LMU LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Prinzipien, Modelle und Algorithmen der Nebenläufigen Programmierung
Wintersemester 2019/20

Einleitung

Prof. Dr. David Sabel

LFE Theoretische Informatik

Letzte Änderung der Folien: 17. Oktober 2019

Übersicht

Warum ist Nebenläufige Programmierung interessant?

Unterschied: sequentiell – nebenläufig
Anwendungsbereiche nebenläufiger Programmierung
Schwierigkeiten bei nebenläufiger Programmierung

Sequentielle und nebenläufige Programmierung

Sequentielle Programme:

- Folge von (Maschinen-)Befehlen
- Befehle werden nacheinander ausgeführt
- Jeder Befehl ändert Hauptspeicher, Register, etc.
- Ausführung deterministisch

Sequentielle und nebenläufige Programmierung (2)

Nebenläufige (parallele) Programme:

- Mehrere Befehle werden gleichzeitig durchgeführt.
- gleichzeitig kann auch quasi-parallel bedeuten, d.h. in Realität sequentiell
- Ausführung i.a. nichtdeterministisch
- formalere Definition: später

Reale Systeme sind fast nie rein sequentiell

Beispiel Betriebssysteme:

- aus Benutzersicht: verschiedene Aufgaben werden gleichzeitig durchgeführt
- z.B. Drucken, Surfen, Mausbewegen, Musik hören (alles gleichzeitig)
- Umsetzung: ohne nebenläufige Programmierung undenkbar

Reale Systeme fast nie rein sequentiell (2)

Beispiel Web-Programming:

- Client-Server Modell: Client fordert Dienst beim Server an
- z.B. WWW-Server: Client fordert Webseite an
- Notwendig: Server bedient mehrere Clients gleichzeitig
- Absturz eines Clients, führt nicht zum Hängenbleiben anderer Clients

Nebenläufige Programmierung wird gebraucht

Auch auf Einprozessor-Systemen:

- Durch Nebenläufigkeit können Ressourcen manchmal besser genutzt werden
- Beispiel: 2 Aufgaben
  - Lange Berechnung
  - Große Datei schreiben
- Datei schreiben belastet nicht die CPU (Geschwindigkeit wird von der Festplatte / Bus bestimmt)
- Nebenläufigkeit: Wenn Festplatte busy, dann rechne.
- Nebenläufige Programmierung als Strukturierungsprinzip

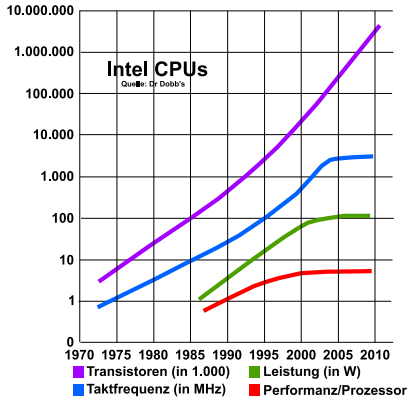
Nebenläufige Programmierung wird gebraucht (2)

Hartnäckige Probleme und große Probleminstanzen:

- Berechnung durch massive Parallelisierung / verteilte Berechnung
- Hochleistungsrechner, "GRID-Computing"

Nebenläufige Programmierung wird gebraucht (3)

Entwicklung des Hardwaredesigns:



- Taktfrequenzen am Rande ihre physikalischen Möglichkeiten
- Statt Takterhöhung Erhöhung der Prozessoranzahl
- Multicore-Architekturen
- Architektur verlangt angepasste (parallelisierte) Programme
- Herb Sutter: Multiprozessorsysteme verlangen einen Paradigmenwechsel für Programmiersprachen

Was macht nebenl. Programmierung so schwer?

- Parallelisierung sequentieller Algorithmen oft nicht offensichtlich.
- Hauptproblem: Die parallel ablaufenden Programme müssen korrekt zusammenarbeiten.
- Daten austauschen (Kommunikation)
- Aufeinander warten (Synchronisation)

Beispiel: Kontoführung

(Der Wert von `konto` vor der Ausführung sei 100)

Prozess P:	Prozess Q:
(P1) X:= konto;	(Q1) X := konto;
(P2) konto:= X-10;	(Q2) konto := X+10;

Beispiel: Kontoführung (2)

Prozess P:	Prozess Q:
(P1) X:= konto;	(Q1) X := konto;
(P2) konto:= X-10;	(Q2) konto := X+10;

Ausführung (P1),(P2),(Q1),(Q2)
konto = 100

Beispiel: Kontoführung (3)

Prozess P:	Prozess Q:
(P1) X:= konto;	(Q1) X := konto;
(P2) konto:= X-10;	(Q2) konto := X+10;

Ausführung (Q1),(P1),(P2),(Q2)
konto = 110

Beispiel: Kontoführung (4)

Prozess P:	Prozess Q:
(P1) X:= konto;	(Q1) X := konto;
(P2) konto:= X-10;	(Q2) konto := X+10;

Ausführung (Q1),(P1),(Q2),(P2)
konto = 90

Beispiel: Kontoführung (5)

Analyse ergibt:

Reihenfolge	Wert von konto danach
(P1),(P2),(Q1),(Q2)	100
(Q1),(Q2),(P1),(P2)	100
(P1),(Q1),(P2),(Q2)	110
(Q1),(P1),(P2),(Q2)	110
(P1),(Q1),(Q2),(P2)	90
(Q1),(P1),(Q2),(P2)	90

Fazit:

- Falsch programmiert.
- Traditionelles Debuggen funktioniert nicht
- Ergebnis kann von Ausführung zu Ausführung abweichen

Verbraucher-Erzeuger Probleme

Annahme: Es gibt (Daten) erzeugende Prozesse und (Daten) verbrauchende Prozesse

Verschiedene Varianten:

- Mehrere Verbraucher und ein Erzeuger
- Mehrere Erzeuger und ein Verbraucher
- Mehrere Erzeuger und mehrere Verbraucher

Gesucht:

Datenstrukturen um sicheren Austausch der Daten zwischen Verbrauchern und Erzeugern zu gewährleisten.

Deswegen: Nebenläufige Programmierung benötigt neue Datenstrukturen

Begriffe der nebenläufigen Programmierung

Definition und Abgrenzung wichtiger Begriffe

Begriffe der nebenläufigen Programmierung

Parallelität und Nebenläufigkeit

Paralleles Programm:

- Berechnung auf mehreren Prozessoren
- Gleichzeitig, überlappend

Nebenläufige Programmierung (engl. concurrent programming):

- Ausführung auf mehreren Prozessoren ein Szenario
- Potentiell sind alle Ausführungsreihenfolgen möglich.

Begriffe der nebenläufigen Programmierung (2)

Nebenläufige und verteilte Systeme

Verteiltes System:

- System aus mehreren Prozessoren (oft auch örtlich getrennt)
- Kein gemeinsamer Speicher
- Datenaustausch: Alleinig über Senden und Empfangen von Nachrichten.

Nebenläufiges System:

- Berechnung auf einem oder mehreren Prozessoren
- Gemeinsamer Speicher möglich

Begriffe der nebenläufigen Programmierung (3)

Prozesse und Threads

- **Prozess** wird in der Theorie verwendet (z.B. im π-Kalkül)
- Oft Unterscheidung anhand der Kontrolle:
  - Betriebssystem verwaltet **Prozesse**
  - Programme verwalten **Threads**
  - wobei Programm ist Betriebssystem-Prozess
- Wir trennen nicht strikt zwischen beiden Begriffen.
- **Multi-Threading** = Eigenschaft von Programmiersprachen: Konstrukte zu Verwaltung von Threads
- Verwandt: **Multi-Tasking** = Möglichkeit mehrere Aufgaben quasi-parallel durchzuführen

Begriffe der nebenläufigen Programmierung (4)

Message-Passing- und Shared-Memory Modell

Message-Passing-Modell:

- Prozesse haben keinen gemeinsamen Speicher.
- Kommunikation **ausschließlich** über Senden und Empfangen von Nachrichten.
- Passt zu verteilten Systemen

Shared-Memory-Modell:

- Prozesse verwenden auch gemeinsamen Speicher.
- Kommunikation findet direkt über den gemeinsamen Speicher statt.

Begriffe der nebenläufigen Programmierung (4)

Synchrone und asynchrone Kommunikation

Synchron:

- Kommunikation zwischen Sender und Empfänger geschieht "ohne Zeit"
- Beispiel: Telefon

Asynchron:

- Senden und Empfangen muss nicht gleichzeitig stattfinden.
- Oft natürlicher.
- Beispiel: Briefe oder Emails schreiben ist asynchron.