Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü1 – Interprozesskommunikation mit Sockets

Christian Eichler, Andreas Ziegler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

SS 2017 – 01. bis 05. Mai 2017

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_SP2

21-ClientSockets_handout

Agenda

1.1 Organisatorisches
1.2 Linux-Install-Party der FSI
1.3 IPC-Grundlagen
1.4 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
1.5 Ein-/Ausgabemechanismen
1.6 Gelerntes anwenden

21-ClientSockets_handout

Miniklausur-Termin

- Termin für die Miniklausur
  - Mittwoch, 10.05.2017, 16:00 **s.t.** im Hörsaal H7

Organisatorisches

Übungsbetrieb

- Rechnerübungen von SP1 und SP2 finden gemeinsam statt
  - Termine siehe `https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_SP2/Uebung/univis.ushtml`

SVN-Repository

- URL: `https://www4.cs.fau.de/i4sp/ss17/sp2/<login>`
  - Passwort setzen: `/proj/i4sp2/bin/change-password`
- Projektverzeichnisse unter `/proj/i4sp2`

Programmieraufgaben

- Durchgängige Verwendung von 64-Bit
- Programmiersprache ISO C99
- Betriebssystemstandard SUSv4 (= POSIX.1-2008)

Kompilieren & Linken

- Standard-Flags in SP: `-std=c99 -pedantic -Wall -Werror \`
  `-D_XOPEN_SOURCE=700`
  - Zum Debuggen zusätzlich `-g`
- In SP2 konsequente Benutzung von Makefiles

Ach, übrigens...

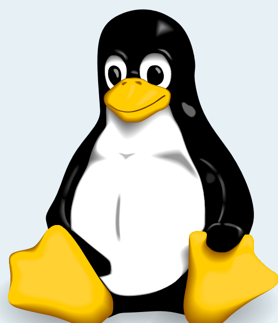
Fehlerabfragen nicht vergessen!
Wir wollen in SP *robuste* Programme schreiben.

Veranstaltungshinweis

- Für alle, die noch kein Linux auf dem eigenen Rechner haben, diesen Zustand aber gerne ändern würden:

Linux-Install-Party der FSI

- am Montag, den 08.05.2017, ab 14:00
- im 02.152-113 (Blaues Hochhaus, 2. Stock)
- weitere Informationen unter `https://fsi.cs.fau.de/linuxinstall`



Agenda

1.1 Organisatorisches
1.2 Linux-Install-Party der FSI
1.3 IPC-Grundlagen
1.4 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
1.5 Ein-/Ausgabemechanismen
1.6 Gelerntes anwenden

21-ClientSockets_handout

Client-Server-Modell

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

Server

- **Akzeptiert Anforderungen**, die von außen kommen
- **Führt** einen angebotenen **Dienst aus**
- **Schickt** das **Ergebnis zurück** zum Sender der Anforderung
- In der Regel als normaler Benutzerprozess realisiert

Client

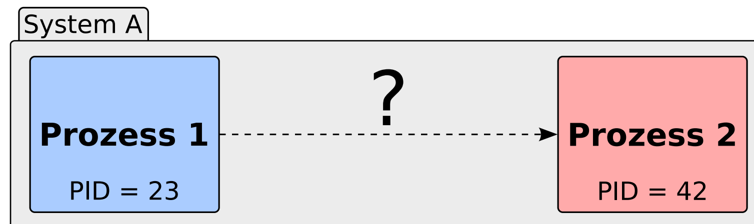
- Schickt eine **Anforderung an einen Server**
- Wartet auf eine Antwort

21-ClientSockets_handout

Kommunikation innerhalb eines Systems

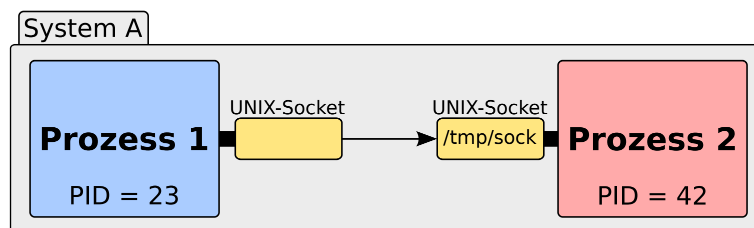
? Wie findet ein Client den gewünschten Dienstanbieter?

- Intuitiv: über dessen Prozess-ID



  - **Problem:** Prozesse werden dynamisch erzeugt/beendet; PID ändert sich

- **Lösung:** Verwendung eines abstrakten „Namens“ für den Dienst



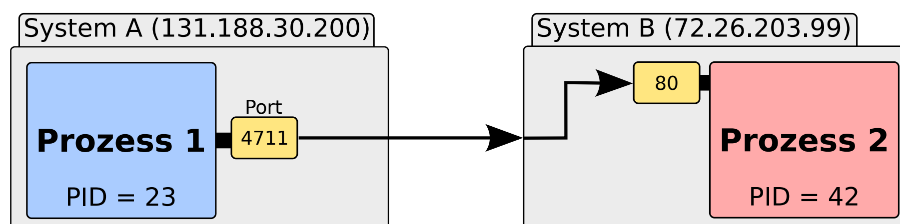
  - Prozess 2 ist über den Dienstnamen (hier: einen Dateinamen) erreichbar

Kommunikation über Systemgrenzen hinweg

? Wie findet ein Client nun den gewünschten Dienstanbieter?

- Über einen zweistufig aufgebauten „Namen“:
  1. Identifikation des Systems innerhalb des Netzwerks
  2. Identifikation des Prozesses innerhalb des Systems

- Beispiel TCP/IP: eindeutige Kombination aus
  1. IP-Adresse (identifiziert Rechner im Internet)
  2. Port-Nummer (identifiziert Dienst auf dem Rechner)



Adressierung von Rechnern im Internet

Internet Protocol, Version 4 (IPv4)

- Protokoll zur Bildung eines weltweiten virtuellen Netzwerks auf der Basis mehrerer physischer Netze (durch Routing)
  - 1981 als Standard verabschiedet
- 32-Bit-Adressraum ($\approx$ 4 Milliarden Adressen)
- Notation: 4 mit `.` getrennte Byte-Werte in Dezimaldarstellung
  - z. B. `131.188.30.200`
- Nicht zukunftsfähig wegen des viel zu kleinen Adressraums
  - Alle Adressblöcke in Asien/Pazifikraum (2011), Europa/Nahost (2012) und Lateinamerika/Karibik (2014) bereits vergeben!

21-ClientSockets_handout

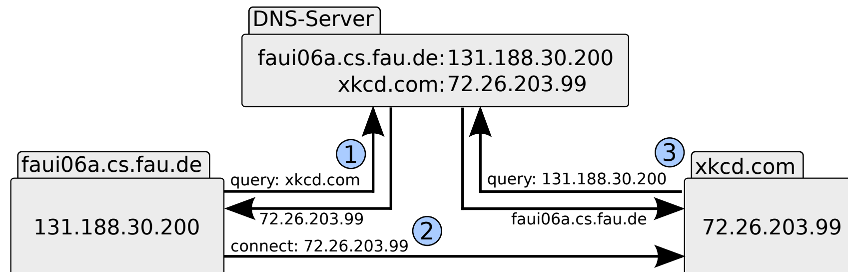
Adressierung von Rechnern im Internet

Internet Protocol, Version 6 (IPv6)

- Nachfolgeprotokoll von IPv4
  - 1998 als Standard verabschiedet, Einführung weiterhin im Gange
  - *Dual Stack*: IPv4 und IPv6 parallel betreibbar
- 128-Bit-Adressraum ($\approx 3{,}4 \cdot 10^{38}$ Adressen)
  - Sollte fürs Erste ausreichen :-)
- Notation: 8 mit `:` getrennte 2-Byte-Werte in Hexadezimaldarstellung
  - z. B. `2001:638:a00:1e:219:99ff:fe33:8e75`
- In der Adresse kann einmalig `::` als Kurzschreibweise einer Nullfolge verwendet werden
  - z. B. *localhost*-Adresse: `0:0:0:0:0:0:0:1 = ::1`

Domain Name System (DNS)

- IP-Adressen sind nicht leicht zu merken
- ... und ändern sich, wenn man einen Rechner in ein anderes Rechenzentrum umzieht
- **Lösung:** zusätzliche Abstraktion durchs DNS-Protokoll



1. *Forward lookup*: Rechnername → IP-Adresse
2. Kommunikationsaufbau
3. *Reverse lookup* (im Beispiel optional): IP-Adresse → Rechnername

Port

- Numerische Identifikation eines Dienstes innerhalb eines Systems
- Port-Nummer: 16-Bit-Zahl, d. h. kleiner als 65536
- Port-Nummern < 1024: *well-known ports*
  - Können nur von Prozessen gebunden werden, die mit speziellen Privilegien gestartet wurden (Ausführung als *root*)
  - z. B. ssh = 22, smtp = 25, http = 80, https = 443, doom = 666
  - Liste der definierten Ports und Protokolle:
    `https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_TCP_and_UDP_port_numbers#Well-known_ports`

Kommunikationsarten

Verbindungsorientiert (*Datenstrom/Stream*)

- Gesichert gegen Verlust und Duplizierung von Daten
- Reihenfolge der gesendeten Daten bleibt erhalten
- Vergleichbar mit einer UNIX-Pipe – allerdings bidirektional
- Implementierung: Transmission Control Protocol (TCP)

Paketorientiert (*Datagramm*)

- Schutz vor Bitfehlern – nicht vor Paketverlust oder -duplizierung
- Datenpakete können eventuell in falscher Reihenfolge ankommen
- Grenzen von Datenpaketen bleiben erhalten
- Implementierung: User Datagram Protocol (UDP)

Übertragung von Daten

- Beim Austausch von binären Datenwörtern zwischen verschiedenen Rechnern muss Einigkeit über die verwendete *Byteorder* herrschen!
- Beispiel: Kommunikation zwischen x86-Rechner (*little endian*) und SPARC-Rechner (*big endian*)

Wert	Repräsentation	0	1	2	3
0xcafebabe	big endian	ca	fe	ba	be
	little endian	be	ba	fe	ca

- **Definierter Standard:** Netzwerk-Byteorder = *big endian*
  - Konvertierung vor dem Senden und nach dem Empfangen nötig
  - Ausnahme: bei Übertragung von Einzelbytes bzw. Byte-Strings

Agenda

1.1 Organisatorisches
1.2 Linux-Install-Party der FSI
1.3 IPC-Grundlagen
1.4 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
1.5 Ein-/Ausgabemechanismen
1.6 Gelerntes anwenden

21-ClientSockets_handout

Sockets

- Generischer Mechanismus zur Interprozesskommunikation
- Implementierung ist abhängig von der jeweiligen Kommunikations-Domäne
  - Innerhalb des selben Systems: z. B. UNIX-Socket
    → Adressierung über Dateinamen, Kommunikation über gemeinsamen Speicher, keine Sicherungsmechanismen notwendig
  - Über Rechnergrenzen hinweg: z. B. TCP/UDP-Socket
    → Adressierung über IP-Adresse + Port, nachrichtenbasierte Kommunikation, Sicherungsmechanismen bei TCP
- Beim Verbindungsaufbau sind die entsprechenden Parameter zu wählen
- Anschließende Verwendung im Programm ist transparent
  - ... egal, ob der Kommunikationspartner ein Prozess auf dem selben Rechner oder am anderen Ende der Welt ist

21-ClientSockets_handout

Erzeugen 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_UNIX`: UNIX-Domäne
    - `PF_INET`: IPv4-Domäne
    - `PF_INET6`: IPv6-Domäne *(kompatibel zu IPv4, wenn vom OS unterstützt)*
  - `type` innerhalb der gewählten Domäne:
    - `SOCK_STREAM`: Stream-Socket
    - `SOCK_DGRAM`: Datagramm-Socket
  - `protocol`:
    - `0`: Standard-Protokoll für gewählte Kombination (z. B. TCP/IP bei `PF_INET(6)` + `SOCK_STREAM`)
- Ergebnis ist ein numerischer Socket-Deskriptor
  - Entspricht einem Datei-Deskriptor und unterstützt (bei Stream-Sockets) die selben Operationen: `read(2)`, `write(2)`, `close(2)`, …

Verbindungsaufbau durch den Client

- `connect(2)` meldet Verbindungswunsch an Server:

```
int connect(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
                                    socklen_t addrlen);
```

  - `sockfd`: Socket, über den die Kommunikation erfolgen soll
  - `addr`: Beinhaltet „Namen" (bei uns: IP-Adresse und Port) des Servers
  - `addrlen`: Länge der konkret übergebenen `addr`-Struktur
- `connect()` blockiert solange, bis der Server die Verbindung annimmt oder zurückweist
  - Mehr zum Server in der nächsten Übung
- Socket ist anschließend bereit zur Kommunikation mit dem Server

DNS-Anfragen

- Zum Ermitteln der Werte für die `sockaddr`-Struktur kann das DNS-Protokoll verwendet werden
- `getaddrinfo(3)` liefert die nötigen Werte:

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

  - `node` gibt den DNS-Namen des Hosts an (oder die IP-Adresse als String)
  - `service` gibt entweder den 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
- Freigabe der Ergebnisliste nach Verwendung mit `freeaddrinfo(3)`

DNS-Anfragen


```
struct addrinfo {
  int              ai_flags;     // Flags zur Auswahl (hints)
  int              ai_family;    // z. B. AF_INET6
  int              ai_socktype;  // z. B. SOCK_STREAM
  int              ai_protocol;  // Protokollnummer
  socklen_t        ai_addrlen;   // Größe von ai_addr
  struct sockaddr *ai_addr;      // Adresse fuer connect()
  char            *ai_canonname; // Offizieller Hostname (FQDN)
  struct addrinfo *ai_next;      // Nächstes Listenelement 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` für `connect(2)` verwendbar

DNS-Anfragen: Beispiel


```
struct addrinfo hints = {
    .ai_socktype = SOCK_STREAM,   // Nur TCP-Sockets
    .ai_family   = AF_UNSPEC,     // Beliebige Adressfamilie
    .ai_flags    = AI_ADDRCONFIG, // Nur lokal verfuegbare Adresstypen
}; // C99: alle anderen Elemente der Struktur werden implizit genullt

struct addrinfo *head;
getaddrinfo("xkcd.com", "80", &hints, &head);
// Fehlerbehandlung! Rueckgabewert mit gai_strerror(3) auswerten, um
// Fehlerbeschreibung zu erhalten

// Liste der Adressen durchtesten
int sock;
struct addrinfo *curr;
for (curr = head; curr != NULL; curr = curr->ai_next) {
    sock = socket(curr->ai_family, curr->ai_socktype, curr->ai_protocol);
    // Fehlerbehandlung!
    if (connect(sock, curr->ai_addr, curr->ai_addrlen) == 0)
        break;
    close(sock);
}
if (curr == NULL) {
    // Keine brauchbare Adresse gefunden :-(
}

// sock kann jetzt fuer die Kommunikation mit dem Server benutzt werden
```

Agenda

1.1 Organisatorisches
1.2 Linux-Install-Party der FSI
1.3 IPC-Grundlagen
1.4 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
1.5 Ein-/Ausgabemechanismen
1.6 Gelerntes anwenden

Ein-/Ausgabemechanismen

- Nach dem Verbindungsaufbau lässt sich ein Stream-Socket nach dem selben Schema benutzen wie eine geöffnete Datei
- Für Ein- und Ausgabe stehen verschiedene Funktionen zur Verfügung:
  - Ebene 2: POSIX-Systemaufrufe
    - arbeiten mit Dateideskriptoren (`int`)
  - Ebene 3: Bibliotheksfunktionen
    - greifen intern auf die Systemaufrufe zurück
    - wesentlich flexibler einsetzbar
    - arbeiten mit File-Pointern (`FILE *`)

Ebene	Variante	Ein-/Ausgabedaten	Funktionen
2	blockorientiert	Puffer, Länge	`read()`, `write()`
3	blockorientiert	Array, Elementgröße, -anzahl	`fread()`, `fwrite()`
	zeichenorientiert	Einzelbyte	`getc()`, `putc()`
	zeilenorientiert	`'\0'`-terminierter String	`fgets()`, `fputs()`
	formatiert	Formatstring, beliebige Variablen	`fscanf()`, `fprintf()`

21-ClientSockets_handout

Ein-/Ausgabemechanismen: `FILE *`

- Auf Grund ihrer Flexibilität eignen sich `FILE *` für String-basierte Ein- und Ausgabe wesentlich besser
- Erstellen eines `FILE *` für einen gegebenen Dateideskriptor:

```
FILE *fdopen(int fd, const char *mode);
```

  - `mode` kann sein: `"r"`, `"w"`, `"a"`, `"r+"`, `"w+"`, `"a+"`
  - `fd` muss im entsprechenden Modus geöffnet worden sein
- Schließen des erzeugten `FILE *`:

```
int fclose(FILE *fp);
```

  - Darunterliegender Dateideskriptor wird dabei geschlossen
  - Nachfolgendes `close(2)` nicht notwendig

21-ClientSockets_handout

Ein-/Ausgabemechanismen: Sockets und FILE *

- FILE * benutzen einen eigenen Pufferungsmechanismus
  - Hat möglicherweise unerwünschtes Verhalten, wenn derselbe FILE * für Ein- und Ausgabe verwendet wird
- Zwei separate FILE * für Empfangs- und Senderichtung erstellen
  - Socket-Deskriptor vorher duplizieren, da nicht mehrere FILE * auf denselben Deskriptor verweisen sollten

```
int sock = ...;

// FILE * fuers Empfangen erstellen
FILE *rx = fdopen(sock, "r");

// Duplikat des Socket-Deskriptors anlegen
int sock_copy = dup(sock);

// FILE * fuers Senden erstellen
FILE *tx = fdopen(sock_copy, "w");
```

- Nach jeder geschriebenen Zeile mit **fflush(3)** das Leeren des Zwischenpuffers erzwingen

Agenda

1.1 Organisatorisches
1.2 Linux-Install-Party der FSI
1.3 IPC-Grundlagen
1.4 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
1.5 Ein-/Ausgabemechanismen
1.6 Gelerntes anwenden

Aktive Mitarbeit erforderlich!

„Aufgabenstellung“

- Mit Hilfe des Programms *Netcat* (`nc`, `ncat`) eine E-Mail an die eigene Adresse senden
  - Dialog mit dem Mail-Server live nachspielen
  - Sonderbehandlung von Punkten am Zeilenanfang nachvollziehen
- Programm schreiben, welches den Flächeninhalt verschiedener geometrischer Formen berechnen kann
  - Eingaben werden von STDIN eingelesen
  - Eingabeformat: <zahl> <zahl> <form>
  - Unterstützte Formen: dreieck, rechteck
  - Ausgabeformat soll die eingegebene Werte und den Flächeninhalt beeinhalten