U7 Interprozesskommunikation mit Sockets

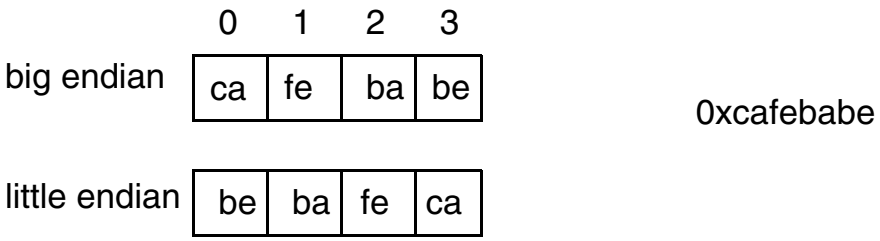
- Evaluation
- Besprechung Aufgabe 5: crawl
- Byteorder bei Netzwerkkommunikation
- Sockets
  - Socketnamen (Internet-Domäne: IP-Adressen und Ports)
  - Socket-Typen
  - UNIX-API
- Verschiedenes zum Thema Netzwerkprogrammierung
- POSIX-I/O vs. C-I/O

U7-1 Hinweise zur Evaluation

- in Kommentaren, die sich auf einen bestimmten Übungsleiter beziehen, bitte dessen Namen **jeder Zeile** voranstellen
- Frage "eigener Aufwand zur Vor- und Nachbereitung"
  - bitte nach Vorlesung und Übung auftrennen
  - Vorlesung: den jeweiligen Wochenaufwand durch 2 teilen (2x 90 Minuten Vorlesung pro Wochen, Aufwandsangabe je 90 Minuten)
  - Übung: den jeweiligen Wochenaufwand durch 4 teilen (2x2 Stunden Übung (Tafel+Rechner) pro Woche, Angabe je 45 Minuten)
- Vorlesungsevaluation: "Dozent hat Vorlesung zu ... selbst gehalten"
  - Dozenten sind Prof. Schröder-Preikschat und Dr. Jürgen Kleinöder
  - technisch bedingt wird in der Evaluation nur Prof. Schröder-Preikschat als Dozent genannt
  - bitte beide Dozenten bei der Beantwortung der Frage berücksichtigen

U7-2 Netzwerkkommunikation und Byteorder

- Wiederholung: Byteorder



- 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

U7-3 Sockets

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

1 Communication Domain und Protokoll

- **Communication Domain** legt die **Protokoll-Familie**, in der die Kommunikation stattfindet, fest
- Protokoll-Familie legt gleichzeitig auch die Adressierungsstruktur **(Adress-Familie)** fest (unabhängig geplant, aber nie getrennt)
- das **Protokoll**-Attribut wählt das Protokoll innerhalb der Familie aus
- Communication Domains (Protokoll-Familie / Adress-Familie)
  - UNIX-Domain (PF_UNIX / AF_UNIX)
  - Internet-Domain IPv4 (PF_INET / AF_INET)
  - Internet-Domain IPv6 (PF_INET6 / AF_INET6)
- Werte von Protokollfamilie (PF_) und Adress-Familie (AF_) identisch

2 Internet-Domain: Protokolle

- Internet Protocol - IP (Vermittlungsschicht)
  - 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 (Transportschicht)
  - 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 (Transportschicht)
  - zuverlässige Verbindung (Datenstrom) zu einem Dienst (Port)

2 Internet-Domain: Socket-Namen

- über den Socket-Namen ist ein Socket innerhalb der Kommunikationsdomäne eindeutig erreichbar
- Internet-Domain: IP-Adresse + Port-Nummer
- Die IP-Adresse identifiziert einen Rechner
- Die Port-Nummer identifiziert einen Prozess auf einem Rechner
  - ggf. sogar einen von mehreren von diesem Prozess angebotenen Diensten

2 Internet-Domain: Adressen

- IPv4: 4 Byte
  - Notation: 4 mit '.' getrennte Byte-Werte in Dezimaldarstellung
  - z. B. `131.188.34.45`
- IPv6: 16 Byte
  - Notation: acht mit ':' getrennte 2-Byte-Werte in Hexadezimaldarstellung
  - z.B.: `2001:638:a00:1e:2e0:81ff:fe58:67ab`
  - in der Adresse kann einmalig '::' als Kurzschreibweise einer Nullfolge verwendet werden
  - Beispiel: IPv6 localhost-Adresse: `0:0:0:0:0:0:0:1 = ::1`
- Einführung von IPv6 schleppend
  - 1998 verabschiedet, Verbreitung immer noch sehr gering
  - Software sollte sowohl IPv4 als auch IPv6 unterstützen

2 Internet-Domain: Port-Nummern

- bestimmten Prozess (Dienst) ansprechen (vgl. Vorl. 7-79, Tor)
- die intuitive Lösung, als Ziel eine Prozess-ID zu nehmen, hat Nachteile
  - Prozesse werden dynamisch erzeugt und vernichtet – die *PID* ändert sich dadurch
  - Ziele sollten aufgrund ihrer Funktion (Dienst) ansprechbar sein
  - Prozesse können mehrere Dienste anbieten (vgl. *inetd*)
- Lösung: ***Port*** als "abstrakte Adresse" für einen Dienst
  - Diensterbringer (Prozess) verbindet einen Socket mit dem Port
  - positive 16-bit Zahl
  - Ports bis einschließlich 1023 sind dem Superuser vorbehalten

3 Socket-Typen

- **Stream-Sockets**
  - unterstützen bidirektionalen, zuverlässigen Datenfluss
  - gesicherte Kommunikation (gegen Verlust und Duplizierung von Daten)
  - die Reihenfolge 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)

4 Client-Server-Modell

★ Ein ***Server*** ist ein Programm, das einen **Dienst** *(Service)* anbietet, der über einen Kommunikationsmechanismus erreichbar ist
(vgl. Vorl. 7-78, ungleichberechtigte Kommunikation)

- 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

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_INET`: IPv4
  - `PF_INET6`: IPv6

  (`PF_` = Protocol Family)
- `type` innerhalb der Domain:
  - `SOCK_STREAM`: Stream-Socket (bei PF_INET(6) = TCP-Protokoll)
  - `SOCK_DGRAM`: Datagramm-Socket (bei PF_INET(6) = UDP-Protokoll)
- `protocol`
  - Default-Protokoll für Domain/Type Kombination: `0`
    (z.B. INET/STREAM -> TCP) (siehe ***getprotobyname(3)***)

6 Namensgebung

- Sockets werden ohne Namen generiert
- der Systemaufruf ***bind(2)*** bindet einen Namen an einen Socket

```
int bind(int s, const struct sockaddr *name, socklen_t 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-Adresse / Port

    ➤ es wird konkret eine `struct sockaddr_in` übergeben

  - `namelen`: Länge der konkret übergebenen Struktur in Bytes

7 Namensgebung für IPv4-Sockets

- Name 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 65536
  - **sin_addr:** IP-Adresse
    - ➤ `INADDR_ANY`: wenn Socket auf allen lokalen Adressen (z. B. allen Netzwerkinterfaces) Verbindungen akzeptieren soll

8 Namensgebung für IPv6-Sockets

- Name durch IP-Adresse und Port-Nummer definiert

```
struct sockaddr_in6 {
   uint16_t           sin6_family;   /* = AF_INET6 */
   uint16_t           sin6_port;     /* Port */
   uint32_t           sin6_flowinfo;
   struct in6_addr    sin6_addr;     /* IPv6-Adresse */
   uint32_t           sin6_scope_id;
};
struct in6_addr {
   unsigned char      s6_addr[16];
};
```

  - **sin6_addr:** IPv6-Adresse
    - ➤ `in6addr_any / IN6ADDR_ANY_INIT`:
      auf allen lokalen Adressen Verbindungen akzeptieren

9 Binden eines TCP-Socket — Beispiel

- Adresse und Port müssen in Netzwerk-Byteorder vorliegen!
- Die `INADDR_`-Werte liegen in Host-Byteorder vor
- Die `IN6ADDR_`-Werte liegen bereits in Netzwerk-Byteorder vor
- Beispiel

```
#include <sys/types.h>
#include <netinet/in.h>
...
struct sockaddr_in6 sin;
...
s = socket(PF_INET6, SOCK_STREAM, 0);

memset(&sin, 0, sizeof(sin));
sin.sin6_family = AF_INET6;
sin.sin6_addr = in6addr_any; // bereits in NW-Byteorder
sin.sin6_port = htons(MYPORT);
bind(s, (struct sockaddr *) &sin, sizeof(sin));
```

10 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);
```


11 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_in6 srv;
... // srv mit Daten der Gegenstelle initialisieren
connect(s, (struct sockaddr *)&srv, sizeof srv);
```

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

12 Verbindungsaufbau und Kommunikation

- Beispiel: Server, der alle Eingaben wieder zurückschickt (ohne Fehlerbehandlungen)

```
fd = socket(PF_INET6, SOCK_STREAM, 0);

memset(&name, 0, sizeof(name));
name.sin6_family = AF_INET6;
name.sin6_port = htons(port);
name.sin6_addr = in6addr_any;

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

listen(fd, 5);

in_fd = accept(fd, NULL, NULL);

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

   n = read(in_fd, buf, sizeof(buf));

   write(in_fd, buf, n);

}

close(in_fd);
close(fd);
```


13 Schließen einer Socketverbindung

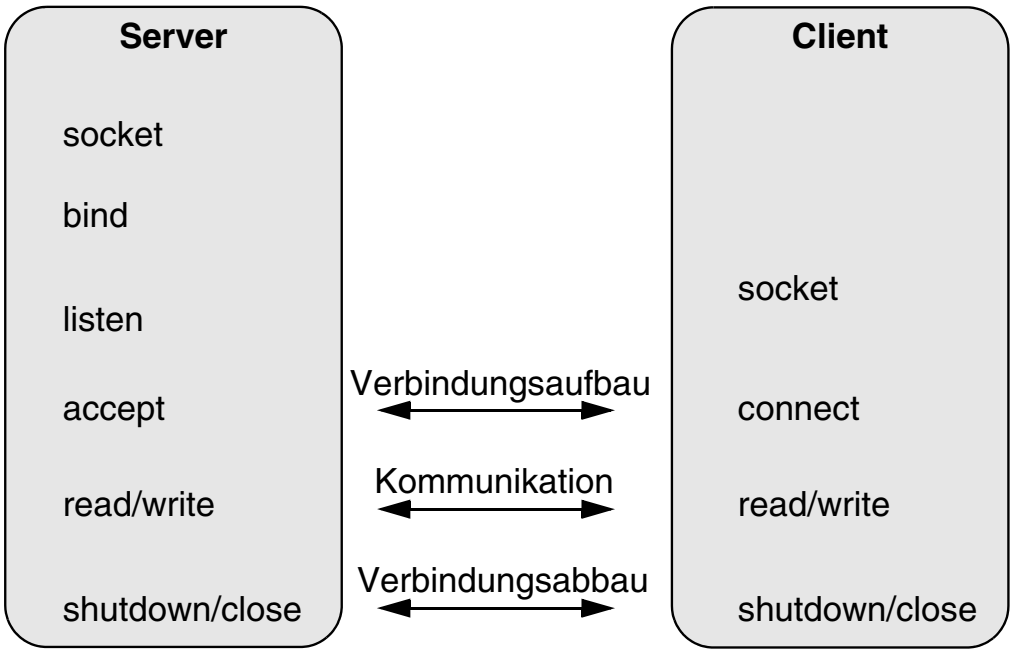
- close(s)
- shutdown(s, how)
  - how:
    - SHUT_RD: verbiete Empfang (nächstes *read* liefert EOF)
    - SHUT_WR: verbiete Senden (nächstes *write* führt zu Signal SIGPIPE)
    - SHUT_RDWR: verbiete Senden und Empfangen

14 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)

15 TCP-Sockets: Zusammenfassung



U7-4 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
  - ***getnameinfo(3)*** : Reverse-Lookup: IP-Adresse => DNS-Name
  - ***getaddrinfo(3):*** Forward-Lookup: DNS-Name => IP-Adressen

1 Socket-Optionen setzen

```
#include <sys/socket.h>
int setsockopt(int s, int level, int optname, const void *optval, socklen_t optlen);
```

- Verfügbare Optionen abhängig von Protokollfamilie (**ip(7)**, **ipv6(7)**)
- Beispiel (ohne Fehlerbehandlungen):

```
int sock, sopt_value;

sock = socket(PF_INET6, SOCK_STREAM, 0);

sopt_value = 1;

// Sofortiges Neubinden eines kürzlich gebundenen Socketnamens zulassen
setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, &sopt_value, sizeof(int));

// IPv6-Socket nicht für IPv4-mapped-Verbindungen verwenden
setsockopt(sock, IPPROTO_IPV6, IPV6_V6ONLY, &sopt_value, sizeof(int));
```


2 getsockname, getpeername

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

- Informationen über die lokale Adresse des Socket

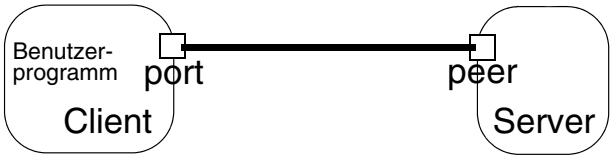
```
struct sockaddr_in6 server;
socklen_t len;

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_in6 server;
socklen_t len;

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



3 DNS-Forward-Lookup

- `getaddrinfo` liefert Socket-Namen zu einem Host/Dienst-Paar

```
int getaddrinfo(const char *node, const char *service,
   const struct addrinfo *hints, struct addrinfo **res);
```

- `node` gibt den DNS-Namen des Hosts an (oder IP-Adresse als String)
- `service` gibt entweder numerischen Port als String (z.B. "25") oder den Dienstnamen (z.B. "smtp", **getservbyname(3)**) an
- Mit `hints` kann die Adressauswahl eingeschränkt werden (z.B. auf IPv4-Sockets). Nicht verwendete Felder auf `0` bzw. `NULL` setzen.
- Ergebnis ist eine verkettete Liste von Socket-Namen; ein Zeiger auf das Kopfelement wird in `*res` gespeichert
- Fehlerbehandlung siehe **getaddrinfo(3)**
- Freigabe der Ergebnisliste nach Verwendung mit **freeaddrinfo(3)**

3 DNS-Forward-Lookup

```
struct addrinfo {
   int              ai_flags;    // flags zur Auswahl (hints)
   int              ai_family;   // z.B. PF_INET6
   int              ai_socktype; // z.B. SOCK_STREAM
   int              ai_protocol; // Protokollnummer
   size_t           ai_addrlen;  // Größe von ai_addr
   struct sockaddr *ai_addr;     // Adresse f. bind/connect
   char            *ai_canonname;// offizieller Hostname
   struct addrinfo *ai_next;     // nächste Addresse oder NULL
};
```

- `ai_flags` relevant zur Anfrage von Auswahlkriterien (`hints`)
  - `AI_ADDRCONFIG`: Auswahl von Adresstypen, für die auch ein lokales Interface existiert (z.B. werden keine IPv6-Adressen geliefert, wenn der aktuelle Rechner gar keine IPv6-Adresse hat)
- `ai_family, ai_socktype, ai_protocol` für **socket(2)** verwendbar
- `ai_addr, ai_addrlen` als für **bind(2)** und **connect(2)** verwendbar

4 Beispiel: Verbindung aufbauen

```
char *hostname = "lists.informatik.uni-erlangen.de";
int gai_ret, sock;
struct addrinfo *sa_head, *sa, hints;

memset(&hints,0,sizeof(hints));
hints.ai_socktype = SOCK_STREAM; /* nur TCP-Sockets */
hints.ai_family = PF_UNSPEC;     /* beliebige Protokollfamilie */
hints.ai_flags = AI_ADDRCONFIG;  /* nur lokal verf. Addresstypen */

gai_ret = getaddrinfo(hostname, "25", &hints, &sa_head);
if(gai_ret != 0 ) { /* Fehlerbehandlung s. Manpage */ }

/* Liste der Adressen durchtesten */
for(sa = sa_head; sa!=NULL; sa=sa->ai_next) {
    sock= socket(sa->ai_family,sa->ai_socktype,sa->ai_protocol);
    if(0 == connect(sock, sa->ai_addr, sa->ai_addrlen)) {
        break;
    }
    close(sock);
}
if(sa == NULL) { /* Fehler */ }

freeaddrinfo(sa_head);
```


U7-5 Transparente IPv4-in-IPv6-Unterstützung

- Spezieller Adressbereich ::ffff:0:0/96 zur Abbildung von IPv4 auf IPv6
- z.B. 131.188.30.102 auf ::ffff:83bc:1e66 (auch ::ffff:131.188.30.102)
- Binden eines PF_INET6-Sockets bindet standardmäßig auch den entsprechenden IPv4-Port
  - dem Prozess erscheinen eingehende IPv4-Verbindungen als IPv6-Verbindungen aus diesem Adressbereich
- ausgehende IPv6-Verbindungen an diesen Adressbereich werden auf entsprechende IPv4-Verbindungen abgebildet

U7-6 Wichtige Socket-Manpages

- Socket erzeugen: **socket(2)**
- Client: **connect(2)**
- Server: **bind(2)**, **listen(2)**, **accept(2)**
- IP-Protokolle, sockaddr-Strukturen: **ip(7)**, **ipv6(7)**
- DNS: **getaddrinfo(3)**, **getnameinfo(3)**
- Socket-Optionen: **setsockopt(2)**

U7-7 POSIX-I/O vs. Standard-C-I/O

- POSIX-Funktionen open/close/read/write/... arbeiten mit Filedeskriptoren
- Standard-C-Funktionen fopen/fclose/fgets/... arbeiten mit Filepointern
- Konvertierung von Filepointer nach Filedeskriptor

```
#include <stdio.h>
int fileno(FILE *stream);
```

- Konvertierung von Filedeskriptor nach Filepointer

```
#include <stdio.h>
FILE *fdopen(int fd, const char *type);
```

  - type kann sein "r", "w", "a", "r+", "w+", "a+"
    (`fd` muss entsprechend geöffnet sein!)

- Filedeskriptoren in `<unistd.h>`:
  `STDIN_FILENO`, `STDOUT_FILENO`, `STDERR_FILENO`