

Verteilte Systeme

Wintersemester 2000/2001
Universität Trier
Peter Sturm

Abstract

In einem verteilten System kommunizieren mehrere Prozesse durch den Austausch von Nachrichten. Ausführungsplattform sind dabei viele, über ein Kommunikationsnetz verbundene Computer. Die Vorteile einer verteilten Realisierung von Systemsoftware und Anwendungsprogrammen sind:

- Inkrementelle Erweiterbarkeit
- Leistungssteigerung durch Parallelarbeit
- Erhöhung der Ausfallsicherheit durch Redundanz

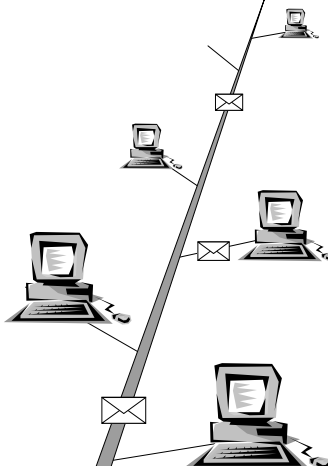
Die Realisierung dieser Systeme wird jedoch durch eine Reihe prinzipieller Beschränkungen wie z.B. dem Fehlen eines globalen Zeitbegriffs und einer globalen Systemsicht erschwert. In dieser Vorlesung werden die Möglichkeiten und Grenzen verteilter Systeme vorgestellt.

Vorlesungsinhalte:

- Eigenschaften von Computernetzen
- Kommunikationsprotokolle (IPv4, IPv6, ...)
- Verteilte Algorithmen
- Fehlertoleranz
- Lastverteilung
- RPC und Client/Server-Systeme
- Verteilte Ausführungsplattformen (PVM, MPE, DCOM, CORBA, ...)
- Middleware
- Alternative Ansätze (Verteilter gemeinsamer Speicher, ...)

Was ist ein verteiltes System?

- Rechnernetz
 - Mono- und Multiprozessorsysteme
 - Kommunikationsnetzwerk
- Kein gemeinsamer Speicher !
- Senden und Empfangen von Daten
 - Nachrichten
- Eigenschaften
 - Inkrementelle Erweiterbarkeit
 - Hohe Nominalleistung



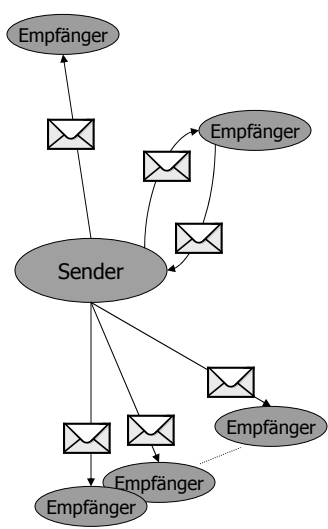
Wieviele Rechner mit jeweils 100 MIPS bilden ein Rechnernetz mit einer scheinbaren Instruktionszeit von 1 Pikosekunde (10^{-12} s)?

Was würde ein Monoprozessor mit einer solchen Taktfrequenz kosten?

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 4

Nachrichtenbasierte Kommunikation

- „Größe“ von Sender und Empfänger
 - Prozeß
 - Thread
 - Komponente (DCOM, Corba, JavaBean, ...)
 - Objekt
- Nachricht
 - Untypisiert (n Bytes)
 - Enthält Typinformation
 - Enthält ausschließlich Daten (Data Shipping)
 - Enthält auch Code (Data Shipping)
- Vielfältige Interaktionsmuster
 - Mitteilung, Auftrag
 - Synchron, Asynchron
 - Direkt oder Indirekt (Port, Mailbox, ...)
 - Unicast, Multicast, Broadcast
 - ...



Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 5

Vorteile und herausfordernde Probleme

Vorteile

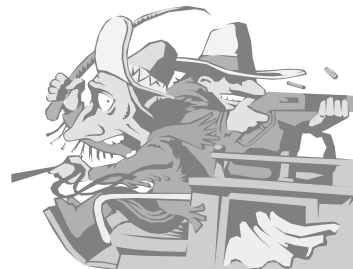
- Leistungssteigerung durch Parallelarbeit
- Erhöhte Verfügbarkeit
- Inhärent verteilte Anwendungen

Probleme

- Konsistente globale Zustände
- Fehlen einer globalen Uhr
- Komplexität

Eigenschaften

- Übertragungsgeschwindigkeit ist endlich
- Nachrichten sind bei der Ankunft bereits veraltet



Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001

Folie 6

Vorteil 1: Leistungssteigerung durch Parallelarbeit

Erzielbarer Leistungsgewinn

- Rechenzeit auf Monoprozessor: $T_1(n)$
- Rechenzeit auf k Monoprozessoren: $T_k(n)$
- Maximaler Speedup: $\frac{T_1(n)}{T_k(n)} \leq k$

Wie definiert man die Rechenzeit bei k Monoprozessoren?

Warum ist der Speedup meist ein gutes Stück kleiner als k?

Partitionierung der Aufgabe

- Möglichst hoher Rechenbedarf innerhalb einer Partition
- Möglichst geringer Kommunikationsbedarf zwischen Partitionen

Genügend Rechenlast

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001

Folie 7

Beispiel: Verteiltes Raytracing

Identische Szenenbeschreibung auf allen Rechnern

- u.U. umfangreiche Daten
- Zentraler Ursprung
- Effiziente Verteilung

Sinnvolle Partitionierungsansätze?

Erreichbarer Speedup?

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8

Partitionierung entscheidet über Speedup

Vergleichbarer Rechenaufwand in jedem Abschnitt

Speedup k prinzipiell erreichbar

Wie ermittelt man eine geeignete Partitionierung?

Starkes Ungleichgewicht beim Rechenaufwand

Unter Umständen Speedup < 1

- Zusätzlicher Initialisierungsaufwand
- Zusammenfassen der Einzelresultate

| | |
|-----------|-----------|
| Rechner 1 | Rechner 2 |
| | |
| Rechner 3 | Rechner 4 |
| | |

| | |
|--|--|
| | |
| | |

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 9

Vorteil 2: Erhöhte Verfügbarkeit (Zuverlässigkeit)

Verteiltes System = Redundanz

- Rechnern
- Kommunikationsnetzen

Grundidee

- Einzelne Komponente k fällt mit einer Wahrscheinlichkeit p aus
- Ausfallwahrscheinlichkeit bei n Replikaten von k:

$$p^n < p$$

Voraussetzung für $p^n < p$?

Kunde (Client)
 Replikat 1 ehemals Replikat 2 Replikat 3

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 10

Beispiel: Zuverlässiger Bank-Server

Zustandsändernde Transaktionen

Realisierung 1:
Wir vertrauen der Software!

Realisierung 2:
Toleranz gegenüber Software-Fehlern?

Replikat n
 Auftrag → Reply ←
 Zustandsänderungen

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 11

Vorteil 3: Inhärent verteilte Anwendungen

Räumlich verteilte Partner

Trivial: Asymmetrische Lösung

- Zentraler Server
- „Dump Clients“

Vor- und Nachteile?

Symmetrische Lösung

- Zustände a priori verteilt
- Nebenläufige Kontrollflüsse isolierbar

Vor- und Nachteile?

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 12

Probleme

Endliche Ausdehnungsgeschwindigkeit der Information

$t_{\text{Send}} < t_{\text{Receive}}$

- Zeitsynchronisation schwierig
- Veraltete Information

Eigenschaften des Kommunikationsnetzwerkes

- Schwankungen in der Latenz
- Verluste, Vertauschungen, Duplikate

Implizite und explizite Abhängigkeiten

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 13

Problem: Konsistenz globaler Zustände

Beispiel: Terminierung in einem verteilten Aktorensystem

Aktoren kommunizieren nur durch Nachrichten

Zustände eines Aktoren

- Aktiv
- Passiv

Was heißt "Terminierung des verteilten Aktorensystems"?

Lösungsvorschlag?

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 14

Problem: Fehlen einer globalen Zeit

Wie schon Einstein sagte: „Alles ist relativ“

Bedeutung der Zeit

- Vergleichbarkeit und Ordnung von Ereignissen
- Vielfach versteckte Abhängigkeiten

Gleichzeitigkeit

Konsequenzen

- Naiv: Neue Physik muß her
- Pragmatisch: Hinreichend präzise Uhrensynchronisation
- Theoretisch: Schwächere Zeitbegriffe (Kausalität)

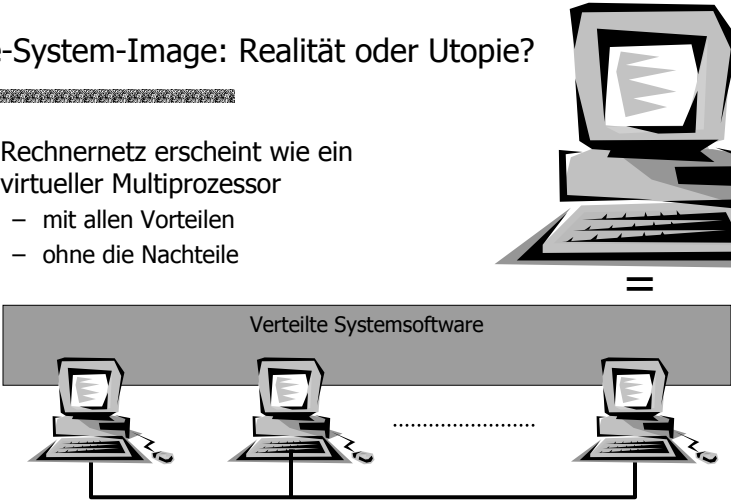
Warum würde es bei einer gemeinsamen globalen Zeit z.B. die Problematik konsistenter verteilter Zustände nicht geben?

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 15

Single-System-Image: Realität oder Utopie?

Rechnernetz erscheint wie ein virtueller Multiprozessor

- mit allen Vorteilen
- ohne die Nachteile




Leistungen der verteilten Systemsoftware?

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 16

Aktuelle Tendenzen

Nachrichtenlaufzeit war bisher dominant

- Signifikante Verzögerungen der beteiligten Prozesse
- Leistungssteigerungen schwierig
- Probleme verteilter Systeme unmittelbar spürbar



Ultraschnelle Netze

Der Hauptspeicher des Nachbarrechners ist näher als meine lokale Platte?

- Probleme verteilter Systeme bis zu einer gewissen Ausdehnung vernachlässigbar
- Cluster

Component-Ware

- DCOM, Corba, ...

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 17

Zusammenfassung

Gute Gründe dafür

- Leistungssteigerung
- Zuverlässigkeit
- Natürliches Modell

„Dagegen“-Gründe sind lösbar

- Konzepte
- Pragmatische Ansätze
- Unterstützung
- Vereinfachende Modelle

Große Zukunft



Begleitende Literatur

G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg
Distributed Systems - Concepts and Design
2. Auflage, Addison-Wesley, 1994

A. Silberschatz, P.B. Galvin
Operating System Concepts
5. Auflage, Addison-Wesley, 1997

A.S. Tanenbaum
Distributed Operating Systems
Prentice Hall, 1995

Spezialliteratur im Verlauf der Vorlesung