

# U10 POSIX-Threads

- Besprechung Aufgabe 7
- Motivation
- Thread-Konzepte
- pthread-API
- pthread-Koordinierung
- Aufgabe 9: Multi-Threaded Webserver (Letzte Aufgabe)

## U10-1 Motivation von Threads

- UNIX-Prozesskonzept: eine Ausführungsumgebung (virtueller Adressraum, Rechte, Priorität, ...) mit einem Aktivitätsträger (= Kontrollfluss, Faden oder Thread)
- Problem: 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, ...)
- Lösung: bei Bedarf weitere Threads in einem UNIX-Prozess erzeugen

## U10-2 Vergleich von Thread-Konzepten

- **User-Level Threads:** Federgewichtige Prozesse
  - Realisierung von Threads auf Anwendungsebene innerhalb eines Prozesses
  - Systemkern sieht nur den Prozess mit einem Kontrollfluss (Thread)

Bewertung:

- + Erzeugung von Threads und Umschaltung extrem billig
- Systemkern hat kein Wissen über diese Threads
  - Scheduling zwischen den Threads schwierig (Verdrängung meist nicht möglich - höchstens über Signal-Handler)
  - in Multiprozessorsystemen keine parallelen Abläufe möglich
  - wird ein Thread wegen eines *page faults* oder in einem Systemaufruf blockiert, ist der gesamte Prozess blockiert

## U10-2 Vergleich von Thread-Konzepten (2)

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

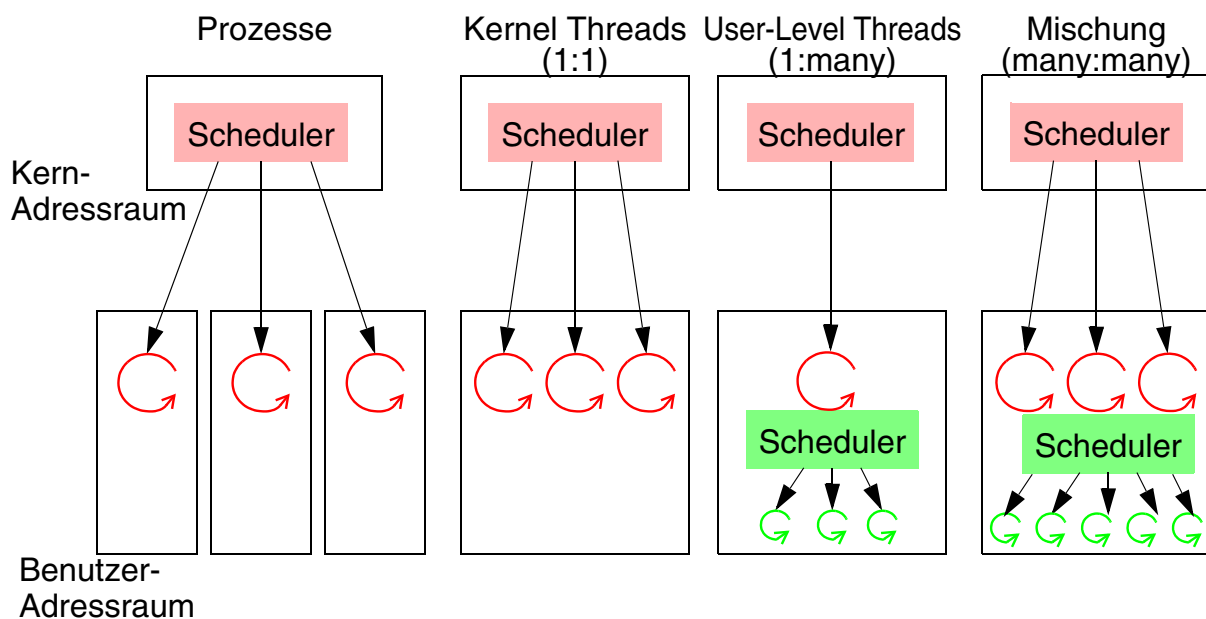
Bewertung:

- + eine Gruppe von Threads nutzt gemeinsam eine Menge von Betriebsmitteln (= Prozess)
- + jeder Thread ist aber als eigener Aktivitätsträger dem Betriebssystemkern bekannt
- Kosten für Erzeugung und Umschaltung zwar erheblich geringer als bei "schwergewichtigen" Prozessen, aber erheblich teurer als bei User-Level Threads

## U10-3 Thread-Konzepte in UNIX/Linux

- verschiedene Implementierungen von Thread-Paketen verfügbar
  - reine User-Level Threads
    - eine beliebige Zahl von User-Level Threads wird auf einem Kernel Thread "gemultiplext" (*many:1*)
  - reine Kernel Threads
    - jedem auf User Level sichtbaren Thread ist 1:1 ein Kernel Thread zugeordnet (*1:1*)
  - Mischungen: eine große Zahl von User-Level Threads wird auf eine kleinere Zahl von Kernel Threads abgebildet (*many:many*)
    - + User-Level Threads sind billig
    - + die Kernel Threads ermöglichen echte Parallelität auf einem Multiprozessor
    - + wenn sich ein User-Level Thread blockiert, dann ist mit ihm der Kernel Thread blockiert in dem er gerade abgewickelt wird — aber andere Kernel Threads können verwendet werden um andere, lauffähige User-Level Threads weiter auszuführen

## U10-3 Thread-Konzepte in UNIX/Linux (2)



- Programmierschnittstelle standardisiert: **Pthreads-Bibliothek**
  - ↳ IEEE-POSIX-Standard P1003.4a

## U10-4 pthread-Benutzerschnittstelle

### ■ Pthreads-Schnittstelle (Basisfunktionen):

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

### ■ Funktionen in Pthreads-Bibliothek zusammengefasst

```
gcc ... -pthread
```

## U10-4 pthread-Benutzerschnittstelle (2)

### ■ Threaderzeugung

```
#include <pthread.h>

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 ruft Funktion **start\_routine** mit Parameter **arg** auf.

Als Rückgabewert wird 0 geliefert. Im Fehlerfall wird ein Fehlercode als Ergebnis zurückgeliefert.

## U10-4 pthread-Benutzerschnittstelle (3)

- Thread beenden (bei return aus `start_routine` oder):

```
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.

Als Rückgabewert wird 0 geliefert. Im Fehlerfall wird ein Fehlercode als Ergebnis zurückgeliefert.

## U10-5 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 *) (c + i));
    for (i = 0; i < 100; i++)
        pthread_join(tids[i], NULL);
    ...
}

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

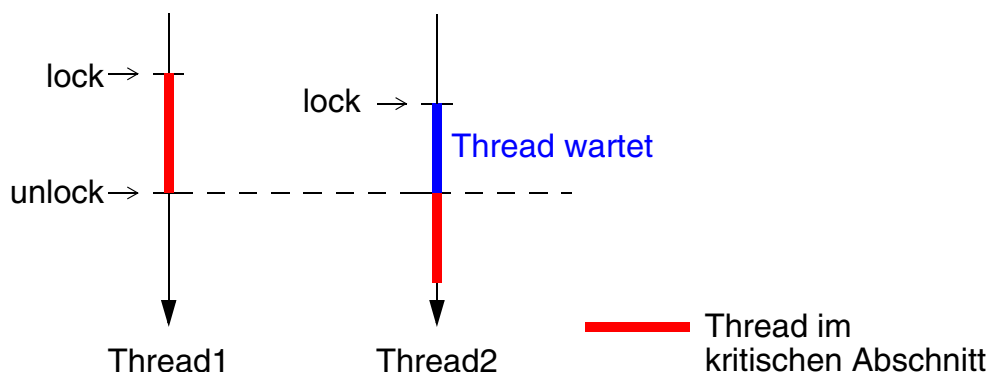
    for (j = 0; j < 100; j++)
        sum += a[i][j] * b[j];
    c[i] = sum;
    return 0;
}
```

## U10-6 Pthreads-Koordinierung

- UNIX stellt zur Koordinierung von Prozessen komplexe Semaphor-Operationen zur Verfügung
  - ◆ Implementierung durch den Systemkern
  - ◆ komplexe Datenstrukturen, aufwändig zu programmieren
  - ◆ für die Koordinierung von Threads viel zu teuer
- Bei Koordinierung von Threads reichen meist einfache **Mutex**-Variablen
  - ◆ gewartet wird durch Blockieren des Threads oder durch *busy wait (Spinlock)*

## U10-6 Pthreads-Koordinierung (2)

- ★ **Mutexes**
- Koordinierung von kritischen Abschnitten



## U10-6 Pthreads-Koordinierung (3)

### ... Mutexes (2)

#### ■ Schnittstelle

##### ◆ Mutex erzeugen

```
pthread_mutex_t m1;
s = pthread_mutex_init(&m1, NULL);
```

##### ◆ Lock & unlock

```
s = pthread_mutex_lock(&m1);
... kritischer Abschnitt
s = pthread_mutex_unlock(&m1);
```

## U10-6 Pthreads-Koordinierung (4)

### ... Mutexes (3)

#### ■ Komplexere Koordinierungsprobleme können alleine mit Mutexes nicht implementiert werden

- ➔ Problem:
  - Ein Mutex sperrt die eine komplexere Datenstruktur
  - Der Zustand der Datenstruktur erlaubt die Operation nicht
  - Thread muss warten, bis die Situation durch anderen Thread behoben wurde
  - Blockieren des Threads an einem weiteren Mutex kann zu Verklemmungen führen

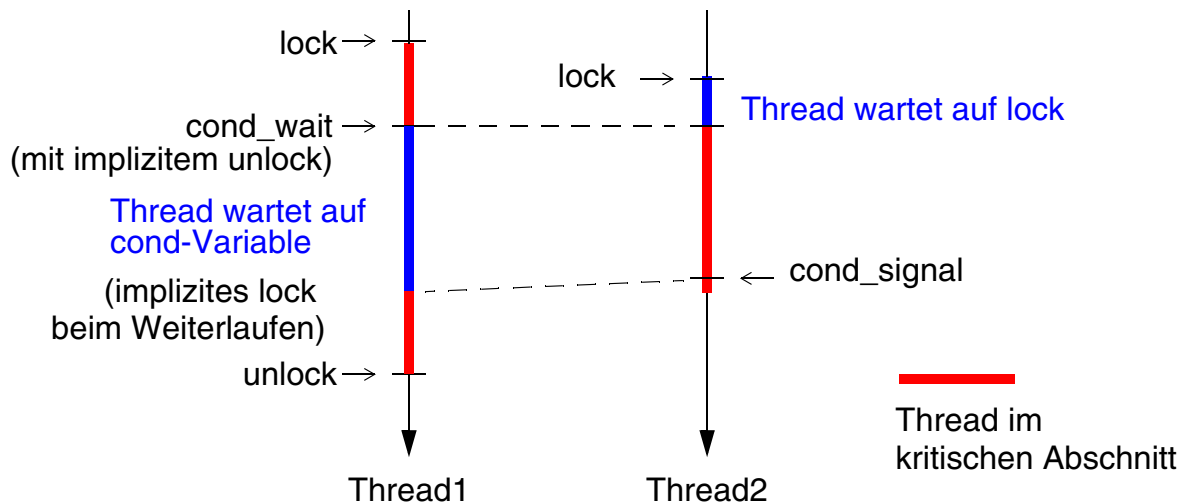
➔ Lösung: Mutex in Verbindung mit sleep/wakeup-Mechanismus

➔ **Condition Variables**

## U10-6 Pthreads-Koordinierung (5)

### ★ Condition Variables

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



## U10-6 Pthreads-Koordinierung (6)

### ... 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



## U10-6 Pthreads-Koordinierung (7)

### ... Condition Variables (3)

#### ■ Schnittstelle

##### ◆ Condition Variable erzeugen

```
pthread_cond_t c1;
s = pthread_cond_init(&c1, NULL);
```

##### ◆ Beispiel: zählender Semaphor

###### P-Operation

```
void P(int *sem) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    while ( *sem == 0 )
        pthread_cond_wait
            (&c1, &m1);
    (*sem) --;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

###### V-Operation

```
void V(int *sem) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    (*sem) ++;
    pthread_cond_broadcast(&c1);
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

## U10-6 Pthreads-Koordinierung (8)

### ... Condition Variables (4)

#### ■ Bei `pthread_cond_signal` wird mindestens einer der wartenden Threads aufgeweckt — es ist allerdings nicht definiert welcher

- evtl. Prioritätsverletzung wenn nicht der höchstpriorie gewählt wird
- Verklemmungsgefahr wenn die Threads unterschiedliche Wartebedingungen haben

#### ■ Mit `pthread_cond_broadcast` werden alle wartenden Threads aufgeweckt

#### ■ Ein aufwachender Thread wird als erstes den Mutex neu belegen — ist dieser gerade gesperrt bleibt der Thread solange blockiert

## U10-7 Aufgabe 9: Webserver

- Mehrfädiger Webserver
  - ◆ HTTP 0.9 GET-Anfragen
  - ◆ nur eine Anfrage pro Verbindung
- Hauptfaden nimmt Verbindungen entgegen
- Arbeiterthreads behandeln diese Verbindungen
- Auftragsübergabe über einen Ringpuffer
  - ◆ Hauptfaden (Schreiber) fügt Filedeskriptoren der Verbindungen in den Ringpuffer ein
  - ◆ Arbeiterthreads (Leser) entnehmen Filedeskriptoren aus dem Ringpuffer, bearbeiten die Anfrage und schließen die Verbindung
  - ◆ Danach entnimmt ein freier Arbeiterthread den nächsten Filedeskriptor

### 1 Semaphor-Modul

- Synchronisation von Überlauf/Unterlauf des Ringpuffers
- Zählende P/V-Semaphoren zur Synchronisation von POSIX-Threads (siehe Vorlesung ab C 11-39)

### 2 Ringpuffer-Modul

- Ringpuffer zur Verwaltung von int-Werten
- Randbedingungen: ein Produzent, mehrere Konsumenten
- blockierende Synchronisation bei Überlauf/Unterlauf
- nicht-blockierende Synchronisation der Konsumenten mittels CAS (siehe Vorlesung ab C 11-63)