Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Technische Informatik
Lehrstuhl für Rechnerarchitektur
und Parallelverarbeitung
Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Karl

Zentralübung Rechnerstrukturen

Übungsblatt 3: Prozessorarchitektur - Sprungvorhersage

Besprechung: 19. Mai 2011

1 Sprungvorhersage I

a) Um das Leerlaufen der Pipeline bei Kontrollflussbefehlen zu vermeiden, existieren statische, sowie dynamische Techniken, die jeweils zu verschiedenen Teilen durch Hardware und Software unterstützt werden. Nennen Sie diese und stellen Sie die wesentlichen Unterschiede gegenüber.

b) Zeichnen Sie einen 2-Bit-Prädiktor einmal mit Sättigungszähler und einmal mit Hysteresezähler. Worin liegt die Motivation zur Verwendung eines Hysterese- anstelle eines Sättigungszählers?

c) Füllen Sie die Tabelle für die Vorhersagen und Zustände der obigen zwei Prädiktoren und das unten angegebene Programm aus, wobei alle Sprünge auf denselben Prädiktor zugreifen und die Prädiktoren mit Predict Weakly Not Taken initialisiert seien.

```
1  INIT:   ADD  R1,R0,#0  ; R1=0
2          ADD  R2,R0,#2  ; R2=2
3
4  START:  BNE  R1,R0,L1  ; if (R1!=0) goto L1
5          ADD  R1,R0,#1  ; R1=1
6
7  L1:     SUB  R3,R1,R2  ; R3=R1-R2
8          BNE  R3,R0,L2  ; if (R1!=R2) goto L2
9          ADD  R1,R0,#0  ; R1=0
10         J    START     ; goto START
11
12 L2:     ADD  R1,R0,#2  ; R1=2
13         J    START     ; goto START
```

Listing 1: Programmstück in MIPS-Assembler)

Sättigungszähler:

Sprung 1			Sprung 2		
Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.	Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.
WNT	NT			T	
	T			NT	
	NT			T	
	T			NT	

Hysteresezähler:

Sprung 1			Sprung 2		
Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.	Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.
WNT	NT			T	
	T			NT	
	NT			T	
	T			NT	

d) Nehmen Sie nun an, dass jeder Sprung über einen eigenen Prädiktor verfüge (Lokale Prädiktion). Welchen Unterschied stellen Sie fest, worauf lässt sich dieser zurückführen?

Sättigungszähler:

Sprung 1			Sprung 2		
Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.	Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.
WNT	NT		WNT	T	
	T			NT	
	NT			T	
	T			NT	

Hysteresezähler:

Sprung 1			Sprung 2		
Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.	Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.
WNT	NT		T		
	T		NT		
	NT		T		
	T		NT		

e) Gegeben Sei nun ein (1,2)-Korrelationsprädiktor, der global verwendet werde. Das Schieberegister BHR sei mit NT initialisiert, und die beiden 2-Bit-Hysteresepräditoren mit Predict Weakly Taken. Füllen Sie untenstehende Tabelle für die oben ermittelten Sprungausgänge aus.

Sprungzeile	Richtung	Aktuelle Vorhersage			Neue Vorhersage	
		Historie	Prädiktor	Vorh.	Akt. Historie	Akt. Prädiktoren
4			(,)			(,)
8			(,)			(,)
4			(,)			(,)
8			(,)			(,)
4			(,)			(,)
8			(,)			(,)
4			(,)			(,)
8			(,)			(,)

2 Sprungvorhersage II

Gegeben sei der folgende MIPS-Code. Beachten Sie, dass Register R0 in der MIPS ISA immer den Wert 0 hat. Beachten Sie weiterhin, dass MIPS-Instruktionen immer an Wortgrenzen ausgerichtet sind, d.h. die niedrigsten zwei Bits der Instruktionsadresse sind immer 0. Dies führt dazu, dass die zwei niedrigsten Bits niemals zur Indizierung von Sprungvorhersagetabellen verwendet werden. Bei der Indizierung der Sprungvorhersagetabellen, werden diese also ignoriert und die verbleibenden niedrigsten Bits der Sprungadresse verwendet.

```
1  0x100          li   R2, 0                ; v = 0
2  0x104          li   R3, 100              ; Loop bound for LoopI
3  0x108          li   R4, 0                ; i = 0
4          LoopI:
5  0x10C          beq  R4, R3, EndLoopI     ; Exit LoopI if i == 100
6  0x110          li   R5, 0                ; j = 0
7          LoopJ:
8  0x114          beq  R5, R3, EndLoopJ     ; Exit LoopJ if J == 100
9  0x118          add  R6, R5, R4           ; j + i
10 0x11C          andi R6, R6, 1            ; (j+i)%2
11 0x120          bne  R6, R0, EndIf        ; Skip if (j+i)%2 != 0
12 0x124          add  R2, R2, R5           ; v +=j
13         EndIf:
14 0x128          addi R5, R5, 1            ; j++
15 0x12C          beq  R0, R0, LoopJ        ; Go back to LoopJ
16         EndLoopJ:
17 0x130          addi R4, R4, 1            ; i++
18 0x134          beq  R0, R0, LoopI        ; Go back to LoopI
```

Listing 2: Programmstück in MIPS-Assembler)

Bestimmen Sie nun für diesen Assembler-Code die exakte Anzahl an Fehlvorhersagen der Sprungvorhersage, die während der Ausführung auftreten, wenn folgende Prädiktoren verwendet werden:

a) Ein Always-Taken Prädiktor

b) Ein globaler 1-Bit Prädiktor, initialisiert mit Taken.

c) Ein 1-Bit Prädiktor mit 32 Einträgen, die niedrigsten Bits der Instruktionsadresse werden zur Indizierung des Eintrags verwendet, initialisiert mit Taken.

d) Ein 2-Bit Prädiktor mit 16 Einträgen, die niedrigsten Bits der Instruktionsadresse werden zur Indizierung des Eintrags verwendet, initialisiert mit Strongly Taken.

3 SimpleScalar

Zur Evaluation von Mikroarchitekturen werden in der Forschung und in der Industrie unterschiedliche Simulatoren eingesetzt. Einer der bekanntesten ist SimpleScalar. Das SimpleScalar-Toolset ist eine Ansammlung von mehreren Mikroarchitektursimulatoren, angefangen von `sim-fast`, einem schnellen funktionalen Simulator, bis hin zu `sim-outorder`, einem Simulator mit einem komplexen, superskalaren Prozessormodel.

3.1 Installation

Laden Sie das SimpleScalar-Toolset von der SimpleScalar-Homepage `www.simplescalar.com` herunter und installieren Sie es. Alternativ können Sie von der Rechnerstrukturen-Homepage ein Virtualbox-Image eines Kubuntu-Systems herunterladen, in dem das SimpleScalar-Toolset inkl. Cross-Compiler bereits vollständig eingerichtet ist.

Weitere Hinweise:

- SimpleScalar kann für akademische Zwecke kostenfrei verwendet werden.
- Die neuste Version 3.0e von SimpleScalar lässt auf neueren Linux-Distribution ohne Probleme installieren.
- Die Installation von zusätzlich benötigten Anwendungen, z.B. des Cross-Compilers, erfordert gewisse Anpassungen. Ein Anleitung zur Installation finden Sie z.B. hier: `www.ann.ece.ufl.edu/courses/eel5764_10fal/project/1.36445-simplescalar_installation.pdf`
- Unter Windows kann SimpleScalar mittels Cygwin `www.cygwin.com` verwendet werden. Eine Installation des Cross-Compilers ist in Cygwin aber nicht möglich.
- Informationen zu den einzelnen Simulatoren, sowie deren mögliche Parameter finden Sie im SimpleScalar User Guide `http://www.simplescalar.com/docs/users_guide_v2.pdf`

3.2 Matrix-Matrix-Multiplikation

Der Simulator `sim-bpred` ist speziell für die Simulation von aktuellen Sprungvorhersageneinheiten entwickelt worden.

a) Gegeben Sei der Quellcode `mm-std.c` für eine Standard Matrix-Matrix-Multiplikation. Übersetzen Sie diesen Quellcode zunächst mit Cross-Compiler und simulieren Sie anschließend diese Anwendung mit dem `sim-bpred`. Verwenden Sie folgende Sprungvorhersageeinheiten (Parameter für `sim-bpred` in `Typewriter`):
   - Always taken - `-bpred taken`
   - Always nottaken - `-bpred nottaken`

- Globaler 2 bit-Prädiktor - `-bpred:bimod 1`
- Prädiktortabelle mit 2 bit-Prädiktoren und 16 Einträgen - `-bpred:bimod 16`
- Globaler Korrelationsprediktor mit 1 bit-History und einem 2 bit-Prädiktor - `-bpred:2lev 1 1 1 0`

Welche Sprungvorhersageeinheit würden Sie für diese Anwendung auswählen? Begründen Sie Ihre Antwort.

3.3 MiBench Benchmark Suite

Die MiBench Benchmark Suite (siehe `http://www.eecs.umich.edu/mibench/`) ist eine Sammlung von unterschiedlichen Anwendungen zur Evaluation von eingebetteten Systemen.

a) Vergleichen Sie nun die Benchmarks `basicmath`, `qsort` und `susan` aus dem Automotive-Teil der Benchmark-Suite hinsichtlich ihrer Leistung mit verschiedenen Sprungvorhersageeinheiten. Verwenden Sie hier dieselben Prädiktoren wie in Aufgabe 3.2.

Hinweis: Verwenden Sie die vorhandenen, kleineren Eingabedatensätze. Im jeweiligen Verzeichnis des Benchmarks existiert die Datei `runme_small.sh`, welche Hinweise zum Aufruf des Benchmarks gibt. Um die Benchmarks mit dem Cross-Compiler übersetzen zu können, müssen die zugehörigen Makefiles angepasst werden. Hierzu genügt es den `gcc` durch den Cross-Compiler `sslittle-na-sstrix-gcc` zu ersetzen, sowie das Flag `-lm` zu entfernen.

Welche Vorhersageeinheit würden Sie für jede Anwendung wählen? Welche Sprungvorhersageeinheit liefert insgesamt die beste Leistung?