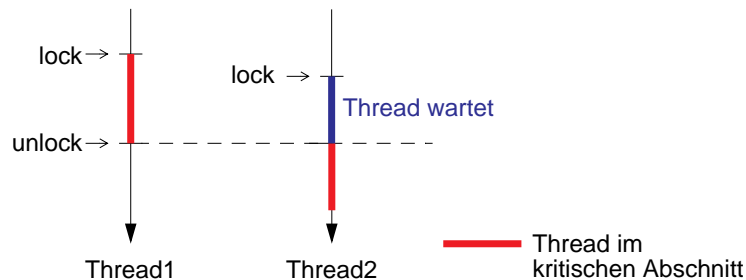


U5 POSIX-Threads

- Hinweise zur Evaluation
- Mutexe
- Synchronisierung mit Mutexen
- Bedingungsvariablen (Condition Variables)
- Nichtblockierende Synchronisation
- Statische und dynamische Bibliotheken
- Aufgabe 4: *jbuffer*

U5-2 Mutexe

- Koordinierung von kritischen Abschnitten



U5-1 Hinweise zur Evaluation

- in Kommentaren, die sich auf einen bestimmten Übungsleiter beziehen, bitte dessen Namen **jeder Zeile** voranstellen
- Frage "eigener Aufwand zur Vor- und Nachbereitung"
 - ◆ bitte nach Vorlesung und Übung auftrennen
 - ◆ Übung: den jeweiligen Wochenaufwand durch 2 teilen (rechnerisch: 2x1 Stunde Übung (Tafel+Rechner) pro Woche, Angabe je 45 Minuten)
 - ◆ Vorlesung: den jeweiligen Wochenaufwand nicht teilen (1x90 Minuten Vorlesung pro Woche, Aufwandsangabe je 90 Minuten)
- Vorlesungsevaluation: "Dozent hat Vorlesung zu ... selbst gehalten"
 - ◆ Dozenten sind Prof. Schröder-Preikschat und Dr. Jürgen Kleinöder
 - ◆ technisch bedingt wird in der Evaluation nur Dr. Jürgen Kleinöder als Dozent genannt
- bitte beide Dozenten bei der Beantwortung der Frage berücksichtigen

U5-2 Mutexe

- Schnittstelle:

- ◆ Mutex erzeugen

```
pthread_mutex_t m1;
errno = pthread_mutex_init(&m1, NULL);
```

- ◆ Lock & unlock

```
errno = pthread_mutex_lock(&m1);
... kritischer Abschnitt
errno = pthread_mutex_unlock(&m1);
```

- ◆ Mutex zerstören und Ressourcen freigeben

```
errno = pthread_mutex_destroy(&m1);
```

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

U5-3 Synchronisierung mit Mutexen

- ... am Beispiel einer Semaphore-Implementierung
- Welches Problem kann hier auftreten?

```
static pthread_mutex_t m1;
static volatile int a;

void P(void) {
    while (a == 0) {
        // wait for changes
    }
    pthread_mutex_lock(&m1);
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

U5-3 Synchronisierung mit Mutexen

- Problem: Mehrere Threads warten gleichzeitig in der Schleife
 - ◆ a wird mehrmals heruntergezählt
- Prüfung der Bedingung ist ebenfalls Teil des kritischen Abschnittes
- Welches Problem ist nun vorhanden?

```
static pthread_mutex_t m1;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    while (a == 0) {
        // wait for change
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

U5-3 Synchronisierung mit Mutexen

- Deadlock, da in kritischem Bereich gewartet wird
 - ◆ Kein anderer Thread kann den kritischen Abschnitt betreten
 - ◆ Freigabe des Mutexes während des Wartens notwendig

```
static pthread_mutex_t m1;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    while (a == 0) {
        pthread_mutex_unlock(&m1);
        // wait for change
        pthread_mutex_lock(&m1);
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

- Zur Vermeidung von aktivem Warten wird ein Sleep/Wakeup-Mechanismus benötigt.

U5-4 Synchronisierung mit Mutexen und Sleep/Wakeup-Mechanismus

- Zur Vermeidung von aktivem Warten wird Pseudo-Funktion `wait_for_change()` eingesetzt, diese blockiert solange bis `signal_change()` aufgerufen wird.

```
static pthread_mutex_t m1;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    while (a == 0) {
        pthread_mutex_unlock(&m1);
        wait_for_change();
        pthread_mutex_lock(&m1);
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
    signal_change();
}
```

- Welches Problem kann hier auftreten?

U5-4 Synchronisierung mit Mutexen und Sleep/Wakeup-Mechanismus

■ Lost-Wakeup-Problem

◆ Aufwecksignal kann verloren gehen

◆ Freigabe des Mutex und Schlafenlegen muss atomar sein!

```
static pthread_mutex_t m1;
static volatile int a;

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    while (a == 0) {
        // atomic start
        pthread_mutex_unlock(&m1);
        wait_for_change();
        pthread_mutex_lock(&m1);
        // atomic end
    }
    --a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    ++a;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
    signal_change();
}
```

Systemprogrammierung — Übungen

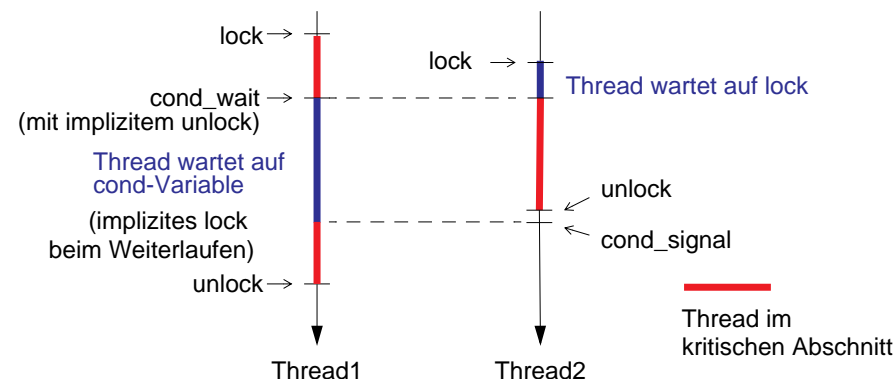
© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35

U5.9

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U5-5 Bedingungsvariablen - Condition-Variables

- Mechanismus zum Blockieren (mit gleichzeitiger Freigabe des aktuellen kritischen Abschnitts) und Aufwecken (mit neuem Betreten des kritischen Abschnitts) von Threads



Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35

U5.10

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U5-5 Bedingungsvariablen

- ... am Beispiel der Semaphor-Implementierung

```
static pthread_cond_t c1;
static pthread_mutex_t m1;
static volatile int a;

int main(void) {
    pthread_cond_init(&c1, NULL);
    // ...
}

void P(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    while (a == 0) {
        pthread_cond_wait(&c1, &m1);
    }
    a--;
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

```
void V(void) {
    pthread_mutex_lock(&m1);
    a++;
    pthread_cond_broadcast(&c1);
    pthread_mutex_unlock(&m1);
}
```

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35

U5.11

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U5-5 Bedingungsvariablen

- Realisierung `cond_wait()`
 - ◆ Thread reiht sich in Warteschlange der Bedingungsvariablen ein
 - ◆ Thread gibt Mutex frei
 - ◆ Thread gibt Prozessor auf
 - ◆ Nach Signalisierung wird Thread wieder lafbereit (`cond_signal()` s.U.)
 - ◆ Thread muss kritischen Abschnitt neu betreten (`lock()`)
- Realisierung `cond_broadcast()/cond_signal()`
 - ◆ Aufwecken eines (oder mehrerer) Threads, aus der Warteschlange der Bedingungsvariablen
- Da möglicherweise mehrere Threads deblockiert wurden, muss die Bedingung nochmals überprüft werden (siehe Seite 8)

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35

U5.12

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

- 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

- Zur Erhaltung von Portabilität verwenden wir sogenannte *GCC-Builtins*
 - ◆ Verwendung wie eine gewöhnliche Funktion
 - ◆ Statt eines Funktionsaufrufs erzeugt der Compiler aber eine Sequenz von Maschineninstruktionen für den Zielprozessor
- Zur nichtblockierenden Synchronisation mittels CAS verwenden wir folgendes *GCC-Builtin*:

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

- Zur Verwendung von CAS siehe Vorlesung C X-4 Seite 20 f.

- Statische Bibliothek:
 - Archiv, in dem mehrere Objekt-Dateien (.o) zusammengefasst werden
 - beim statischen Binden eines Programms werden die benötigten Objekt-Dateien zu der ausführbaren Datei hinzukopiert
 - Bibliothek ist bei der Ausführung des Programms nicht mehr sichtbar
- Dynamische, gemeinsam genutzte Bibliothek (*shared library*):
 - Zusammenfassung von übersetzten C-Funktionen
 - beim Binden werden Referenzen auf die Funktionen offen gelassen
 - Shared Library ist nur einmal im Hauptspeicher vorhanden
 - Shared Library wird in virtuellen Adressraum dynamisch gebundener Programme beim Laden eingeblendet, noch offene Referenzen werden danach gebunden

- Zugriff auf Funktionen und globale Variablen über symbolische Namen
- Eine Übersetzungseinheit (C-Datei) **definiert** und **verwendet** Symbole
 - ◆ Hauptprogramm definiert das Symbol *main* für die main-Funktion
 - ◆ Programm ruft (verwendet) eine Funktion der C-Bibliothek (z. B. malloc)
 - ◆ C-Datei definiert eine globale (nicht-static) Variable
 - ◆ Programm verwendet eine globale Variable, die u. U. in einer anderen Übersetzungseinheit definiert wurden
- Der Namensraum ist flach
 - ◆ jeder Name muss eindeutig sein
 - ◆ es darf auch keine Funktion mit dem Namen einer globalen Variable geben
- Kompilierte Übersetzungseinheit (Objekt-Datei) enthält Symboltabelle
 - ◆ Liste mit Symbolen, die von der Einheit verwendet werden
 - ◆ Liste von Symbolen, die von der Einheit definiert werden

■ Anzeige von Symboltabellen mit dem Programm nm(1)

```
erhardt@fau10sr0[aufgabe3] nm plist.o
                 U free
00000000 b head
                 U malloc
000000e0 T plistAdd
00000000 T plistIterate
00000040 T plistRemove
                 U strdup
                 U strlen
                 U strncpy
```

- Offsets im Segment für definierte Symbole (ungebundene Objektdatei)
- Segment: U = unresolved, B = .bss, D = .data, T = .text
 - ◆ Sichtbarkeit: groß = globales Symbol, klein = modullokales Symbol

- Statisches Binden: Binden der Übersetzungseinheiten zum 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

1 Statische Bibliotheken erstellen

- **Archiv** (Dateiendung **.a**) von Objekt-Dateien (**.o**-Dateien)
 - ☞ Erstellen einer Bibliothek mit dem Kommando **ar**

```
ar -rcs libexample.a bar.o foo.o
```
- Jede Objekt-Datei enthält wiederum eine Symboltabelle
 - ☞ Anzeige mit dem Kommando **nm libexample.a** bzw. **nm bar.o**
- Die Bibliothek kann dem Linker als Symbolquelle angeboten werden
 - ◆ Parameter **-Lpfad**: Suche nach Bibliotheken (.a-Dateien) in *pfad*
 - ◆ Parameter **-llibname**: Binden mit der Bibliothek *libname*
 - ☞ diese wird in einer Datei *liblibname.a* in den Suchpfaden gesucht
- Der Linker bindet dann alle Objekt-Dateien, die **bis dahin** unaufgelöste Symbole definieren, zum Binärabbild dazu
 - ◆ Die Reihenfolge von Objekt-Dateien und Bibliotheken ist wichtig

2 Beispiel: Kompilieren mit statischen Bibliotheken

<pre>#include "bar.h" int main(void) { bar(42); }</pre> <p>main.c</p>	<pre>#ifndef BAR_H #define BAR_H void bar(int); #endif</pre> <p>bar.h (Schnittstelle)</p>	<pre>#include "bar.h" void bar(int param) { // Do stuff }</pre> <p>bar.c (Implementierung)</p>
--	---	--

- Module exportieren eine Schnittstelle (Header-Datei)
 - ◆ Funktionsdeklarationen und ggf. Deklarationen (*extern*) globaler Variablen
- Beim Übersetzen muss der Compiler den Typen eines Symbols kennen
 - ◆ Einbinden der Schnittstellenbeschreibung mit **#include "bar.h"**
 - ◆ Die Adresse der Funktion bzw. Variable ist an dieser Stelle nicht notwendig
- Parameter **-Ipfad**: Teilt Compiler zusätzlichen Suchpfad für Headerdateien mit (das aktuelle Verzeichnis ist immer enthalten)
 - ◆ **gcc -c <...> -Imyincludes main.c**

3 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* **definiert** Symbol *bar* (Funktion `void bar(int);`)
- Hauptprogramm ruft die Funktion *bar* auf (**verwendet** Symbol *bar*)
- Annahme: Modul *bar.o* ist Teil der Bibliothek *libexample.a* in *libdir*
- Übersetzung mit Kommando:


```
gcc -Llibdir -o main <...> main.o -lexample
```
- Falsch (warum?):
 - ◆ `gcc -Llibdir -o main <...> -lexample main.o`

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35 U5.21

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U5-9 Shared Libraries

- Kein Dateiarchiv, sondern eine ladbare Funktionssammlung
 - Erzeugen mit GCC
- Code der Funktionen liegt nur einmal im Hauptspeicher, kann aber in verschiedenen Anwendungen an unterschiedlichen Adressen im logischen Adressraum positioniert sein
 - keine absoluten Adressen (Sprünge, Unterprogrammaufrufe) im Code erlaubt -> PIC (*position-independent code*)
 - muss beim Kompilieren der Quellen berücksichtigt werden

```
gcc -fPIC -c file1.c
gcc -fPIC -c file2.c
...
```

- ◆ Bibliothek wird durch Binden mehrerer *.o*-Dateien erzeugt

```
gcc -shared -o libutil.so file1.o file2.o ...
```

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35 U5.22

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Shared Libraries

- Beim Binden einer Anwendung werden Funktionen nicht aus der Bibliothek kopiert


```
gcc prog.c -L. -lutil -o prog
```

 - Aufruf analog zum statischen Binden
 - Bibliothek *libutil.so* wird gesucht
- Das endgültige Binden erfolgt erst beim Laden
 - Beim Laden von *prog* (exec) wird zunächst der *dynamic linker/loader* (*ld.so*) geladen
 - *ld.so* lädt *prog* und die Bibliothek (wenn noch nicht im Hauptspeicher vorhanden) und bindet noch offene Referenzen
 - Bibliothek wird von *ld.so* in mehreren Verzeichnissen gesucht (über Umgebungs-Variante `LD_LIBRARY_PATH` einstellbar)
- Reihenfolge von Bibliotheken und Objekt- bzw. Quelldateien unwichtig
 - ◆ Mehrfachangabe einer Bibliothek nicht notwendig

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35 U5.23

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Verwendung von Bibliotheken in UNIX-Systemen

- Großer Vorteil von dynamischen Bibliotheken:
 - ◆ Bibliotheken sind an einem zentralen Ort installiert (üblicherweise `/usr/lib`)
 - ◆ Bei einem Update (u. U. sicherheitskritisch!) muss nur eine Datei ausgetauscht werden
 - kein erneutes Binden aller betroffener Anwendungen nötig
- Kompletts statisch gebundene Programme sind kaum mehr gebräuchlich
 - ◆ *libc* und andere Bibliotheken werden fast immer dynamisch gebunden
 - ◆ Manche Systeme (z. B. Solaris 10) enthalten gar keine statische *libc* mehr
- Ausnahmen:
 - ◆ Projektinterne Modularisierung (vgl. *sister*, *josh*)
 - ◆ Rescue-Binaries, Backup-Restore-Programme etc.
 - ◆ Eingebettete Systeme

Systemprogrammierung — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stölkerich, Jens Schedel, Christoph Erhardt • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2012 U05.fm 2012-06-21 10.35 U5.24

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U5-10 Aufgabe 4: jbuffer

1 Semaphor-Modul

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

2 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
- Nicht-blockierende Synchronisation der Konsumenten untereinander mittels CAS (siehe Vorlesung ab C|X-4, Seite 20)