U8 8. Übung

U8-1 Überblick

- Besprechung der Miniklausur
- Online-Evaluation
- Byteorder bei Netzwerkkommunikation
- Netzwerkprogrammierung - Sockets
- Duplizieren von Filedeskriptoren
- Netzwerkprogrammierung - Verschiedenes

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U8-2 Evaluation

- Online-Evaluation von Vorlesung und Übung SOS
- zwei TANs, zwei Fragebogen
  - ➤ TANs werden in den Tafelübungen verteilt
- Fragebogen bis 14. Juli auszufüllen
- Ergebnisse werden ab 17. Juli an Dozenten verschickt
  - ➤ Diskussion in Vorlesung und Übungen
  - ➤ Veröffentlichung auf den Web-Seiten der Lehrveranstaltung
- Ergebnisse der Evaluation vom letzten Jahr stehen im Netz
- bitte unbedingt teilnehmen - das Feedback ist für die Dozenten und Organisatoren sehr wichtig (wir wollen unseren Job so gut wie möglich machen!)
  - ➤ uns interessiert natürlich vor allem, was wir seit dem letzten Sommer besser (oder schlechter) gemacht haben!

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U8-3 Netzwerkkommunikation und Byteorder

- Wiederholung: Byteorder

	0	1	2	3
big endian	14	a2	b5	c8
little endian	c8	b5	a2	14

0x14a2b5c8

- Kommunikation zwischen Rechnern verschiedener Architekturen z. B. Intel Pentium (litte endian) und Sun Sparc (big endian)
- **`htons`**, **`htonl`**: Wandle Host-spezifische Byteordnung in Netzwerk-Byteordnung (big endian) um (**`htons`** für **`short int`**, **`htonl`** für **`long int`**)
- **`ntohs`**, **`ntohl`**: Umgekehrt

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U8-4 Sockets

- Endpunkte einer Kommunikationsverbindung
- Arbeitsweise: FIFO, bidirektional
- Attribute:
  - ➤ **Name** (Zuweisung eines Namens durch *Binding*)
  - ➤ **Communication Domain**
  - ➤ **Typ**
  - ➤ **Protokoll**

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Communication Domain und Protokoll

- **Communication Domain** legt die **Protokoll-Familie**, in der die Kommunikation stattfindet, fest
- durch die Protokoll-Familie wird gleichzeitig auch die Adressierungsstruktur **(Adress-Familie)** festgelegt (war unabhängig geplant, wurde aber nie getrennt)
- das **Protokoll**-Attribut wählt das Protokoll innerhalb der Familie aus
- ursprünglich (bis BSD 4.3) existierten nur zwei Communication Domains
  - ➤ UNIX-Domain (PF_UNIX / AF_UNIX)
  - ➤ Internet-Domain (PF_INET / AF_INET)
- nur PF_INET ist generell vorhanden
  daneben derzeit ca. 25 Protokollfamilien definiert
  (ISO-Protokolle, DECnet, SNA, Appletalk, …)

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Internet Domain Protokoll-Familie

- ➤ Protokolle: **TCP/IP** oder **UDP/IP**
- Internet Protocol - IP
  - ➤ Netzwerkprotokoll zur Bildung eines virtuellen Netzwerkes auf der Basis mehrerer physischer Netze
  - ➤ definiert Format der Datengrundeinheit - IP-Datagramm
  - ➤ unzuverlässige Datenübertragung
  - ➤ Routing-Konzepte (IP-Pakete über mehrere Zwischenstationen leiten)
  - ➤ IP-Adressen: 4 Byte bei IPv4 bzw. 16 Byte bei IPv6
- User Datagram Protocol - UDP
  - ➤ IP adressiert Rechner, UDP einen Dienst (siehe Port-Nummern)
  - ➤ Übertragung von Paketen (***sendto***, ***recvfrom***), unzuverlässig (Fehler werden erkannt, nicht aber Datenverluste)
- Transmission Control Protocol - TCP
  - ➤ zuverlässige Verbindung (Datenstrom) zu einem Dienst (Port)

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Internet Domain Protokoll-Familie (2)

- ➤ Namen: **IP-Adressen** und **Port-Nummern**
- Internet-Adressen (IPv4)
  - ➤ 4 Byte, Notation: `a.b.c.d` (z. B. `131.188.34.45`)
- Port-Nummern
  - ➤ bei IP definiert eine Adresse einen Rechner
  - ➤ keine Möglichkeit, einen bestimmten Benutzer oder Prozess (Dienst) anzusprechen
  - ➤ die intuitive Lösung, als Ziel einen Prozess zu nehmen hat Nachteile
    - Prozesse werden dynamisch erzeugt und vernichtet
    - Prozesse können ersetzt werden - die *PID* ändert sich dadurch
    - Ziele sollten aufgrund ihrer Funktion (Dienst) ansprechbar sein
    - Prozesse könnten mehrere Dienste anbieten (vgl. *inetd*)
  - ➤ Lösung: ***Port*** als "abstrakte Adresse" für einen Dienst
    - Diensterbringer (Prozess) verbindet einen Socket mit dem Port

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Socket Typen

- **Stream-Sockets**
  - ◆ unterstützen bidirektionalen, zuverlässigen Datenfluss
  - ◆ gesicherte Kommunikation (gegen Verlust und Duplizierung von Daten)
  - ◆ die Ordnung der gesendeten Daten bleibt erhalten
  - ◆ Vergleichbar mit einer *pipe* - allerdings bidirektional (UNIX-Domain- und Internet-Domain-Sockets mit TCP/IP)
- **Datagramm-Sockets**
  - ◆ unterstützen bidirektionalen Datentransfer
  - ◆ Datentransfer unsicher (Verlust und Duplizierung möglich)
  - ◆ die Reihenfolge der ankommenden Datenpakete stimmt nicht sicher mit der der abgehenden Datenpakete überein
  - ◆ Grenzen von Datenpaketen bleiben im Gegensatz zu **Stream-Socket** - Verbindungen erhalten (Internet-Domain Sockets mit UDP/IP)

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Client-Server Modell

★ Ein ***Server*** ist ein Programm, das einen Dienst ***(Service)*** anbietet, der über einen Kommunikationsmechanismus erreichbar ist

- Server
  - **akzeptieren Anforderungen**, die von der Kommunikationsschnittstelle kommen
  - **führen** ihren angebotenen **Dienst aus**
  - **schicken** das **Ergebnis zurück** zum Sender der Anforderung
  - *Server* sind normalerweise als normale Benutzerprozesse realisiert
- Client
  - ein Programm wird ein ***Client***, sobald es
    - eine **Anforderung an einen Server** schickt und
    - auf eine Antwort wartet

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

5 Generieren eines Sockets

- Sockets werden mit dem Systemaufruf *socket(2)* angelegt

```
#include <sys/socket.h>
int socket(int domain, int type, int protocol);
```

- `domain`, z. B. (PF_ = Protocol Family)
  - `PF_INET`: Internet
  - `PF_UNIX`: Unix Filesystem
- `type` in PF_INET und PF_UNIX Domain:
  - `SOCK_STREAM`: Stream-Socket (bei PF_INET = TCP-Protokoll)
  - `SOCK_DGRAM`: Datagramm-Socket (bei PF_INET = UDP-Protokoll)
- `protocol`
  - Default-Protokoll für Domain/Type Kombination: `0`
    (z.B. INET/STREAM -> TCP) (siehe ***getprotobyname(3)***)

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

6 Namensgebung

- Sockets werden ohne Namen generiert
- durch den Systemaufruf ***bind(2)*** wird einem Socket ein Name zugeordnet

```
int bind(int s, const struct sockaddr *name, int namelen);
```

  - `s`: socket
  - `name`: Protokollspezifische Adresse
    Socket-Interface (`<sys/socket.h>`) ist zunächst protokoll-unabhängig

```
    struct sockaddr {
        sa_family_t     sa_family;      /* Adressfamilie */
        char            sa_data[14];    /* Adresse */
    };
```

    im Fall von `AF_INET`: IP-Addresse / Port
    - es wird konkret eine `struct sockaddr_in` übergeben
  - `namelen`: Länge der konkret übergebenen Adresse in Bytes

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

7 Namensgebung für TCP-Sockets

- Name eines TCP-Sockets durch IP-Adresse und Port-Nummer definiert

```
struct sockaddr_in {
    sa_family_t      sin_family;    /* = AF_INET */
    in_port_t        sin_port;      /* Port */
    struct in_addr   sin_addr;      /* Internet-Adresse */
    char             sin_zero[8];   /* Füllbytes */
}
```

  - **sin_port:** Port-Nummer
    - Port-Nummern sind eindeutig für einen Rechner und ein Protokoll
    - Port-Nummern < 1024: privilegierte Ports für root (in UNIX)
      (z.B. www=80, Mail=25, finger=79)
    - Portnummer = 0: die Portnummer soll vom System gewählt werden
    - Portnummern sind 16 Bit, d.h. kleiner als 65535
  - **sin_addr:**IP-Adresse, mit ***gethostbyname(3)*** zu finden
    - `INADDR_ANY`: wenn Socket auf allen lokalen Adressen (z. B. allen Netzwerkinterfaces) Verbindungen akzeptieren soll

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

8 Binden eines TCP Socket — Beispiel

- Adresse und Port müssen in Netzwerk-Byteorder vorliegen!
- Beispiel

```
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
...
struct sockaddr_in sin;
...
s = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
sin.sin_family = AF_INET;
sin.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
sin.sin_port = htons(MYPORT);
bind(s, (struct sockaddr *) &sin, sizeof(sin));
```


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

9 Verbindungsannahme durch Server

- Server:
  - ◆ ***listen(2)*** stellt ein, wie viele ankommende Verbindungswünsche gepuffert werden können (d.h. auf ein *accept* wartend)
  - ◆ ***accept(2)*** nimmt Verbindung an:
    - ➤ *accept* blockiert solange, bis ein Verbindungswunsch ankommt
    - ➤ es wird ein neuer Socket erzeugt und an remote Adresse + Port (Parameter **`from`**) gebunden
      lokale Adresse + Port bleiben unverändert
    - ➤ dieser Socket wird für die Kommunikation benutzt
    - ➤ der ursprüngliche Socket kann für die Annahme weiterer Verbindungen genutzt werden

```
struct sockaddr_in from;
socklen_t fromlen;
  ...
listen(s, 5);              /* Allow queue of 5 connections */
fromlen = sizeof(from);
newsock = accept(s, (struct sockaddr *) &from, &fromlen);
```


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

10 Verbindungsaufbau durch Client

- Client:
  - ◆ ***connect(2)*** meldet Verbindungswunsch an Server
    - ➤ ***connect*** blockiert solange, bis Server Verbindung mit ***accept*** annimmt
    - ➤ Socket wird an die remote Adresse gebunden
    - ➤ Kommunikation erfolgt über den Socket
    - ➤ falls Socket noch nicht lokal gebunden ist, wird gleichzeitig eine lokale Bindung hergestellt (Port-Nummer wird vom System gewählt)

```
struct sockaddr_in server;
  ...
connect(s, (struct sockaddr *)&server, sizeof server);
```

- Eine Verbindung ist eindeutig gekennzeichnet durch
  - ◆ <lokale Adresse, Port> und <remote Adresse, Port>

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

11 Verbindungsaufbau und Kommunikation

- Beispiel: Server, der alle Eingaben wieder zurückschickt

```
fd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* Fehlerabfrage */

name.sin_family = AF_INET;
name.sin_port = htons(port);
name.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);

bind(fd, (const struct sockaddr *)&name, sizeof(name)); /* Fehlerabfrage */

listen(fd, 5); /* Fehlerabfrage */

in_fd = accept(fd, NULL, 0); /* Fehlerabfrage */

/* hier evtl. besser Kindprozess erzeugen und eigentliche
   Kommunikation dort abwickeln */
for(;;) {

   n = read(in_fd, buf, sizeof(buf)); /* Fehlerabfrage */

   write(in_fd, buf, n); /* Fehlerabfrage */

}

close(in_fd);
```


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

12 Schließen einer Socketverbindung

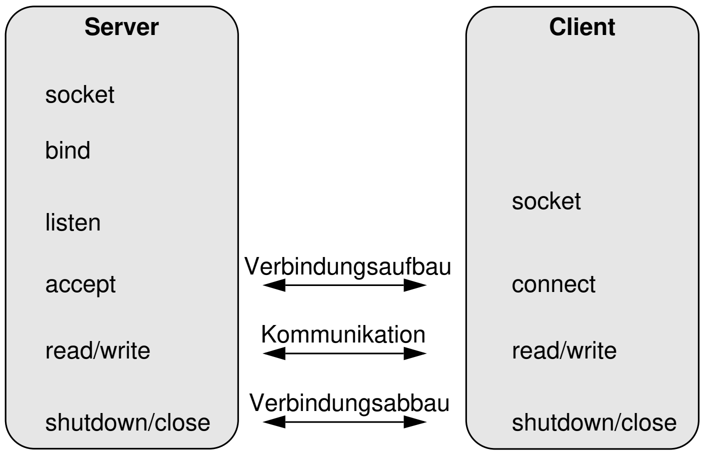
- close(s)
- shutdown(s, how)
  - how:
    - SHUT_RD: verbiete Empfang (nächstes *read* liefert EOF)
    - SHUT_WR: verbiete Senden (nächstes *write* führt zu Signal SIGPIPE)
    - SHUT_RDWR: verbiete Senden und Empfangen

13 Verbindungslose Sockets

- Für Kommunikation über Datagramm-Sockets kein Verbindungsaufbau notwendig
- Systemaufrufe
  sendto(2) Datagramm senden
  recvfrom(2) Datagramm empfangen
- **Besonderheit:** ***Broadcasts*** über Datagramm-Sockets (Internet Domain)

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

14 TCP-Sockets: Zusammenfassung



© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

15 Sockets und UNIX-Standards

- Sockets sind nicht Bestandteil des POSIX.1-Standards
- Sockets stammen aus dem BSD-UNIX-System, sind inzwischen Bestandteil von
  - BSD (-D_BSD_SOURCE)
  - SystemV R4 (-DSVID_SOURCE)
  - UNIX 95 (-D_XOPEN_SOURCE -D_XOPEN_SOURCE_EXTENDED=1)
  - UNIX 98 (-D_XOPEN_SOURCE=500)

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U8-5 Duplizieren von Filedeskriptoren

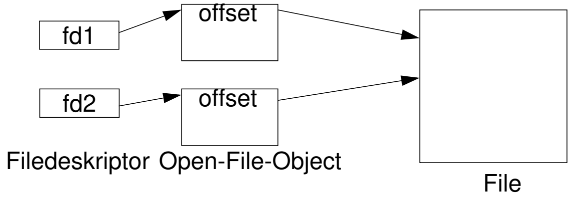
- Ziel: Socket-Verbindung soll als stdout/stdin verwendet werden
- `newfd = dup(fd)`: Dupliziert Filedeskriptor fd, d.h. Lesen/Schreiben auf newfd ist wie Lesen/Schreiben auf fd
- `dup2(fd, newfd)`: Dupliziert FD in anderen FD (newfd), falls newfd schon geöffnet ist, wird newfd erst geschlossen
- Verwenden von dup2, um stdout umzuleiten:

```
fd = open("/tmp/myoutput", O_CREAT | O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
dup2(fd,fileno(stdout));
printf("Hallo\n"); /* wird in /tmp/myoutput geschrieben */
```

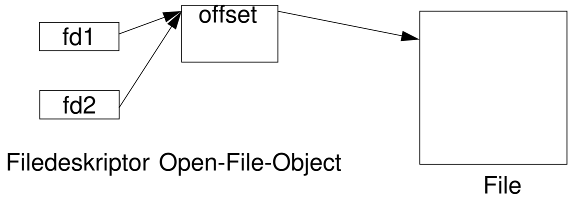

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2006
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U8-5 Duplizieren von Filedeskriptoren (2)

- erneutes Öffnen eines Files



- bei dup werden FD dupliziert, aber Files werden nicht neu geöffnet!



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

U8-6 Netzwerk-Programmierung - Verschiedenes

- Parametrierung eines Sockets abfragen / setzen
  - ◆ ***getsockopt(2)***, ***setsockopt(2)***
- Informationen über Socket-Bindung
  - ◆ ***getpeername(2)***
    Namen der mit dem Socket verbundenen Gegenstelle abfragen
  - ◆ ***getsockname(2)***
    Namen eines Sockets abfragen
- Hostnamen und -adressen ermitteln
  - ◆ ***gethostbyname(3)***

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

1 getsockname, getpeername

```
#include <sys/socket.h>
int getsockname(int s, void *addr, int *addrlen);
int getpeername(int s, void *addr, int *addrlen);
```

- Informationen über die lokale Adresse des Socket

```
struct sockaddr_in server;
size_t len;

len = sizeof(server);
getsockname(sock, (struct sockaddr *) &server, &len);
printf("Socket port #%d\n", ntohs(server.sin_port));
```

- Informationen über die remote Adresse des Socket

```
struct sockaddr_in server;
size_t len;

len = sizeof(server);
getpeername(sock, (struct sockaddr *) &server, &len);
printf("Socket port #%d\n", ntohs(server.sin_port));
```

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

2 Hostnamen und Adressen

- **`gethostbyname`** liefert Informationen über einen Host

```
#include <netdb.h>
struct hostent *gethostbyname(const char *name);
struct hostent {
    char    *h_name;        /* offizieller Rechnername */
    char    **h_aliases;    /* alternative Namen */
    int     h_addrtype;     /* = AF_INET */
    int     h_length;       /* Länge einer Adresse */
    char    **h_addr_list;  /* Liste von Netzwerk-Adressen,
                                  abgeschlossen durch NULL */
};

#define h_addr h_addr_list[0]
```

- **`gethostbyaddr`** sucht Host-Informationen für bestimmte Adresse

```
struct hostent *gethostbyaddr(const void *addr, size_t len, int type);
```


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

3 Socket-Adresse aus Hostnamen erzeugen

```
char *hostname = "faui07a";
struct hostent *host;
struct sockaddr_in saddr;

host = gethostbyname(hostname);
if(!host) {
    perror("gethostbyname()");
    exit(EXIT_FAILURE);
}
memset(&saddr, 0, sizeof(saddr)); /* Struktur initialisieren */
memcpy((char *) &saddr.sin_addr, (char *) host->h_addr, host->h_length);
saddr.sin_family = AF_INET;
saddr.sin_port   = htons(port);

/* saddr verwenden ... z.B. bind oder connect */
```


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