J.8 Kontrollfäden / Aktivitätsträger *(Threads)*

- Mehrere Prozesse zur Strukturierung von Problemlösungen
  - ◆ Aufgaben einer Anwendung leichter modellierbar, wenn sie in mehrere kooperierende Prozesse unterteilt wird
    z. B. Anwendungen mit mehreren Fenstern (ein Prozess pro Fenster)
    z. B. Anwendungen mit vielen gleichzeitigen Aufgaben (Webbrowser)
  - ◆ Multiprozessorsysteme werden erst mit mehreren parallel laufenden Prozessen ausgenutzt
    - ➤ früher nur bei Hochleistungsrechnern (Aerodynamik, Wettervorhers.)
    - ➤ durch Multicoresysteme jetzt massive Verbreitung
  - ◆ Client-Server-Anwendungen unter UNIX:
    pro Anfrage wird ein neuer Prozess gestartet
    z. B. Webserver

1 Prozesse mit gemeinsamem Speicher

- Gemeinsame Nutzung von Speicherbereichen durch mehrere Prozesse

▲ Nachteile
  - ◆ viele Betriebsmittel zur Verwaltung eines Prozesses notwendig
    - Dateideskriptoren
    - Speicherabbildung
    - Prozesskontrollblock
  - ◆ Prozessumschaltungen sind aufwändig

★ Vorteil
  - ◆ in Multiprozessorsystemen sind echt parallele Abläufe möglich

2 Threads in einem Prozess

★ **Lösungsansatz:**
Kontrollfäden / Aktivitätsträger *(Threads)* oder
leichtgewichtige Prozesse *(Lightweighted Processes, LWPs)*

- Jeder Thread repräsentiert einen eigenen aktiven Ablauf:
  - eigener Programmzähler
  - eigener Registersatz
  - eigener Stack
- eine Gruppe von Threads nutzt gemeinsam eine Menge von Betriebsmitteln (gemeinsame Ausführungsumgebung)
  - Instruktionen
  - Datenbereiche (Speicher)
  - Dateien, etc.

  ➥ letztlich wird das Konzept des Prozesses aufgespalten:
  eine Ausführungsumgebung für mehrere (parallele oder nebenläufige) Abläufe

2 Threads (2)

- Umschalten zwischen zwei Threads einer Gruppe ist erheblich billiger als eine normale Prozessumschaltung.
  - es müssen nur die Register und der Programmzähler gewechselt werden (entspricht dem Aufwand für einen Funktionsaufruf).
  - Speicherabbildung muss nicht gewechselt werden.
  - alle Systemressourcen bleiben verfügbar.

■ ein klassischer UNIX-Prozess ist ein Adressraum mit einem Thread

■ Implementierungen von Threads

- User-level Threads
- Kernel-level Threads

3 User-Level-Threads

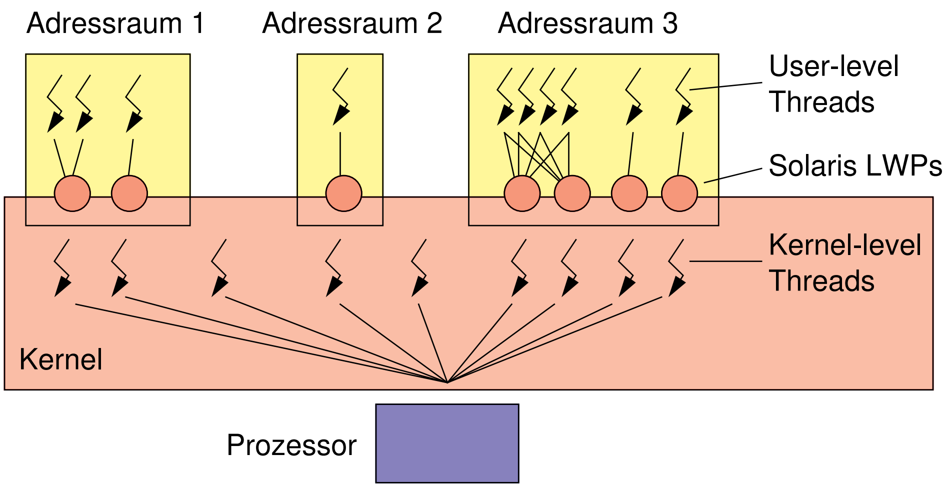
- Implementierung
  - Instruktionen im Anwendungsprogramm schalten zwischen den Threads hin- und her (ähnlich wie der Scheduler im Betriebssystem)
  - Realisierung durch Bibliotheksfunktionen
  - Betriebssystem sieht nur einen Kontrollfaden
- ★ Vorteile
  - keine Systemaufrufe zum Umschalten erforderlich
  - effiziente Umschaltung (einige wenige Maschinenbefehle)
  - Schedulingstrategie in der Hand des Anwendungsprogrammierers
- ▲ Nachteile
  - bei blockierenden Systemaufrufen bleibt die ganze Anwendung (und damit alle User-Level-Threads) stehen
  - kein Ausnutzen eines Multiprozessors möglich

4 Kernel-Level-Threads

- Implementierung
  - Betriebssystem kennt Kernel-Level-Threads
  - Betriebssystem schaltet zwischen Threads um
- ★ Vorteile
  - kein Blockieren unbeteiligter Threads bei blockierenden Systemaufrufen
  - Betriebssystem kann mehrere Threads einer Anwendung gleichzeitig auf verschiedenen Prozessoren laufen lassen
- ▲ Nachteile
  - weniger effizientes Umschalten zwischen Threads (Umschaltung in den Systemkern notwendig)
  - Schedulingstrategie meist durch Betriebssystem vorgegeben

5 Beispiel: LWPs und Threads (Solaris)

- Solaris kennt Kernel-, User-Level-Threads und LWPs



Nach Silberschatz, 1994

➤ Mischform: wenige Kernel-level-Threads um Parallelität zu erreichen, viele User-level-Threads, um die unabhängigen Abläufe in der Anwendung zu strukturieren

J.9 Koordinierung / Synchronisation

- Threads arbeiten nebenläufig oder parallel auf Multiprozessor
- Threads haben gemeinsamen Speicher

➥ alle von Interrupts und Signalen bekannten Probleme beim Zugriff auf gemeinsame Daten treten auch bei Threads auf

★ Unterschied zwischen Threads und Interrupt-Service-Routinen bzw. Signal-Handler-Funktionen:

- ◆ "Haupt-Kontrollfaden" der Anwendung und eine ISR bzw. ein Signal-Handler sind nicht gleichberechtigt
  - ➤ ISR bzw. Signal-Handler unterbricht den Haupt-Kontrollfaden aber ISR bzw. Signal-Handler werden nicht unterbrochen
- ◆ zwei Threads sind gleichberechtigt
  - ➤ ein Thread kann jederzeit zugunsten eines anderen unterbrochen werden (Scheduler) oder parallel zu einem anderen arbeiten (MPS)

➥ Interrupts sperren oder Signale blockieren hilft nicht!

1 Koordinierungsprobleme

- Grundlegende Probleme
  - gegenseitiger Ausschluss (Koordinierung)
    - ein Thread möchte auf einen kritischen Datenbereich zugreifen und verhindern, dass andere Threads gleichzeitig zugreifen
  - gegenseitiges Warten (Synchronisation)
    - ein Thread will darauf warten, dass ein anderer einen bestimmten Bearbeitungsstand erreicht hat
- Komplexere Koordinierungsprobleme (Beispiele)
  - Bounded Buffer
    - Threads schreiben Daten in einen Pufferspeicher (meist als Feld implementiert), anderere entnehmen Daten
      (Zugriff auf den Puffer, Puffer leer, Puffer voll)
  - Philosophenproblem
    - ein Thread reserviert sich zuerst Zugriff auf Datenbereich 1, dann auf Datenbereich 2, der andere Thread umgekehrt
      ➥ kann zu Verklemmung führen

J.9 Koordinierung / Synchronisation

2 Gegenseitiger Ausschluss *(mutual exclusion)*

- Einfache Implementierung durch *mutex*-Variablen

```
mutex m = 1;
int counter = 0;
```

Thread 1

```
...
lock(&m);
counter++;
unlock(&m);
...
```

Thread 2

```
...
lock(&m);
printf("%d\n", counter);
counter = 0;
unlock(&m);
...
```

- Realisierung

```
void lock (mutex *m) {
    while (*m == 0) {
        /* warten */
    }
    m = 0;
}
```

```
void unlock (mutex *m) {
    *m = 1;
    /* ggf. wartende
       Threads wecken */
}
```

3 Semaphore

- Ein Semaphor (griech. Zeichenträger) ist eine Datenstruktur des Systems mit zwei Operationen (nach *Dijkstra*)
  - ◆ P-Operation *(proberen; passeren; wait; down)*
    - ➤ wartet bis Zugang frei

```
void P( int *s )
{
    while( *s <= 0 ) /* warten */;
    *s= *s-1;
}
```

atomare Funktion

  - ◆ V-Operation *(verhogen; vrijgeven; signal; up)*
    - ➤ macht Zugang für anderen Prozess frei

```
void V( int *s )
{
    *s= *s+1;
}
```

atomare Funktion

- ähnlich zu lock/unlock, aber mächtiger

4 Gegenseitiges Warten

- Implementierung mit Hilfe eines Semaphors

```
int barrier = 0;
int result;
```

Thread 1

```
...
P(&barrier);
f1(result);
...
```

Thread 2

```
...
result = f2(...);
V(&barrier);
...
```

5 Unterstützung durch spezielle Maschinenbefehle

- Problem: Implementierung der lock- oder der P-Operation

```
void P ( int *s )
{
    if ( *s <= 0 ) {
        sleep();
    }
    *s= *s-1;
}
```

hier darf keine V-Operation dazwischen kommen! (lost-wakeup-Problem)

- Lösungsmöglichkeiten
  - Implementierung durch das Betriebssystem und keine Threadumschaltung während der Operation
    - ➤ hilft nicht bei parallelem Ablauf auf Multiprozessor
  - Atomarität kurzer kritische Abschnitte durch spezielle Maschinenbefehle, die den Zugriff anderer Prozessoren auf den Speicher kurzzeitig sperren
    - ➤ *Test-and-Set* Instruktion
    - ➤ *Compare-and-Swap* Instruktion

5 Unterstützung durch spezielle Maschinenbefehle (2)

- Test-and-set
  - Maschinenbefehl mit folgender Wirkung

```
bool test_and_set( bool *plock )
{
    bool initial= *plock;
    *plock= TRUE;
    return initial;
}
```

  - Ausführung ist atomar

➥ wenn zwei Threads den Befehl gleichzeitig ausführen wollen sorgt die Hardware dafür, dass ein Thread den Befehl vollständig zuerst ausführt

  - Ausgangssituation: `*plock == FALSE`
  - Ergebnis von `test_and_set`:
    - ➤ der Thread, der den Befehl zuerst ausführt, erhält `FALSE`, der andere `TRUE`

5 Unterstützung durch spezielle Maschinenbefehle (3)

- Kritische Abschnitte mit Test-and-Set Befehlen

```
bool lock= FALSE;
int counter = 0;
```

Prozess 0

```
while( 1 ) {
  while(
    test_and_set(&lock) ){};
  /* critical */
  counter ++;

  lock= FALSE;

  ... /* uncritical */
}
```

Prozess 1

```
while( 1 ) {
  while(
    test_and_set(&lock) ){};
  /* critical */
  printf("%d",counter);
  counter --;

  lock= FALSE;

  ... /* uncritical */
}
```

★ Code ist identisch und für mehr als zwei Prozesse geeignet

5 Unterstützung durch spezielle Maschinenbefehle (4)

- Koordinierung durch atomare Maschienenbefehle ist **nicht-blockierend**!
  - ➤ andere Prozessoren werden nur durch die kurzzeitige Bus-Sperre während des Test-and-Set Befehls aufgehalten
  - ➤ durch geschickte Wahl der Datenstrukturen und Zugriffsalgorithmen in der Anwendung kann man kritische Abschnitten, die durch locks gesichert werden müssen, minimieren oder ganz vermeiden

➥ extrem wichtig bei hochgradiger Parallelität

- ◆ Sperre kritischer Abschnitte durch Locks verhindert parallele Abläufe (noch harmlos bei zwei Threads, katastrophal bei 10 oder 100 Threads)
  - ➤ Problem: Nichtblockierende Zugriffsalgorithmen für komplexere Datenstrukturen(z. B. verkettete Listen) sind sehr kompliziert