Systemprogrammierung

Foliensatz F

– POSIX-Threads
– Mutexe und Semaphore

Prof. Dr. Hans-Georg Eßer

Wintersemester 2023/24
v1.0 – 06.12.2023

Threads

- Grundlagen, POSIX-Threads
- `pthread_create()`, `pthread_join()`
- Synchronisation mit Mutex, Semaphor

Was ist ein Thread?

- Aktivitätsstrang in einem Prozess
- einer von mehreren
- Gemeinsamer Zugriff auf Daten des Prozess
- aber: Stack, Befehlszähler, Stack Pointer, Hardware-Register separat pro Thread
- Prozess-Scheduler verwaltet Threads – oder nicht (Kernel- oder User-level-Threads)

Warum Threads?

- Multi-Prozessor-System: Mehrere Threads echt gleichzeitig aktiv
- Ist ein Thread durch I/O blockiert, arbeiten die anderen weiter
- Besteht Programm logisch aus parallelen Abläufen, ist die Programmierung mit Threads einfacher

Zwei unterschiedliche Aktivitätsstränge: Komplexe Berechnung mit Benutzeranfragen

Ohne Threads:

```
while (1) {
  rechne_ein_bisschen ();
  if benutzereingabe (x) {
    bearbeite_eingabe (x)
  }
}
```

Mit Threads:

```
while (1) {
  rechne_alles ();
}
```

T1

```
while (1) {
  if benutzereingabe (x) {
    bearbeite_eingabe (x)
  }
}
```

T2

Server-Prozess, der viele Anfragen bearbeitet

- Prozess öffnet Port
- Für jede eingehende Verbindung: Neuen Thread erzeugen, der diese Anfrage bearbeitet
- Nach Verbindungsabbruch Thread beenden
- Vorteil: Keine Prozess-Erzeugung (Betriebssystem!) nötig

Threads (5): Beispiel MySQL

Ein Prozess, neun Threads:

```
[esser:~]$ ps -eLf | grep mysql
UID        PID  PPID   LWP  C NLWP STIME TTY          TIME CMD
-------------------------------------------------------------------------------
root     27833     1 27833  0    1 Jan04 ?        00:00:00 /bin/sh /usr/bin/mysqld_safe
mysql    27870 27833 27870  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27872  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27873  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27874  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27875  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27876  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27877  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27878  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql    27870 27833 27879  0    9 Jan04 ?        00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
```

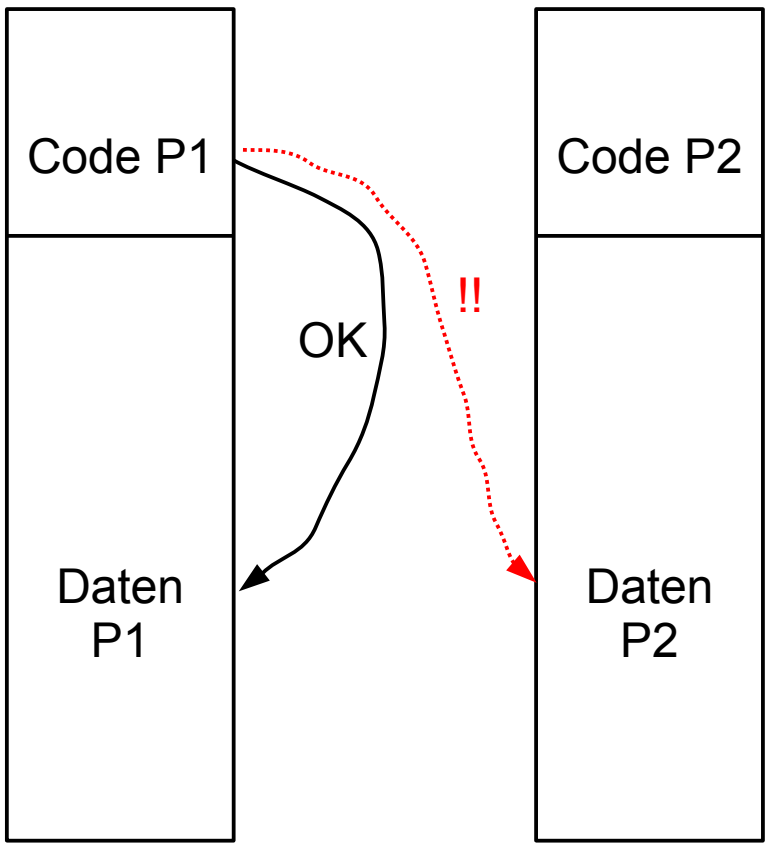
PID: Process ID
PPID: Parent Process ID
LWP: Light Weight Process ID (Thread-ID)
NLWP: Number of Light Weight Processes

Unterschied Prozesse / Threads (1/2)

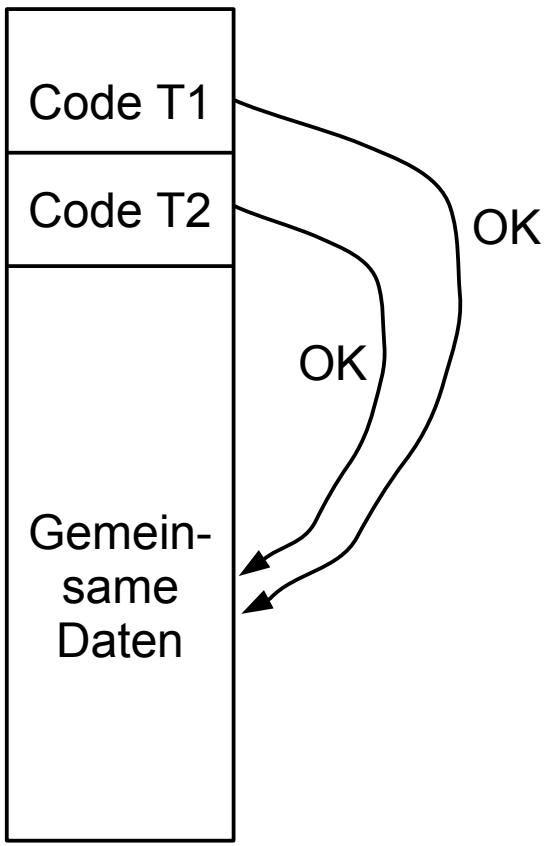
- Parallel programmieren wahlweise mit mehreren Prozessen / mehreren Threads
- Austausch / Kommunikation untereinander
  - **Prozesse:** kein gemeinsamer Speicher.
    Austausch z. B. über Nachrichten, Zugriff auf Datei
  - **Threads:** gemeinsamer Speicher,
    Austausch z. B. durch direktes Auslesen von Variablen

Unterschied Prozesse / Threads (2/2)

Zwei Prozesse



Zwei Threads



Linux: `pthread`-Bibliothek (POSIX Threads)

	Thread	Prozess
Erzeugen	`pthread_create()`	`fork()`
Auf Ende warten	`pthread_join()`	`wait()`

- Bibliothek einbinden:
  ```
  #include <pthread.h>
  ```
- Kompilieren:
  ```
  gcc -o prog prog.c -lpthread
  ```

POSIX-Threads

- Neuer Thread:

  `pthread_create()` erhält als Argument eine Funktion, die im neuen Thread läuft.

- Auf Thread-Ende warten:

  `pthread_join()` wartet auf einen *bestimmten* Thread.

POSIX-Threads

1. Thread-Funktion definieren:

```
void *thread_funktion(void *arg) {
  ...
  return ...;
}
```

2. Thread erzeugen:

```
pthread_t thread;

if ( pthread_create( &thread, NULL,
     thread_funktion, NULL) ) {
    printf("Fehler bei Thread-Erzeugung.\n");
    abort();
}
```

```c
#include <pthread.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

void *thread_function1(void *arg) {
  int i;
  for ( i=0; i<10; i++ ) {
    printf("Thread 1 sagt Hi!\n");
    sleep(1);
  }
  return NULL;
}

void *thread_function2(void *arg) {
  int i;
  for ( i=0; i<10; i++ ) {
    printf("Thread 2 sagt Hallo!\n");
    sleep(1);
  }
  return NULL;
}

int main(void) {

  pthread_t mythread1;
  pthread_t mythread2;

  if ( pthread_create( &mythread1, NULL,
       thread_function1, NULL) ) {
    printf("Fehler bei Thread-Erzeugung.");
    abort();
  }

  sleep(5);

  if ( pthread_create( &mythread2, NULL,
       thread_function2, NULL) ) {
    printf("Fehler bei Thread-Erzeugung .");
    abort();
  }

  sleep(5);

  printf("bin noch hier...\n");

  if ( pthread_join ( mythread1, NULL ) ) {
    printf("Fehler beim Join.");
    abort();
  }

  printf("Thread 1 ist weg\n");

  if ( pthread_join ( mythread2, NULL ) ) {
    printf("Fehler beim Join.");
    abort();
  }

  printf("Thread 2 ist weg\n");

  exit(0);

}
```

Keine „Vater-“ oder „Kind-Threads“

- POSIX-Threads kennen keine Verwandtschaft wie Prozesse (Vater- und Sohnprozess)
- Zum Warten auf einen Thread ist Thread-Variable nötig:

```
pthread_join (thread, ...)
```

Prozess mit mehreren Threads:

- Nur ein Eintrag in normaler Prozessliste
- Status: `l`, multi-threaded
- Über `ps -eLf` Thread-Informationen
  `NLWP`: Number of light weight processes; `LWP`: Thread ID

```
$ ps auxw | grep thread
USER         PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
esser      12022  0.0  0.0  17976   436 pts/15   Sl+  22:58   0:00 ./thread

$ ps -eLf | grep thread
UID          PID  PPID   LWP  C NLWP STIME TTY          TIME CMD
esser      12166  4031 12166  0    3 23:01 pts/15   00:00:00 ./thread1
esser      12166  4031 12167  0    3 23:01 pts/15   00:00:00 ./thread1
esser      12166  4031 12177  0    3 23:01 pts/15   00:00:00 ./thread1
```

Unterschiedliche Semantik:

- Prozess erzeugen mit `fork()`
  - erzeugt zwei (fast) identische Prozesse,
  - beide Prozesse setzen Ausführung an gleicher Stelle fort (nach Rückkehr aus `fork()`-Aufruf)
- Thread erzeugen mit

  `pthread_create(..., funktion, ...)`
  - erzeugt neuen Thread, der in die angeg. Funktion springt
  - erzeugender Prozess setzt Ausführung hinter `pthread_create()`-Aufruf fort

Synchronisation

- Zugriff auf gemeinsame Ressourcen (z. B. prozessweit gültige Variablen in mehreren Threads) einschränken
- POSIX-Semaphore (auch prozess-übergreifend nutzbar)
- POSIX-Thread-Mutexe (nur innerhalb eines Prozesses nutzbar)
- Beispiel für Synchronisationsproblem

POSIX-Semaphore

- Deklarieren: `sem_t s;`
- Initialisieren: `sem_init(&s, 0, Start);`
- Erniedrigen oder blockieren (falls =0):
  `sem_wait(&s);`
- Erhöhen oder wartenden Thread wecken (falls Threads in Warteschlange):
  `sem_post(&s);`

POSIX-Semaphor als Mutex

Mutex: mutual exclusion

- Deklarieren: `sem_t m;`
- Initialisieren: `sem_init(&m, 0, 1);`
- Erniedrigen oder blockieren (falls =0):
  `sem_wait(&m);`
- Erhöhen oder wartenden Thread wecken (falls Threads in Warteschlange):
  `sem_post(&m);`

Oder: POSIX-Thread-Mutex

Eigener Mutex-Typ:

- Deklarieren: `pthread_mutex_t m;`
- Initialisieren: `pthread_mutex_init(&m, NULL);`
- Sperren: `pthread_mutex_lock(&m);`
- Freigeben: `pthread_mutex_unlock(&m);`

Beispiel: Synchr.-Problem

```
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define ITERATIONEN 10000000

int count = 0;
sem_t mutex;

void *addierer () {
  int i, tmp;
  for (i = 0;
       i < ITERATIONEN; i++) {
    tmp = count;
    tmp++;
    count = tmp;
  }
}
```

```
int main () {
  pthread_t t1, t2;
  pthread_create (&t1, NULL, addierer, NULL);
  pthread_create (&t2, NULL, addierer, NULL);
  pthread_join (t1, NULL);
  pthread_join (t2, NULL);

  if (count != 2 * ITERATIONEN)
    printf ("Fehler: count = %d, "
            "sollte aber %d sein.\n",
            count, 2*ITERATIONEN);
  else
    printf ("OK: count = %d\n", count);
  return 0;
}
```

```
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out
Fehler: count = 11499212, sollte aber 20000000 sein.
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out
Fehler: count = 11841573, sollte aber 20000000 sein.
```

Lösung mit POSIX-Semaphor

```
sem_t mutex;

void* addierer () {
  int i, tmp;
  for (i = 0; i < ITERATIONEN; i++) {
    sem_wait (&mutex);   // Zugriff sperren
    tmp = count;
    tmp++;
    count = tmp;
    sem_post (&mutex);   // Zugriff wieder freigeben
  }
}

int main () {
  sem_init (&mutex, 0, 1);  // Semaphor einrichten
  pthread_t t1, t2;
  pthread_create(&t1, NULL, addierer, NULL);
  pthread_create(&t2, NULL, addierer, NULL);
[...]
```

```
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out
OK: count = 20000000
```

Lösung mit POSIX-Thread-Mutex

```
pthread_mutex_t mutex;

void* addierer () {
  int i, tmp;
  for (i = 0; i < ITERATIONEN; i++) {
    pthread_mutex_lock (&mutex);   // Zugriff sperren
    tmp = count;
    tmp++;
    count = tmp;
    pthread_mutex_unlock (&mutex);   // Zugriff wieder freigeben
  }
}

int main () {
  pthread_mutex_init (&mutex, NULL);  // Mutex einrichten
  pthread_t t1, t2;
  pthread_create(&t1, NULL, addierer, NULL);
  pthread_create(&t2, NULL, addierer, NULL);
[...]
```

```
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out
OK: count = 20000000
```