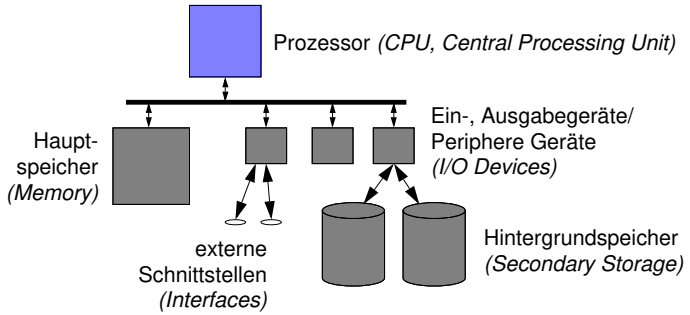
G Verklemmungen

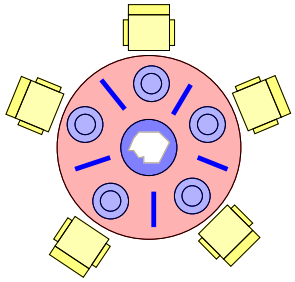
- Einordnung:



  - Verhalten von Aktivitätsträgern / Prozessen

G.1 Motivation

- Beispiel: die fünf Philosophen am runden Tisch



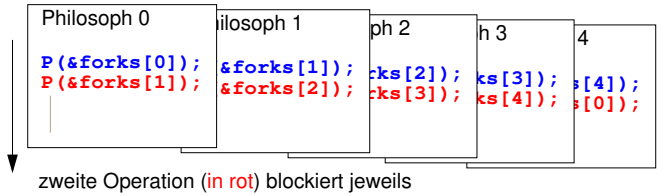
  - Philosophen denken oder essen
    "The life of a philosopher consists of an alternation of thinking and eating." (Dijkstra, 1971)
  - zum Essen benötigen sie zwei Gabeln, die jeweils zwischen zwei benachbarten Philosophen abgelegt sind

- Philosophen können verhungern, wenn sie sich „dumm“ anstellen.

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

G.1 Motivation (2)

- Problem der Verklemmung *(Deadlock)*
  - alle Philosophen nehmen gleichzeitig die linke Gabel auf und versuchen dann die rechte Gabel aufzunehmen



zweite Operation (in rot) blockiert jeweils

  - System ist **verklemmt:** Philosophen warten alle auf ihre Nachbarn

- Problemkreise:
  - Vermeidung und Verhinderung von Verklemmungen
  - Erkennung und Erholung von Verklemmungen

G.2 Betriebsmittelbelegung

- Betriebsmittel
  - CPU, Drucker, Geräte (Platten, CD-ROM, Floppy, Audio, usw.)
  - nur elektronisch vorhandene Betriebsmittel der Anwendung oder des Betriebssystems, z.B. Gabeln der Philosophen

- Unterscheidung von Typ und Instanz
  - Typ definiert ein Betriebsmittel eindeutig
  - Instanz ist eine Ausprägung des Typs
    (die Anwendung benötigt eine Instanz eines best. Typs, egal welche)
    - **CPU:** Anwendung benötigt eine von mehreren gleichartigen CPUs
    - **Drucker:** Anwendung benötigt einen von mehreren gleichen Druckern (falls Drucker nicht austauschbar und gleichwertig, so handelt es sich um verschiedene Typen)
    - **Gabeln:** jede Gabel ist ein eigener Betriebsmitteltyp

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

1 Belegung

- Belegung erfolgt in drei Schritten
  - Anfordern des Betriebsmittels
    - blockiert evtl. falls Betriebsmittel nur exklusiv benutzt werden kann
    - **Gabel:** nur exklusiv
    - **Bildschirmausgabe:** exklusiv oder nicht-exklusiv
  - Nutzen des Betriebsmittels
    - **Gabel:** Philosoph kann essen
    - **Drucker:** Anwendung kann drucken
  - Freigeben des Betriebsmittels
    - **Gabel:** Philosoph legt Gabel wieder zwischen die Teller

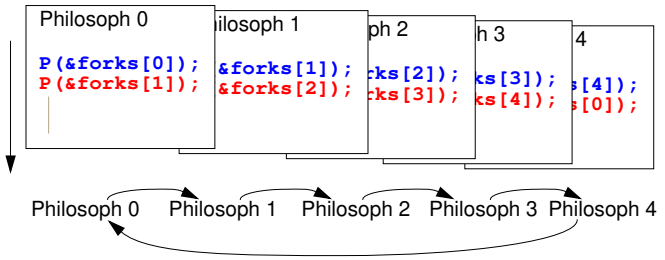
2 Voraussetzungen für Verklemmungen

- Vier notwendige Bedingungen
  - *Exklusive Belegung*
    Mindestens ein Betriebsmitteltyp muss nur exklusiv belegbar sein.
  - *Nachforderungen von Betriebsmittel möglich*
    Es muss einen Prozess geben, der bereits Betriebsmittel hält, und ein neues Betriebsmittel anfordert.
  - *Kein Entzug von Betriebsmitteln möglich*
    Betriebsmittel können nicht zurückgefordert werden bis der Prozess sie wieder freigibt.
  - *Zirkuläres Warten*
    Es gibt einen Ring von Prozessen, in dem jeder auf ein Betriebsmittel wartet, das der Nachfolger im Ring besitzt.

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

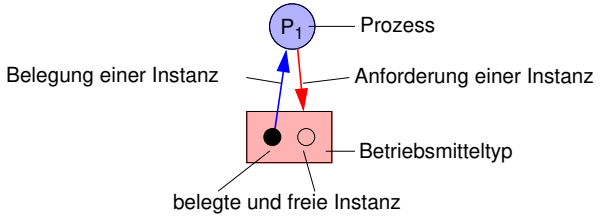
2 Voraussetzungen für Verklemmung (2)

- Beispiel: fünf Philosophen
  - Exklusive Belegung: **ja**
  - Nachforderungen von Betriebsmittel möglich: **ja**
  - Entzug von Betriebsmitteln: **nicht vorgesehen**
  - Zirkuläres Warten: **ja**



3 Betriebsmittelgraphen

- Veranschaulichung der Belegung und Anforderung durch Graphen (nur exklusive Belegungen)

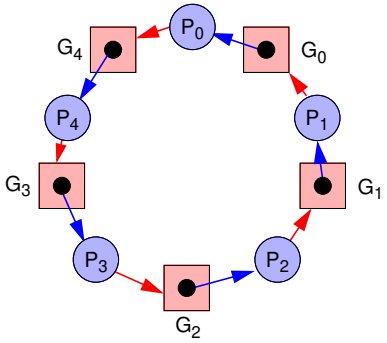


- Regeln:
  - kein Zyklus im Graph → keine Verklemmung
  - Zyklus im Graph → Verklemmung
  - nur jeweils eine Instanz pro Betriebsmitteltyp und Zyklus → Verklemmung

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

3 Betriebsmittelgraphen (2)

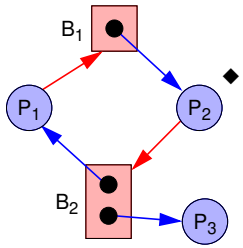
- Beispiel: fünf Philosophen



◆ Zyklus und jeder Betriebsmitteltyp hat nur eine Instanz → Verklemmung

3 Betriebsmittelgraphen (3)

- Beispiel mit Zyklus und ohne Verklemmung



◆ Prozess 3 kann seine Instanz vom Betriebsmitteltyp B_2 wieder zurückgeben und den Zyklus damit auflösen

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

G.3 Vermeidung von Verklemmungen

- Ansatz: Vermeidung der notwendigen Bedingungen für Verklemmungen
  - ◆ *Exklusive Belegung:*
    oft nicht vermeidbar
  - ◆ *Nachforderungen von Betriebsmittel möglich:*
    alle Betriebsmittel müssen auf einmal angefordert werden
    - ungenutzte aber belegte Betriebsmittel vorhanden
    - Aushungerung möglich: ein anderer Prozess hält immer das nötige Betriebsmittel belegt

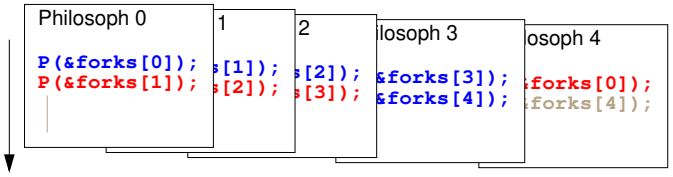
G.3 Vermeidung von Verklemmungen (2)

- ◆ *Kein Entzug von Betriebsmitteln möglich:*
  Entzug von Betriebsmitteln erlauben
  - bei neuer Belegung werden alle gehaltenen Betriebsmittel freigegeben und mit der neuen Anforderung zusammen wieder angefordert
  - während ein Prozess wartet, werden seine bereits belegten Betriebsmittel anderen Prozessen zur Verfügung gestellt
  - möglich für CPU oder Speicher jedoch nicht für Drucker, Bandlaufwerke oder ähnliche
- ◆ *Zirkuläres Warten:* Vermeidung von Zyklen
  - Totale Ordnung auf Betriebmitteltypen

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

G.3 Vermeidung von Verklemmungen (3)

- Anforderungen nur in der Ordnungsreihenfolge erlaubt

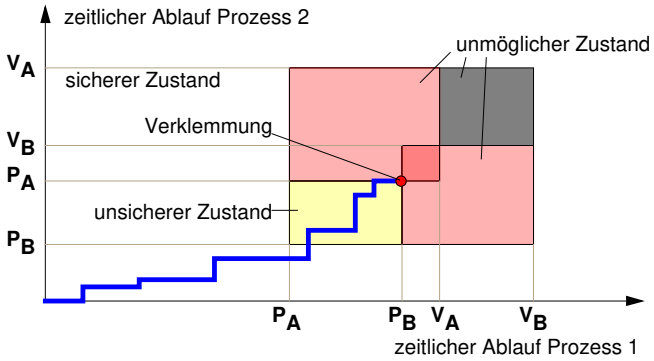


z.B. Gabeln: geordnet nach Gabelnummer

- Bei neuer Anforderung wird geprüft, ob letzte Anforderung kleiner bzgl. der totalen Ordnung war (Instanzen gleichen Typs müssen gleichzeitig angefordert werden); sonst: Abbruch mit Fehlermeldung
- Philosoph 4 bekäme eine Fehlermeldung, wenn er in der obigen Situation zuerst Gabel 4 und dann Gabel 0 anfordert: Rückgabe und neuer Versuch

G.4 Verhinderung von Verklemmungen

- Annahme: es ist bekannt, welche Betriebsmittel ein Prozess brauchen wird (hier je zwei binäre Semaphore A und B)
  - Betriebssystem überprüft System auf unsichere Zustände



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

1 Sichere und unsichere Zustände

- Sicherer Zustand
  - Es gibt eine Sequenz, in der die vorhandenen Prozesse abgearbeitet werden können, so dass ihre Anforderungen immer befriedigt werden können.
  - Sicherer Zustand erlaubt immer eine verklemmungsfreie Abarbeitung
- Unsicherer Zustand
  - Es gibt keine solche Sequenz.
  - Verklemmungszustand ist ein unsicherer Zustand
  - Ein unsicherer Zustände führt zwangsläufig zur Verklemmung, wenn die Prozesse ihre angenommenen Betriebsmittel wirklich anfordern bevor sie von anderen Prozessen wieder freigegeben werden.

1 Sichere und unsichere Zustände (2)

- Beispiel:
  - 12 Magnetbandlaufwerke vorhanden
  - P_0 braucht (bis zu) 10 Laufwerke
  - P_1 braucht (bis zu) 4 Laufwerke
  - P_2 braucht (bis zu) 9 Laufwerke
  - Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 2 Laufwerke
  - Zustand sicher?
  - Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 3 Laufwerke
  - Zustand sicher?

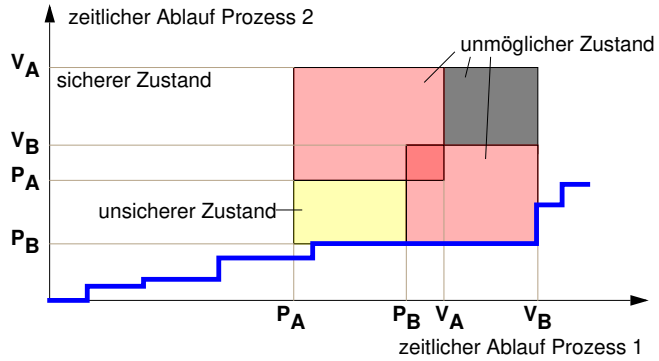
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Sichere und unsichere Zustände (3)

- Verhinderung von Verklemmungen
  - Verhinderung von unsicheren Zuständen
  - Anforderungen blockieren, falls sie in einen unsicheren Zustand führen würden
- Beispiel von Folie H.16:
  - Zustand: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 2 Laufwerke
  - P_2 fordert ein zusätzliches Laufwerk an
  - Belegung würde in unsicheren Zustand führen: P_2 muss warten
- ▲ Verhinderung von unsicheren Zuständen schränkt Nutzung von Betriebsmitteln ein
  - verhindert aber Verklemmungen

1 Sichere und unsichere Zustände (4)

- Beispiel von Folie H.14:

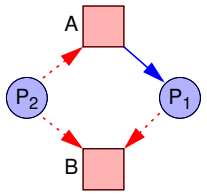


  - Prozess 2 darf P_B nicht durchführen und muss warten

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

2 Betriebsmittelgraph

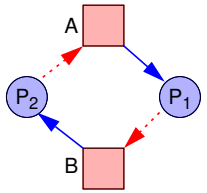
- Annahme: eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - Einsatz von Betriebsmittelgraphen zur Erkennung unsicherer Zustände



  - zusätzliche Kanten zur Darstellung möglicher Anforderungen (Ansprüche, *Claims*)
  - Anspruchskanten werden gestrichelt dargestellt und bei Anforderung in Anforderungskanten umgewandelt
  - Anforderung und Belegung von B durch P_2 führt in einen unsicheren Zustand (siehe Beispiel von Folie H.14)

2 Betriebsmittelgraph (2)

- Erkennung des unsicheren Zustands an Zyklen im erweiterten Betriebsmittelgraph
  - Anforderung und Belegung von B durch P_2 führt zu:



  - Zyklenerkennung hat einen Aufwand von $O(n^2)$
- ▲ Betriebsmittelgraph nicht anwendbar bei mehreren Instanzen eines Betriebsmitteltyps

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

3 Banker's Algorithm

- Erkennung unsicherer Zustände bei mehreren Instanzen pro Betriebsmitteltyp
- Annahmen:
  - m Betriebsmitteltypen; Typ i verfügt über b_i Instanzen
  - n Prozesse
- Definitionen
  - B ist der Vektor $(b_1, b_2, ... b_m)$ der vorhandenen Instanzen
  - R ist der Vektor $(r_1, r_2, ... r_m)$ der noch verfügbaren Restinstanzen
  - C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, ... c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j
- Es gilt: $\sum_{j=1}^{n} c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \le i \le m$

3 Banker's Algorithm (2)

- Weitere Definitionen
  - M_j sind die Vektoren $(m_{j,1}, m_{j,2}, ... m_{j,m})$ der bekannten maximalen Belegung der Betriebsmittel 1 bis m durch den Prozess j
  - zwei Vektoren A und B stehen in der Relation A ≤ B, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
    z.B. $(1, 2, 3) \le (2, 2, 4)$

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

3 Banker's Algorithm (3)

- Algorithmus
  1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
  2. wähle einen nicht markierten Prozess j, so dass $M_j - C_j \le R$
     (Prozess ist ohne Verklemmung ausführbar, selbst wenn er alles anfordert, was er je brauchen wird)
  3. falls ein solcher Prozess j existiert, addiere C_j zu R, markiere Prozess j und beginne wieder bei Punkt (2)
     (Bei Terminierung wird der Prozess alle Betriebsmittel freigeben)
  4. falls ein solcher Prozess nicht existiert, terminiere Algorithmus
  - Sind alle Prozesse markiert, ist das System in einem sicheren Zustand.

4 Beispiel

- Beispiel:
  - 12 Magnetbandlaufwerke vorhanden
  - P_0 braucht (bis zu) 10 Laufwerke
  - P_1 braucht (bis zu) 4 Laufwerke
  - P_2 braucht (bis zu) 9 Laufwerke
  - Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 3 Laufwerke
- Belegung der Datenstrukturen
  - $m = 1$
  - $n = 3$
  - $B = (12)$
  - $R = (2)$
  - $C_0 = (5)$, $C_1 = (2)$, $C_2 = (3)$
  - $M_0 = (10)$, $M_1 = (4)$, $M_2 = (9)$

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

4 Beispiel (2)

- Anwendung des Banker's Algorithm
  - wähle einen nicht markierten Prozess *j*, so dass $M_j - C_j \leq R$
    → P_1
  - $R := R + C_1$ → $R = (4)$
  - wähle einen nicht markierten Prozess *j*, so dass $M_j - C_j \leq R$
    → kein geeigneter Prozess vorhanden
  - Zustand ist unsicher

G.5 Erkennung von Verklemmungen

- Systeme ohne Mechanismen zur Vermeidung oder Verhinderung von Verklemmungen
  - Verklemmungen können auftreten
  - Verklemmung sollte als solche erkannt werden
  - Auflösung der Verklemmung sollte eingeleitet werden (Algorithmus nötig)

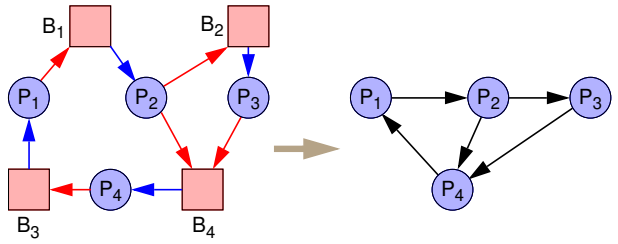
1 Wartegraphen

- Annahme: nur eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - Einsatz von Wartegraphen, die aus dem Betriebsmittelgraphen gewonnen werden können

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

1 Wartegraphen (2)

- Wartegraphen
  - Betriebsmittel und Kanten werden aus Betriebsmittelgraph entfernt
  - zwischen zwei Prozessen wird eine „wartet auf"-Kante eingeführt, wenn es Kanten vom ersten Prozess zu einem Betriebsmittel und von diesem zum zweiten Prozess gibt



Betriebsmittelgraph Wartegraph

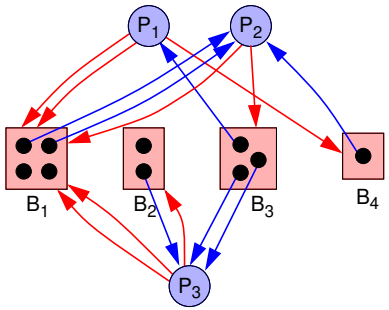
1 Wartegraphen (3)

- Erkennung von Verklemmungen
  - Wartegraph enthält Zyklen: System ist verklemmt
- ▲ Betriebsmittelgraph nicht für Systeme geeignet, die mehrere Instanzen pro Betriebsmitteltyp zulassen

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

2 Erkennung durch graphische Reduktion

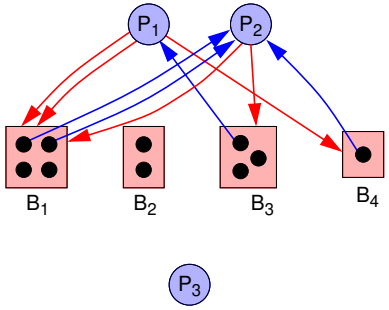
- Betriebsmittelgraph des Beispiels



- ◆ Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur P_3 möglich
- ◆ Löschen aller Kanten des Prozesses

2 Erkennung durch graphische Reduktion (2)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (1. Reduktion)

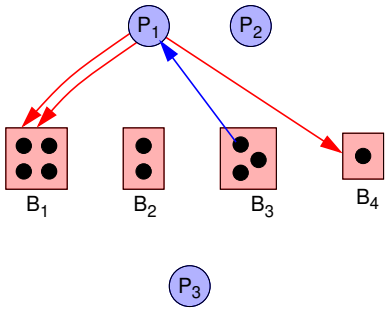


- ◆ Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur P_2 möglich
- ◆ Löschen aller Kanten des Prozesses

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

2 Erkennung durch graphische Reduktion (3)

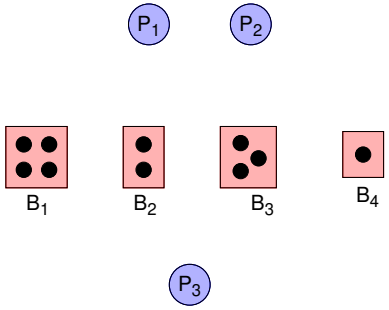
- Betriebsmittelgraph des Beispiels (2. Reduktion)



- ◆ Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: P_1
- ◆ Löschen aller Kanten des Prozesses

2 Erkennung durch graphische Reduktion (4)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (3. Reduktion)



- ◆ es bleiben keine Prozesse mit Anforderungen übrig ➔ keine Verklemmung
- ◆ übrig bleibende Prozesse sind verklemmt und in einem Zyklus

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

3 Erkennung durch Reduktionsverfahren

- Annahmen:
  - m Betriebsmitteltypen; Typ i verfügt über b_i Instanzen
  - n Prozesse
- Definitionen
  - B ist der Vektor $(b_1, b_2, \ldots b_m)$ der vorhandenen Instanzen
  - R ist der Vektor $(r_1, r_2, \ldots r_m)$ der noch verfügbaren Restinstanzen
  - C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, \ldots c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j
- Es gilt: $\sum_{j=1}^{n} c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \le i \le m$

3 Erkennung durch Reduktionsverfahren (2)

- Weitere Definitionen
  - A_j sind die Vektoren $(a_{j,1}, a_{j,2}, \ldots a_{j,m})$ der aktuellen Anforderungen durch den Prozess j
  - zwei Vektoren A und B stehen in der Relation A ≤ B, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
- Algorithmus
  1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
  2. wähle einen Prozess j, so dass $A_j \le R$
     (Prozess ist ohne Verklemmung ausführbar)
  3. falls ein solcher Prozess j existiert, addiere C_j zu R, markiere Prozess j und beginne wieder bei Punkt (2)
     (Bei Terminierung wird der Prozess alle Betriebsmittel freigeben)
  4. falls ein solcher Prozess nicht existiert, terminiere Algorithmus
  - alle nicht markierten Prozesse sind an einer Verklemmung beteiligt

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

3 Erkennung durch Reduktionsverfahren (3)

- Beispiel
  - $m = 4$; $B = (4, 2, 3, 1)$
  - $n = 3$; $C_1 = (0, 0, 1, 0)$; $C_2 = (2, 0, 0, 1)$; $C_3 = (0, 1, 2, 0)$
  - daraus ergibt sich $R = (2, 1, 0, 0)$
  - Anforderungen der Prozesse lauten:
    $A_1 = (2, 0, 0, 1)$; $A_2 = (1, 0, 1, 0)$; $A_3 = (2, 1, 0, 0)$
- Ablauf
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 3, da $A_3 \le R$; markiere Prozess 3
  - Addiere C_3 zu R: neues $R = (2, 2, 2, 0)$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 2, da $A_2 \le R$; markiere Prozess 2
  - Addiere C_2 zu R: neues $R = (4, 2, 2, 1)$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 1, da $A_1 \le R$; markiere Prozess 1
  - kein Prozess mehr unmarkiert: keine Verklemmung

4 Einsatz der Verklemmungserkennung

- Wann sollte Erkennung ablaufen?
  - Erkennung ist aufwendig (Aufwand $O(n^2)$ bei Zyklenerkennung)
  - Häufigkeit von Verklemmungen eher gering
  - zu häufig: Verschwendung von Ressourcen zur Erkennung
  - zu selten: Betriebsmittel werden nicht optimal genutzt, Anzahl der verklemmten Prozesse steigt
- Möglichkeiten:
  - Erkennung, falls eine Anforderung nicht sofort erfüllt werden kann
  - periodische Erkennung (z.B. einmal die Stunde)
  - CPU Auslastung beobachten; falls Auslastung sinkt, Erkennung starten

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

5 Erholung von Verklemmungen

- Verklemmung erkannt: Was tun?
  - Operateur benachrichtigen; manuelle Beseitigung
  - System erholt sich selbst
- Abbrechen von Prozessen (terminierte Prozesse geben ihre Betriebsmittel wieder frei)
  - alle verklemmten Prozesse abbrechen (großer Schaden)
  - einen Prozess nach dem anderen abbrechen bis Verklemmung behoben (kleiner Schaden aber rechenzeitintensiv)
  - mögliche Schäden:
    - Verlust von berechneter Information
    - Dateninkonsistenzen

5 Erholung von Verklemmungen (2)

- Entzug von Betriebsmitteln
  - Aussuchen eines „Opfer“-Prozesses (Aussuchen nach geringstem entstehendem Schaden)
  - Entzug der Betriebsmittel und Zurückfahren des „Opfer“-Prozesses (Prozess wird in einen Zustand zurückgefahren, der unkritisch ist; benötigt Checkpoint oder Transaktionsverarbeitung)
  - Verhinderung von Aushungerung (es muss verhindert werden, dass immer derselbe Prozess Opfer wird und damit keinen Fortschritt mehr macht)

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

G.6 Kombination der Verfahren

- Einsatz verschiedener Verfahren für verschiedene Betriebsmittel
  - Interne Betriebsmittel: Verhindern von Verklemmungen durch totale Ordnung der Betriebsmittel (z.B. IBM Mainframe-Systeme)
  - Hauptspeicher: Verhindern von Verklemmungen durch Entzug des Speichers (z.B. durch Swap-Out)
  - Betriebsmittel eines Jobs: Angabe der benötigten Betriebsmittel beim Starten; Einsatz der Vermeidungsstrategie durch Feststellen unsicherer Zustände
  - Hintergrundspeicher (Swap-Space): Vorausbelegung des Hintergrundspeichers

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