U7 6. Übung

- Besprechung Aufgabe 5 (crawl)
- POSIX-Threads
  - ➤ Motivation
  - ➤ Thread-Konzepte
  - ➤ pthread-API
  - ➤ Koordinierung
- Aufgabe 6: palim — rekursive, parallele Suche nach einer Zeichenkette

U7-1 Klausurvorbereitung SP1

- Zusätzliche Tafelübung zur SP1-Klausurvorbereitung
  - ◆ am Freitag, den 13.07.2012, um 10 Uhr c.t. im 0.031-113
  - ◆ Wer die SP1-Klausur mitschreiben will, aber zu diesem Termin keine Zeit hat, bitte eine kurze Mail an i4sp@informatik.uni-erlangen.de schreiben, um Ersatztermin auszumachen
  - ◆ *SP1-Klausur schreiben Mathematiker und Technomathematiker*
- In der Tafelübung wird die SP1-Klausur aus dem Juli 2010 gemeinsam erarbeitet
  - ◆ Eine Vorbereitung der Klausur im Vorfeld der Tafelübung wird empfohlen

U7-2 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

U7-3 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

U7-3 Vergleich von Thread-Konzepten (2)

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

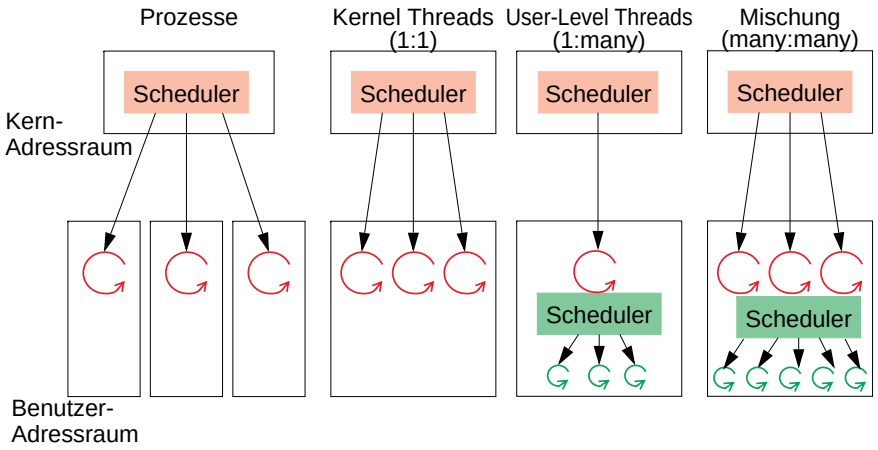
  Bewertung:

  + 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 teuerer als bei User-Level Threads

U7-4 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

U7-4 Thread-Konzepte in UNIX/Linux (2)



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

U7-5 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_detach	Thread in den *detached-state* versetzen
pthread_self	Eigene Thread-Id abfragen
pthread_yield	Prozessor zugunsten eines anderen Threads aufgeben

- Funktionen in Pthreads-Bibliothek zusammengefasst
  `gcc ... -pthread`

U7-5 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 **errno** nicht gesetzt, aber ein Fehlercode als Ergebnis zurückgeliefert. Um **perror(3)** verwenden zu können, muss der Rückgabewert erst in der **errno** gespeichert werden.

U7-5 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, Ressourcen freigeben und Rückgabewert 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.

- Ressourcen automatisch bei Beendigung freigeben:

```
int pthread_detach(pthread_t thread)
```

Die mit dem Thread **thread** verbundenen Systemressourcen werden bei dessen Beendigung automatisch freigegeben. Der Rückgabewert kann nicht abgefragt werden.

U7-6 Beispiel (Multiplikation Matrix mit Vektor)

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

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

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

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

- Parameterübergabe bei `pthread_create()` problematisch

U7-7 Parameterübergabe bei pthread_create()

- Generischer Ansatz mit Hilfe einer eigenen Struktur für die Argumente

```
typedef struct {
    int index;
} param;
```

- Für jeden Thread eine eigene Argumenten-Struktur anlegen
  - Speicher je nach Bedarf auf dem Heap oder dem Stack allokieren

```
int main(int argc, char* argv[]) {
    pthread_t tids[100];
    param args[100];

    for (int i = 0; i < 100; i++)
        args[i].index = i;
        pthread_create(tids + i, NULL,
            (void* (*) (void*)) mult, (void *) (args+i));

    for (int i = 0; i < 100; i++)
        pthread_join(tids[i], NULL);
    ...
}
```

U7-8 Beispiel (Multiplikation Matrix mit Vektor)

```
static void* mult (param *arg) {
    double sum = 0;

    for (int j = 0; j < 100; j++) {
        sum += a[arg->index][j] * b[j];
    }

    c[arg->index] = sum;

    return NULL;
}
```

- Zugriff auf den threadspezifischen Parametersatz über `param*`
- Kein schreibender Zugriff auf ein gemeinsames Datum
  - ◆ Keine Koordinierungsmaßnahmen notwendig

U7-9 Koordinierung - Motivation

```
static double a[100][100], sum;

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

    for (int j = 0; j < 100; j++)
        localSum += a[i][j];
    sum += localSum;
    return NULL;
}
```

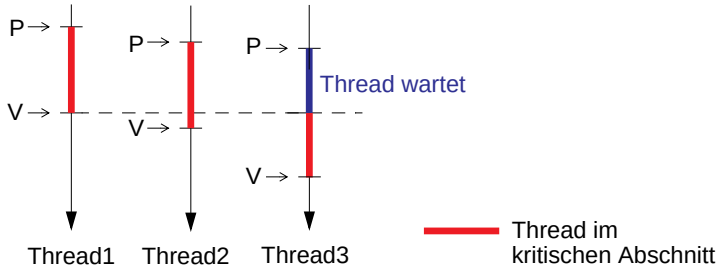
- Welches Problem kann hier auftreten?

U7-10 Koordinierung - Semaphore

- Zur Koordinierung von Threads können ***Semaphore*** verwendet werden
- 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
- Stattdessen Verwendung einer eigenen Semaphorimplementierung mit atomaren **P()**- und **V()**-Operationen

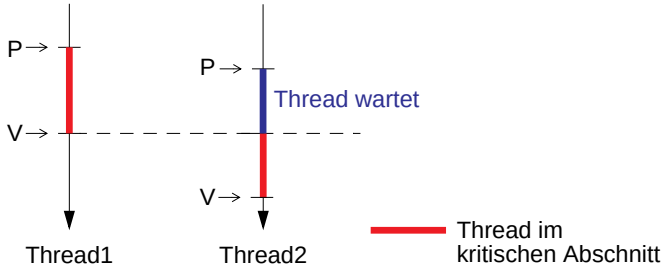
U7-11 Koordinierung - Limitierung von Ressourcen

- Verwendung eines zählenden Semaphors
- Beispiel: Nur zwei aktive Threads gleichzeitig gewünscht
  - Initialisierung des Semaphors mit 2



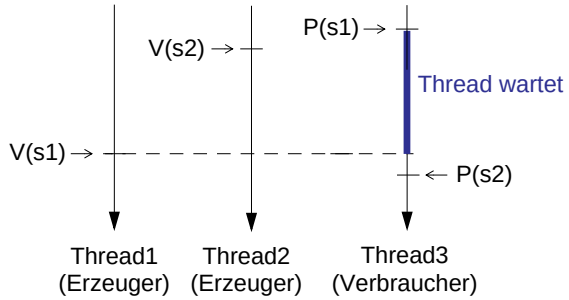
U7-12 Koordinierung - Gegenseitiger Ausschluss

- Spezialfall des zählenden Semaphors: Binärer Semaphor
  - Initialisierung des Semaphors mit 1
- Beispiel: Schreibender Zugriff auf ein gemeinsames Datum



U7-13 Koordinierung - Signalisierung

- Benachrichtigung eines anderen Threads über ein Ereignis
- Beispiel: Bereitstehen von Zwischenergebnissen



U7-14 Koordinierung

```
static double a[100][100], sum;
static SEM* sem;

int main(int argc, char* argv[]) {
    pthread_t tids[100];
    sem = sem_init(1);
    // Fehlerabfrage
...
    sem_del(sem);
}
static void *sumRow(void *arg) {
    int i = (int) arg;
    double localSum = 0;

    for (int j = 0; j < 100; j++)
        localSum += a[i][j];
    P(sem);
    sum += localSum;
    V(sem);
    return NULL;
}
```


U7-15 Aufgabe 6: palim

- Mehrfädige, rekursive Suche nach einer Zeichenkette in Verzeichnisbäumen
- palim nicht ausführen auf:
  - SunRay-Servern (faui0sr0, faui0sr1, faui0sr2, faui05, faui01)
  - SunRay-Thin-Clients
  - faui09er und faui01er Rechnern

1 Haupt-Thread (*main*)

- Startet für jeden als Parameter übergebenen Verzeichnisbaum einen eigenen *crawl-Thread*
- Aktualisiert die Statusausgabe kontinuierlich, bis die Suche abgeschlossen ist, und terminiert anschließend den Prozess

2 crawl-Thread

- Durchsucht einen Verzeichnisbaum rekursiv
- Startet für jede gefundene reguläre Datei einen eigenen *grep-Thread*

3 grep-Thread

- Öffnet reguläre Datei und zählt u.a. die Anzahl der Zeilen, die die Suchzeichenkette enthalten

4 Semaphor-Modul

- Zählende P/V-Semaphoren zur Synchronisation von POSIX-Threads
- Ist vorgegeben und muss nicht implementiert werden.