

# Systemnahe Programmierung in C

## 32 Nebenläufige Fäden – Praxis

**J. Kleinöder, D. Lohmann, V. Sieh**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2024

<http://sys.cs.fau.de/lehre/ss24>



# Beispiel: POSIX Threads (pthread)

- Programmierschnittstelle standardisiert: **pthread-Bibliothek** (IEEE-POSIX-Standard P1003.4a)
- pthread-Schnittstelle (Basisfunktionen):
  - `pthread_create`: Faden erzeugen
  - `pthread_exit`: Faden beendet sich selbst
  - `pthread_join`: auf Ende eines Fadens warten
  - ....:
- Funktionen in pthread-Bibliothek zusammengefasst

```
gcc ... -pthread ...
```



- Faden-Erzeugung

```
#include <pthread.h>
```

```
int pthread_create(pthread_t *tid, const pthread_attr_t *attr,  
                  void *(*func)(void *), void *param);
```

- Parameter

**tid:** Zeiger auf Variable, in der die Faden-ID abgelegt werden soll.

**attr:** Zeiger auf Attribute (z.B. Stack-Größe) des Fadens. **NULL** für Standard-Attribute.

**func, param:** Der neu erzeugte Faden führt die Funktion **func** mit dem Parameter **param** aus.

- Als Rückgabewert wird 0 geliefert. Im Fehlerfall wird ein Fehlercode (ähnlich **errno**) zurückgeliefert.



- Faden beenden (bei return aus func oder):

```
#include <pthread.h>

void pthread_exit(void *retval);
```

Der Faden wird beendet und `retval` wird als Rückgabewert zurückgeliefert (siehe `pthread_join`).

- Auf Faden warten und `pthread_exit`-Status abfragen:

```
#include <pthread.h>

int pthread_join(pthread_t tid, void **retvalp);
```

Wartet auf den Faden mit der Faden-ID `tid` und liefert dessen Rückgabewert über `retvalp` zurück.

Als Rückgabewert wird 0 geliefert. Im Fehlerfall wird ein Fehlercode (ähnlich `errno`) zurückgeliefert.



- Beispiel (Multiplikation Matrix mit Vektor;  $\vec{c} = A\vec{b}$ ):

```
double a[100][100], b[100], c[100];

static void *mult(void *ci) {
    int i = (double *) ci - c;

    double sum = 0.0;
    for (int j = 0; j < 100; j++) {
        sum += a[i][j] * b[j];
    }
    c[i] = sum;
    return NULL;
}

int main(void) {
    pthread_t tid[100];

    for (int i = 0; i < 100; i++) {
        pthread_create(&tid[i], NULL, mult, &c[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 100; i++) {
        pthread_join(tid[i], NULL);
    }
}
```



## ■ Koordinierung durch Mutex-Variablen

### ■ Erzeugung von Mutex-Variablen

```
pthread_mutex_t m;  
pthread_mutex_init(&m, NULL);
```

### ■ lock-Operation

```
#include <pthread.h>  
  
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *m);
```

### ■ unlock-Operation

```
#include <pthread.h>  
  
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *m);
```



## ■ Mutex-Beispiel:

```
volatile int counter = 0;  
pthread_mutex_t m;  
pthread_mutex_init(&m, NULL);
```

```
...      /* Thread 1 */  
pthread_mutex_lock(&m);  
counter++;  
pthread_mutex_unlock(&m);  
...
```

```
...      /* Thread 2 */  
pthread_mutex_lock(&m);  
printf("counter = %d\n", counter);  
counter = 0;  
pthread_mutex_unlock(&m);  
...
```



## pthread-Koordinierung und -Synchronisierung (2)

- Synchronisierung durch Bedingungs-Variablen (Condition Variable)
  - auf eine Bedingung kann gewartet werden (sleep)
  - eine Bedingung kann signalisiert werden (wakeup)
  - Erzeugung einer Condition-Variablen

```
pthread_cond_t c;  
pthread_cond_init(&c, NULL);
```

- auf eine Bedingung warten

```
#include <pthread.h>  
  
int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *c, pthread_mutex_t *m);
```

- eine Bedingung signalisieren

```
#include <pthread.h>  
  
int pthread_cond_signal(pthread_cond_t *c);  
int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *c);
```

`pthread_cond_signal` weckt *einen* Faden, `pthread_cond_broadcast` weckt *alle* auf die Bedingung wartenden Fäden auf



## pthread-Beispiel (2)

- Beispiel: zählende Semaphore

```
pthread_mutex_t m;  
pthread_cond_t c;  
  
pthread_mutex_init(&m, NULL);  
pthread_cond_init(&c, NULL);
```

```
void P(volatile int *s) {  
    pthread_mutex_lock(&m);  
    while (*s == 0) {  
        pthread_cond_wait(&c, &m);  
    }  
    *s -= 1;  
    pthread_mutex_unlock(&m);  
}
```

```
void V(volatile int *s) {  
    pthread_mutex_lock(&m);  
    *s += 1;  
    pthread_cond_broadcast(&c);  
    pthread_mutex_unlock(&m);  
}
```



- Faden-Konzept, Koordinierung und Synchronisierung in Java integriert
- Erzeugung von Fäden über die Thread-Klasse; Beispiel:

```
class MyClass implements Runnable {
    public void run() {
        System.out.println("Hello!");
    }
}
...
MyClass o = new MyClass(); // create object
Thread t1 = new Thread(o); // create thread to run in o
t1.start(); // start thread
Thread t2 = new Thread(o); // create second thread
t2.start(); // start second thread
```



- Koordinierung und Synchronisierung über jedes beliebige Objekt
  - Koordinierung über `synchronized`-Blöcke

```
synchronized(obj) {  
    ...  
}
```

Ein solcher Block ruft zu Block-Beginn ein `lock` auf das Objekt `obj` auf, führt die angegebenen Anweisungen aus, und ruft vor dem Verlassen des Blockes das entsprechende `unlock` auf.

- Synchronisierung über `wait`, `notify` und `notifyAll`

`obj.wait()`: wartet auf die Signalisierung einer Bedingung auf dem angegebenen Objekt `obj`.

`obj.notify()`: signalisiert eine Bedingung auf dem angegebenen Objekt `obj` an *einen* wartenden Faden.

`obj.notifyAll()`: signalisiert eine Bedingung auf dem angegebenen Objekt `obj` *allen* wartenden Fäden.



## ■ Beispiel Koordinierung und Synchronisierung:

```
public class Semaphore {
    private int s;

    public Semaphore(int s0) {
        s = s0;
    }
    public void P() {
        synchronized(this) {
            while (s == 0)
                this.wait();
            s--;
        }
    }
    public void V() {
        synchronized(this) {
            s++;
            this.notifyAll();
        }
    }
}
```

Entspricht dem pthread-Beispiel...



- Vereinfachte Schreibweise (entspricht „Monitor“-Konzept):

```
public class Semaphore {
    private int s;

    public Semaphore(int s0) {
        s = s0;
    }
    public synchronized void P() {
        while (s == 0) {
            wait();
        }
        s--;
    }
    public synchronized void V() {
        s++;
        notifyAll();
    }
}
```

