

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Wintersemester 2019/2020

Übung 8

Benedict Herzog
Bernhard Heinloth
Tim Rheinfels

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Vorstellung Aufgabe 4

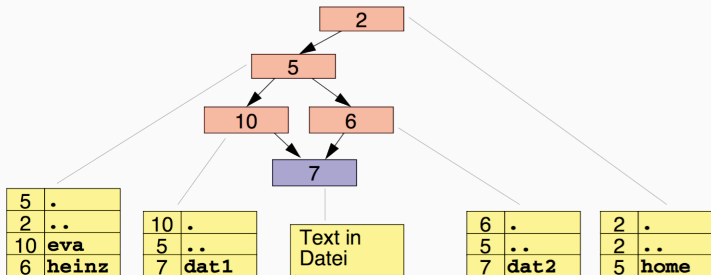
Dateien & Dateikanäle

- Ein- und Ausgaben erfolgen über gepufferte Dateikanäle
- `FILE *fopen(const char *path, const char *mode);`
 - öffnet eine Datei zum Lesen oder Schreiben (je nach mode)
 - liefert einen Zeiger auf den erzeugten Dateikanal
 - `r` Lesen
 - `r+` Lesen & Schreiben
 - `w` Schreiben; Datei wird ggf. erstellt oder Inhalt ersetzt
 - `w+` Lesen & Schreiben; Datei wird ggf. erstellt oder Inhalt ersetzt
 - `a` Schreiben am Ende der Datei; Datei wird ggf. erstellt
 - `a+` Schreiben am Ende der Datei; Lesen am Anfang; Datei wird ggf. erstellt
- `int fclose(FILE *fp);`
 - schreibt ggf. gepufferte Ausgabedaten des Dateikanals
 - schließt anschließend die Datei



- standardmäßig geöffnete Dateikanäle
 - `stdin` Eingaben
 - `stdout` Ausgaben
 - `stderr` Fehlermeldungen
- `int fgetc(FILE *stream);`
 - liest ein einzelnes Zeichen aus der Datei
- `char *fgets(char *s, int size, FILE *stream);`
 - liest max. size Zeichen in einen Buffer ein
 - stoppt bei Zeilenumbruch und EOF
- `int fputc(int c, FILE *stream);`
 - schreibt ein einzelnes Zeichen in die Datei
- `int fputs(const char *s, FILE *stream);`
 - schreibt einen null-terminierten String (ohne das Null-Zeichen)

POSIX Verzeichnisschnittstelle



inode enthält Dateiattribute & Verweise auf Datenblöcke

Verzeichnis spezielle Datei mit Paaren aus Namen & inode-Nummer



- `DIR *opendir(const char *name);`
 - öffnet ein Verzeichnis
 - liefert einen Zeiger auf den Verzeichniskanal
- `struct dirent *readdir(DIR *dirp);`
 - liest einen Eintrag aus dem Verzeichniskanal und gibt einen Zeiger auf die Datenstruktur `struct dirent` zurück
- `int closedir(DIR *dirp);`
 - schließt den Verzeichniskanal



```
01 struct dirent {  
02     ino_t          d_ino;          // inode number  
03     off_t          d_off;          // not an offset; see NOTES  
04     unsigned short d_reclen;        // length of this record  
05     unsigned char  d_type;          // type of file; not supported  
06                                     // by all filesystem types  
07     char           d_name[256];     // filename  
08 };
```

- entnommen aus Manpage readdir(3)
- nur d_name und d_ino Teil des POSIX-Standards
- relevant für uns: Dateiname (d_name)

■ Fehlerprüfung durch Setzen und Prüfen der `errno`:

```
01 #include <errno.h>
02 // [...]
03
04 struct dirent *ent;
05 while(1) {
06     errno = 0;
07     ent = readdir(...);
08     if(ent == NULL) {
09         break;
10     }
11
12     // keine weiteren break-Statements in der Schleife
13     // [...]
14 }
15
16 // EOF oder Fehler?
17 if(errno != 0) { // Fehler
18     // [...]
19 }
```



- Funktionsweise:

1. Auswertung des ersten Ausdrucks (Verwerfen dieses Ergebnisses)
2. Auswertung des zweiten Ausdrucks (Rückgabe dieses Ergebnisses)

```
01 int c = (add(3,2), sub(3,2));
```

- Geeignet für Initialisierungen vor Überprüfung der Schleifenbedingung

⇒ cli()/sei()

```
01 while(cli(), event != 0) {  
02     sleep_enable();  
03     sei();  
04     sleep_cpu();  
05     ...  
06 }  
07 sei();
```

- Elegant, aber keine Notwendigkeit!

- Fehlerprüfung durch Setzen und Prüfen der `errno`:

```
01 #include <errno.h>
02 // [...]
03
04     struct dirent *ent;
05     while(1) {
06         errno = 0;
07         ent = readdir(...);
08         if(ent == NULL) {
09             break;
10         }
11
12         // keine weiteren break-Statements in der Schleife
13         // [...]
14     }
15
16     // EOF oder Fehler?
17     if(errno != 0) { // Fehler
18         // [...]
19     }
```

■ Fehlerprüfung durch Setzen und Prüfen der `errno`:

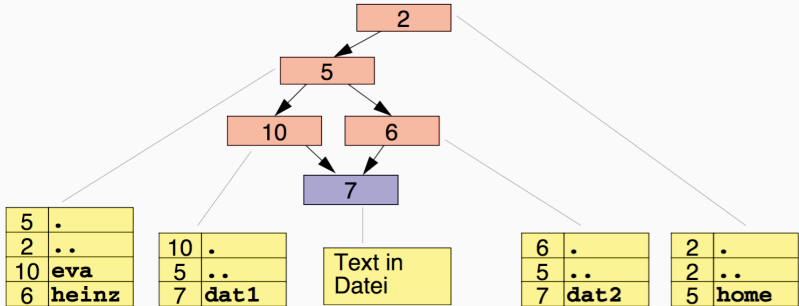
```
01 #include <errno.h>
02 // [...]
03
04     struct dirent *ent;
05     while(errno=0, (ent=readdir()) != NULL) {
06         // keine weiteren break-Statements in der Schleife
07         // [...]
08     }
09
10     // EOF oder Fehler?
11     if(errno != 0) { // Fehler
12         // [...]
13     }
```



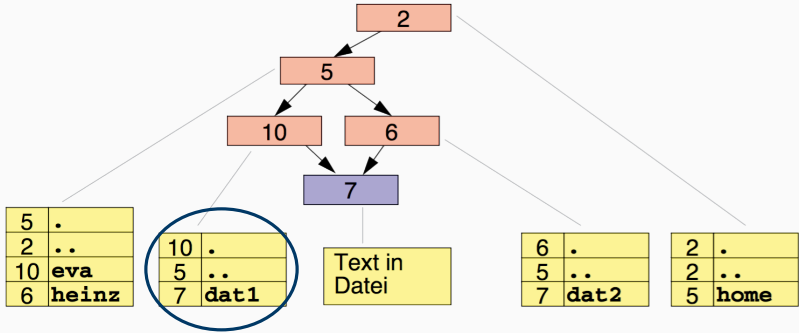
- `readdir(3)` liefert **nur Name und inode-Nummer** eines Verzeichniseintrags
- Weitere Attribute stehen im **inode**
- `int stat(const char *path, struct stat *buf);`
 - Abfragen der Attribute eines Eintrags (folgt symlinks)
- `int lstat(const char *path, struct stat *buf);`
 - Abfragen der Attribute eines Eintrags (folgt symlinks nicht)



- Inhalte des inode sind u.a.:
 - Geräte- und inode-Nummer
 - Eigentümer und Gruppenzugehörigkeit
 - Dateityp und -rechte
 - Dateigröße
 - Zeitstempel (letzte(r) Veränderung, Zugriff, ...)
 - ...
- Der Dateityp ist im Feld `st_mode` codiert
 - reguläre Datei, Ordner, symbolischer Verweis (*symbolic link*), ...
 - Zur einfacheren Auswertung
 - `S_ISREG(m)` - is it a regular file?
 - `S_ISDIR(m)` - directory?
 - `S_ISCHR(m)` - character device?
 - `S_ISLNK(m)` - symbolic link?

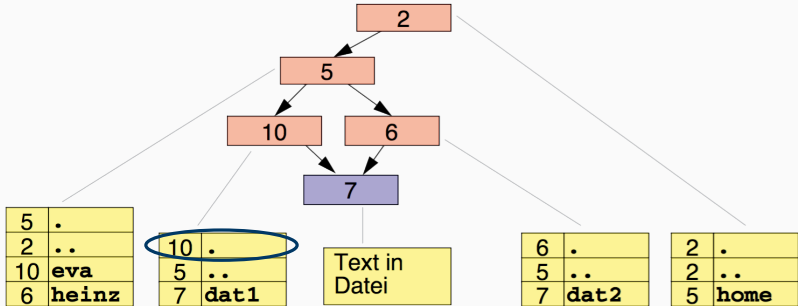


```
01 $> find /
02 /home
03 /home/eva
04 /home/eva/dat1
05 /home/heinz
06 /home/heinz/dat2
```

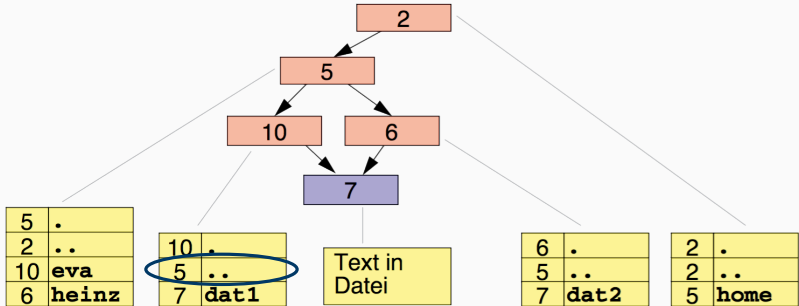
```

01 DIR *dir = opendir("/home/eva/");
02 if(dir == NULL) {
03     perror("opendir");
04     exit(EXIT_FAILURE);
05 }
    
```



```

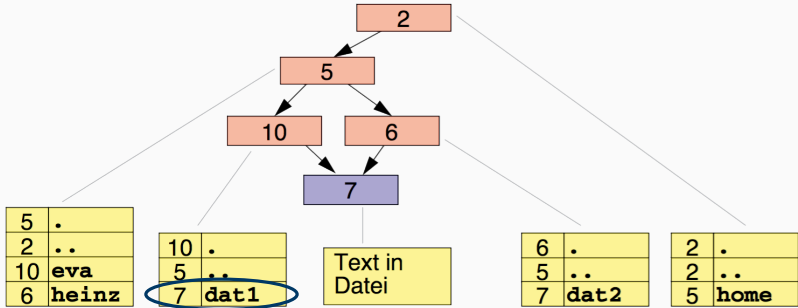
01 struct dirent *ent;
02 while(errno = 0, (ent = readdir(dir)) != NULL) {
03     //...
04 }
05
06 if(errno != 0) {
07     perror("readdir"); exit(EXIT_FAILURE);
08 }
    
```



```

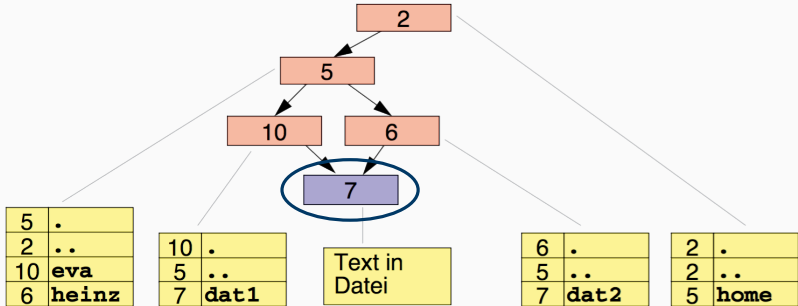
01 struct dirent *ent;
02 while(errno = 0, (ent = readdir(dir)) != NULL) {
03     //...
04 }
05
06 if(errno != 0) {
07     perror("readdir"); exit(EXIT_FAILURE);
08 }

```



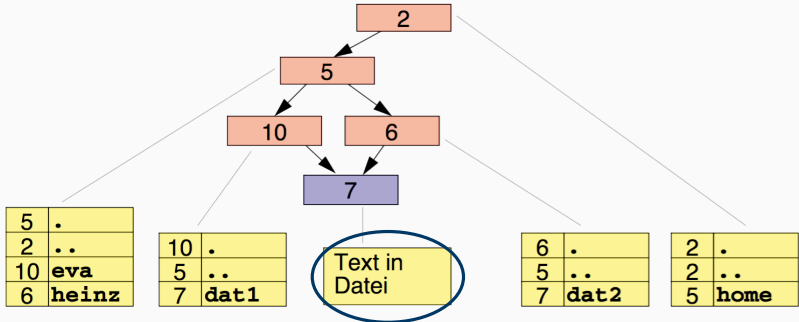
```

01 struct dirent *ent;
02 while(errno = 0, (ent = readdir(dir)) != NULL) {
03     //...
04 }
05
06 if(errno != 0) {
07     perror("readdir"); exit(EXIT_FAILURE);
08 }
    
```



```

01 char path[len];
02 strcpy(path, "/home/eva/");
03 strcat(path, ent->d_name); // d_name = "dat1"
04
05 struct stat buf;
06 if(lstat(path, &buf) == -1) {
07     perror("lstat"); exit(EXIT_FAILURE);
08 }
    
```



```

01 FILE *file = fopen(path);
02 if(file == NULL) {
03     perror("fopen");
04     exit(EXIT_FAILURE);
05 }
    
```

Minimale Implementierung von cat:

```
01 FILE *f = fopen(path, "r");
02 if(f == NULL) die("fopen");
03
04 char buf[1024];
05 while(fgets(buf, 1024, file) != NULL) {
06     printf("%s", buf);
07 }
08
09 if(ferror(file) != 0) die("fgets");
10 if(fclose(file) != 0) die("fclose");
```

```
01 $> tail -n 1 num.dat
02 499999
03 $> ./cat num.dat && echo "Success" || echo "Failed"
04 1
05 2
06 [...]
07 499999
08 Success
```

Minimale Implementierung von cat:

```
01 FILE *f = fopen(path, "r");
02 if(f == NULL) die("fopen");
03
04 char buf[1024];
05 while(fgets(buf, 1024, file) != NULL) {
06     printf("%s", buf);
07 }
08
09 if(ferror(file) != 0) die("fgets");
10 if(fclose(file) != 0) die("fclose");
```

```
01 $> ./cat num.dat > dir/file && echo "Success" || echo "Failed"
02 Success
03 $> tail -n 1 dir/file
04 35984
```

- Warum wird nicht die ganze Datei geschrieben?
- Warum wird kein Fehler ausgegeben?



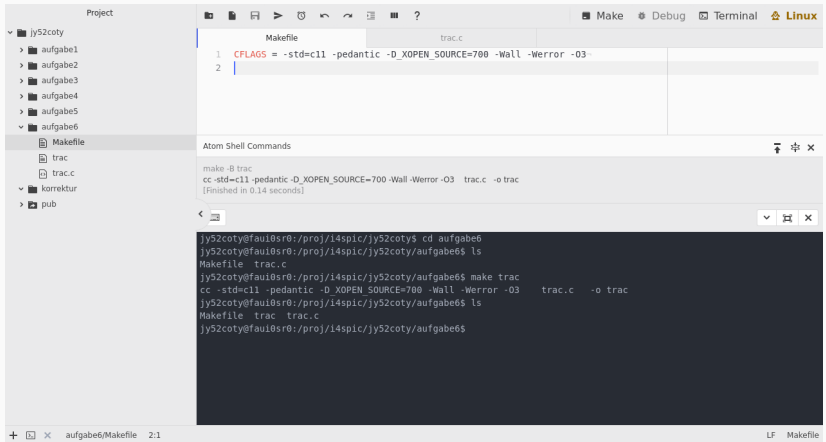
```
01 $> ls -lh num.dat
02 -rw-rw-r-- user group 3,3M Jan 01 00:00 num.dat
03
04 $> ls -lh dir/file
05 -rw-rw-r-- user group 200K Jan 01 00:00 tmp/file
06
07 $> df dir/
08 Filesystem      Size  Used Avail Use% Mounted on
09 tmpfs           200K  200K    0 100% /home/user/dir
```

- stdout kann in eine Datei umgeleitet werden
- Das Schreiben in eine Datei kann fehlschlagen
 - Kein Speicherplatz mehr
 - Fehlende Schreibberechtigung
 - Festplatte kaputt
- Fehlerbehandlung für *wichtige* Ausgaben
 - Was ist wichtig?
 - Fehlerbehandlung für `printf()` schwierig
- Für den Übungsbetrieb: Keine Fehlerbehandlung für stdout

- make: Build-Management-Tool
- baut automatisiert ein Programm aus den Quelldateien
- baut nur die Teile des Programms neu, die geändert wurden

```
01 CFLAGS = -pedantic -Wall -Werror -O3 -std=c11 -D_XOPEN_SOURCE=700
02
03 trac.o: trac.c
04     gcc $(CFLAGS) -c -o trac.o trac.c
05
06 trac: trac.o
07     gcc $(CFLAGS) -o trac trac.o
```

- Objektdati traci.o wird aus Quelldati traci.c gebaut (Compiler)
- Binary trac wird aus Objektdati traci.o gebaut (Linker)



The screenshot shows the SPiC-IDE interface. On the left is a project tree with folders 'aufgabe1' through 'aufgabe6', and files 'Makefile', 'trac', 'trac.c', 'korrektur', and 'pub'. The 'Makefile' file is selected. The main editor shows the 'Makefile' content with two lines: '1 CFLAGS = -std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror -O3' and '2'. Below the editor is a terminal window titled 'Atom Shell Commands' showing the execution of 'make -B trac'. The terminal output shows the user navigating to the 'aufgabe6' directory and running 'make trac', which successfully compiles 'trac.c' into 'trac' using the specified flags.

```
Project
├── jys2coty
│   ├── aufgabe1
│   ├── aufgabe2
│   ├── aufgabe3
│   ├── aufgabe4
│   ├── aufgabe5
│   └── aufgabe6
│       ├── Makefile
│       ├── trac
│       ├── trac.c
│       ├── korrektur
│       └── pub
└── Makefile

Makefile
1 CFLAGS = -std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror -O3
2

Atom Shell Commands
make -B trac
cc -std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror -O3  trac.c -o trac
[Finished in 0.14 seconds]

jys2coty@fau10sr0:/proj/i4spic/jys2coty/aufgabe6$ cd aufgabe6
jys2coty@fau10sr0:/proj/i4spic/jys2coty/aufgabe6$ ls
Makefile  trac.c
jys2coty@fau10sr0:/proj/i4spic/jys2coty/aufgabe6$ make trac
cc -std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror -O3  trac.c -o trac
jys2coty@fau10sr0:/proj/i4spic/jys2coty/aufgabe6$ ls
Makefile  trac  trac.c
jys2coty@fau10sr0:/proj/i4spic/jys2coty/aufgabe6$
```

- SPiC-IDE erkennt Makefiles (Make Button)
 - ⇒ alternativ: make <binary>
- make hat eingebaute Regeln (ausreichend für SPiC)
 - ⇒ nur Angabe der Compilerflags (CFLAGS) nötig

Aufgabe: trac



■ TRAC: TRAnslate ARbitrary Characters

```
01 $ ./trac <FIND> <REPLACE>
02
03 $ ./trac aie bei      # a -> b; i -> e; e -> i
04 dies ist ein Test    # Eingabe
05 deis est ien Tist    # Ausgabe
```

- Ähnlich wie das Kommando `tr(1)` in Unix-artigen Betriebssystemen
- Programmablauf
 - Kommandozeilenparameter prüfen
 - ggf. Fehlermeldung ausgeben und Programm beenden
 - Zeichen einlesen von `stdin` bis EOF oder Fehler
 - Zeichen ggf. entsprechend Mapping ersetzen
 - Zeichen ausgeben
 - evtl. Fehler erkennen und Fehlermeldung ausgeben
 - Programm beenden (mit entsprechendem `exit`-Status)



- `size_t strlen(const char *s);`
 - Länge einer Zeichenfolge bestimmen
 - `strlen(3)`
- `int getchar(void);`
 - Einzelnes Zeichen von `stdin` einlesen
 - `getchar(3)`
- `int putchar(int c);`
 - Einzelnes Zeichen auf `stdout` ausgeben
 - `putchar(3)`
- `int fprintf(FILE *stream, const char *format, ↪ ...);`
 - Formatierte Ausgaben auf einem Dateikanal (z.B. `stderr`)
 - `fprintf(3)`



- `int ferror(FILE *stream);`
 - Fehlerzustand eines Dateikanals abfragen
→ `ferror(3)`
- `void perror(const char *s);`
 - gibt die übergebene Zeichenfolge gefolgt von einer Beschreibung des letzten Fehlers auf `stderr` aus
 - nutzt die globale `errno` Variable (⇒ nur für Bibliotheksfehler)
→ `perror(3)`
- `void exit(int status);`
 - Beenden des Programms mit übergebenem exit-Status
→ `exit(3)`



```
01 $ ./trac <FIND> <REPLACE>
```

■ Bedienungsfehler

- falsche Anzahl an Argumenten
- unterschiedliche Länge von FIND und REPLACE
- selbes Zeichen kommt mehrfach in FIND vor

⇒ Erklärung der Verwendung auf `stderr` ausgeben und Programm beenden

■ Ein-/Ausgabefehler

- Zugriff auf eine Datei ist nicht möglich (umgeleiteter Dateikanal)

⇒ Fehler auf `stderr` ausgeben und Programm beenden


```
01 int c;
02 while ((c=getchar()) != EOF) {
03     ...
04 }
05
06 /* EOF oder Fehler? */
07 if(ferror(stdin)) {
08     /* Fehler */
09     ...
10 }
```

- „fgetc(), getc() and getchar() return the character read as an unsigned char cast to an int **or EOF on end of file or error.**”
- Wie kann man den Fehlerfall von EOF unterscheiden?
⇒ `ferror(3)`

Hands-on: simple grep



```
01 # Usage: ./sgrep <text> <files...>
02 $ ./sgrep "SPiC" klausur.tex aufgabe.tex
03 Klausur im Fach SPiC
04 SPiC Aufgabe
05 SPiC ist cool
```

- Einfache Variante des Kommandozeilentools `grep(1)`
- Durchsucht mehrere Dateien nach einer Zeichenkette
- Ablauf:
 - Dateien zeilenweise einlesen
 - Zeile nach Zeichenkette durchsuchen
 - Zeile ggf. auf `stdout` ausgeben
- Sinnvolle Fehlerbehandlung beachten
 - Fehlende Dateien melden und überspringen
 - Fehlermeldungen auf `stderr` ausgeben



■ Hilfreiche Funktionen:

- `fopen(3)` ⇒ Öffnen einer Datei
- `fgets(3)` ⇒ Einlesen einer Zeile
- `fputs(3)` ⇒ Ausgeben einer Zeile
- `fclose(3)` ⇒ Schließen einer Datei
- `strstr(3)` ⇒ Suche eines Teilstrings

```
01 char *strstr(const char *haystack, const char *needle);
```

```
01 # Usage: ./sgrep [-i] <text> <files...>
02 $ ./sgrep -i "spic" klausur.tex aufgabe.tex
03 klausur.tex:13: Klausur im Fach SPiC
04 aufgabe.tex:32: SPiC Aufgabe
05 aufgabe.tex:56: SPiC ist cool
```

■ Erweiterung

- `strstr(3)` selbst implementieren
- Ausgabe von Dateinamen/Zeilenummer vor jeder Zeile
- Ignorieren der Groß-/Kleinschreibung mit Option `-i`