Übungen zu Systemprogrammierung 1

Ü5 – Threads und Koordinierung

Sommersemester 2018

Christian Eichler, Jürgen Kleinöder

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

Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

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

Arten von Threads

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

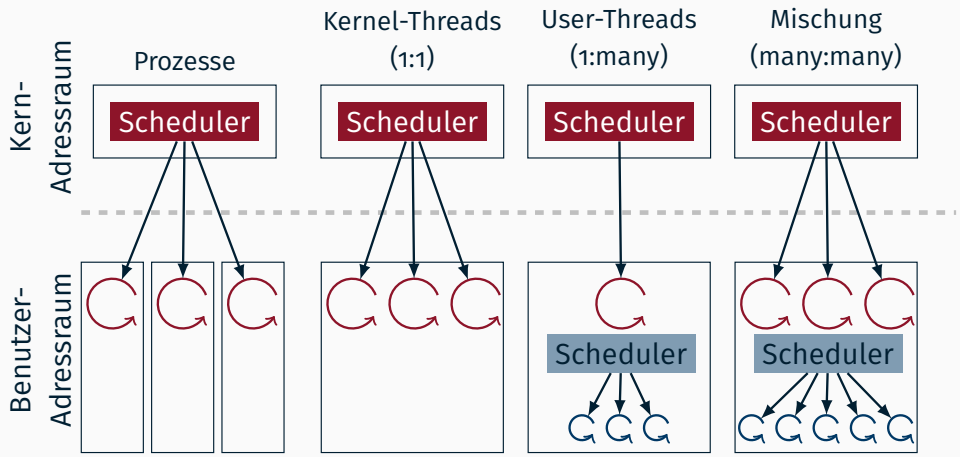
Kernel-Threads

- \+ 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.



Agenda

Pthreads-Schnittstelle

- 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 = (struct param *) 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?

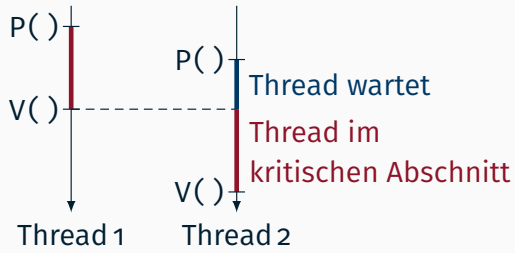
```
static double a[100][100], sum;

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 = (struct param *) 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.

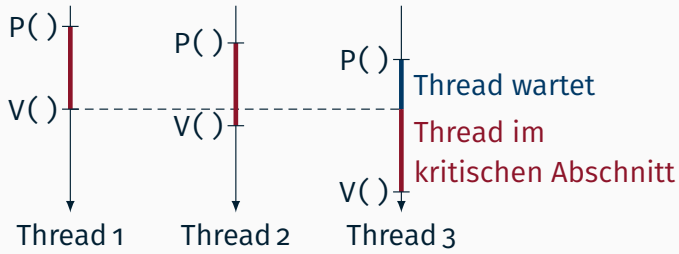
Gegenseitiger Ausschluss

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



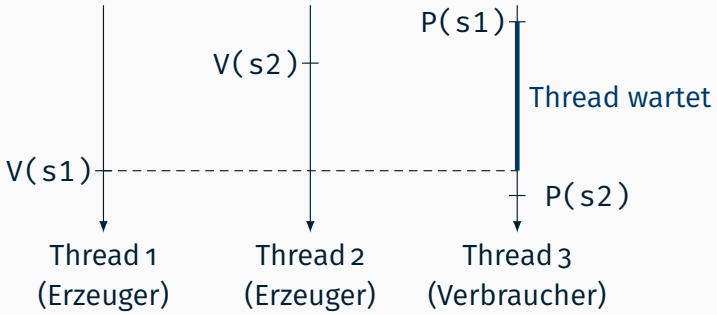
Limitierung von Ressourcen

- 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



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.

Formatierte Eingabe mittels `scanf(3)`

```
int scanf(const char *format, ...);
```

Varianten: fscanf für `FILE*`, sscanf für `char*`

- Funktionsweise analog zu `printf(3)`: Angabe eines Formatstrings, gefolgt von dementsprechenden Variablen

  Unterschied: Erwartet Zeiger auf die jeweiligen Speicherbereich!
- Rückgabe: Anzahl der eingelesenen Elemente

Beispiel

```
char str[42];
scanf("%s", str);
```

Formatierte Eingabe mittels scanf(3)

```
int scanf(const char *format, ...);
```
Varianten: fscanf für FILE*, sscanf für char*

- Funktionsweise analog zu printf(3): Angabe eines Formatstrings, gefolgt von dementsprechenden Variablen

  Unterschied: Erwartet Zeiger auf die jeweiligen Speicherbereich!
- Rückgabe: Anzahl der eingelesenen Elemente

Gefahr von Pufferüberläufen

```
char str[42];
scanf("%s", str);
```

Formatierte Eingabe mittels scanf(3)

```
int scanf(const char *format, ...);
```
Varianten: fscanf für FILE*, sscanf für char*

- Funktionsweise analog zu printf(3): Angabe eines Formatstrings, gefolgt von dementsprechenden Variablen

  Unterschied: Erwartet Zeiger auf die jeweiligen Speicherbereich!
- Rückgabe: Anzahl der eingelesenen Elemente

Lösung: Begrenzung der Länge via Format-String

```
char str[42];
scanf("%41s", str);
```

Vorsicht bei Puffergrößen

Maximale Feldbreite **ohne \0-Terminierung**
→ Feldbreite = Puffergröße - 1 für %s

Formatierte Eingabe mittels scanf(3)

```
int scanf(const char *format, ...);
```
Varianten: fscanf für FILE*, sscanf für char*

- Funktionsweise analog zu printf(3): Angabe eines Formatstrings, gefolgt von dementsprechenden Variablen

  Unterschied: Erwartet Zeiger auf die jeweiligen Speicherbereich!
- Rückgabe: Anzahl der eingelesenen Elemente

Lösung: Begrenzung der Länge via Format-String

```
char str[42];
scanf("%41s", str);
```

Formatierte Eingabe mittels scanf(3): Beispiel

```
char str[100];
int i;
float f;

char *input = "Test (42) [13.37]";
int matches = sscanf(input,
                     "%99s (%d) [%f]", &str[0], &i, &f);
```

"Sichere" Variante scanf_s leider nur Optional in C11
(und in glibc nicht implementiert)

Agenda

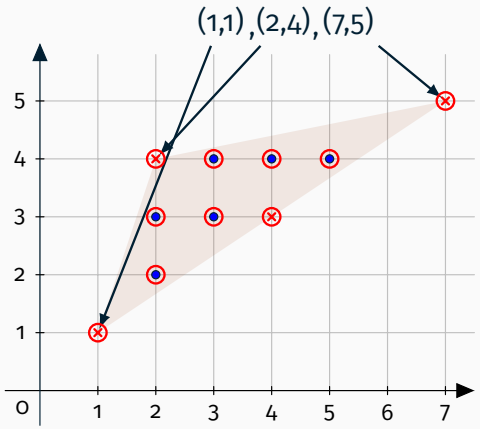
Allgemeines

Funktionsweise der `patric`

(Paralleles) Bestimmen der Anzahl der Punkte mit ganzzahligen Koordinaten auf den Kanten / innerhalb vorgegebener Dreiecke

- Ziele der Aufgabe
  - Programmieren mit der `pthread`-Bibliothek
  - Erkennen von Nebenläufigkeitsproblemen
  - Einsatz geeigneter Koordinierungsmaßnahmen
- Zur Verwendung der Pthreads-Bibliothek ist die `gcc`-Option `-pthread` beim Übersetzen und Linken notwendig

`patric`: Eingabeformat am Beispiel



4 *boundary points* (×)
6 *interior points* (●)

☞ Nutzung des **vorgegebenen Moduls** `triangle` zum Zählen der Punkte

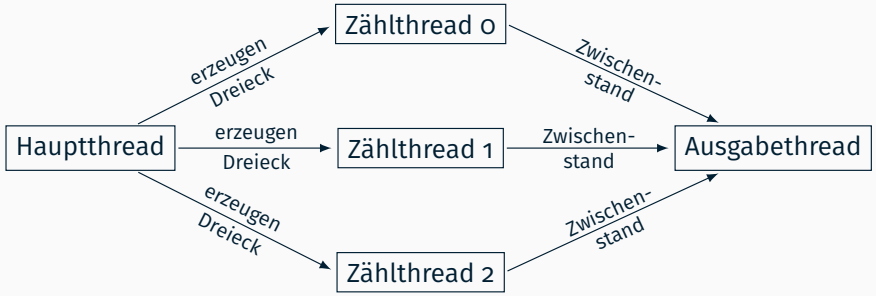
`triangle`-Modul

Enthält die vorgegebene Implementierung von

```
void countPoints(
    struct triangle *tri,
    void (*callback)(int boundary, int interior)
);
```

- `tri`: Dreieck, dessen boundary/interior points gezählt werden
- `callback`: Funktion, die periodisch aufgerufen wird und die Anzahl der gefundenen Punkte seit dem letzten Aufruf übergebenn bekommt.

Aufgaben der Threads



- *Hauptthread* (`main()`): Einlesen der Eingabedaten, Starten eines Zählthreads pro Dreieck
- *Zählthread*: Zählen der boundary/interior points
- *Ausgabethread*: Ausgeben des aktuellen Zwischenstands/des finalen Ergebnisses

Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung 1“

Beispiel von Folie 12 mit Hilfe eines Semaphors korrekt synchronisieren

„Aufgabenstellung 2“

Parsen von Zeilen folgenden Formats mittels `scanf(3)`:

```
[13:37] Mein Wecker klingelt
```


Agenda