

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü1 – Interprozesskommunikation mit Sockets

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

SS 2015 – 20. bis 24. April 2015

https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS15/V_SP2

Agenda

- 1.1 Organisatorisches
- 1.2 IPC-Grundlagen
- 1.3 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
- 1.4 Ein-/Ausgabemechanismen
- 1.5 Gelerntes anwenden



■ Mögliche Termine für die Miniklausur

- Dienstag 28.4, 16:00 s.t.
- Dienstag 28.4, 18:00 s.t.
- Mittwoch 29.4, 10:00 s.t.
- Mittwoch 29.4, 18:00 s.t.



Organisatorisches

Übungsbetrieb

- Rechnerübungen von SP1 und SP2 finden gemeinsam statt
 - Termine siehe https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS15/V_SP2/Uebung/univis.ushtml
 - Als *unbetreut* eingetragene Rechnerübungen sind mit Raumreservierung, aber ohne Tutor

SVN-Repository

- URL: <https://www4.cs.fau.de/i4sp/ss15/sp2/<login>>
 - Passwort setzen: /proj/i4sp2/bin/change-password
- Projektverzeichnisse in diesem Semester unter /proj/i4sp2
- SP1-Repository aus dem Vorsemester weiterhin zugreifbar



- 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.



Agenda

- 1.1 Organisatorisches
- 1.2 IPC-Grundlagen
- 1.3 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
- 1.4 Ein-/Ausgabemechanismen
- 1.5 Gelerntes anwenden



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

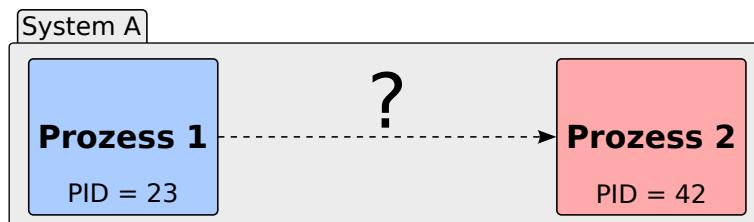
- Schickt eine **Anforderung an einen Server**
- Wartet auf eine Antwort



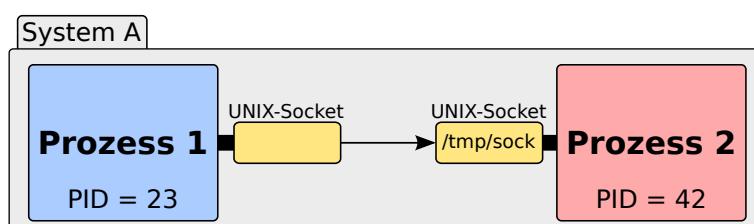
Kommunikation innerhalb eines Systems

? 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



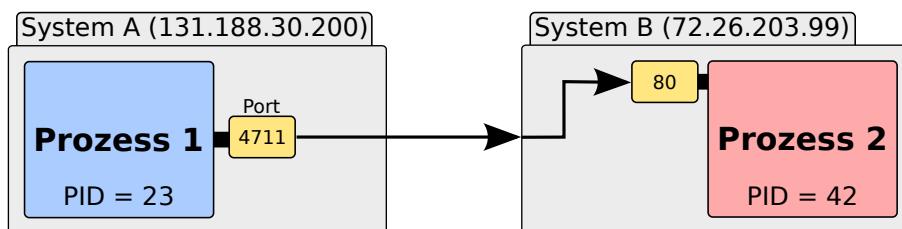
- Prozess 2 ist über den Dienstnamen (hier: einen Dateinamen) erreichbar



?

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!

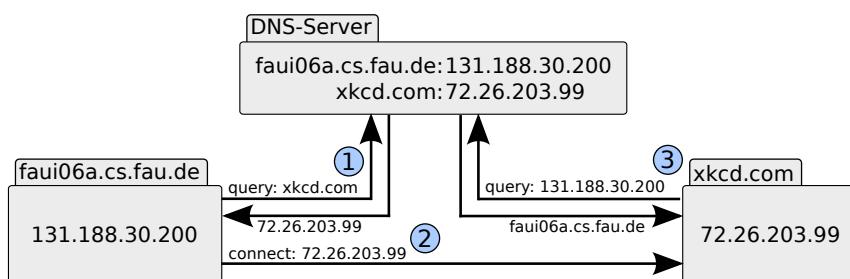
Internet Protocol, Version 6 (IPv6)

- Nachfolgeprotokoll von IPv4
 - 1998 als Standard verabschiedet, Einführung aktuell 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



- 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



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)



- 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
0xcafebabe	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 IPC-Grundlagen
- 1.3 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
- 1.4 Ein-/Ausgabemechanismen
- 1.5 Gelerntes anwenden



- 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



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)`, ...



- `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

Betriebssystemschnittstelle zur IPC

- 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)`



```
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 verfügbare 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
```



- 1.1 Organisatorisches
- 1.2 IPC-Grundlagen
- 1.3 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
- 1.4 Ein-/Ausgabemechanismen
- 1.5 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	<code>read()</code> , <code>write()</code>
3	blockorientiert zeichenorientiert zeilenorientiert formatiert	Array, Elementgröße, -anzahl Einzelbyte '\0'-terminierter String Formatstring, beliebige Variablen	<code>fread()</code> , <code>fwrite()</code> <code>getc()</code> , <code>putc()</code> <code>fgets()</code> , <code>fputs()</code> <code>fscanf()</code> , <code>fprintf()</code>



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



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 sock2 = dup(sock);

// FILE * fuers Senden erstellen
FILE *tx = fdopen(sock2, "w");
```

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



- 1.1 Organisatorisches
- 1.2 IPC-Grundlagen
- 1.3 Betriebssystemschnittstelle zur IPC
- 1.4 Ein-/Ausgabemechanismen
- 1.5 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

