# D 3. Übung

## D.1 Überblick

- Infos zur Aufgabe2: Abstraktionen für das Kommunikationssystem
- Wiederholung Sockets
- Wiederholung Threads
  - Pthreads






## D.2 eine einfache Kommunikationsschnittstelle

- einheitliche Kommunikationsschnittstellen:

```
class CommunicationSystem {
   public:
     CommunicationSystem(Address addr);
     virtual Address getLocalAddress() = 0;

     virtual bool send(  Address dest,
                         Buffer *message,
                         int len) = 0;
     virtual bool receive(  Address *src,
                            Buffer *buffer)=0;
};
```

```
class Buffer { public: char *buffer; int len; };
```






## D.2 Aufgabe2

- zählende Semaphore

```
class Semaphor{
    public:
        Semaphor(int startvalue);
        void P(void);
        void V(void);
};
```

- einheitliche Schnittstelle zur Threadverwaltung

```
class Runnable {
    virtual void run() = 0;
};

class Thread {
    public:
        Thread(Runnable *run);
};
```






## D.3 UDP Kommunikation

- Sockets (Wiederholung)
  - Erzeugung
  - Binden
  - Socket Adressen
- UDP-Sockets
  - Datagramme senden / empfangen

# 1 Erzeugen eines neuen Sockets:

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

- **domain** gibt die Kommunikationsdomäne an, z.B.
  - **PF_INET**: Internet, IPv4
  - **PF_UNIX**: Unix Filesystem, lokale Kommunikation
  - **PF_APPLETALK**: Appletalk Netzwerk
- Durch **type** wird die Kommunikationssemantik festgelegt
  z.B.: in **PF_INET** Domain:
  - **SOCK_STREAM**: Stream-Socket
  - **SOCK_DGRAM**: Datagramm-Socket
  - **SOCK_RAW**






# 1 Erzeugen eines neuen Sockets (2)

- **protocol** legt das Protokoll fest.
  - 0 bedeuted hierbei: Standardprotokoll für Domain/Type Kombination
  - Zu jeder Kombination aus Sockettyp/-familie gibt es aktuell nur ein Protokoll:
    - **PF_INET**, **SOCK_STREAM**: → TCP
    - **PF_INET**, **SOCK_DGRAM**: → UDP






# 2 Binden von Sockets

- **bind** bindet einen Socket an eine lokale IP-Adresse und Port:

```
int bind(int sockfd,
         struct sockaddr *my_addr, socklen_t addrlen);
```

  - **sockfd**: Socketdeskriptor
  - **my_addr**: Protokollspezifische Adresse
    (Address Family AF_INET, IP-Addresse, Port)
  - **addrlen**: Größe der Adresse in Byte






# 3 Socket Adressen

- Socket-Interface (**<sys/socket.h>**) ist protokoll-unabhängig

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

- Internet-Protokoll-Familie (**<netinet/in.h>**) verwenden

```
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 */
}
```

# 4 Lokales Binden eines Sockets

- **INADDR_ANY**: wenn Socket auf allen lokalen Adressen (z.B. allen Netzwerkinterfaces) Verbindungen akzeptieren soll
- **sin_port = 0**: Portnummer wird vom System ausgewählt
- Adresse und Port müssen in Netzwerk-Byteorder vorliegen
- Beispiel

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






# 5 Socket-Adresse aus Hostnamen erzeugen

- **gethostbyname** liefert Informationen über einen Host

```
#include <netdb.h>

struct hostent *gethostbyname(const char *name);
```

- Struktur **hostent**

```
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]
```






# 5 Socket-Adresse aus Hostnamen erzeugen (2)

- Beispiel

```
char *hostname = "faui40";
int port = 4711;
struct hostent *host;
struct sockaddr_in saddr;

if ( (host = gethostbyname(hostname)) ==NULL){
    perror("gethostbyname()");
        exit(EXIT_FAILURE);
}

memset(&saddr, 0, sizeof(saddr)); /* initialisieren */

/* Adresse kopieren*/
memcpy((char *) &saddr.sin_addr,
                  (char *) host->h_addr, host->h_length);

/* Protokol und Port festlegen*/
saddr.sin_family = AF_INET;
saddr.sin_port   = htons(port);

/* saddr verwenden ... z.B. bind, sendto*/
```






# 6 Schließen einer Socketverbindung

- **close**: schließen des Socketdeskriptors

```
#include <unistd.h>

int close(int s);
```

- **shutdown**: schließen der Verbindung

```
int shutdown(int s, int how);
```

  - **how**:
    - SHUT_RD: verbiete Empfang
    - SHUT_WR: verbiete Senden
    - SHUT_RDWR: verbiete Senden und Empfangen

## 7 UDP: Senden

- Verbindungslos:
  Empfänger wird bei jedem Paket angegeben
- Senden

```
int sendto(int s, const void *buf, size_t len, int flags,
           const struct sockaddr *to, socklen_t tolen);
```

  - **s**: Socketdeskriptor
  - **buf**: Zeiger auf Daten
  - **len**: Länge der Daten (Fehler , wenn zu groß für ein UDP Paket)
  - **flags**: weitere Parameter (z.B. DONTWAIT)
  - **to**: Zieladresse
  - **tolen**: Länge der Zieladresse






## 8 UDP: Empfangen

- Verbindungslos:
  Absender kann aus dem empfangenen Pakte gelesen werden
- Empfangen

```
int recvfrom(int s, void *buf, size_t len, int flags,
             struct sockaddr *from, socklen_t *fromlen);
```

  - **s**: Socketdeskriptor
  - **buf**: Puffer um die Daten aufzunehmen
  - **len**: Größe des Puffers
  - **flags**: Parameter (z.B. MSG_PEEK)
  - **from**: Zeiger auf Adressstruktur um die Absenderadresse aufzunehmen
  - **fromlen**: Länge der Adressstruktur bei Aufruf
    enthält nach dem Aufruf die Länge der eingefügten Adresse






## 9 Lesen und Schreiben auf UDP Sockets - Beispiel

- Beispiel: Server, der alle Eingaben wieder zurückschickt

```
int fd = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0); /* Fehlerabfrage */
struct sockaddr_in name;
/*.... */
bind(fd, (const struct sockaddr *)&name, sizeof(name));/*.*/

for(;;) {
    char buf[70000];
    struct sockaddr_in addr;
    socklen_t addr_sz = sizeof(addr);
    int rcv_len;

    // empfangen
    rcv_len = recvfrom (fd, buf, sizeof(buf), 0,
                        (struct sockaddr *)&addr, &addr_sz);
    /* Fehlerabfrage */

    // und wieder zurück
    sendto (fd, buf, rcv_len, 0,
            (const struct sockaddr *) &addr, sizeof(addr))
    /* Fehlerabfrage */

}
close(fd);
```






# D.4 Threads

- Vergleich von Prozess und Thread-Konzepten
- POSIX-Threads

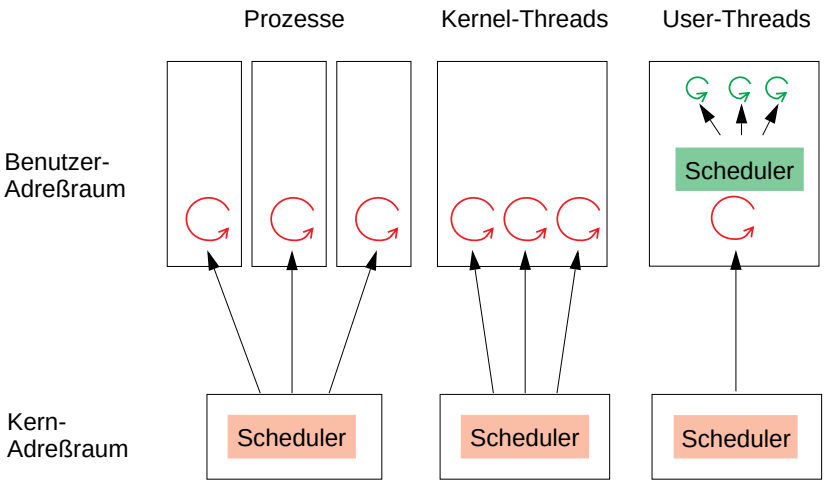
# 1 Motivation von Threads

- UNIX-Prozesskonzept ist für viele heutige Anwendungen unzureichend
- in Multiprozessorsystemen werden häufig parallele Abläufe in einem virtuellen Adreßraum benötigt
- zur besseren Strukturierung von Problemlösungen sind oft mehrere Aktivitätsträger innerhalb eines Adreßraums nützlich
- typische UNIX-Server-Implementierungen benutzen die **`fork`**-Operation, um einen Server für jeden Client zu erzeugen
  - ➥ Verbrauch unnötig vieler System-Ressourcen (Datei-Deskriptoren, Page-Table, Speicher, ...)






# 1 Vergleich von Prozess- und Thread-Konzepten



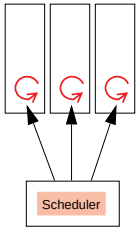






# 2 Vergleich von Prozess- und Thread-Konzepten (2)

- mehrere **UNIX-Prozesse** mit gemeinsamen Speicherbereichen




Bewertung:

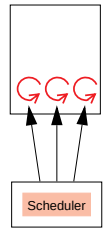
+ echte Parallelität möglich
– viele Betriebsmittel zur Verwaltung eines Prozesses notwendig; Prozessumschaltungen aufwendig → teuer
– innerhalb einer solchen Prozessfamilie wäre häufig ein anwendungsorientiertes Scheduling notwendig: schwierig realisierbar






# 2 Vergleich von Prozess- und Thread-Konzepten (3)

- ***Kernel-Threads***: leichtgewichtige Prozesse *(lightweight processes)*

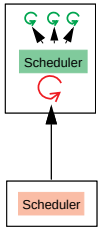



Bewertung:

+ gemeinsame Nutzung von Betriebsmitteln
+ jeder leichtgewichtige Prozess ist dem Betriebssystemkern bekannt
  - eigener Programmzähler, Registersatz, Stack
+ Umschalten zwischen zwei leichtgewichtigen Prozessen einer Gruppe ist erheblich billiger als eine normale Prozessumschaltung
  - ➥ es müssen nur die Register und der Programmzähler gewechselt werden (entspricht dem Aufwand für einen Funktionsaufruf)
  - ➥ Adreßraum muss nicht gewechselt werden
  - ➥ alle Systemressourcen bleiben verfügbar
– Verwaltung und Scheduling meist durch Kern vorgegeben

## 2 Vergleich von Prozess- und Thread-Konzepten (4)

- ***User-Level-Threads*** (Koroutinen) — Realisierung von Threads auf Benutzerebene innerhalb eines Prozesses




Bewertung:

+ Erzeugung von Threads und Umschaltung extrem billig
+ Verwaltung und Scheduling anwendungsorientiert möglich
– Systemkern hat kein Wissen über diese Threads
  - ➥ Scheduling zwischen den Koroutinen schwierig (Verdrängung meist nicht möglich)
  - ➥ in Multiprozessorsystemen keine parallelen Abläufe möglich
  - ➥ wird eine Koroutine wegen eines *page faults* oder in einem Systemaufruf blockiert, ist der gesamte Prozess blockiert






## 3 UNIX — Prozesse, LWPs & Threads

- Thread-Konzept zunehmend auch in UNIX-Systemen realisiert
  - ◆ Solaris
  - ◆ HP UX
  - ◆ Digital UNIX
  - ◆ Linux
  - ◆ …
- Programmierschnittstelle standardisiert: **Pthreads-Bibliothek**
  - ➥ IEEE POSIX Standard P1003.4a
- Pthreads-Implementierungen aber sehr unterschiedlich!
  - ➤ reine User-level-Threads (HP-UX)
  - ➤ reine Kernel-Threads (Linux, MACH, KSR-UNIX, Digital UNIX)
  - ➤ parametrierbare Mischung (Solaris)
- Daneben z. T. auch andere Thread-Bibliotheken (z. B. Solaris-Threads)






## 2 Vergleich von Prozess- und Thread-Konzepten (5)

- Vergleich

| | Prozesse | Kernel-Threads | User-Threads |
|---|---|---|---|
| Kosten | – teuer | O mittel | + billig |
| Betriebssystemeingliederung | + gut | + gut | – schlecht |
| Interaktion untereinander | – schwierig | + einfach | + einfach |
| Benutzerkonfigurierbarkeit | – nein | – nein | + ja |
| Gerechtigkeit | – nein | + ja | ± teils |

– Gerechtigkeit bedeutet:
wie kommt das System damit klar, wenn eine Anwendung eine große Anzahl von Aktivitätsträgern erzeugt, eine andere dagegen eine geringe — werden Zeitscheiben an Anwendungen oder an Aktivitätsträger vergeben?






## 4 pthread-Benutzerschnittstelle

- **Pthreads-Schnittstelle (Basisfunktionen)**:

| | |
|---|---|
| ***pthread_create*** | Thread erzeugen & Startfunktion angeben |
| ***pthread_exit*** | Thread beendet sich selbst |
| ***pthread_join*** | Auf Ende eines anderen Threads warten |
| ***pthread_self*** | Eigene Thread-Id abfragen |
| ***pthread_yield*** | Prozessor zugunsten eines anderen Threads aufgeben |

# 4 pthread-Benutzerschnittstelle (2)

- Threaderzeugung

```
#include <pthread.h>
/*Compilieren mit -lpthread*/

int pthread_create(  pthread_t *thread,
                     const pthread_attr_t *attr,
                     void *(*start_routine)(void *),
                     void *arg)
```

  - **thread** Thread-ID
  - **attr** modifizieren von Attributen des erzeugten Threads (z. B. Stackgröße). **NULL** für Standardattribute.
  - Thread wird erzeugt und startet mit der Ausführung der Funktion **start_routine** mit Parameter **arg**
  - Rückgabewert: 0; im Fehlerfall -1 außerdem wird **errno** gesetzt






# 4 pthread-Benutzerschnittstelle (3)

- explizites beenden eines Threads:

```
void pthread_exit(void *retval)
```

  - Der Thread wird beendet und **retval** wird als Rückgabewert zurück geliefert (siehe **pthread_join**)

- Auf Thread warten und exit-Status abfragen:

```
int pthread_join(pthread_t thread, void **retvalp)
```

  - Wartet auf den Thread mit der Thread-ID **thread** und liefert dessen Rückgabewert über **retvalp** zurück.






# 5 Beispiel (Multiplikation Matrix mit Vektor)

```
double a[100][100], b[100], c[100];

int main(int argc, char* argv[]) {
    pthread_t tids[100];
...
    for (i = 0; i < 100; i++)
        pthread_create(tids + i, NULL, mult,
                                  (void *)i);
    for (i = 0; i < 100; i++)
        pthread_join(tids[i], NULL);
...
}

void *mult(void *cp) {
    int j, i = (int)cp;
    double sum = 0;

    for (j = 0; j < 100; j++)
        sum += a[i][j] * b[j];
    c[i] = sum;
    return 0;
}
```



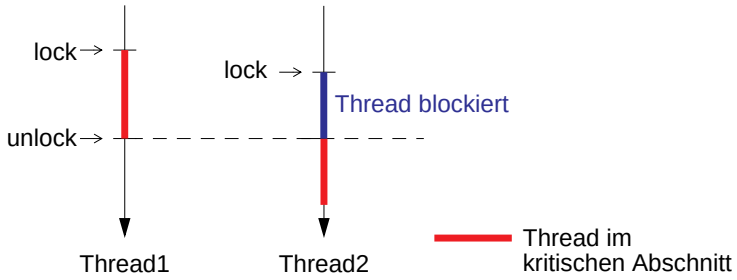



# 6 Pthreads-Koordinierung

- UNIX-Semaphore für Koordinierung von leichtgewichtigten Prozessen zu teuer
  - Implementierung durch den Systemkern
  - komplexe Datenstrukturen
- Bei Koordinierung von Threads reichen meist einfache ***mutex***-Semaphore
  - gewartet wird durch Blockieren des Threads oder durch *busy wait (Spinlock)*

# 6 Pthreads-Koordinierung - Mutexes

- Koordinierung von kritischen Abschnitten









# 6 Pthreads-Koordinierung - Mutexes (2)

- Mutex erzeugen

```
int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mutex,
                       const pthread_mutexattr_t *attr)
```

- Lock & unlock

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

- Beispiel:

```
pthread_mutex_t m1;
pthread_mutex_init(&m1, NULL);
...
pthread_mutex_lock(&m1);
... kritischer Abschnitt
pthread_mutex_unlock(&m1);
```






# 6 Pthreads-Koordinierung - Mutexes (3)

- Komplexere Semaphore können alleine mit Mutexes nicht implementiert werden
  - ➥ Problem:
    - Ein Mutex sperrt die Datenstruktur des komplexen Semaphors
    - Der Zustand der Datenstruktur erlaubt die Operation nicht
    - Blockieren an einem weiteren Mutex kann zu Verklemmungen führen
  - ➥ Lösung: mutex in Verbindung mit sleep/wakeup-Mechanismus
  - ➥ **Condition Variables**

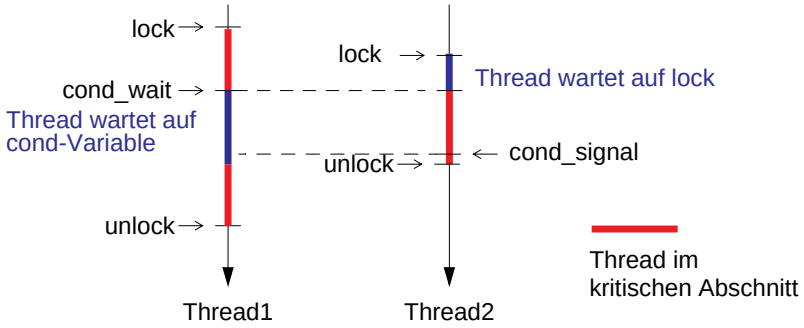





# 6 Pthreads-Koordinierung - Condition Variables

★ **Condition Variables**

- Mechanismus zum Blockieren (mit gleichzeitiger Freigabe des aktuellen kritischen Abschnitts) und Aufwecken (mit neuem Betreten des kritischen Abschnitts) von Threads



# 6 Pthreads-Koordinierung - Condition Variables(2)

- Realisierung
  - Thread reiht sich in Warteschlange der Condition Variablen ein
  - Thread gibt Mutex frei
  - Thread gibt Prozessor auf
  - Ein Thread der die Condition Variable "frei" gibt weckt einen (oder alle) darauf wartenden Threads auf
  - Deblockierter Thread muß als erstes den kritischen Abschnitt neu betreten (lock)
  - Da möglicherweise mehrere Threads deblockiert wurden, muß die Bedingung nochmals überprüft werden






# 6 Pthreads-Koordinierung - Condition Variables(3)

- Condition Variable erzeugen

```
int pthread_cond_init(pthread_cond_t  *cond,
                      pthread_condattr_t *cond_attr);
```

- auf Bedingung warten & Bedingung signalisieren

```
int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_cond_signal(pthread_cond_t *cond);
int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cond);
```

  - **`pthread_cond_signal`**: mindestens ein wartender Thread wird aufgeweckt — es ist allerdings nicht definiert welcher
  - **`pthread_cond_broadcast`**: alle wartenden Threads werden aufgeweckt
  - Ein aufwachender Thread wird als erstes den Mutex neu belegen — ist dieser gerade gesperrt bleibt der Thread solange blockiert!






# 6 Pthreads-Koordinierung - Condition Variables(4)

- Beispiel:

```
pthread_cond_t cond;
pthread_cond_init(&cond,NULL);
...
/* Betriebsmittel belegen */
pthread_mutex_lock(&m1);
    while (resource_busy )
      pthread_cond_wait (&c1, &m1);
    resource_busy = TRUE;
pthread_mutex_unlock(&m1);

...
/* Betriebsmittel nutzen */
...


/* Betriebsmittel freigeben */
pthread_mutex_lock(&m1);
    resource_busy = FALSE;
    pthread_cond_signal(&c1);
pthread_mutex_unlock(&m1);
```






# 7 Zusammenfassung - Pthreads

- standardisierte Thread API
- unterschiedliche Implementierung
- einfache Threaderzeugung mittels **`pthread_create`**
- Koordinierung mit Hilfe von Mutexes **`pthread_mutex_lock`**, **`pthread_mutex_unlock`**
- Koordinierung mit Hilfe von Condition Variables **`pthread_cond_wait`**, **`pthread_cond_signal`**, **`pthread_cond_broadcast`**