Verteilte Systeme

8. Verteilte Terminierung

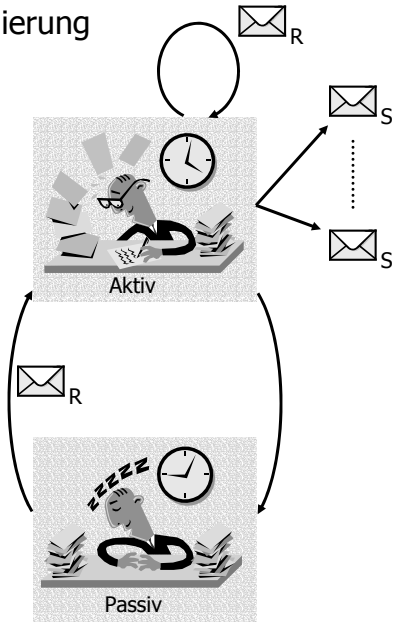
Verteilte Terminierung

- Im sequentiellen Fall stellt sich das Problem nicht
- Zwei Terminierungsvarianten
- Kommunikationsorientierte Terminierung
  - Beispiel
    - Alle Prozesse sind passiv
    - Keine Nachrichten sind unterwegs
  - Klares Berechnungsmodell
    - Problem asynchrone Ereignisse
      - z.B. Interrupt
- Ergebnisorientierte Terminierung
  - Prädikat über den Zustand des Gesamtsystems ist erfüllt
  - Achtung: Nicht jedes Prädikat geht

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.2

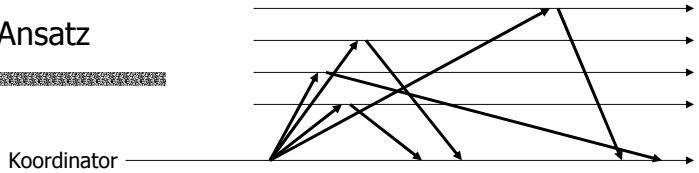
Kommunikationsorientierte Terminierung

- Unterscheidung
  - Basisnachrichten
  - Kontrollnachrichten
- Prozesse sind aktiv oder passiv
- Actor-Modell
  - Kontrollnachrichten machen einen passiven Prozeß nicht aktiv
- Terminierung
  - Alle Prozesse sind passiv
  - Keine Basisnachrichten mehr unterwegs



Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.3

Ein naiver Ansatz

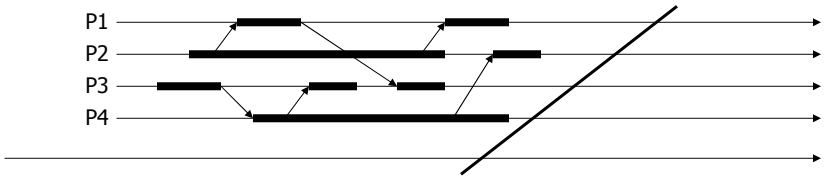


- Koordinator sendet Multicast an beteiligten Prozesse
  - **`Multicast(G,STATE)`**
- Prozesse senden Unicast an Koordinator:
  - Zustand (aktiv/passiv)
  - Anzahl versendeter Nachrichten
  - Anzahl empfangener Nachrichten
  - **`Unicast(Koor,state,m_sent,m_recv)`**
- Terminierung

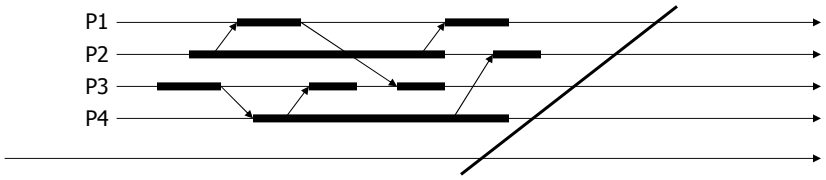
$$\left(\forall_{p\in G} : state_p = passiv\right) \wedge \left(\sum_{p\in G} m\_sent_p = \sum_{p\in G} m\_recv_p\right)$$

Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.4

Funktioniert ... ?



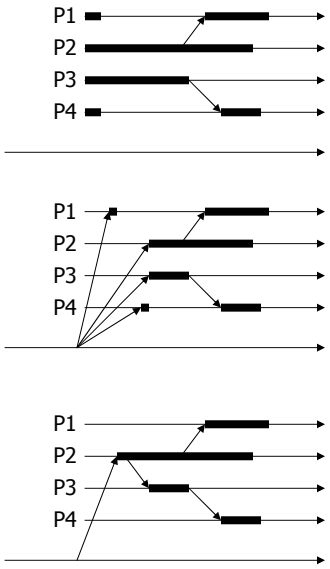
Funktioniert ... ?!



- Terminiert?
  - P1: Passiv, 2 empfangen und 1 gesendet
  - P2: Passiv, 1 empfangen und 2 gesendet
  - P3: Passiv, 2 empfangen und 1 gesendet
  - P4: Passiv, 1 empfangen und 2 gesendet
- Alle passiv und (6 empfangen = 6 gesendet)
- Terminiert!

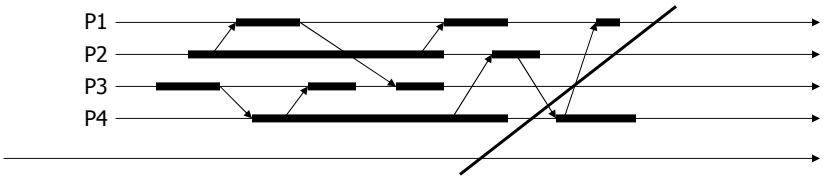
Am Anfang war ...

- Wie startet eine Berechnung im Actor-Modell
  - Beispiel war nicht korrekt
  - Prozesse werden „aus dem Nichts heraus" aktiv
- Verschiedene Lösungen
- Jeder Prozeß beginnt aktiv
- „Gott" sendet Geburtsnachricht an alle
  - Empfangszähler beginnt mit -1
- Startnachricht an einen Prozeß
  - Zählerstände?



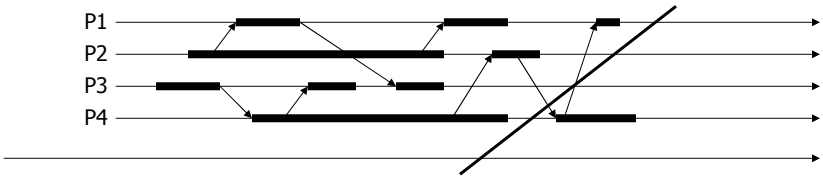
Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.7

Funktioniert ... ?!?



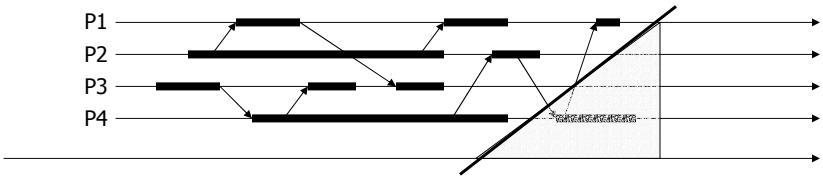
Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.8

Funktioniert ... Nicht !



- Terminiert?
  - P1: Passiv, 3 empfangen und 1 gesendet
  - P2: Passiv, 1 empfangen und 3 gesendet
  - P3: Passiv, 2 empfangen und 1 gesendet
  - P4: Passiv, 1 empfangen und 2 gesendet
- Alle passiv und (7 empfangen = 7 gesendet)
- Terminiert!?

Bermuda-Dreieck der verteilten Terminierung



- „Schiefe Bild" des Koordinators inkonsistent
- Nachricht aus der Zukunft
- Korrekt, wenn Multicast zum selben Zeitpunkt bei allen Prozessen ankommt
  - Senkrechte Linie
- Gefährlich sind Nachrichten zwischen Anfang und Ende der Abfragewelle

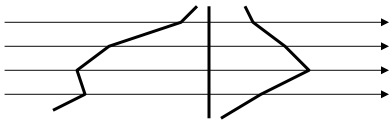
Doppelzählverfahren

- Koordinator führt zwei Abfragen durch
  - Zweite Welle erst beginnen, wenn alle Antworten der ersten Welle beim Koordinator eingetroffen sind
- Terminierung

$$\left(\forall_{p \in G} : state_{p,1} = passiv \wedge state_{p,2} = passiv \right) \wedge$$

$$\left(\sum_{p \in G} m\_sent_{p,1} = \sum_{p \in G} m\_recv_{p,1} = \sum_{p \in G} m\_sent_{p,2} = \sum_{p \in G} m\_recv_{p,2} \right)$$

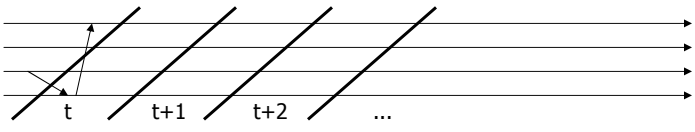
- Anschaulicher Beweis



Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.11

Zeitzonenverfahren

- Basiert auf logischer Uhr (z.B. Lamportzeit)
- Realisierung
  - Jeder Prozeß besitzt logische Uhr
  - Jede Basisnachricht erhält Zeitstempel
  - Nur die Abfragen des Koordinators erhöhen Uhrzeit
- Prozesse erkennen Nachrichten aus der Zukunft
  - Prozeß setzt Flag und sorgt dafür, daß die nachfolgende Welle ungültig wird
- Was gewinnen wir gegenüber dem Doppelzählverfahren?



Verteilte Systeme, Wintersemester 2000/2001 Folie 8.12

Weitere Optimierungen

- Wann sendet ein Prozeß seinen Zustand?

Die Vektormethode

- Jeder Prozeß P_k besitzt lokalen Vektor $V_k[n]$ (initial 0)
- P_k sendet Basisnachricht an P_m:

```
VC_k[m]:=VC_k[m]+1;
```

- P_k empfängt Basisnachricht von P_m:

```
VC_k[k]:=VC_k[k]-1;
```

- Kontrollvektor KV besucht alle Prozesse
- KV besucht P_k:

```
KV := KV + VC_k;
VC_k:= (0,...,0);
```

$$VC_2 = \begin{pmatrix} +1 \\ -1 \\ +1 \\ +1 \end{pmatrix}$$

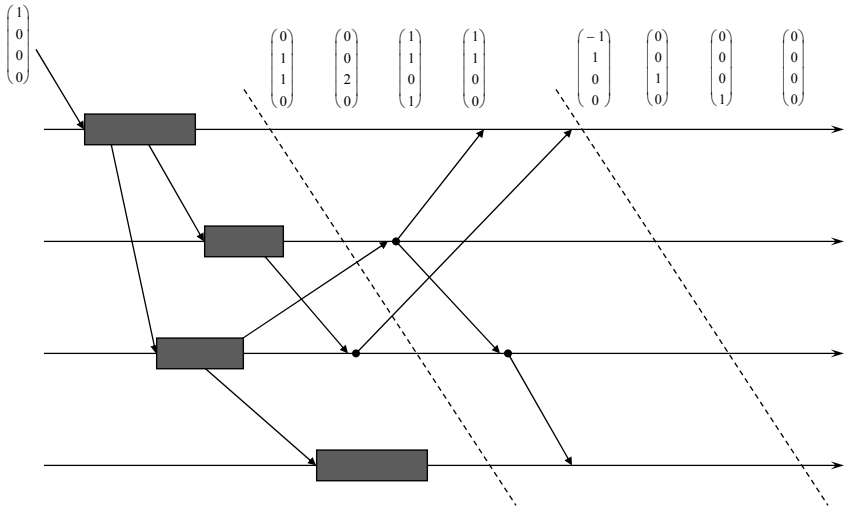
Terminierungsbedingung

Prozeßsystem terminiert

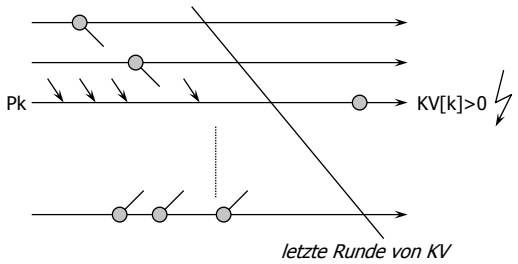
$\Leftrightarrow$

KV wird Nullvektor

Ein Beispiel



Korrektheit



- Invariante:

$$V_1[k] + \mathsf{K} + V_k[k] + \mathsf{K}\ V_n[k] + KV[k]$$

  Anzahl der unterwegs befindlichen Nachrichten für Prozeß k

- Behauptung: KV Nullvektor $\Leftrightarrow$ Prozeßsystem terminiert
  - Prozeßsystem terminiert $\Rightarrow$ KV Nullvektor
  - KV Nullvektor $\Rightarrow$ Prozeßsystem terminiert
    - Widerspruchsbeweis: KV Nullvektor, aber keine Terminierung

Nachlaufender Kontrollvektor