

- Besprechung Aufgabe 37 (halde)
- POSIX-Threads
  - Motivation
  - Thread-Konzepte
  - pthread-API
  - Koordinierung
- Aufgabe 6: palim — rekursive, parallele Suche nach einer Zeichenkette

- 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

## U6-2 Vergleich von Thread-Konzepten

U6-2 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

## U6-2 Vergleich von Thread-Konzepten (2)

U6-2 Vergleich von Thread-Konzepten

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

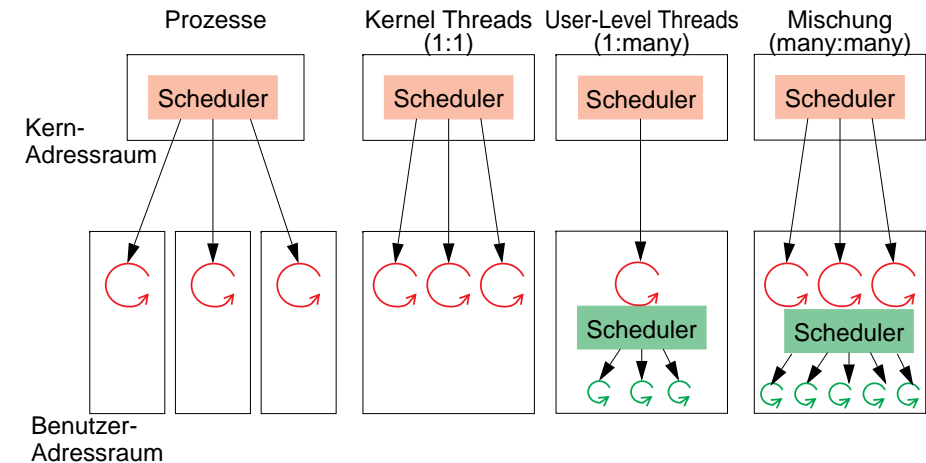
Bewertung:

- + 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

## U6-3 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 "gemultipliziert" (*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

## U6-3 Thread-Konzepte in UNIX/Linux (2)



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

## U6-4 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\_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

## U6-4 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.

## U6-4 pthread-Benutzerschnittstelle (3)

U6-4 pthread-Benutzerschnittstelle

- 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 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.

- 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 exit-Status kann nicht abgefragt werden.

### Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

U6.fm 2011-06-20 11.09

U6.9

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, au ßer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Auto

## U6-5 Beispiel (Multiplikation Matrix mit Vektor)

U6-5 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 *)(&c[i]));
    for (int i = 0; i < 100; i++)
        pthread_join(tids[i], NULL);
    ...
}

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

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

- Kein schreibender Zugriff auf ein gemeinsames Datum

### Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

U6.fm 2011-06-20 11.09

U6.10

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, au ßer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Auto

## U6-6 Koordinierung - Motivation

U6-6 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?

### Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

U6.fm 2011-06-20 11.09

U6.11

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, au ßer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Auto

## U6-7 Koordinierung - Semaphore

U6-7 Koordinierung - Semaphore

- Zur Koordinierung von Threads können **Semaphore** verwendet werden
- UNIX stellt zur Koordinierung von Prozessen komplexe Semaphore-Operationen zur Verfügung
  - Implementierung durch den Systemkern
  - komplexe Datenstrukturen, aufwändig zu programmieren
  - für die Koordinierung von Threads viel zu teuer
- Stattdessen Verwendung einer eigenen Semaphoreimplementierung mit atomaren **P()**- und **V()**-Operationen

### Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011

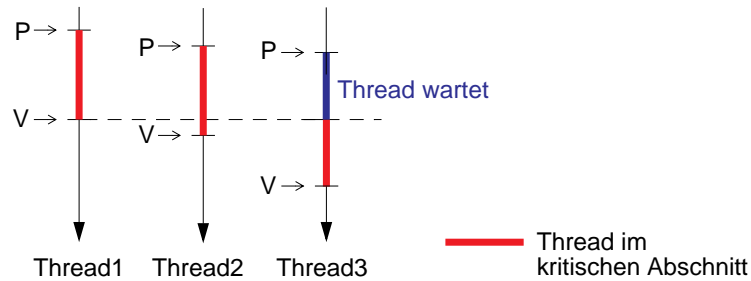
U6.fm 2011-06-20 11.09

U6.12

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, au ßer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Auto

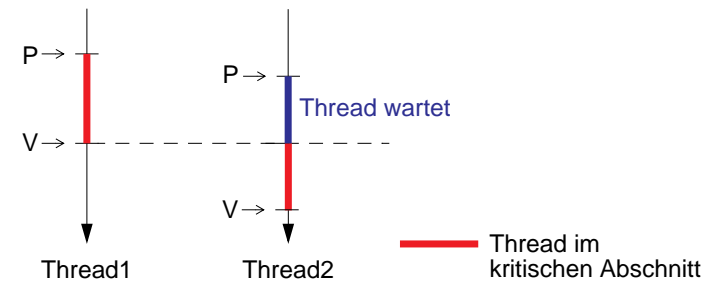
## U6-8 Koordinierung - Limitierung von Ressourcen

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



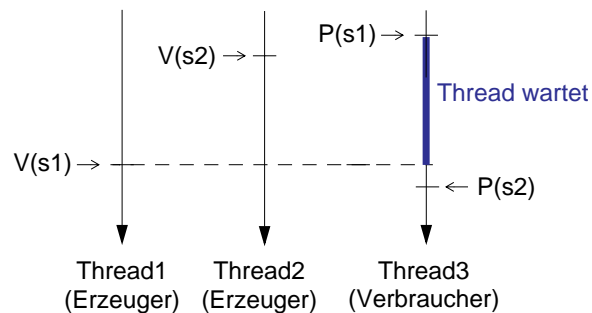
## U6-9 Koordinierung - Gegenseitiger Ausschluss

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



## U6-10 Koordinierung - Signalisierung

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



## U6-11 Koordinierung

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

int main(int argc, char* argv[]) {
    pthread_t tids[100];
    sem = sem_init(1);
    ...
    // pthread_create(tids + i, NULL, sumRow,
    //                 (void *) (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];

    P(sem);
    sum += localSum;
    V(sem);
    return NULL;
}
```

## U6-12 Aufgabe 6: palim

- Mehrfädige, rekursive Suche nach einer Zeichenkette in Verzeichnisbäumen
- palim nicht ausführen auf:
  - ◆ SunRay-Servern (faii0sr0, faii0sr1, faii0sr2, faii05, faii01)
  - ◆ SunRay-Thin-Clients
  - ◆ faii09er und faii01er 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 vorgeben und muss nicht implementiert werden