Übungen zu Betriebssysteme

Ü9 – Threads, Synchronisierung & Aufgabe: palim

Sommersemester 2023

Henriette Hofmeier, Manuel Vögele, Benedict Herzog, Timo Hönig

Bochum Operating Systems and System Software Group (BOSS)

Faculty of Computer Science

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

Agenda

9.1 Threads

9.2 Koordinierung

9.3 Aufgabe: palim

9.4 Gelerntes anwenden

Agenda

Motivation von Threads

- UNIX-Prozesskonzept (vollständige Ausführungsumgebung mit einem Aktivitätsträger) für viele heutige Anwendungen unzureichend
  - keine parallelen Abläufe innerhalb eines logischen Adressraums auf Multiprozessorsystemen
  - typische UNIX-Server-Implementierungen benutzen die `fork`-Operation, um einen Server-Prozess für jeden Client zu erzeugen
    - langsam (Erzeugung & Prozesswechsel)
    - ressourcenintensiv
  - zur besseren Strukturierung von Problemlösungen sind oft mehrere Aktivitätsträger innerhalb eines Adressraums nützlich

Motivation von Threads

- UNIX-Prozesskonzept (vollständige Ausführungsumgebung mit einem Aktivitätsträger) für viele heutige Anwendungen unzureichend
  - keine parallelen Abläufe innerhalb eines logischen Adressraums auf Multiprozessorsystemen
  - typische UNIX-Server-Implementierungen benutzen die `fork`-Operation, um einen Server-Prozess für jeden Client zu erzeugen
    - langsam (Erzeugung & Prozesswechsel)
    - ressourcenintensiv
  - zur besseren Strukturierung von Problemlösungen sind oft mehrere Aktivitätsträger innerhalb eines Adressraums nützlich
- Lösung: Weitere Aktivitätsträger in einem UNIX-Prozess erzeugen

Arten von Threads

Federgewichtige Prozesse (User-Threads)

- Realisierung auf Anwendungsebene
- Systemkern sieht nur **einen** Kontrollfluss
- \+ Erzeugung von Threads extrem billig
- − Systemkern hat kein Wissen über diese Threads
  - in Multiprozessorsystemen keine parallelen Abläufe möglich
  - wird **ein** User-Thread blockiert, sind **alle** User-Threads blockiert
  - Scheduling zwischen den Threads schwierig

Arten von Threads

Federgewichtige Prozesse (User-Threads)

- Realisierung auf Anwendungsebene
- Systemkern sieht nur **einen** Kontrollfluss
- \+ Erzeugung von Threads extrem billig
- − Systemkern hat kein Wissen über diese Threads
  - in Multiprozessorsystemen keine parallelen Abläufe möglich
  - wird **ein** User-Thread blockiert, sind **alle** User-Threads blockiert
  - Scheduling zwischen den Threads schwierig

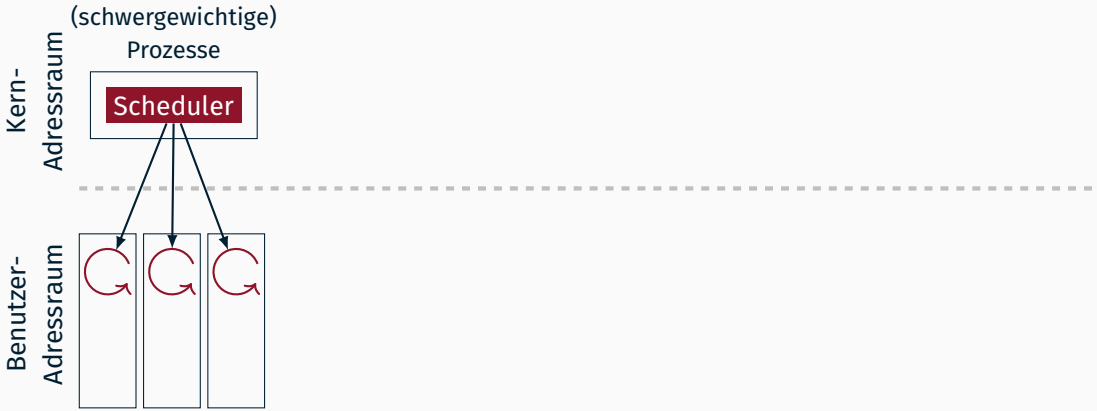
Leichtgewichtige Prozesse (Kernel-Threads)

- \+ Gruppe von Threads nutzt gemeinsam die Betriebsmittel eines Prozesses
- \+ jeder Thread ist als eigener Aktivitätsträger dem Betriebssystemkern bekannt
- − Kosten für Erzeugung erheblich geringer als bei Prozessen, aber erheblich teuerer als bei User-Threads

Arten von Threads

Umschaltungskosten (“Gewichtsklasse”)

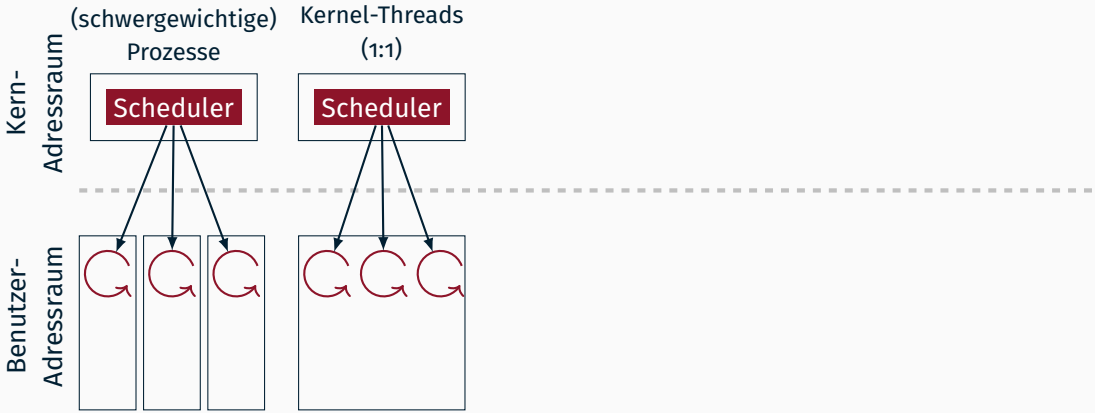
Kosten für Umschaltung zwischen Threads hängt maßgeblich von der Anzahl der Adressraumwechsel ab.



Arten von Threads

Umschaltungskosten (“Gewichtsklasse”)

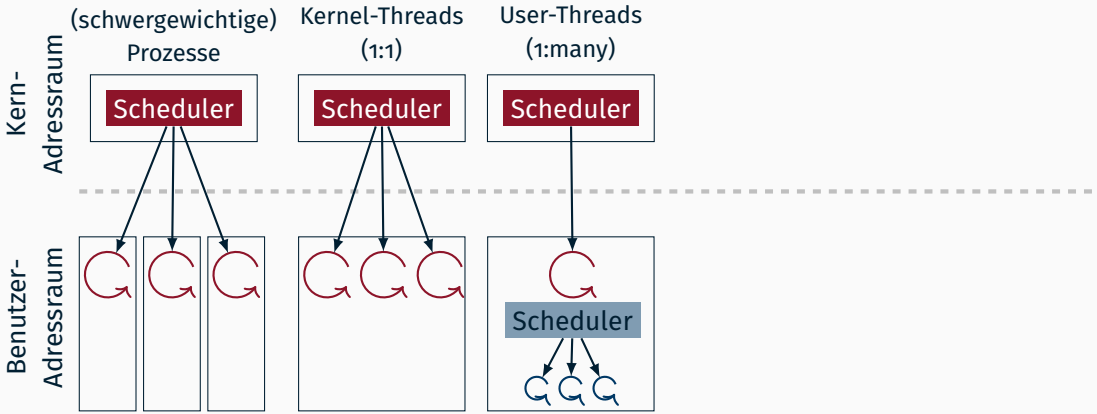
Kosten für Umschaltung zwischen Threads hängt maßgeblich von der Anzahl der Adressraumwechsel ab.



Arten von Threads

Umschaltungskosten (“Gewichtsklasse”)

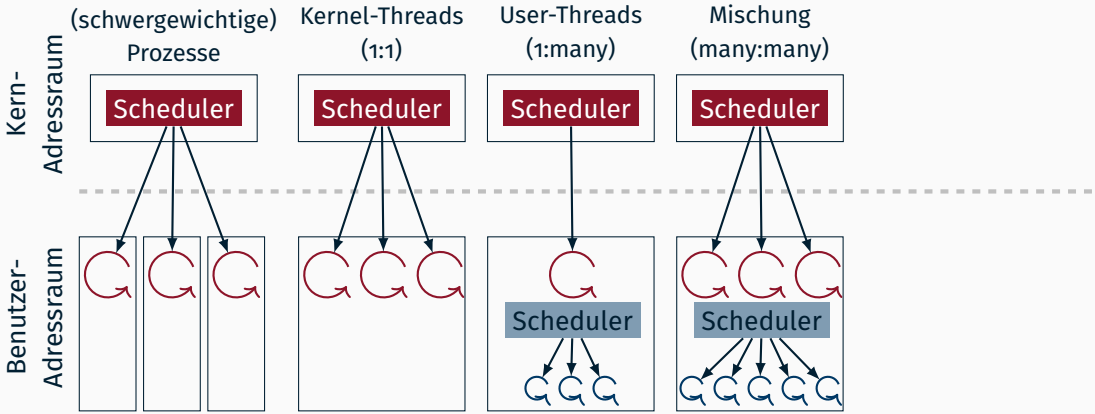
Kosten für Umschaltung zwischen Threads hängt maßgeblich von der Anzahl der Adressraumwechsel ab.



Arten von Threads

Umschaltungskosten (“Gewichtsklasse”)

Kosten für Umschaltung zwischen Threads hängt maßgeblich von der Anzahl der Adressraumwechsel ab.



Pthreads-Schnittstelle

- POSIX-Thread erzeugen

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

  - `thread` Thread-ID (Ausgabeparameter)
  - `attr` Modifizieren von Attributen des erzeugten Threads (z. B. Stackgröße). `NULL` für Standardattribute.
  - Nach der Erzeugung führt der Thread die Funktion `start_routine` mit Parameter `arg` aus
  - 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.

Pthreads-Schnittstelle

- POSIX-Thread erzeugen

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

  - `thread` Thread-ID (Ausgabeparameter)
  - `attr` Modifizieren von Attributen des erzeugten Threads (z. B. Stackgröße). `NULL` für Standardattribute.
  - Nach der Erzeugung führt der Thread die Funktion `start_routine` mit Parameter `arg` aus
  - 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.

- Eigene Thread-ID ermitteln

```
pthread_t pthread_self(void);
```

  - Die Funktion kann nie fehlschlagen. **sehr gut :)**

Pthreads-Schnittstelle

- Thread beenden (bei Rücksprung aus `start_routine` oder):
  `void pthread_exit(void *retval);`
  - Der Thread wird beendet und `retval` wird als Rückgabewert zurück geliefert (siehe `pthread_join(3)`)

Pthreads-Schnittstelle

- Thread beenden (bei Rücksprung aus `start_routine` oder):
  `void pthread_exit(void *retval);`
  - Der Thread wird beendet und `retval` wird als Rückgabewert zurück geliefert (siehe `pthread_join(3)`)
- 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.

Pthreads-Schnittstelle

- Thread beenden (bei Rücksprung aus `start_routine` oder):
  `void pthread_exit(void *retval);`
  - Der Thread wird beendet und `retval` wird als Rückgabewert zurück geliefert (siehe `pthread_join(3)`)
- 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 der Thread-Funktion kann nicht abgefragt werden.

Beispiel: Matrix-Vektor-Multiplikation

```
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;
}
```

- Casts zwischen `int` und Zeiger bei `pthread_create()` problematisch
  - → **nicht zu Hause nachmachen**!
  - → C-Standard garantiert nicht, dass `int` verlustfrei in Zeiger umgewandelt werden können
  - → z.B.: `sizeof(int)` != `sizeof(void *)`

Parameterübergabe bei `pthread_create()`

- Generischer Ansatz mit Hilfe einer Struktur für die Argumente

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

Parameterübergabe bei `pthread_create()`

- Generischer Ansatz mit Hilfe einer Struktur für die Argumente

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

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

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

  for(int i = 0; i < 100; i++) {
    args[i].index = i;
    pthread_create(&tids[i], NULL, mult, &args[i]);
  }
  for(int i = 0; i < 100; i++)
    pthread_join(tids[i], NULL);
  ...
}
```

Parameterübergabe bei `pthread_create()`

```
static void *mult(void *arg) {
  struct param *par = arg;

  double sum = 0;
  for(int j = 0; j < 100; j++) {
    sum += a[par->index][j] * b[j];
  }
  c[par->index] = sum;
  return NULL;
}
```

- Zugriff auf den threadspezifischen Parametersatz über (gecasteten) Parameter (`void *arg` → `struct param *par`)

pthread_detach()

```c
static void *thread(void *x) {
    errno = pthread_detach(pthread_self());
    if (errno) {
        // ...
    }
    sleep(10); // seconds
    return NULL;
}
int main(void) {
    pthread_t tid;
    errno = pthread_create(&tid, NULL, thread, NULL); // test.c:15
    if (errno) {
        // ...
    }
}
```

pthread_detach()

```c
static void *thread(void *x) {
    errno = pthread_detach(pthread_self());
    if (errno) {
        // ...
    }
    sleep(10); // seconds
    return NULL;
}
int main(void) {
    pthread_t tid;
    errno = pthread_create(&tid, NULL, thread, NULL); // test.c:15
    if (errno) {
        // ...
    }
}
```

```
==16891== 288 bytes in 1 blocks are possibly lost in loss record 1 of 1
[...]
==16891==    by 0x4A75B95: pthread_create (pthread_create.c:669)
==16891==    by 0x1090B1: main (test.c:15)
```

pthread_detach()

```c
static void *thread(void *x) {
    errno = pthread_detach(pthread_self());
    if (errno) {
        // ...
    }
    sleep(10); // seconds
    return NULL;
}
int main(void) {
    pthread_t tid;
    errno = pthread_create(&tid, NULL, thread, NULL); // test.c:15
    if (errno) {
        // ...
    }
}
```

```
==16891== 288 bytes in 1 blocks are possibly lost in loss record 1 of 1
[...]
==16891==    by 0x4A75B95: pthread_create (pthread_create.c:669)
==16891==    by 0x1090B1: main (test.c:15)
```

- Wettlaufsituation zwischen Thread- und `main`-Beendigung
- Nicht vermeidbar $\Rightarrow$ kann ignoriert werden

Agenda

Koordinierung – Motivation

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

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

  for(int i = 0; i < 100; i++) {
    args[i].index = i;
    pthread_create(&tids[i], NULL, sumRow, &args[i]);
  }
  for(int i = 0; i < 100; i++)
    pthread_join(tids[i], NULL);
}

static void *sumRow(void *arg) {
  struct param *par = arg;
  double localSum = 0;
  for(int j = 0; j < 100; j++)
    localSum += a[par->index][j];
  sum += localSum;
  return NULL;
}
```

Was macht das Programm?
Welches Problem kann auftreten?

Koordinierung – Motivation

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

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

  for(int i = 0; i < 100; i++) {
    args[i].index = i;
    pthread_create(&tids[i], NULL, sumRow, &args[i]);
  }
  for(int i = 0; i < 100; i++)
    pthread_join(tids[i], NULL);
}

static void *sumRow(void *arg) {
  struct param *par = arg;
  double localSum = 0;
  for(int j = 0; j < 100; j++)
    localSum += a[par->index][j];
  sum += localSum;
  return NULL;
}
```

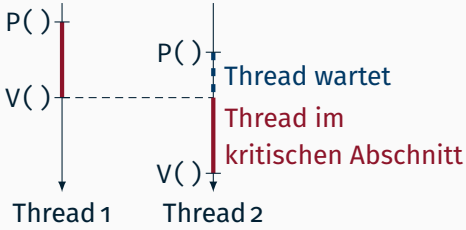
Was macht das Programm?
Welches Problem kann auftreten?

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
  - Datenstruktur mit (atomarer) Zählervariable
  - `P( )` dekrementiert Zähler und blockiert Aufrufer, falls Zähler ≤ 0
  - `V( )` inkrementiert Zähler und weckt ggf. wartende Threads

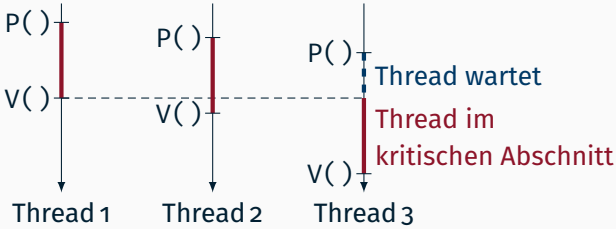
Gegenseitiger Ausschluss

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



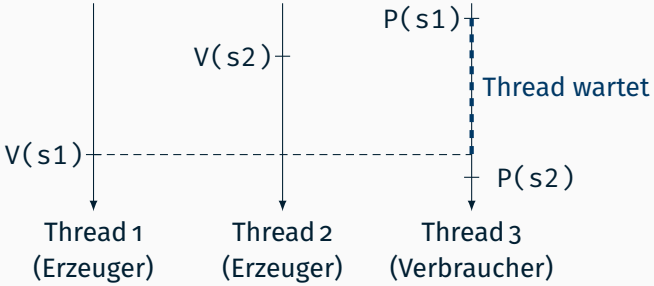
Limitierung von Ressourcen

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



Signalisierung

- Benachrichtigung eines anderen Threads über ein Ereignis
- Beispiel: Bereitstellen von Zwischenergebnissen
  - Initialisierung des Semaphors mit `0`



BS-Semaphor-Modul

- Semaphor erzeugen
```
SEM *semCreate(int initVal);
```
- P/V-Operationen
```
void P(SEM *sem);
void V(SEM *sem);
```
- Semaphor zerstören
```
void semDestroy(SEM *sem);
```
- Semaphor-Modul und zugehörige Headerdatei befinden sich in der .zip-Datei.
- Semaphor-Funktionen bekannt machen mit `#include "sem.h"`

Agenda

Aufgabe: palim

- Lernziele
  - Benutzen der Dateisystemschnittstelle
  - Nebenläufige Programmierung
  - Synchronisation
- Mehrfädige, rekursive Suche nach einer Zeichenkette in mehreren Verzeichnisbäumen
- Aufteilung in drei Arten von Threads:
  - Hauptthread: Initialisierung, Ausgabe, Deinitialisierung
  - crawl-Threads: Durchsuchen der Verzeichnisbäume
  - grep-Threads: Durchsuchen der Dateien nach Zeichenkette

Aufgabe: palim

- Hauptthread
  - initialisiert benötigte Datenstrukturen
  - Startet einen crawl-Thread pro übergebenen Verzeichnisbaum
  - gibt anschließend nach jeder Werteänderung Statistiken aus
  - wartet passiv auf Statistikänderungen
  - gibt nach dem Ende aller crawl-/grep-Threads allokierte Ressource frei
- crawl-Thread
  - durchsucht rekursiv den übergebenen Verzeichnisbaum
  - startet pro Datei einen grep-Thread
  - aktualisiert ggf. Statistiken
- grep-Thread
  - durchsucht eine Datei nach dem gesuchten String
  - aktualisiert ggf. Statistiken

Agenda

Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung“

Thread-Beispiel zur Berechnung der Zeilensummen einer Matrix mit Hilfe eines Semaphors korrekt synchronisieren.