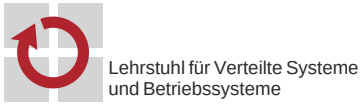
Übungen zu Systemprogrammierung 1

Ü5 – Threads und Koordinierung

Sommersemester 2019

Simon Ruderich, Dustin Nguyen, Christian Eichler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Agenda

Agenda

Motivation von Threads

- UNIX-Prozesskonzept (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
    - Verbrauch unnötig vieler System-Ressourcen
  - zur besseren Strukturierung von Problemlösungen sind oft mehrere Aktivitätsträger innerhalb eines Adressraums nützlich
- Lösung: bei Bedarf weitere Aktivitätsträger in einem UNIX-Prozess erzeugen

Namensgebung

- Faden vs. Thread
  - Vorlesung verwendet Begriff „Faden“:
    „konkreter Strang: roter Faden in einem Programm“
  - Übung verwendet Begriff „Thread“:
    siehe folgende Folien
- Thread ist keine direkte Übersetzung von Faden,
  genaue Definition von Faden ist schwierig
- Für die Übung ist nur Thread relevant

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

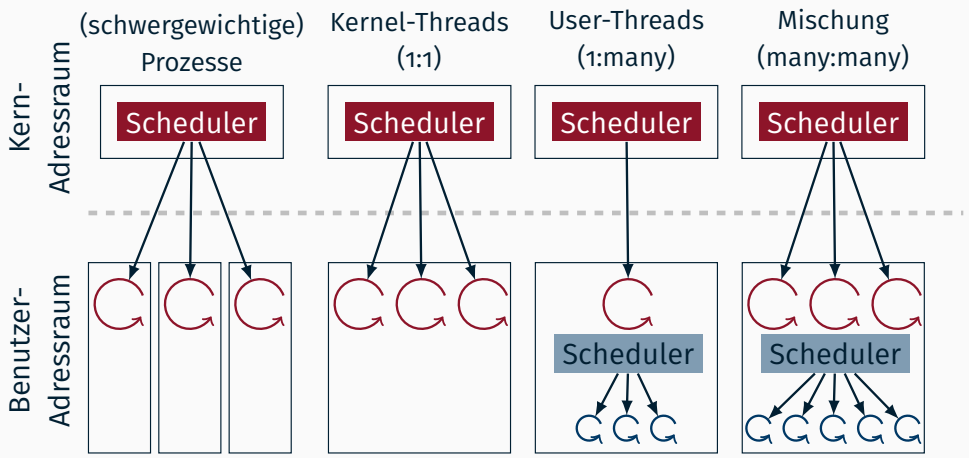
Leichtgewichtige Prozesse (Kernel-Threads)

- \+ 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.



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.

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 Parameterübergabe für `pthread_create()`) problematisch – **nicht zu Hause nachmachen**!

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`)

Agenda

Koordinierung – Motivation

Was macht das Programm? Welches Problem kann auftreten?

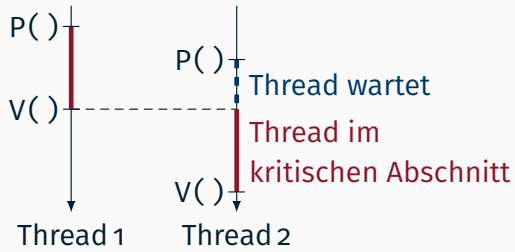
```
static double a[100][100], sum;

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;
}
```


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
  - Mehr Details: s. Vorlesung B | VI.1, Seite 22f.

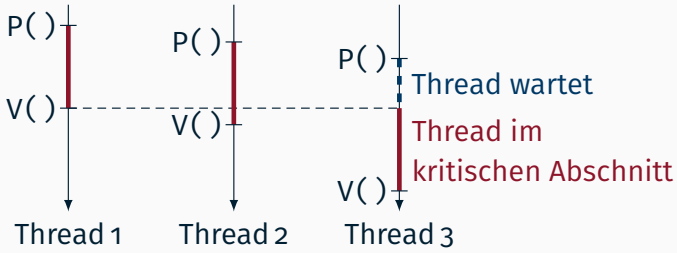
Gegenseitiger Ausschluss

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



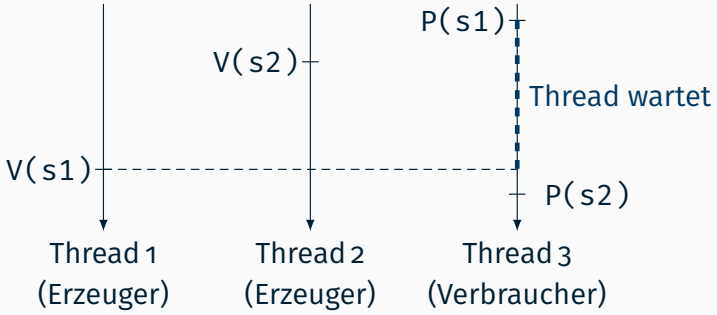
Limitierung von Ressourcen

- 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`



SP-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 im pub-Verzeichnis.
- Semaphor-Funktionen bekannt machen mit `#include "sem.h"`

Agenda

Allgemeines

Funktionsweise der `mach`

Gruppen von Befehlen aus einer Eingabedatei lesen und parallel ausführen

- Maximale Parallelität beachten
- Jeweils am Ende der Gruppe auf Beendigung aller Prozesse warten

Beispiel

Beispiel-Aufruf

```
user@host:~$ ./mach <anzahl threads> <mach-datei>
user@host:~$ ./mach 2 machfile
```

machfile

```
gcc -c file1.c
gcc -c file2.c
gcc -c file3.c
gcc -c sem.c

gcc -o main file1.o file2.o file3.o sem.o
```


Agenda

Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung 1“

Beispiel von Folie 13 mit Hilfe eines Semaphors korrekt synchronisieren