

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Technische Fakultät
Lehrstuhl für Informatik 12 (Hardware-Software-Co-Design)
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich

Klausur
Hardware-Software-Co-Design

24. September 2014

Name	
Vorname	
Matrikelnummer	
Studienfach	

Aufgabe	1	2	3	4	Σ
max. Punkte	19	26	29	16	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, den 24. September 2014

Unterschrift

Aufgabe 1 (Kurzfragen)

(19 Punkte)

a) Geben Sie das aus der Vorlesung bekannte Doppeldachmodell an. (2 Punkte)

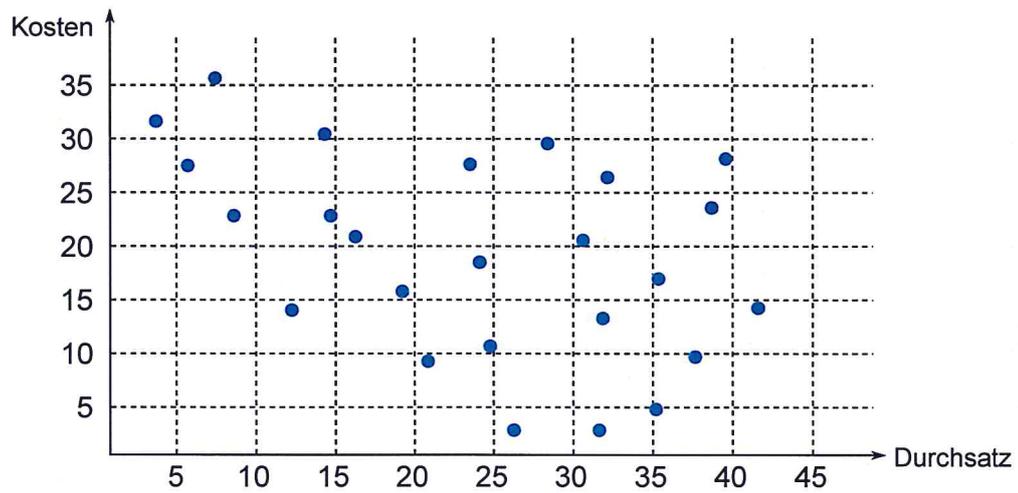
b) Welche drei Aufgaben stellen die vertikalen Pfeile im Doppeldachmodell dar? (1 Punkt)

c) Nennen Sie zwei Zielarchitekturen, die für die Implementierung eines Signalverarbeitungsalgorithmus in Frage kommen. Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

d) Was für eine Zielarchitektur würden Sie wählen für die Implementierung eines Algorithmus, wenn Sie eine sehr gute Performance mit geringem Stromverbrauch sowie eine sehr hohe Flexibilität erreichen wollen? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

- e) Sie sollen eine Spezifikation zur Kantenerkennung für ein Rückfahrkamerasystem in Kraftfahrzeugen erstellen. Für welches der drei in der Vorlesung genannten Graphenmodelle würden Sie sich entscheiden? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)
- f) Nennen Sie die vier Knotenarten eines Sequenzgraphen, die spezielle Bedeutung haben. (2 Punkte)
- g) Nehmen Sie an, dass ein Quellprogramm auf der Blockebene übersetzt werden soll. Welche Phasen werden im Compiler durchlaufen? (3 Punkte)
- h) Wie viele Möglichkeiten der Partitionierung gibt es, wenn vier Partitionsblöcke (RISC, BUS, HW1, HW2) vorhanden sind und 50 Objekte in die Blöcke RISC, BUS und HW1, 35 Objekte in die Blöcke RISC, BUS und HW2 und 10 Objekte in die Blöcke HW1 und BUS partitioniert werden können? (2 Punkte)

- i) Gegeben seien die folgenden Entwurfspunkte. Markieren Sie als Teil der Entwurfsraumexploration alle Pareto-Punkte, wenn der Durchsatz maximiert und die Kosten minimiert werden sollen. (2 Punkte)



- j) Worin liegen die Unterschiede zwischen Mehrzieloptimierungsverfahren und Verfahren, die eine gewichtete Summe zur Evaluierung der Güte eines Entwurfspunktes verwenden? (1 Punkt)

Aufgabe 2 (Compiler und Codegenerierung)**(26 Punkte)**

- a) Welche Probleme sind bei der Codegenerierung hinsichtlich Allokation, Bindung und Ablaufplanung zu lösen? (3 Punkte)

- b) Gegeben sei der folgende Grundblock:

- (1) $t := a - b$
- (2) $u := a - c$
- (3) $v := t + u$
- (4) $a := d$
- (5) $d := v + u$

wobei t , u , v , a , b und c temporäre Variablen sind.

1. Zeichnen Sie den DAG dieses Grundblocks.

(4 Punkte)

c) Erzeugen Sie Drei-Adress-Code für den folgenden C-Code:

(5 Punkte)

```
(01)   for (int j = 1; j < N; j++){
(02)       b = 20;
(03)       l = j;
(04)       if (x[l] < b){
(05)           do{
(06)               x[l] = x[l] + l * 2;
(07)               x[l] = l + 1;
(08)           }
(09)       while(x[l] < b)
(10)   }
(11)   else{
(12)       b = x[l];
(13)   }
(14) }
```

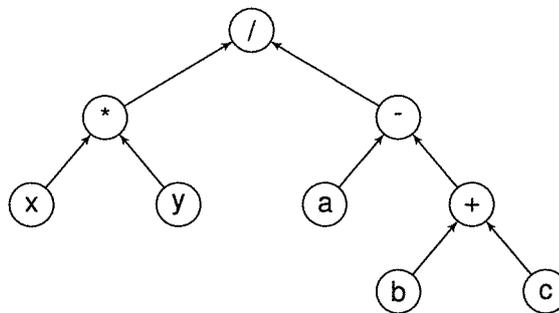
- d) Identifizieren und markieren Sie die Grundblöcke des folgenden Drei-Adress-Codes:
(3 Punkte)

```

(1)  i := m - 1
(2)  j := n
(3)  t1 := 4 * n
(4)  v := a[t1]
(5)  i := i + 1
(6)  t2 := 4 * i
(7)  t3 := a[t2]
(8)  if t3 < v goto (5)
(9)  j := j - 1
(10) t4 := 4 * j
(11) t5 := a[t4]
(12) if t5 > v goto (9)
(13) if i >= j goto (23)
(14) t6 := 4 * i
(15) x := a[t6]

```

- e) Gegeben sei folgende Spezifikation als DAG:



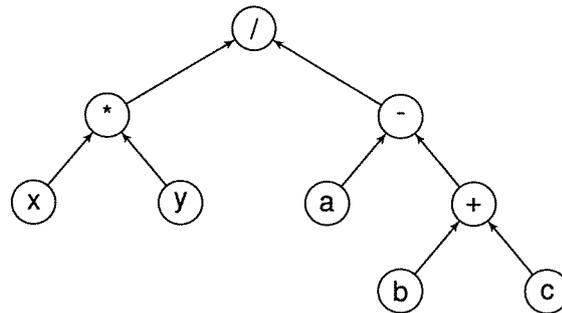
1. Welche Eigenschaft müssen die Register erfüllen, um das Verfahren der dynamischen Programmierung anwenden zu können? (1 Punkt)
2. Ihre Zielmaschine verfügt über zwei Universalregister und folgenden Befehlssatz, wobei die Kosten der Befehle in Klammern angegeben sind:

```

Ri := Ri op Rj (1)
Ri := Mj op Ri (4)
Ri := Rj (1)
Ri := Mj (3)
Mj := Ri (3)

```

Es soll das Verfahren der dynamischen Programmierung zur Codeerzeugung angewendet werden. Bestimmen Sie die optimalen Kostenvektoren aller Knoten und tragen Sie diese in den unten gegebenen DAG ein. (5 Punkte)



3. Generieren Sie den kostenoptimalen Zielcode durch Verwendung des oben gegebenen Befehlssatzes (Bsp.: $R1 := R1 - z$). Markieren Sie dabei auch im obigen DAG die gewählte Befehlsreihenfolge in den Kostenvektoren. (5 Punkte)

Aufgabe 3 (Hardware/Software-Partitionierung)

(29 Punkte)

Gegeben sei ein Datenflussgraph mit der Knotenmenge $\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$ und den Datenabhängigkeiten $v_1 \rightarrow v_3$, $v_2 \rightarrow v_3$, $v_2 \rightarrow v_4$, $v_3 \rightarrow v_5$, $v_4 \rightarrow v_5$, $v_5 \rightarrow v_6$ und $v_5 \rightarrow v_7$. Des Weiteren ist eine Architektur gegeben, die aus fünf Ressourcen besteht $\{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\}$. Dabei sind folgende Ressourcen über eine Punkt-zu-Punkt Verbindung bi-direktional miteinander verbunden: $r_1 \longleftrightarrow r_4$, $r_1 \longleftrightarrow r_2$ und $r_2 \longleftrightarrow r_4$. Die Ressourcen r_2, r_3, r_4 und r_5 sind zusätzlich noch über einen gemeinsamen Bus miteinander verbunden.

- a) Zeichnen Sie den entsprechenden Problemgraphen des Datenflussgraphen auf die linke Seite und den Architekturgraphen der Architektur auf die rechte Seite. (4 Punkte)

- b) Knoten v_4 kann auf den Ressourcen r_1, r_3, r_4 und r_5 ausgeführt werden. Die Knoten v_2, v_3 und v_5 können auf r_1, r_2 und r_4 ausgeführt werden, v_6 und v_7 auf r_4 und r_5 , v_1 nur auf r_3 . Um einen vollständigen Spezifikationsgraphen zu erhalten, zeichnen Sie die Bindungskanten in die vorher gezeichneten Graphen ein. Hinweis: Vernachlässigen Sie die Bindungskanten von Kommunikationsknoten. (1 Punkt)

Im Folgenden soll ein ILP (ganzzahliges lineares Programm) erstellt werden zur Bestimmung einer optimalen Hardware/Software-Partitionierung. Kommunikationsknoten werden nicht weiter berücksichtigt.

- c) Wie ist ein ganzzahliges lineares Programm aufgebaut? (3 Punkte)

d) Formulieren Sie die Nebenbedingungen, die fordern, dass jeder Knoten genau einmal gebunden wird und nur auf denjenigen Ressourcen geplant werden darf, auf denen er entsprechend Teilaufgabe b) auch ausgeführt werden kann. (4 Punkte)

e) Aufgrund von Ressourcenbeschränkungen können auf r_4 maximal fünf Knoten platziert werden. Formulieren Sie diese Anforderung als Beschränkung. (3 Punkte)

f) $c_{i,k}$ gibt die Kosten an, die die Implementierung von Knoten v_i auf Ressource r_k verursachen würde. Geben Sie die Nebenbedingung an, die gewährleistet, dass auf r_1 maximal Kosten von 9 entstehen. (3 Punkte)

$$c_{2,1} = 3$$

$$c_{3,1} = 2$$

$$c_{4,1} = 5$$

$$c_{5,1} = 4$$

- g) Geben Sie die Nebenbedingungen an, die gewährleisten, dass v_5 und v_7 aufgrund der Datenabhängigkeit immer auf dieselbe oder adjazente Ressourcen gebunden werden. (6 Punkte)
- h) Geben Sie die mathematische Formulierung der Zielfunktion für das Ziel minimaler Gesamtkosten an. (3 Punkte)
- i) Betrachtet werden die in der Vorlesung vorgestellten heuristischen Partitionierungsverfahren. Geben sie drei iterative und ein konstruktives Verfahren an. (2 Punkte)

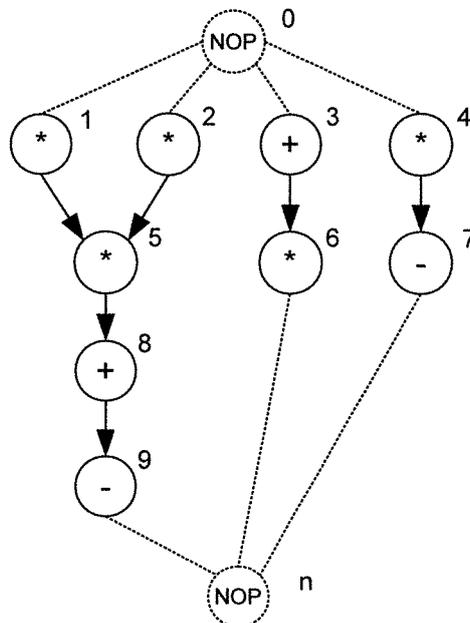
Aufgabe 4 (Schätzung)

(16 Punkte)

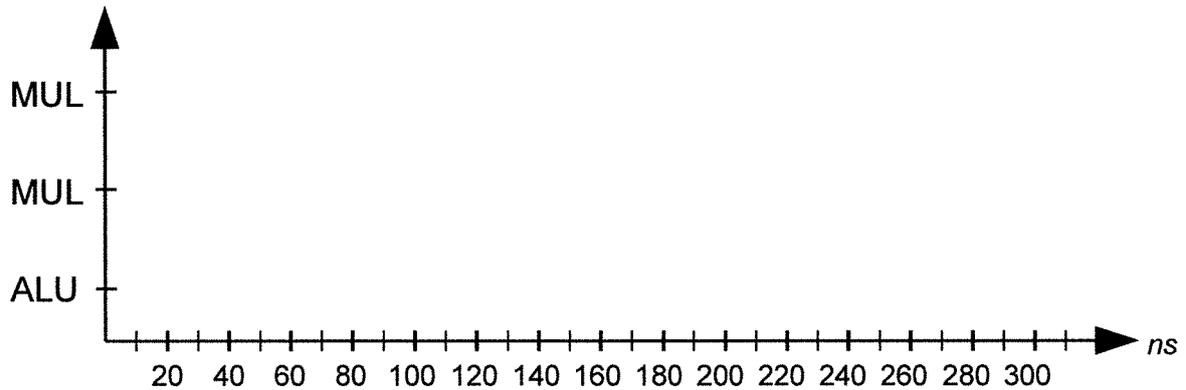
- a) In folgender Tabelle sind die Entwurfsqualitäten von vier Entwurfspunkten dargestellt und zwar die geschätzten Werte $E(D)$ sowie die gemessenen Werte $M(D)$. Bestimmen Sie die Treue des Schätzungsverfahrens. (3 Punkte)

Entwurfspunkt	$E(D)$	$M(D)$
D_1	536	523
D_2	541	529
D_3	498	534
D_4	519	521

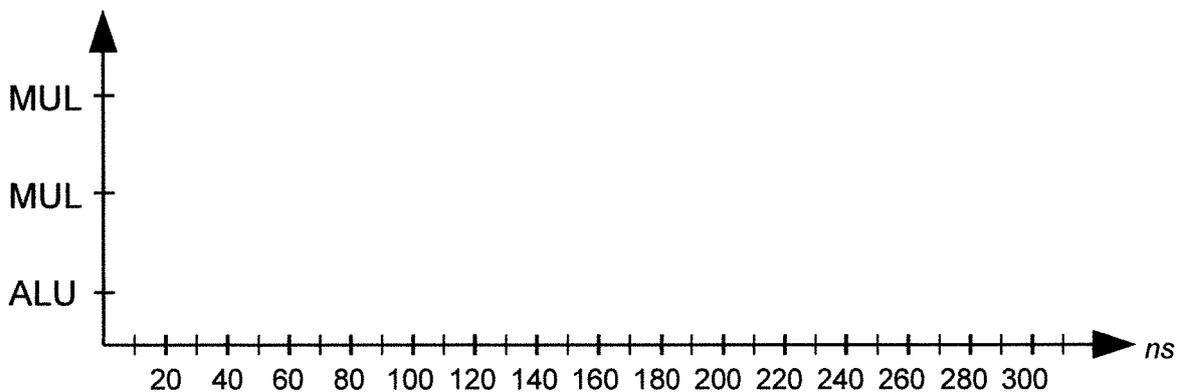
Gegeben ist der folgende Sequenzgraph. Die Ausführungszeit einer Subtraktion bzw. Addition beträgt $del(v_{ALU}) = 20$ ns und die einer Multiplikation $del(v_{MUL}) = 50$ ns. Im Folgenden soll die Ausführungszeit unter Verwendung zweier Multiplizierer und einer ALU bestimmt werden.



- b) Ermitteln Sie die Taktperiode $T_{MaxOpDelay}$ durch Anwendung der Methode der maximalen Operatorverzögerung. Zeichnen Sie einen resultierenden Ablaufplan in das folgende Diagramm ein, und geben Sie die resultierende Ausführungszeit T_{ex} an. (4 Punkte)



- c) Ermitteln Sie die Taktperiode $T_{MinAvgSlack}$ durch Anwendung des Verfahrens der Minimierung des mittleren Taktschlupfes. Dabei soll $del(v_{ALU})$ eine untere Schranke und $del(v_{MUL})$ eine obere Schranke für $T_{MinAvgSlack}$ sein. Zeichnen Sie einen resultierenden Ablaufplan in das folgende Diagramm ein, und geben Sie die resultierende Ausführungszeit T_{ex} an. (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 selbst für einfache arithmetische Anweisungen im Allgemeinen nicht konstant? (1 Punkt)

Bearbeitungspapier, Seite 1