ Sun Make (Solaris)
 - ◆ Microsoft nmake
 - ◆ smake
 - ◆ GNU Make (gmake), installiert als *make* im CIP-Pool

9 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
```

10 Eingebaute Funktionen

- Ausgabe eines Shell-Kommandos einem Verzeichnis zuweisen

```
CURRENTDIR = $(shell pwd)
```

- Dateinamen nach einem Shell-Wildcard-Muster suchen

```
SOURCE = $(wildcard *.c)
```

11 Dynamische Makros

- `$$` Mit Leerzeichen getrennte Liste aller Abhängigkeiten

12 Einbinden anderer Makefiles

- `include`-Anweisung (am Zeilenanfang, ohne Tabulator)

```
include /proj/i4sp/xxx.mk
```

- die Datei wird an Stelle der `include`-Anweisung eingebunden

- Zusatzinfo für Fortgeschrittene:

- ◆ inkludierte Dateien können make-Targets sein
- ◆ Make wird diese dann wenn nötig erst aktualisieren
- ◆ Makefiles können sich so selbst generieren
- ◆ z.B. dynamische Erzeugung von Abhängigkeiten mit

```
.SUFFIXES: .c .dep
```

```
.c.dep:
```

```
gcc -MM $< > $@
```

- ◆ Einbinden der so erzeugten Abhängigkeiten in der `.dep`-Datei

```
-include test.dep
```

'-' unterdrückt hierbei die Warnung, wenn die `.dep`-Datei zunächst nicht vorhanden ist