

Klausur zum Modul
Hardware-Software-Co-Design

04. April 2013

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich

Name, Vorname:

.....
.....

Matrikelnummer, Studienfach:

.....

Nicht von der Kandidatin / dem Kandidaten auszufüllen

	1	2	3	4	Σ
Erreichbare Punkte	18	27	26	19	90
Erreichte Punkte					
Note					

Organisatorische Hinweise

BITTE SORGFÄLTIG LESEN UND DIE KENNTNISNAHME DURCH UNTERSCHRIFT BESTÄTIGEN

1. Bitte legen Sie Ihren Studentenausweis bereit.
 2. Als Hilfsmittel sind nur Schreibmaterialien zugelassen.
 3. Schmierpapier wird nicht abgegeben und nicht korrigiert.
 4. Sie können bei der Aufsicht zusätzliche Bearbeitungsblätter anfordern. Diese müssen Ihrer Arbeit angeheftet werden.
 5. Unleserliches wird nicht bewertet.
-

ERKLÄRUNG

1. Im Falle einer während der Prüfung auftretenden Prüfungsunfähigkeit zeige ich dies sofort der Aufsicht an und befolge deren Anweisungen. Ich weiß, dass ich die volle Beweislast trage. Ich lasse mir das Formular des Prüfungsamts, das für diese Fälle vorgesehen ist, aushändigen und verfare nach den dort niedergelegten Richtlinien.
2. Ich weiß, dass im Falle des Täuschungsversuchs oder der Benutzung unerlaubter Hilfsmittel („Unterschleif“) der Prüfungsausschuss die Entscheidung treffen kann, die betroffene Prüfungsleistung als mit „nicht ausreichend“ bewertet gelten zu lassen.
3. Ich habe die obigen Hinweise zur Kenntnis genommen.

Erlangen, d. 04. April 2013

.....
Unterschrift

EINWILLIGUNG

Ich bin damit einverstanden, dass mein vorläufiges Ergebnis anonymisiert, jedoch unter Angabe der Matrikelnummer, am Mitteilungsbrett und auf der Webseite des Lehrstuhls für Informatik 12 veröffentlicht wird.

Die Bekanntgabe des vorläufigen Ergebnisses begründet keinen Rechtsanspruch.

Die Bekanntgabe des endgültigen Ergebnisses erfolgt ausschließlich durch das Prüfungsamt.

Erlangen, d. 04. April 2013

.....
Unterschrift

Aufgabe 1 (Kurzfragen)

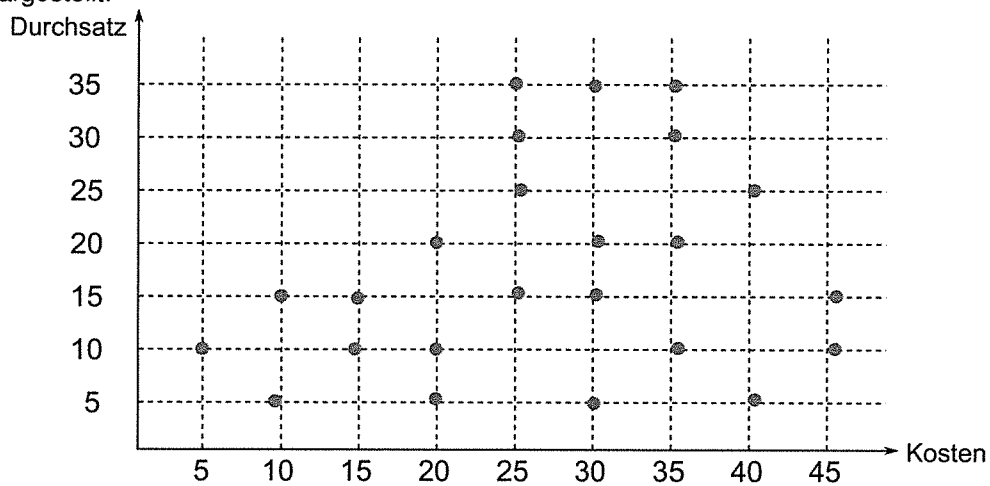
(18 Punkte)

- a) Geben Sie das aus der Vorlesung bekannte Doppeldachmodell an. (2 Punkte)
- b) Welche drei Aufgaben sind in den Syntheseschritten auf jeder Abstraktionsebene zu lösen? (1 Punkt)
- c) Nennen Sie zwei Zielarchitekturen, die neben FPGAs, General-Purpose-Prozessoren und ASICs als Implementierungsmöglichkeiten in Hardware-Software-Systemen in Frage kommen. (1 Punkt)
- d) Was sind die Vorteile von FPGAs gegenüber General-Purpose-Prozessoren und gegenüber ASICs? (2 Punkte)
- e) Sie sollen eine Spezifikation für einen Algorithmus zur Signalverarbeitung erstellen. Für welches der drei in der Vorlesung genannten Graphenmodelle würden Sie sich entscheiden? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

- f) Welche sechs Phasen werden während der Übersetzung eines Quellprogramms im Compiler durchlaufen?

(2 Punkte)

- g) Für ein eingebettetes System gibt es mehrere Entwurfsalternativen. Ein Entwurfspunkt i sei definiert durch seinen Durchsatz und seine Kosten. Alle Entwurfspunkte sind im folgenden Diagramm gemäß dieser Zielgrößen an den entsprechenden Koordinaten (Kosten(i), Durchsatz(i)) dargestellt:



- Markieren Sie die Pareto-Punkte in dem Diagramm, wenn Durchsatz maximiert und Kosten minimiert werden sollen. (2 Punkte)
- Stellen Sie sich vor, dass nun ein Optimierungsverfahren zum Einsatz kommt, das die Entwurfspunkte mit einer gewichteten Summe bewertet. Es sucht denjenigen Punkt, der dafür das minimale Ergebnis liefert. Diese zu minimierende Zielfunktion bewertet jeden Entwurfspunkt durch folgende Gleichung:

$$f(i) = 0,5 \cdot \text{Kosten}(i) - 0,5 \cdot \text{Durchsatz}(i).$$

Welche Lösung findet dieses Verfahren?

(2 Punkte)

- Was ist der Unterschied zwischen Mehrzieloptimierung und dem in der vorangegangenen Teilaufgabe beschriebenen Optimierungsverfahren? (1 Punkt)
- h) Wie viele Möglichkeiten der Partitionierung gibt es, wenn vier Partitionsblöcke (A,B,C,D) vorhanden sind und 20 Objekte in Partitionen A und B, 30 Objekte in Partitionen B und C und 40 Objekte in Partitionen C und D liegen können? (2 Punkte)
- i) Gegeben sei das Modell eines Prozessors mit einem 1-Ebenen-Cachespeicher. Die Wahrscheinlichkeit eines L1-Cachehits ist 80%. Die Zugriffszeiten auf die L1-Cache und Hauptspeicher betragen 4 ns bzw. 120 ns. Wie groß ist die mittlere Zugriffszeit für einen Speicherzugriff? (1 Punkt)

Aufgabe 2 (Compiler und Codegenerierung)

(27 Punkte)

a) Gegeben ist der folgende Grundblock, wobei t_1 , t_2 und t_3 temporäre Variablen sind:

- (1) $t_2 = b + c$
- (2) $t_1 = a + b$
- (3) $t_3 = t_1 + t_2$
- (4) $c = t_3 * t_2$
- (5) $a = t_1$

1. Zeichnen Sie den DAG dieses Grundblocks.

(5 Punkte)

2. Können die Variablen t_1 und a dasselbe Register teilen, ohne dass ein Registerabwurf notwendig wäre? Begründen Sie Ihre Antwort.

(3 Punkte)

b) Gegeben ist folgender C-Code.

```
(01)   for (int j = 1; j < i; j++){  
(02)       a = x[j-1];  
(03)       b = x[j];  
(04)       if (a > b){  
(05)           x[j-1] = b;  
(06)           x[j] = a;  
(07)       }  
(08)   }
```

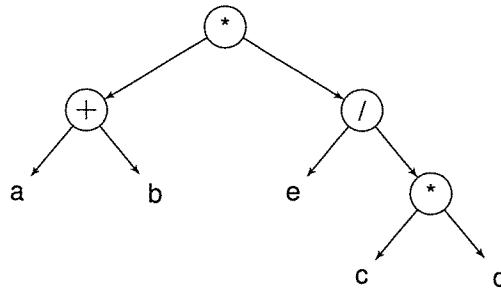
1. Erzeugen Sie daraus Drei-Adress-Code.

(5 Punkte)

2. Identifizieren Sie alle Grundblöcke und markieren Sie diese in Ihrem Drei-Adress-Code.

(3 Punkte)

c) Gegeben sei folgende Spezifikation als DAG:

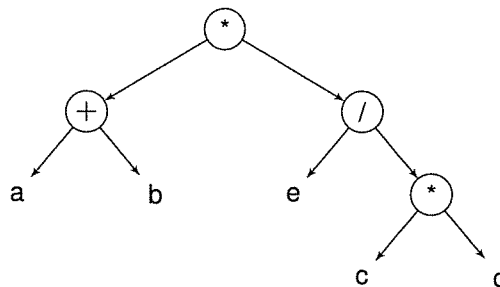


1. Welcher arithmetische Ausdruck wird durch diesen DAG codiert? (1 Punkt)

2. Ihre Zielmaschine verfügt über zwei Universalregister und folgenden Befehlssatz, wobei die Kosten der Befehle in Klammern angegeben sind:

- $R_i := R_i \text{ op } R_j$ (1)
- $R_i := R_i \text{ op } M_j$ (3)
- $R_i := R_j$ (1)
- $R_i := M$ (2)
- $M := R_i$ (2)

Es soll das Verfahren der dynamischen Programmierung zur Codeerzeugung angewendet werden. Bestimmen Sie die Kostenvektoren aller Knoten. (5 Punkte)



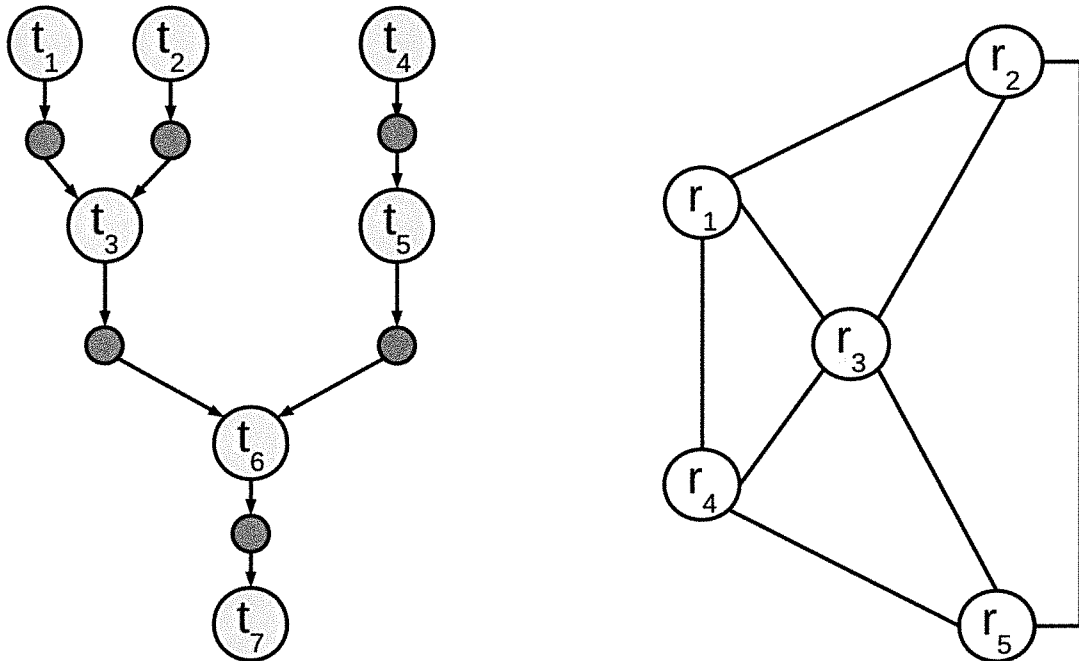
3. Generieren Sie den kostenoptimalen Zielcode durch Verwendung des oben gegebenen Befehlssatzes (Bsp.: $R_1 = R_1 - z$). Makieren Sie dabei auch die gewählte Befehlsreihenfolge in den Kostenvektoren. (5 Punkte)

Aufgabe 3 (Hardware/Software-Partitionierung)

(26 Punkte)

Gegeben sei ein Datenflussgraph mit sieben Tasks $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}$ (im Bild links) und ein Architekturgraph mit fünf Ressourcen $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\}$ (rechts). Die Ressourcen können über die eingezeichneten Kanten bidirektional kommunizieren. Im Folgenden soll ein ILP (ganzzahliges lineares Programm) erstellt werden zur Bestimmung einer optimalen Hardware/Software-Partitionierung.

Im Folgenden werden die Kommunikationsknoten nicht weiter berücksichtigt.



- a) Die Tasks t_3, t_4, t_5, t_6 und t_7 können auf jeder der Ressourcen r_1, r_4 und r_5 ausgeführt werden; t_1 kann nur auf r_2 ausgeführt werden und t_2 auf r_2 und r_3 . Zeichnen Sie die Bindungskanten in obiges Bild ein. (1 Punkt)
- b) Welche Eigenschaften zeichnet ein ganzzahliges lineares Programm im Allgemeinen aus? (3 Punkte)

- c) Folgende Nebenbedingungen fordern, dass jeder Task genau einmal aktiviert wird:

$$\forall t \in T : \sum_{r \in R} x_{t,r} = 1$$

Dabei sei $x_{t,r} = 1$ genau dann, wenn der Task t auf die Ressource r gebunden ist. Ergänzen Sie die Nebenbedingungen, so dass die Tasks nur auf denjenigen Ressourcen r geplant werden können, auf denen sie entsprechend Teilaufgabe a) auch ausgeführt werden können.

(4 Punkte)

- d) Aufgrund von Ressourcenbeschränkungen können auf r_5 maximal drei Tasks platziert werden. Formulieren Sie diese Beschränkung. (3 Punkte)

- e) c_{t_i,r_k} gibt die Kosten an, die die Implementierung von Task t_i auf Ressource r_k verursachen würde. Geben Sie die Nebenbedingung an, die gewährleistet, dass auf r_4 maximal Kosten von 9 entstehen. (3 Punkte)

$$c_{t_3,r_4} = 2$$

$$c_{t_4,r_4} = 2$$

$$c_{t_5,r_4} = 5$$

$$c_{t_6,r_4} = 1$$

$$c_{t_7,r_4} = 3$$

- f) Geben Sie die Nebenbedingungen an, die gewährleisten, dass t_5 und t_6 aufgrund der Datenabhängigkeit immer auf dieselbe oder adjazente Ressourcen gebunden werden. (8 Punkte)
- g) Geben Sie die mathematische Formulierung der Zielfunktion für das Optimierungsziel, die Gesamtkosten zu minimieren, an. (3 Punkte)
- h) Geben Sie ein heuristisches und ein exaktes Partitionierungsverfahren an, das in der Vorlesung vorgestellt wurde. (1 Punkt)

Aufgabe 4 (Schätzung)

(19 Punkte)

- a) In folgender Tabelle sind die Entwurfsqualitäten von vier Entwurfspunkten dargestellt und zwar die geschätzten Werte $E(D)$ sowie die gemessenen Werte $M(D)$.
Bestimmen Sie die Treue des Schätzungsverfahrens. (2 Punkte)

Entwurfspunkt	$E(D)$	$M(D)$
X_1	553	521
X_2	544	532
X_3	493	514
X_4	537	512

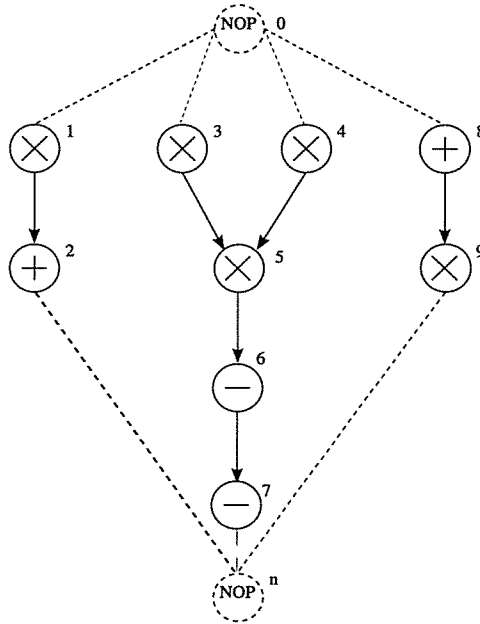
- b) Begründen Sie für die beiden folgenden Fälle, ob ein Schätzungsverfahren mit hoher Treue ausreichend ist oder zusätzlich eine hohe Exaktheit notwendig ist. (4 Punkte)

– Harte Echtzeitsysteme

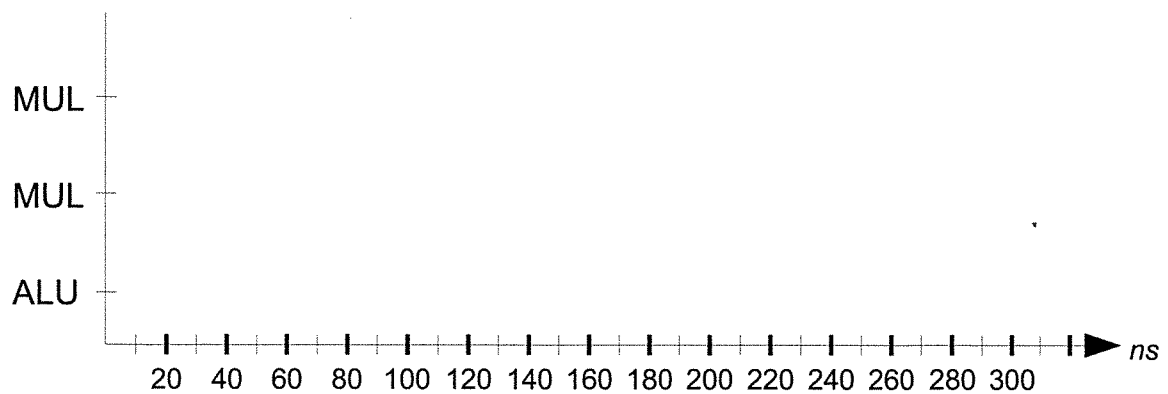
– Extrahieren von pareto-optimalen Punkten aus dem Suchraum

c) **HW-Schätzung**

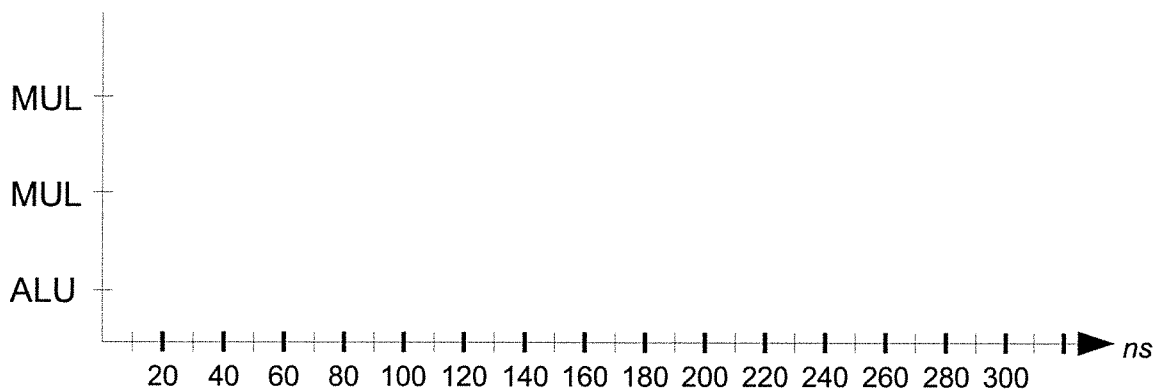
Gegeben ist der folgende Sequenzgraph. Die Ausführungszeit einer Subtraktion bzw. Addition beträgt $del(v_{ALU}) = 25$ ns und die einer Multiplikation $del(v_{MUL}) = 60$ ns. Im Folgenden soll die Ausführungszeit unter Verwendung zweier Multiplizierer und einer ALU bestimmt werden.



1. Ermitteln Sie die Ausführungszeit durch Anwendung der Methode der maximalen Operatorverzögerung. Zeichnen Sie einen resultierenden Ablaufplan in das folgende Diagramm ein. (4 Punkte)



2. Ermitteln Sie die Ausführungszeit für die Taktrate T_{slack} , durch die der *mittlere Taktschlupf* minimiert wird. Dabei soll $del(v_{ALU})$ eine untere Schranke für T_{slack} sein, was heißt, dass $T_{slack} \geq del(v_{ALU})$. Zeichnen Sie einen resultierenden Ablaufplan für T_{slack} in das folgende Diagramm ein. (8 Punkte)



- d) Aufgabe 4c) hat gezeigt, dass man für Hardware-Schaltungen die Ausführungszeit exakt berechnen kann, sobald man sich auf eine Taktrate und Allokation festgelegt hat. Warum sind hingegen die Ausführungszeiten auf Prozessoren im Allgemeinen approximativ? (1 Punkt)