



KV Computer Microsystems

Teil III: Synthese

Andreas Koch

FG Eingebettete Systeme und ihre Anwendungen
Informatik, TU Darmstadt

Sommersemester 2005



Holger Lange

`lange@esa.informatik.tu-darmstadt.de`

Sprechstunde Mi 14:00-15:00, E106

Web-Site

`http://www.esa.informatik.tu-darmstadt.de`



Kräftegesteuertes Scheduling

... ausführliches Beispiel

Integer Linear Programming

... Aufstellen der Gleichungen für Ressourcenminimierung
bei vorgegebener Latenz



Quelle des Beispiels:

Vorlesungsskript "VLSI-Entwurfsmethodik"
Kapitel 5.3

Fridtjof Feldbusch, Universität Karlsruhe, 1998



- Zwei Versionen
 - Vorgegebene Latenz
 - minimiere Ressourcenverbrauch
 - Vorgegebene Ressourcen
 - minimiere Latenz

- Hier: minimiere Ressourcen unter gegebener Latenz

- Iterativer und konstruktiver Algorithmus

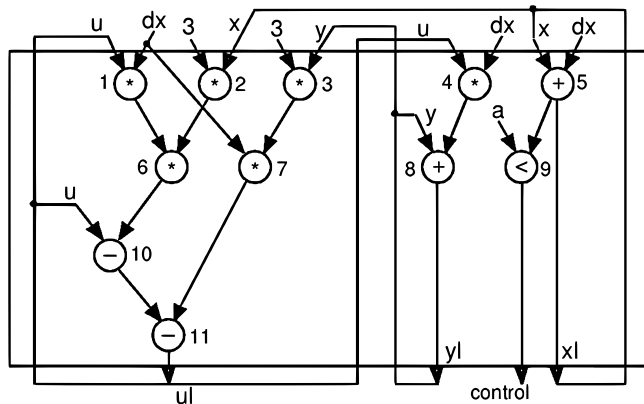


Beispiel: Lösung der DGL $y'' + 3xy' + 3y = 0$ Euler-Verfahren
Intervall $[0, a]$, Schrittweite dx , $x(0) = x$, $y(0) = y$, $y'(0) = u$

```
diffeq{
  read (x, y, u, dx, a);
  repeat {
    x1 = x + dx;
    u1 = u - (3 * x * u * dx) - (3 * y * dx);
    y1 = y + u * dx;
    c  = x1 < a;
    x  = x1; u = u1; y = y1;
  } until (c);
  write (y);
}
```



Datenflussgraph





Algorithmus

0. Zeiten und Mobilitäten errechnen (ASAP/ALAP Schedule)

REPEAT

1. Berechne Belegungsgraph für alle Operationstypen
 2. Wähle noch keinem Kontrollschritt zugeordnete Operation
 3. Berechne Eigenkraft für jeden möglichen Kontrollschritt
 4. Addiere Vorgänger- und Nachfolger-Kräfte zur Eigenkraft
 5. Ordne Operation Kontrollschritt mit kleinster Kraft zu
- UNTIL alle Operationen zugewiesen

Kräftegesteuertes Scheduling



CMS -
Hardware
Synthese

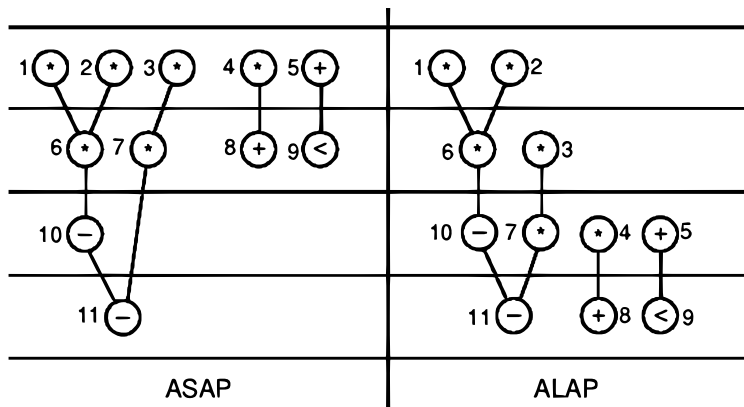
A. Koch

Übersicht

Kräftegesteu-
ertes
Scheduling

ILP

ASAP und ALAP Schedule





Algorithmus

0. Zeiten und Mobilitäten errechnen (ASAP/ALAP Schedule)

REPEAT

1. **Berechne Belegungsgraph für alle Operationstypen**
 2. Wähle noch keinem Kontrollschritt zugeordnete Operation
 3. Berechne Eigenkraft für jeden möglichen Kontrollschritt
 4. Addiere Vorgänger- und Nachfolger-Kräfte zur Eigenkraft
 5. Ordne Operation Kontrollschritt mit kleinster Kraft zu
- UNTIL alle Operationen zugewiesen

Kräftegesteuertes Scheduling



CMS -
Hardware
Synthese

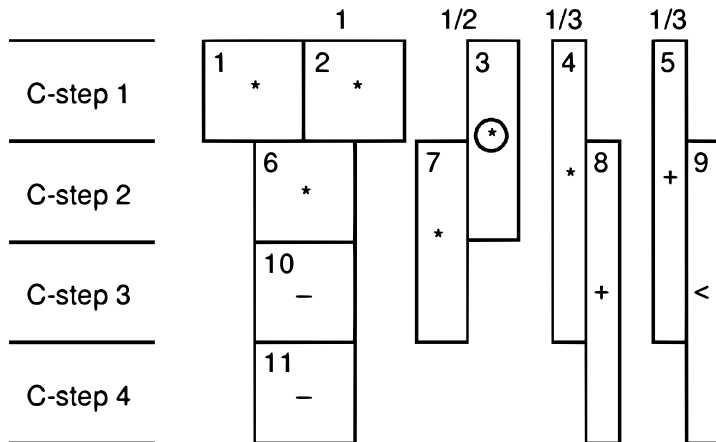
A. Koch

Übersicht

Kräftegesteuertes
Scheduling

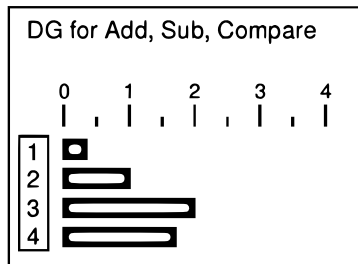
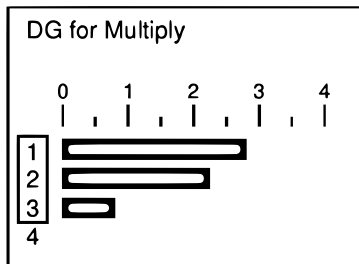
ILP

Distribution Graph (Belegungsgraph) I





Distribution Graph (Belegungsgraph) II



$$q_{mul,1} = 2,83$$

$$q_{mul,2} = 2,33$$

$$q_{mul,3} = 0,83$$

$$q_{mul,4} = 0$$

$$q_{add,1} = 0,33$$

$$q_{add,2} = 1$$

$$q_{add,3} = 2$$

$$q_{add,4} = 1,67$$



Algorithmus

0. Zeiten und Mobilitäten errechnen (ASAP/ALAP Schedule)

REPEAT

1. Berechne Belegungsgraph für alle Operationstypen
2. Wähle noch keinem Kontrollschritt zugeordnete Operation
3. Berechne Eigenkraft für jeden möglichen Kontrollschritt
4. Addiere Vorgänger- und Nachfolger-Kräfte zur Eigenkraft
5. Ordne Operation Kontrollschritt mit kleinster Kraft zu

UNTIL alle Operationen zugewiesen



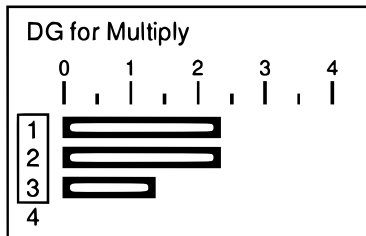
BG's für Multiplikation haben sich geändert:

$$q_{mul,1} = 2,33$$

$$q_{mul,2} = 2,33$$

$$q_{mul,3} = 1,33$$

$$q_{mul,4} = 0$$





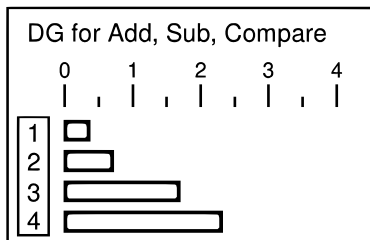
BG's für Add, Sub, Compare haben sich geändert:

$$q_{add,1} = 0,33$$

$$q_{add,2} = 0,67$$

$$q_{add,3} = 1,67$$

$$q_{add,4} = 2,33$$





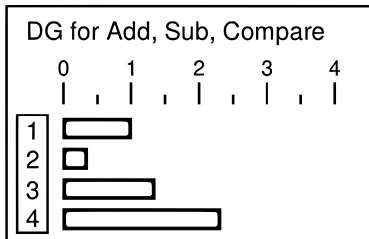
Nächste Iteration:

$$q_{add,1} = 1$$

$$q_{add,2} = 0,33$$

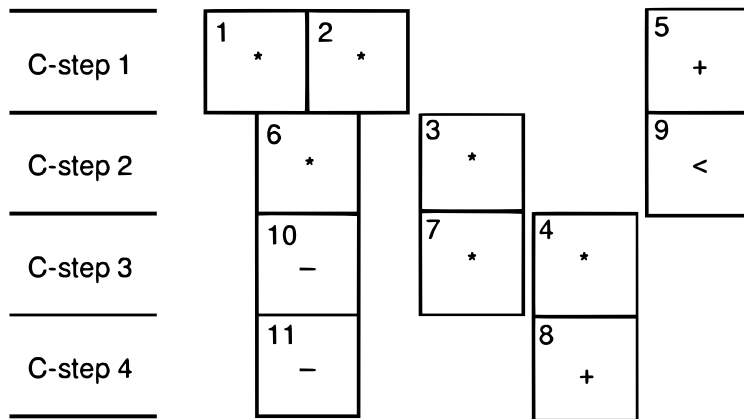
$$q_{add,3} = 1,33$$

$$q_{add,4} = 2,33$$



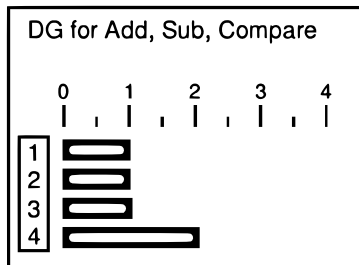
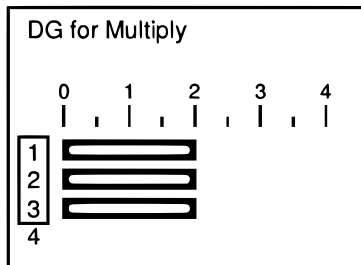


Endgültiger Belegungsgraph I





Endgültiger Belegungsgraph II



$$q_{mul,1} = 2$$

$$q_{mul,2} = 2$$

$$q_{mul,3} = 2$$

$$q_{mul,4} = 0$$

$$q_{add,1} = 1$$

$$q_{add,2} = 1$$

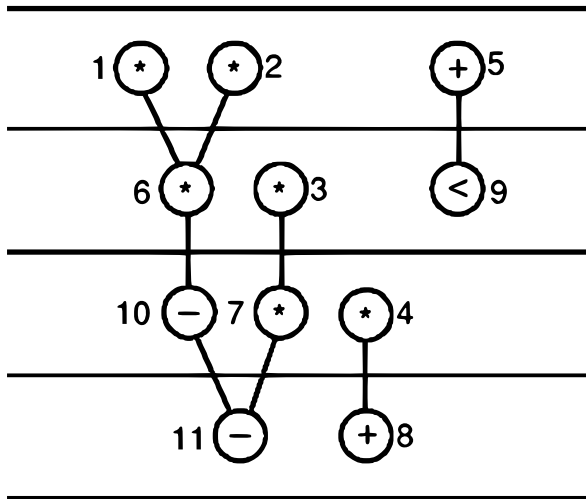
$$q_{add,3} = 1$$

$$q_{add,4} = 2$$

Kräftegesteuertes Scheduling



Endgültiger Schedule



CMS -
Hardware
Synthese

A. Koch

Übersicht

Kräftegesteuertes
Scheduling

ILP



Minimaler Ressourcenverbrauch bei gegebener Latenz

- Formeln 1,2,3,4 bleiben
 - 1 Jede Operation darf nur einmal gestartet werden

$$\sum_{l=t_i^S}^{t_i^L} x_{il} = 1, \forall v_i \in V$$

- 2 Umrechnung von Entscheidungsvariablen in Startzeitpunkt

$$\sum_{l=t_i^S}^{t_i^L} l \cdot x_{il} = t_i, \forall v_i \in V$$



- 3 Datenabhängigkeiten einhalten

$$t_i \geq t_j + d_j, \forall (v_j, v_i) \in E$$

- 4 Von jeder Ressource k werden in jedem Zeitschritt l maximal a_k benutzt

$$\sum_{\{i: \mathcal{T}(v_i)=k\}} \sum_{m=l-d_i+1}^l x_{im} \leq a_k, \quad \forall 1 \leq k \leq n_{res}, 1 \leq l \leq \bar{\lambda} + 1$$

$$\forall 1 \leq k \leq n_{res}, 1 \leq l \leq \bar{\lambda} + 1$$

- In 4 sind die a_k jetzt aber freie Variablen

- 5 Zusätzlich

$$\sum_{l=t_n^S}^{\bar{\lambda}+1} l \cdot x_{nl} \leq \bar{\lambda} + 1$$

Beispiel: ILP - Gleichungen bei Ressourcenminimierung I



Ressourcenbeschränkungen sind variabel

Multiplizierer (1)

$$x_{1,1} + x_{2,1} + x_{6,1} + x_{8,1} - a_1 \leq 0 \quad (2)$$

$$x_{3,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} - a_1 \leq 0 \quad (3)$$

$$x_{7,3} + x_{8,3} - a_1 \leq 0 \quad (4)$$

ALUs (5)

$$x_{10,1} - a_2 \leq 0 \quad (6)$$

$$x_{9,2} + x_{10,2} + x_{11,2} - a_2 \leq 0 \quad (7)$$

$$x_{4,3} + x_{9,3} + x_{10,3} + x_{11,3} - a_2 \leq 0 \quad (8)$$

$$x_{5,4} + x_{9,4} + x_{11,4} - a_2 \leq 0 \quad (9)$$

Latenzbeschränkung

Beispiel: $\bar{\lambda} = 6$

$$5 \cdot x_{n,5} + 6 \cdot x_{n,6} + 7 \cdot x_{n,7} \leq 7 \quad (10)$$



Orts- und Zeitänderung

S1/01 Raum 051

Zeit: 08:55