

Übungen zu Systemprogrammierung 2 (SP2)

Ü 4 – Thread-Koordinierung

Christoph Erhardt, Jens Schedel, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2012/13 – 03. bis 07. Dezember 2012

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS12/V_SP2

24-ThreadSync_handout



Agenda

- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: jbuffer

24-ThreadSync_handout



Agenda

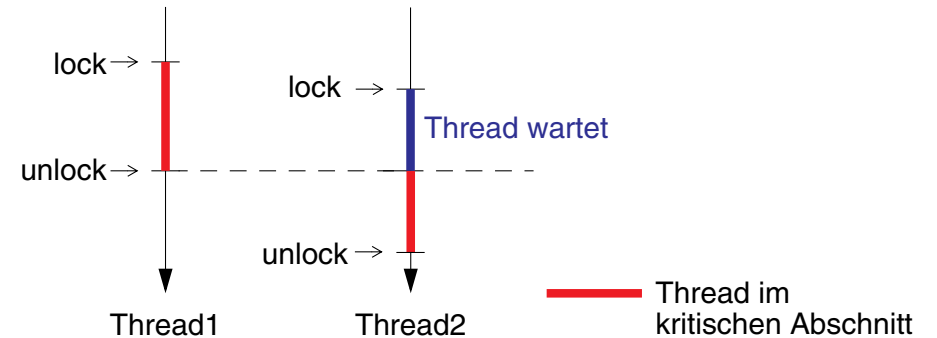
- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: jbuffer

24-ThreadSync_handout



Mutexe

- Koordinierung von kritischen Abschnitten:



- Nur ein Thread kann gleichzeitig den Mutex sperren und somit den kritischen Abschnitt durchlaufen

24-ThreadSync_handout



■ Schnittstelle:

■ Mutex erzeugen:

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

■ Sperren und freigeben:

```
errno = pthread_mutex_lock(&m);
// ... kritischer Abschnitt
errno = pthread_mutex_unlock(&m);
```

■ Mutex zerstören und Ressourcen freigeben:

```
errno = pthread_mutex_destroy(&m);
```

■ Alle Pthread-Funktionen setzen errno nicht implizit, sondern geben einen Fehlercode zurück (im Erfolgsfall: 0)

24-ThreadSync_handout



■ Welches Problem kann hier auftreten?

- *Lost-Update*-Problem, da Inkrement und Dekrement nicht atomar
- Lösung?: Zugriff auf a mit Mutex schützen

■ Weiteres Nebenläufigkeitsproblem?

```
static pthread_mutex_t m;
static volatile int a;

void P(void) {
    while (a == 0) {
        // Wait for change
    }
    pthread_mutex_lock(&m);
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

24-ThreadSync_handout



Beispiel: Semaphor-Implementierung

■ Problem: Mehrere Threads könnten gleichzeitig in Schleife warten

- a könnte mehrmals heruntergezählt werden
- Lösung?: Prüfung der Bedingung in den kritischen Abschnitt ziehen

■ Problem jetzt vollständig gelöst?

```
static pthread_mutex_t m;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    while (a == 0) {
        // Wait for change
    }
    pthread_mutex_lock(&m);
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

24-ThreadSync_handout



Beispiel: Semaphor-Implementierung

■ Problem: Deadlock, da in kritischem Bereich gewartet wird

- Kein anderer Thread kann den kritischen Abschnitt betreten
- Lösung?: Mutex während des Wartens freigeben

■ Aktives Warten vermeiden: Schlaf/Aufweck-Mechanismus nötig

```
static pthread_mutex_t m;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    while (a == 0) {
        pthread_mutex_unlock(&m);
        // Wait for change
        pthread_mutex_lock(&m);
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

24-ThreadSync_handout



- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: jbuffer



- Pseudo-Funktionen zur Vermeidung von aktivem Warten: `WAIT_FOR_CHANGE()` blockiert so lange, bis `SIGNAL_CHANGE()` aufgerufen wurde
- Nebenläufigkeitsproblem?: das altbekannte *Lost-Wakeup*-Problem
 - Aufwecksignal kann verloren gehen
 - Freigabe des Mutex und Schlafenlegen muss atomar erfolgen

```
static pthread_mutex_t m;
static volatile int a;

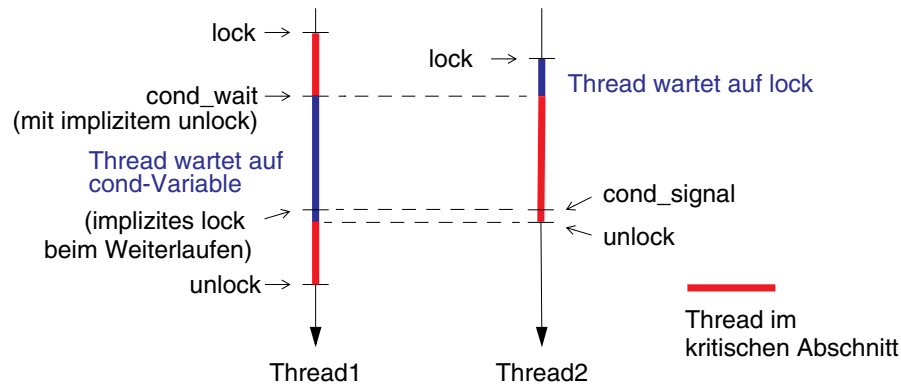
void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    while (a == 0) {
        pthread_mutex_unlock(&m);
        WAIT_FOR_CHANGE();
        pthread_mutex_lock(&m);
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    ++a;
    SIGNAL_CHANGE();
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```



Pthread-Bedingungsvariablen

- Mechanismus zum Blockieren und Aufwecken von Threads:



- Freigeben des aktuellen kritischen Abschnitts beim Blockieren
- Betreten des kritischen Abschnitts nach dem Aufwachen



Beispiel: Semaphore-Implementierung

- Initialisierung von Mutex und Bedingungsvariable mit `pthread_{mutex,cond}_init()`
- Zerstören mit `pthread_{mutex,cond}_destroy()`

```
static pthread_mutex_t m;
static pthread_cond_t c;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    while (a == 0) {
        pthread_cond_wait(&c, &m);
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m);
    ++a;
    pthread_cond_broadcast(&c);
    pthread_mutex_unlock(&m);
}
```



Pthread-Bedingungsvariablen

- Realisierung von `pthread_cond_wait()`:
 - Thread reiht sich in Warteschlange der Bedingungsvariable ein
 - Thread gibt Mutex frei
 - Thread gibt Prozessor auf
 - Nach Signalisierung (`pthread_cond_broadcast()`, s. u.) wird Thread wieder lafbereit
 - Thread muss kritischen Abschnitt neu betreten (*lock*)
- Realisierung von `pthread_cond_broadcast()` / `pthread_cond_signal()`:
 - Aufwecken eines (oder mehrerer) Threads aus der Warteschlange der Bedingungsvariablen
- Da möglicherweise mehrere Threads deblockiert wurden, muss die Bedingung nochmals überprüft werden

24-ThreadSync_handout



Pthread-Bedingungsvariablen

- Bei `pthread_cond_signal()` wird mindestens einer der wartenden Threads aufgeweckt – es ist allerdings u. U. nicht definiert, welcher
 - Eventuell Prioritätsverletzung, wenn nicht der höchstpriorie gewählt wird
 - Verklemmungsgefahr, wenn die Threads unterschiedliche Wartebedingungen haben
- Mit `pthread_cond_broadcast()` werden alle wartenden Threads aufgeweckt
- Ein aufwachender Thread wird als erstes den Mutex neu belegen – ist dieser gerade gesperrt, bleibt der Thread solange blockiert

24-ThreadSync_handout



Agenda

- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: jbuffer

24-ThreadSync_handout



Nichtblockierende Synchronisation

- Nichtblockierende Synchronisation wird üblicherweise mit Hilfe der *Compare-and-swap*-Operation (CAS) implementiert (→ siehe Vorlesung C | X-4, Seite 20f.)
- Die CAS-Operation selber lässt sich nicht atomar in C implementieren
- Möglichkeit 1: Inline-Assembly
 - In den C-Code eingebettete Sequenz von Maschineninstruktionen
 - Schlechte Portierbarkeit: Syntax ist Compiler- und CPU-spezifisch
- Möglichkeit 2: Compiler-*Builtin*-Funktion
 - Verwendung wie eine gewöhnliche Funktion
 - Statt eines Funktionsaufrufs erzeugt der Compiler eine Sequenz von Maschineninstruktionen für den jeweiligen Zielprozessor

24-ThreadSync_handout



```
bool __sync_bool_compare_and_swap(type *ptr, type oldval,  
                                  type newval);
```

- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: jbuffer



- Der Zugriff auf Funktionen und globale Variablen erfolgt in C-Programmen über symbolische Namen
- Übersetzungseinheit (.c-Datei) **definiert** und **verwendet** Symbole:
 - Hauptprogramm *definiert* das Symbol `main` für die `main()`-Funktion
 - Programm *verwendet* eine Funktion der C-Bibliothek (z. B. `printf()`)
 - C-Datei *definiert* eine globale (nicht-`static`) Variable
 - Programm *verwendet* eine globale Variable, die u. U. in einer anderen Übersetzungseinheit definiert wurde
- Der Namensraum ist flach und nicht typisiert:
 - Jeder Name muss eindeutig sein
 - Es darf z. B. keine Funktion mit dem Namen einer globalen Variable geben
- Kompilierte Übersetzungseinheit (.o-Datei) enthält Symboltabelle:
 - Liste von Symbolen, die von der Einheit verwendet werden
 - Liste von Symbolen, die von der Einheit definiert werden



Symboltabellen

- Anzeige von Symboltabellen mit dem Programm `nm(1)`:

```
erhardt@fau10sr0[aufgabe3] nm plist.o
                 U __errno_location
                 U free
00000000 b head
                 U malloc
000001c0 T plistAdd
00000000 T plistGet
00000100 T plistHandleEvents
00000030 T plistIterate
00000070 T plistNotifyEvent
00000160 T plistRemove
                 U strdup
```

- Offsets im Segment für definierte Symbole (im gebundenen Programm stattdessen absolute Adressen)
- Segment: **U** = unresolved, **B** = .bss, **D** = .data, **T** = .text
 - Sichtbarkeit: groß = globales Symbol, klein = modullokales Symbol



Statische Bibliotheken

- Statische Bibliothek:
 - (Unkomprimiertes) Archiv, in dem mehrere Objekt-Dateien (.o) zusammengefasst sind
 - Enthält eigene Symboltabelle
 - Übliche Dateinamenskonvention: `libexample.a`
- Erstellen mit dem Kommando `ar(1)`:


```
ar -rcs libexample.a bar.o foo.o
```
- Bibliothek kann dem Linker als Symbolquelle angeboten werden
- Bibliothek wird zur Ausführung des Programms nicht mehr benötigt



- Statisches Binden: Zusammenbinden der angegebenen Übersetzungseinheiten zu einem ausführbaren Binärabbild
- Offene Symbolreferenzen werden aufgelöst
 - Definiert in anderen Übersetzungseinheiten
 - Suche in Programmbibliotheken
- GCC sucht beim Binden implizit in der Standard-C-Bibliothek (`libc.a`)
- Weitere Bibliotheken können vom Entwickler angegeben werden
 - Parameter `-Lpath`: Suche nach Bibliotheken (`.a`-Dateien) in `path`
 - Standard-Suchpfade: `/usr/local/lib, /usr/lib`
 - Parameter `-lname`: Binden mit der Bibliothek `libname.a`
 - Diese Datei wird in den Suchpfaden gesucht
- Linker bindet dann alle `.o`-Dateien aus der Bibliothek, die **bis dahin** unaufgelöste Symbole definieren, zum Binärabbild dazu
- Die Reihenfolge von Objekt-Dateien und Bibliotheken ist wichtig!

```
#include "bar.h"

int main(void) {
    bar(42);
}
```

main.c

```
#ifndef BAR_H
#define BAR_H

void bar(int);

#endif
```

bar.h (Schnittstelle)

```
#include "bar.h"

void bar(int param) {
    // Do stuff
}
```

bar.c (Implementierung)

- Module exportieren eine Schnittstelle (Header-Datei):
 - Funktionsdeklarationen
 - Gegebenenfalls Deklarationen (`extern`) globaler Variablen
- Beim Übersetzen muss Compiler den Typen eines Symbols kennen:
 - Einbinden der Schnittstellenbeschreibung mit `#include "bar.h"`
 - Konkrete Adresse der Funktion bzw. Variable ist noch nicht notwendig
- Parameter `-Ipfad`: teilt Compiler zusätzlichen Suchpfad für Header-Dateien mit (aktuelles Verzeichnis ist immer enthalten)
 - `gcc -c -Imyincludes main.c`

Beispiel: Binden mit statischen Bibliotheken

```
#include "bar.h"

int main(void) {
    bar(42);
}
```

main.c

```
#ifndef BAR_H
#define BAR_H

void bar(int);

#endif
```

bar.h (Schnittstelle)

```
#include "bar.h"

void bar(int param) {
    // Do stuff
}
```

bar.c (Implementierung)

- Modul `bar.c` definiert Symbol `bar` (Funktion `void bar(int)`)
- Hauptprogramm ruft die Funktion `void bar(int)` auf (verwendet Symbol `bar`)
- Annahme: Modul `bar.o` ist Teil der Bibliothek `libexample.a` im Verzeichnis `libdir`
- Binden mit dem Kommando:
 - `gcc -Llibdir -o main main.o -lexample`
- Falsch (warum?):
 - `gcc -Llibdir -o main -lexample main.o`

Agenda

- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: jbuffer

Dynamische Bibliotheken

- Dynamische Bibliothek (*Shared Library*):
 - Kein Dateiarchiv, sondern eine ladbare Funktionssammlung
 - Übliche Dateinamenskonvention: `libexample.so`
- Bibliothek wird zur Ausführung des Programms benötigt
- Code liegt nach dem Laden i. d. R. nur einmal im Hauptspeicher, kann aber in verschiedenen Prozessen an unterschiedlichen Adressen im logischen Adressraum positioniert sein
 - Keine absoluten Adressen (Funktionsaufrufe, globale Variablen) im Maschinencode erlaubt → PIC (*Position-Independent Code*)
 - Muss beim Kompilieren der Quellen berücksichtigt werden:

```
gcc -c -fPIC bar.c
gcc -c -fPIC foo.c
```

24-ThreadSync_handout



Dynamische Bibliotheken

- Erstellen der Bibliothek durch Zusammenbinden der `.o`-Dateien:

```
gcc -shared -o libexample.so bar.o foo.o
```

- Binden einer dynamischen Bibliothek an eine Anwendung:
 - Linker-Aufruf identisch zu statischem Binden (Flags `-L` und `-l`)
 - Aber kein Kopieren der `.o`-Dateien, sondern nur Anlegen von Verweisen im Binary
 - Falls in den Suchpfaden sowohl eine statische als auch eine dynamische Bibliothek gefunden wird, wird die dynamische gewählt
 - Die Reihenfolge von Bibliotheken und Objekt- bzw. Quelldateien ist unwichtig

24-ThreadSync_handout



Verwendung von dynamischen Bibliotheken

- Das endgültige Binden erfolgt erst beim Laden:
 - Beim Laden des Programms (`exec(2)`) wird zunächst der *Dynamic Linker/Loader* (`ld.so`) geladen
 - `ld.so` lädt das Programm und die Bibliothek (sofern noch nicht im Hauptspeicher vorhanden) und bindet noch offene Referenzen
 - Bibliothek wird von `ld.so` in mehreren Verzeichnissen gesucht (über Umgebungsvariable `LD_LIBRARY_PATH` einstellbar)
- Hauptvorteile von dynamischen Bibliotheken:
 - Insgesamt geringerer Platten- und Hauptspeicherverbrauch
 - Üblicherweise zentraler Installationsort (z. B. `/usr/lib`):
 - Bei einem Update (u. U. sicherheitskritisch!) muss nur eine Datei ausgetauscht werden
 - Kein erneutes Binden aller betroffener Anwendungen nötig
- Vollständig statisches Binden ist auf PCs kaum mehr gebräuchlich:
 - `libc` und andere Bibliotheken werden fast immer dynamisch gebunden
 - Manche Betriebssysteme (z. B. OS X, Solaris 10) bieten gar keine statische `libc` mehr

24-ThreadSync_handout



Agenda

- 4.1 Mutexe
- 4.2 Bedingungsvariablen
- 4.3 Nichtblockierende Synchronisation
- 4.4 Statische Bibliotheken
- 4.5 Dynamische Bibliotheken
- 4.6 Aufgabe 4: `jbuffer`

24-ThreadSync_handout



Ringpuffer-Modul

- Ringpuffer zur Verwaltung von `int`-Werten
- Randbedingung: ein Produzent, mehrere Konsumenten
- Blockierende Synchronisation zwischen Produzenten und Konsumenten mittels Semaphoren zur Vermeidung von Über- bzw. Unterlauf
- Nichtblockierende Synchronisation der Konsumenten untereinander mittels CAS (siehe Vorlesung C | X-4, Seite 20f.)

Semaphor-Modul

- Zählender P/V-Semaphor zur Synchronisation von POSIX-Threads (siehe Vorlesung C | X-3, Seite 19f.)

