

Technische Universität Ilmenau
Fakultät IA
Fachgebiet Rechnerarchitektur

Praktikum Rechnerarchitektur 2
WS 2021/22

Versuchsprotokoll

Versuche Befehlsausführung und Mikrocontroller

21. Januar 2022

Versuch B: Befehlsausführung

Simulative Untersuchung der Ausführung von Maschinenbefehlen in unterschiedlichen Pipeline-Architekturen

Aufgabe 1

Untersuche die vorbereitete Befehlsfolge mit den drei vorgegebenen Grundstrukturen Standard-Pipeline, Superskalar-in-Order und Superskalar-out-of-Order. Beobachte den Programmablauf und machen dich mit der Bedienung vertraut! Schauen vor dem Simulationsstart auch die Parametereinstellungen für Sprungvorhersage und Result Forwarding an (hier können auch Änderungen vorgenommen werden) und interpretiere das Verhalten während der Simulation.

Code A1b

```
        addiu    $t1, $zero, 11
        addiu    $t2, $zero, 0
loop:   addu     $t2, $t2, $t1
        addiu    $t1, $t1, -1
        bnez     $t1, loop
```

Alle Strukturen mit Result-Forwarding und 2-Bit Vorhersage.

Beobachtung:

- Standard Pipeline
 - Takte: 43
 - Befehle: 39
 - Befehle pro Takt: 0,81
 - Sprünge: 11
- Superskalar In-Order Pipeline (4 EX Einheiten)
 - Takte: 29
 - Befehle: 44
 - Befehle pro Takt: 1,21
 - Sprünge: 11
- Superskalar Out-of-Order (4 EX Einheiten)
 - Takte: 20
 - Befehle: 58

- Sprünge: 12

Aufgabe 2

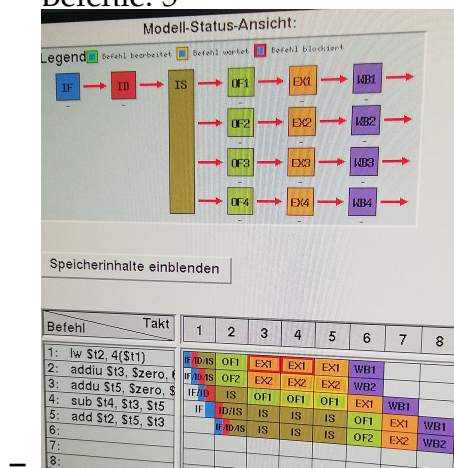
Untersuche die Befehlsfolgen A4 und B2 mit mindestens je drei unterschiedlichen Simulationsläufen! Wähle die benutzten Pipelinestrukturen und Parametereinstellungen selbst aus. Vergleiche die Ergebnisse mit den Lösungen aus der Übung und suche Erklärungen für eventuelle Unterschiede!

Code A4

```
lw      $t2, 4($t1)
addiu   $t3, $zero, 65
addu    $t5, $zero, $t2
sub     $t4, $t3, $t5
add     $t2, $t5, $t3
```

Beobachtung:

- Standard Pipeline
 - Takte: 11
 - Befehle: 5
- Superskalar In-Order Pipeline (4 EX Einheiten)
 - Takte: 8
 - Befehle: 5



- Superskalar Out-of-Order (4 EX Einheiten)
 - Takte: 8
 - Befehle: 5

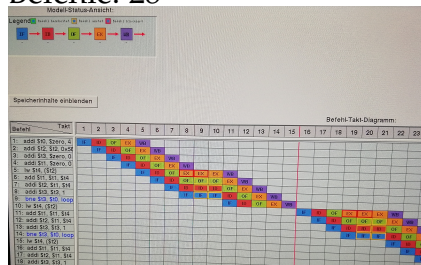
Code B2

```
# addition der inhalte von 4 aufeinander folgenden speicherzellen, beginnend mit adresse 0x12345678 ...
# $t2 enthalte bereits den wert 0x12340000
    addi    $t0, $zero, 4          # max. zaehlerwert t0 = 4
    addi    $t2, $t2, 0x5678       # adressregister t2 = startadresse
    addi    $t3, $zero, 0          # zaehlerregister t3 = 0
    addi    $t1, $zero, 0          # ergebnisregister t1 = 0
loop:  lw     $t4, ($t2)            # tempregister t4 <- wert laden
    add     $t1, $t1, $t4          # summieren
    addi    $t2, $t2, 4            # adresse um 4 erhöhen
    addi    $t3, $t3, 1            # zaehler +1
    bne     $t3, $t0, loop         # loop für zaehler != 4
```

Beobachtung: 2 Bit Vorhersage

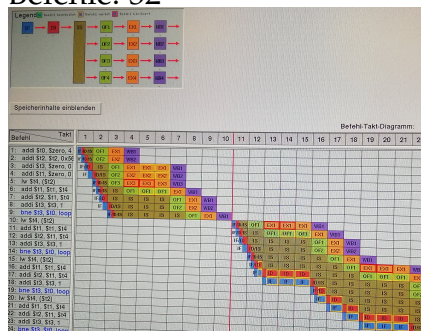
- Standard Pipeline

- Takte: 40
- Befehle: 28



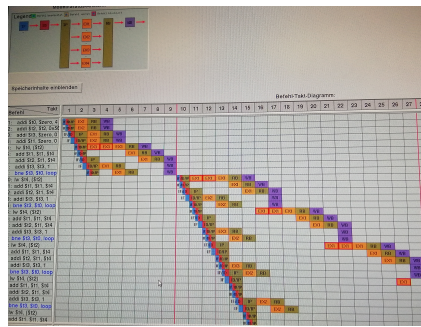
- Superskalar In-Order Pipeline (4 EX Einheiten)

- Takte: 31
- Befehle: 32



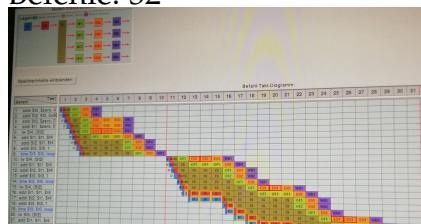
- Superskalar Out-of-Order (4 EX Einheiten)

- Takte: 27
- Befehle: 80

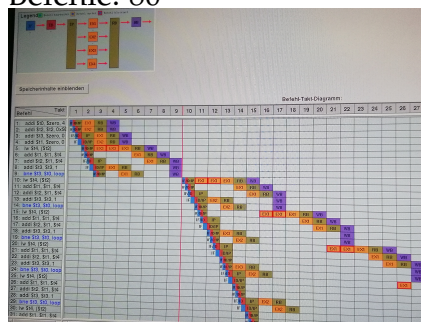


1 Bit Vorhersage

- Standard Pipeline
 - Takte: 40
 - Befehle: 28
- Superskalar In-Order Pipeline (4 EX Einheiten)
 - Takte: 31
 - Befehle: 32

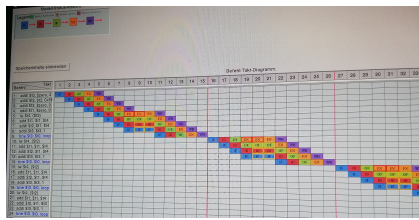


- Superskalar Out-of-Order (4 EX Einheiten)
 - Takte: 27
 - Befehle: 80



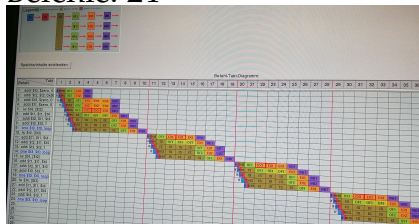
0 Bit Vorhersage

- Standard Pipeline
 - Takte: 48
 - Befehle: 24



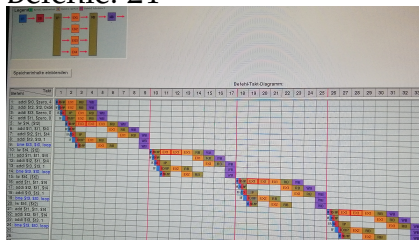
- Superskalar In-Order Pipeline (4 EX Einheiten)

- Takte: 37
- Befehle: 24



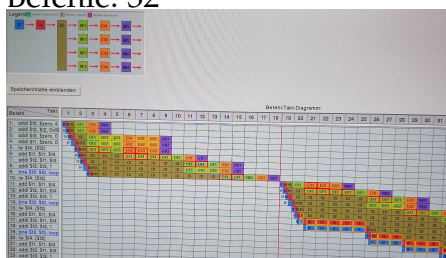
- Superskalar Out-of-Order (4 EX Einheiten)

- Takte: 33
- Befehle: 24



Superskalar In-Order Pipeline ohne Result Forwarding (4 EX Einheiten)

- Takte: 57
- Befehle: 32



Aufgabe 3

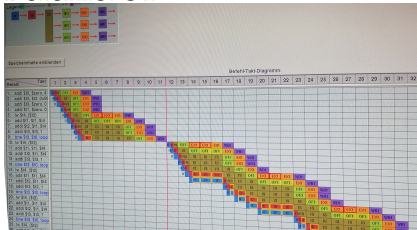
Änderne nun eine der vorgegebenen Pipelinestrukturen ab, z.B. die Anzahl der parallelen Pipelines verändern. Orientiere dich zuvor über den Inhalt des „Baukastens“.

Untersuche mit den oben verwendeten Befehlsfolgen die Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse! Variiere dabei die Parameter und interpretiere die Ergebnisse!

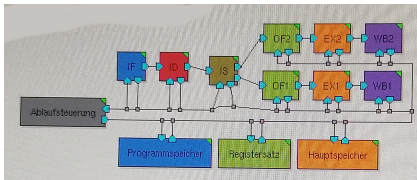
Beobachtung: jeweils mit 2 Bit Vorhersage und Result Forwarding

- Superskalar In-Order Pipeline (3 EX Einheiten)

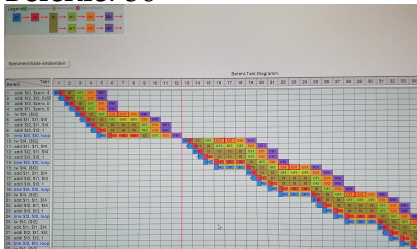
- Takte: 32
- Befehle: 31



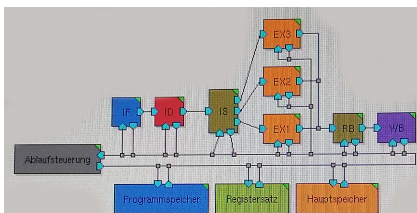
- Superskalar In-Order Pipeline (2 EX Einheiten)



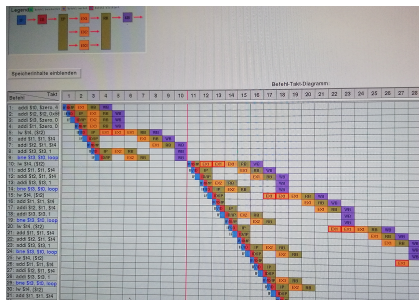
- Takte: 34
- Befehle: 30



- Superskalar Out-of-Order (3 EX Einheiten)

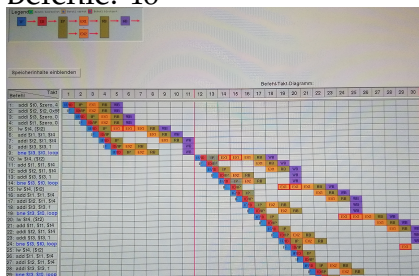


- Takte: 28
- Befehle: 62



- Superskalar Out-of-Order (2 EX Einheiten)

- Takte: 30
- Befehle: 46



- Superskalar Out-of-Order (9 EX Einheiten)

- Takte: 27
- Befehle: 165

Zusatzaufgaben

Z1

Untersuche weitere Befehlsfolgen, z.B. aus A5, A6, A7, B1 oder nach eigenen Entwürfen!

Code A5

```

addiu $t1, $zero, 3      #$t1:=3
addiu $t2, $zero, 0      #$t2:=0
loop: addu $t2, $t2, $t1   #$t2:= $t2+$t1
addiu $t1, $t1, -1       #$t1:= $t1-1
bnez $t1, loop           #branch loop (if $t1<>0)
or $t3, $zero, $t1       #$t3:= $t1
sll $t4, $t1, 2          #$t4:= $t1 << 2
and $t5, $t1, $t5        #$t5:= $t5 AND $t1
or $t6, $t1, $t6         #$t6:= $t6 OR $t1

```

Code A6

```

addiu $t1, $zero, 100
loop1: addiu $t2, $zero, 100

```

```
loop2:  addiu    $t2, $t2, -1
        ...
        ...
        bnez    $t2, loop2
        addiu   $t1, $t1, -1
        bne     $t1, 1, loop1
```

Code A7

```
        addiu   $t1, $zero, 991
loop:   ...
        addu    $t2, $zero, $t1
        and     $t2, $t2, 0x08
        bnez    $t2, next
        ...
next:   ...
        addiu   $t1, $t1, -1
        bne     $t1, -1, loop
```

Code B1

```
add     $t5, $zero, $t2
add     $t4, $t6, $t5
add     $t3, $t7, $t3
lw      $t0, ($t3)
add     $t7, $zero, $t2
add     $t1, $t6, $t0
sw      $t5, ($t1)
sub     $t2, $t5, $t6
addi    $t4, $zero, 0
addi    $t3, $t3, 1
```

Z2

Nehme weitere Änderungen an Parametern und Pipelinestrukturen vor!

Z3

Versuche Befehlsfolgen zu finden, die die strukturellen Ressourcen besonders gut ausnutzen oder die Wirksamkeit bestimmter Methoden (wie z.B. Sprungvorhersagen) besonders gut sichtbar werden lassen!

Versuch M: Mikrocontroller

Assemblerprogrammierung mit dem 8-Bit-Mikrocontroller ATtiny25

Aufgabe 1: Ein- und Ausschalten der LED

Die LED soll über die beiden Taster ein-, aus- und umgeschaltet werden. Dazu ist eine funktionierende Teillösung vorgegeben, welche erweitert werden soll.

Schritt a: Start der Entwicklungsumgebung

Gebe das folgende Programm ein. Es soll die vorhandenen Befehle ersetzen.

```
.INCLUDE "tn25def.inc"    // Einfügen von Symbolen, u.a. für I/O-Register
.DEVICE ATtiny25         // Festlegen des Controllertyps
anf:
    ldir    16,0x07
    out     DDRB,r16      // Port B: Richtungseinstellung
    ldi     r16,0x18
    out     PORTB,r16     // Port B: Pull-up für Taster-Eingänge aktivieren
lo1:
    sbis    PINB,PB4      // Abfrage TASTER1, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    sbi     PORTB,0       // Einschalten der LED (blau)
    sbis    PINB,PB3      // Abfrage TASTER2, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    cbi     PORTB,0       // Ausschalten der LED (blau)
    rjmp    lo1           // Sprung zum Schleifenbeginn
```

Schritt b: Manuelle Farbwechsel der LED

Das Programm soll jetzt so erweitert werden, dass die LED mit den beiden Tastern zwischen zwei Leuchtfarben umgeschaltet werden kann.

```
.INCLUDE "tn25def.inc"    // Einfügen von Symbolen, u.a. für I/O-Register
.DEVICE ATtiny25         // Festlegen des Controllertyps
anf:
    ldir    16,0x07
    out     DDRB,r16      // Port B: Richtungseinstellung
    ldi     r16,0x18
    out     PORTB,r16     // Port B: Pull-up für Taster-Eingänge aktivieren
lo1:
    sbis    PINB,PB4      // Abfrage TASTER1, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    sbi     PORTB,0       // Einschalten der LED (blau)
    sbis    PINB,PB3      // Abfrage TASTER2, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    cbi     PORTB,0       // Ausschalten der LED (blau)
    rjmp    lo1           // Sprung zum Schleifenbeginn
...

```

Verändere das Programm nun so, dass durch abwechselndes Drücken der beiden Taster eine Sequenz von mindestens sechs unterschiedlichen Leuchtvarianten der LED durchgeschaltet werden kann.


```
.INCLUDE "tn25def.inc"    // Einfügen von Symbolen, u.a. für I/O-Register
.DEVICE ATtiny25          // Festlegen des Controllertyps
anf:
    ldir    16,0x07
    out     DDRB,r16       // Port B: Richtungseinstellung
    ldi     r16,0x18
    out     PORTB,r16     // Port B: Pull-up für Taster-Eingänge aktivieren
lo1:
    sbis    PINB,PB4       // Abfrage TASTER1, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    sbi     PORTB,0        // Einschalten der LED (blau)
    sbis    PINB,PB3       // Abfrage TASTER2, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    cbi     PORTB,0        // Ausschalten der LED (blau)
    rjmp    lo1           // Sprung zum Schleifenbeginn
    ....
```

Aufgabe 2: Blinken der LED

Das Programm soll die LED fortlaufend blinken lassen. Diese Funktion wird mit einem Zähler/Zeitgeber-Interrupt realisiert.

Schritt a: Einfaches Blinken

Die Aufgabe besteht nun darin, die LED periodisch ein- und auszuschalten, so dass sich eine Frequenz von etwa 2 Hz ergibt. Das Umschalten der LED soll in der Interruptserviceroutine eines Zähler/Zeitgeber-Interrupts erfolgen. Dafür soll Timer/-Counter 0 so initialisiert werden, dass er Interrupts mit einer Folgefrequenz von etwa 4 Hz auslöst. Stütze dich dazu auf das folgende Programmfragment:

```
// Interrupttabelle (muss vor dem ersten ausführbaren Befehl stehen):
tab: rjmp   anf // Programmstart nach Reset ("Interrupt" 1)
    reti
    reti
    reti
    reti
    reti
    reti
    reti
    reti
    reti
    rjmp    i_11 // Timer 0 Compare A Interrupt (Interrupt 11)
    reti
    reti
    reti
    // Tabellenende (Interrupt 15)

// Initialisierungsteil und Hintergrundprogramm:
anf: [...] // Weitere Initialisierungen
    [...] // Initialisierung von Timer/Counter 0 (Empfehlung:
           // Betriebsart CTC, Vergleichsregister A nutzen)
    sei    // Globale Interruptfreigabe
    ldi    r16,0x10
    out    TIMSK,r16 // Freigabe von Interrupt 11 (Timer 0 Compare A)
lo2: rjmp   lo2 // Leere Hintergrundschleife

// Interruptserviceroutine:
i_11: in    r25,SREG // Flags retten (weitere Rettungen nach Bedarf)
```

```
[...]          // Inhalt der Routine
out    SREG,r25 // Flags restaurieren
reti                   // Routine beenden
```

Die Hintergrundschleife bleibt zunächst leer. Entwickle und teste das Programm für diese Aufgabe.

```
.INCLUDE "tn25def.inc" // Einfügen von Symbolen, u.a. für I/O-Register
.DEVICE ATtiny25       // Festlegen des Controllertyps

// Interrupttabelle (muss vor dem ersten ausführbaren Befehl stehen):
tab: rjmp  anf // Programmstart nach Reset ("Interrupt" 1)
     reti
     reti
     reti
     reti
     reti
     reti
     reti
     reti
     rjmp  i_11 // Timer 0 Compare A Interrupt (Interrupt 11)
     reti
     reti
     reti
     reti // Tabellenende (Interrupt 15)

// Initialisierungsteil und Hintergrundprogramm:
anf:
    ldir    16,0x07
    out     DDRB,r16 // Port B: Richtungseinstellung
    ldi     r16,0x18
    out     PORTB,r16 // Port B: Pull-up für Taster-Eingänge aktivieren
    [...] // Weitere Initialisierungen
    [...] // Initialisierung von Timer/Counter 0 (Empfehlung:
           // Betriebsart CTC, Vergleichsregister A nutzen)
    sei     // Globale Interruptfreigabe
    ldi     r16,0x10
    out     TIMSK,r16 // Freigabe von Interrupt 11 (Timer 0 Compare A)

lo1:
    sbis    PINB,PB4 // Abfrage TASTER1, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    sbi     PORTB,0  // Einschalten der LED (blau)
    sbis    PINB,PB3 // Abfrage TASTER2, Skip Folgebefehl wenn nicht gedrückt
    cbi     PORTB,0  // Ausschalten der LED (blau)
    rjmp    lo1      // Sprung zum Schleifenbeginn
lo2: rjmp    lo2      // Leere Hintergrundschleife

// Interruptserviceroutine:
i_11: in     r25,SREG // Flags retten (weitere Rettungen nach Bedarf)
     [...] // Inhalt der Routine
     out     SREG,r25 // Flags restaurieren
     reti                   // Routine beenden
```

Schritt b: Erweitertes Blinken

Baue in die Hintergrundschleife eine Abfrage von TASTER1 und TASTER2 ein. Durch Drücken von TASTER1 soll die Blinkfrequenz verdreifacht werden, durch TASTER2 wird sie auf den ursprünglichen Wert zurückgestellt. Teste diese Funktion. Der Vorgang soll sich beliebig wiederholen lassen.

Stelle das Programm nun so um, dass die beiden Blinkfrequenzen deutlich langs-

mer sind: Etwa 1,0 Hz und etwa 0,5 Hz. Beachte, dass der Zählumfang des Timer/-Counter dafür nicht ausreicht, auch nicht mit dem größten Vorteiler. Das Programm muss also in der Struktur verändert werden. Erweitere das Programm so, dass eine Sequenz aus mindestens vier unterschiedlichen Leuchtzuständen durchlaufen wird.

Aufgabe 3: Einfaches Dimmen der LED mittels PWM

Stelle die Helligkeit der LED mittels PWM (pulse width modulation, Pulsbreitenmodulation) auf wählbare Zwischenwerte ein.

Schritt a: Einfache Helligkeitseinstellung

Zunächst soll die LED (nur eine Farbe) auf eine beliebige, aber konstante Helligkeit eingestellt werden können. Realisiere dazu eine PWM-Ausgabe mit 256 Helligkeitsstufen, wobei die Zeitintervalle wahlweise mittels Zählschleifen oder mittels Timer/Counter-Interrupt generiert werden. Den Helligkeitswert können über ein Universalregister vorgegeben werden, in welches im Debugger bei gestopptem Programm jeweils unterschiedliche Werte eintragen werden können. Alternativ können auch die PWM-Betriebsarten der Timer/Counter-Baugruppen ausprobiert werden, soweit es die Hardwarekonfiguration zulässt. Empfohlen wird die Betriebsart „Fast PWM“ mit normaler Zählung.

Schritt b: Helligkeitseinstellung mit Tastern

Nun sollen die beiden Taster als Bedienelemente zum Auf- und Abdimmen verwendet werden. Werte dabei die Dauer der Tastendrucke aus, nicht deren Anzahl. Die Helligkeit soll bei gedrückt gehaltenem Taster stetig zu- oder abnehmen. Bei losgelassenen Tastern soll die Helligkeit konstant bleiben.

Zusatzaufgabe: Fortlaufendes Auf- und Abdimmen der LEDs

Diese Aufgabe soll als Anregung für weiterführende Experimente nach eigenen Ideen dienen. Die Helligkeit der LED soll in einer geeigneten Geschwindigkeit stetig herauf- und heruntergeregelt werden, so dass ein „weiches Blinken“ entsteht. Da-

zu muss einen Mechanismus implementiert werden, der den Helligkeitswert nach einem geeigneten Zeitschema verändert. Realisiere weitere Lichteffekte dieser Art, bei denen nun auch mehrere Leuchtfarben beteiligt sind. Realisiere eine Umschaltung zwischen unterschiedlichen Lichteffekten. Realisiere weitergehende Funktionen nach eigenen Ideen.