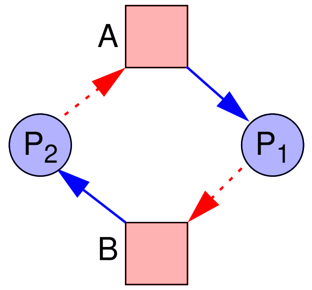
4.2 Betriebsmittelgraph (2)

- 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

4.3 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 $(b_1, b_2, \dots b_m)$ der vorhandenen Instanzen
  - R ist der Vektor $(r_1, r_2, \dots r_m)$ der noch verfügbaren Restinstanzen
  - C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, \dots c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j

- Es gilt: $\sum_{j=1}^{n} c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \le i \le m$

4.3 Banker's Algorithm (2)

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

4.3 Banker's Algorithm (3)

- Algorithmus
  1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
  2. wähle einen nicht markierten Prozess j, so dass $M_j - C_j \leq R$
     (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.

4.4 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
  - $m = 1$
  - $n = 3$
  - $B = (12)$
  - $R = (2)$
  - $C_0 = (5)$, $C_1 = (2)$, $C_2 = (3)$
  - $M_0 = (10)$, $M_1 = (4)$, $M_2 = (9)$

4.4 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

5 Erkennung von Verklemmungen

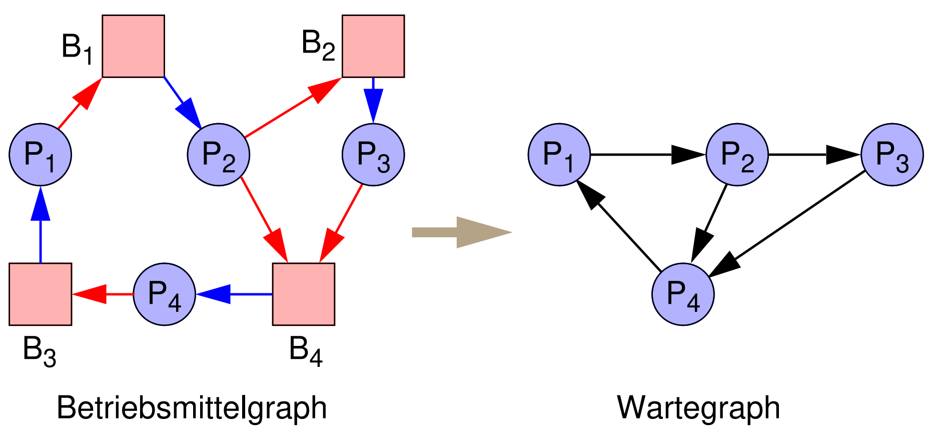
- Systeme ohne Mechanismen zur Vermeidung oder Verhinderung von Verklemmungen
  - Verklemmungen können auftreten
  - Verklemmung sollte als solche erkannt werden
  - Auflösung der Verklemmung sollte eingeleitet werden (Algorithmus nötig)

5.1 Wartegraphen

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

5.1 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

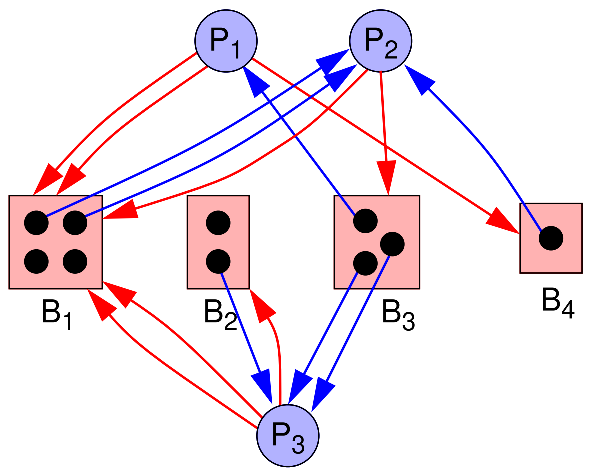


5.1 Wartegraphen (3)

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

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion

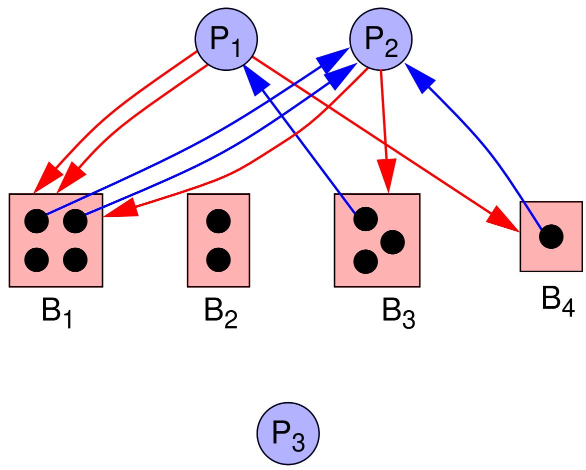
- Betriebsmittelgraph des Beispiels



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

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion (2)

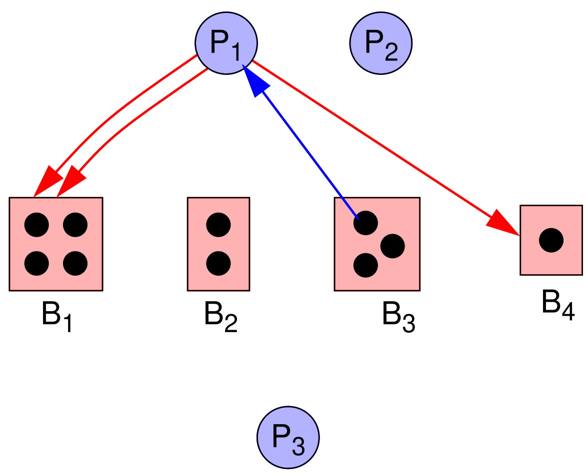
- Betriebsmittelgraph des Beispiels (1. Reduktion)



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

5.2 Erkennung durch graphische Reduktion (3)

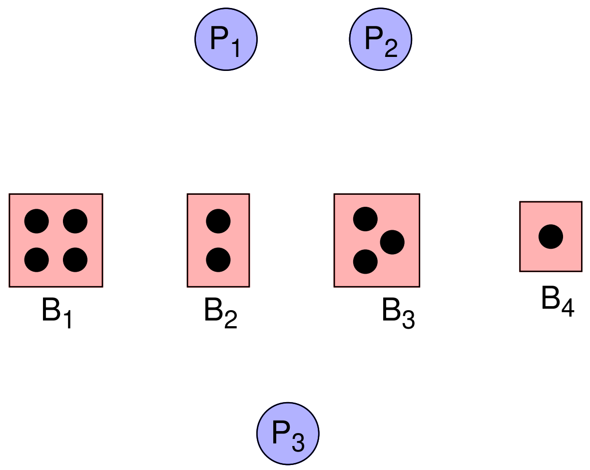
- Betriebsmittelgraph des Beispiels (2. Reduktion)



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

5.2 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

5.3 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 $1 \le i \le m$

5.3 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 $A \leq B$, 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 $A_j \leq R$
     (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

5.3 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 $A_3 \leq R$; markiere Prozess 3
  - Addiere C_3 zu R: neues $R = (2, 2, 2, 0)$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 2, da $A_2 \leq R$; markiere Prozess 2
  - Addiere C_2 zu R: neues $R = (4, 2, 2, 1)$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozess 1, da $A_1 \leq R$; markiere Prozess 1
  - kein Prozess mehr unmarkiert: keine Verklemmung

5.4 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

5.5 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

5.5 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)

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