

Zentralübung Rechnerstrukturen

Lösungsblatt 3: Parallelismus auf Befehlsebene

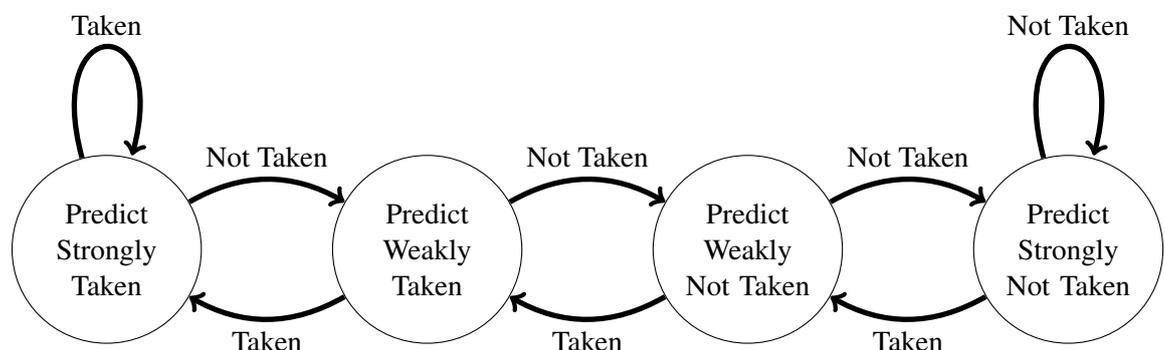
1 Sprungvorhersage

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

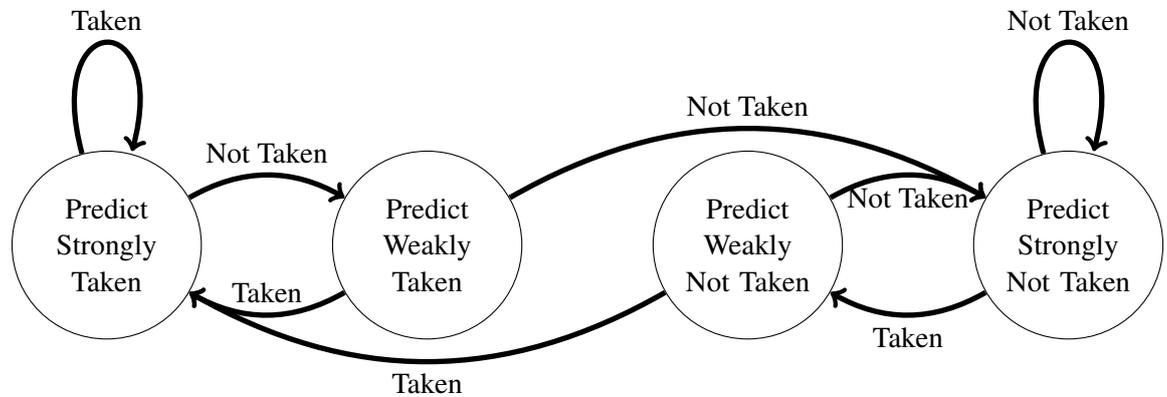
Technik:	Prädikation	Prädiktion
Beschreibung	Verwenden von Prädikaten	Sprungvorhersage
Art	Statisch	Dynamisch
Umsetzung	Compiler-gestützt	Hardware-Technik
Sprungbefehle	Keine, stattdessen spekulative Ausführung der mit Prädikat versehenen Befehle und Gültigmachen bei Evaluation des Prädikatregisters zu Wahr	Werden ausgeführt und die nächsten Befehle entsprechend der Vorhersage über den Sprungausgang geladen und spekulativ ausgeführt
Hardware	Spekulative Ausführung, Prädikatregister	Sprungzieltabelle, Prädiktor(en)

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

Sättigungszähler:



Hysteresezähler:



Der Hysteresezähler wechselt bei der zweiten Fehlvorhersage in den starken Zustand der entgegengesetzten Vorhersage, um Flattern zwischen den schwachen Zuständen zu vermeiden.

- 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 dieser mit Predict Weakly Not Taken (WNT) initialisiert seien.

Sprungverläufe

Sprung 1 Zeile 4 BNE L1	Sprung 2 Zeile 8 BNE L2	Sprung 3 Zeile 10 J START	Sprung 4 Zeile 13 J START
NT (R1=0)	T (R1=1)	-	T
T (R1=2)	NT (R1=2)	T	-
NT (R1=0)	T (R1=1)	-	T
T (R1=2)	NT (R1=2)	T	-

In Klammern steht der Wert von R1 vor dem Sprung.

Hierbei müssen die letzten zwei Sprünge nicht berücksichtigt werden: Ihre Bedingung ist immer wahr und somit wird immer gesprungen.

Zwei-Bit-Prädiktor mit Sättigungszähler

Es werden 6 Fehlannahmen gemacht:

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

Zwei-Bit-Prädiktor mit Hysteresezähler

Es werden **7** Fehlannahmen gemacht:

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

- 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?

Zwei-Bit-Prädiktor mit Sättigungszähler

Es werden **6** Fehlannahmen gemacht:

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

Zwei-Bit-Prädiktor mit Hysteresezähler

Es werden **5** Fehlannahmen gemacht:

Sprung 1			Sprung 2		
Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.	Prädiktion	Sprung	Neue Vorh.
WNT	NT	SNT	WNT	T	T
SNT	T	WNT	T	NT	WT
WNT	NT	SNT	WT	T	ST
SNT	T	WNT	ST	NT	WT

Sprungeigene Prädiktoren können genauer arbeiten. Alternativ lässt sich die Information der beiden Sprünge in Korrelation setzen, um genau aus der gegenseitigen Beeinflussung weitere Genauigkeit zu erhalten.

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

Es werden **5** Fehlvorhersagen gemacht.

Sprungzeile	Richtung	Aktuelle Vorhersage			Neue Vorhersage	
		Historie	Prädiktor	Vorh.	Akt. Historie	Akt. Prädiktoren
4	NT	NT	(WT , WT)	T	NT	(SNT, WT)
7	T	NT	(SNT, WT)	NT	T	(WNT, WT)
4	T	T	(WNT, WT)	T	T	(WNT, ST)
7	NT	T	(WNT, ST)	T	NT	(WNT, WT)
4	NT	NT	(WNT , WT)	NT	NT	(SNT, WT)
7	T	NT	(SNT, WT)	NT	T	(WNT, WT)
4	T	T	(WNT, WT)	T	T	(WNT, ST)
7	NT	T	(WNT, ST)	T	NT	(WNT, WT)

2 Sprungvorhersage II

Anzahl an genommenen / nicht genommenen Sprüngen pro Sprungadresse:

- $0 \times 10C$: for-Loop \Rightarrow 100 nicht genommen ($i = 0$ bis 99), dann einmal genommen
- 0×114 : Inner for-Loop \Rightarrow für jeden Durchlauf der äußeren Schleife: 100 nicht genommen ($i = 0$ bis 99), dann einmal genommen
 \Rightarrow Not Taken $100 * 100 = 10000$ mal, Taken $100 * 1 = 100$ mal
- 0×120 : Alterniert zwischen Taken und Not Taken
 \Rightarrow 10000 Durchläufe \Rightarrow Not Taken 5000 mal, Taken 5000 mal
- $0 \times 12C$: Rücksprung \Rightarrow wird hier immer genommen \Rightarrow Taken 10000 mal (innere Schleife)
- 0×134 : Rücksprung \Rightarrow wird hier immer genommen \Rightarrow Taken 100 mal

Abbildung der Sprungadresse auf die jeweiligen Prädiktoren anhand ihrer Sprungadresse (niederwertigsten Bits):

- $0 \times 10C$: 01100
- 0×114 : 10100
- 0×120 : 00000
- $0 \times 12C$: 01100
- 0×134 : 10100

a) Always Taken

Alle Sprünge mit Ausgang Not Taken werden falsch vorhergesagt.

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

- $0 \times 10C$: Da Prädiktor initialisiert mit T \Rightarrow Fehlvorhersage
Bei den weiteren Durchläufen bestimmt 0×134 die Vorhersage \Rightarrow Prediction immer Taken \Rightarrow Sprung wird aber nur einmal genommen (am Ende des Programms)
 \Rightarrow 100 Fehlvorhersagen

- $0x114$: Die Vorhersage wird bestimmt durch den Ausgang der Sprünge $0x10C$ und $0x12C$
Vorhersage von $0x10C$ kommend: NT (100 mal)
Vorhersage von $0x12C$ kommend: T (10000 mal)
Korrekt vorhergesagt werden die Sprünge, die von $0x10C$ kommen und die Schleifenaustritte $\Rightarrow 9900$ Fehlvorhersagen
 - $0x120$: Vorhersage wird von $0x114$ bestimmt \Rightarrow hier Vorhersage immer taken $\Rightarrow 50\%$ Fehlvorhersagen (alle Sprünge mit Ausgang Not Taken)
 - $0x12C$: Vorhersage wird von $0x120$ bestimmt \Rightarrow Vorhersage alterniert $\Rightarrow 50\%$ Fehlvorhersagen
 - $0x134$: Vorhersage wird von $0x114$ bestimmt \Rightarrow Vorhersage immer taken \Rightarrow keine Fehlvorhersagen
- c) Ein 1-Bit Prädiktor mit 32 Einträgen, die niedrigsten Bits der Instruktionsadresse werden zur Indizierung des Eintrags verwendet, initialisiert mit Taken.
Sprünge $0x10C$ und $0x12C$ fallen zusammen, sowie Sprünge $0x114$ und $0x134$
- $0x10C$: Bedingt durch die Initialisierung mit Taken und den Änderungen von $0x12C$ auf Taken, wird hier nur die letzte Iteration korrekt vorhergesagt $\Rightarrow 100$ Fehlvorhersagen
 - $0x114$: Bedingt durch die Initialisierung mit Taken und den Änderungen von $0x134$ auf Taken, erzeugt jede neue Iteration der äußeren Schleife eine Fehlvorhersage. Falsch vorhergesagt werden zudem die letzte Iteration der inneren Schleife. Alle anderen Iterationen werden korrekt vorhergesagt $\Rightarrow 200$ Fehlvorhersagen
 - $0x120$: Prädiktor alterniert ständig zwischen Taken und Nottaken. \Rightarrow Ständige Fehlvorhersagen, außer bei Eintritt in die innere Schleife $\Rightarrow 9900$ Fehlvorhersagen
 - $0x12C$: Der erste Durchlauf jeder Iteration wird falsch vorhergesagt, da $0x10C$ den Prädiktor auf Not taken setzt. Alle anderen Iterationen werden korrekt vorhergesagt $\rightarrow 100$ Fehlvorhersagen
 - $0x134$: Vorhersage wird von $0x114$ bestimmt \Rightarrow Vorhersage immer taken \Rightarrow keine Fehlvorhersagen
- d) Ein 2-Bit Prädiktor mit 16 Einträgen, die niedrigsten Bits der Instruktionsadresse werden zur Indizierung des Eintrags verwendet, initialisiert mit Strongly Taken.
Sprünge $0x10C$ und $0x12C$ fallen zusammen, sowie Sprünge $0x114$ und $0x134$
- $0x10C$: Bedingt durch die Initialisierung mit Strongly Taken und den Änderungen von $0x12C$ auf Strongly Taken, wird hier nur die letzte Iteration korrekt vorhergesagt $\Rightarrow 100$ Fehlvorhersagen
 - $0x114$: Bedingt durch die Initialisierung mit Strongly Taken, Fehlvorhersage der ersten beiden Iterationen \Rightarrow danach sagt der Prädiktor Not Taken vorher

Beim Wechsel von der inneren zur äußeren Schleife wird sowohl 0×114 , als auch 0×134 genommen \Rightarrow Vorhersage dann Weakly Taken \Rightarrow Fehlvorhersage der neuen, ersten Iteration der inneren Schleife

\Rightarrow 201 Fehlvorhersagen

- 0×120 : In der ersten Iteration, der Prädiktor alterniert ständig zwischen Strongly Taken und Weakly Taken.
 \Rightarrow 50% Fehlvorhersagen
 Sprungverlauf am Ende der Iteration: NT - T | T \Rightarrow Vorhersage zu Strongly Taken
 Zweite Iteration: Prädiktor alterniert zwischen ST und WT \Rightarrow 50% Fehlvorhersagen
 Sprungverlauf am Ende der zweiten Iteration: T - NT | NT \Rightarrow Wechsel der Vorhersage zu Weakly Not Taken
 Dritte Iteration: Prädiktor alterniert zwischen WT und WNT \Rightarrow 100% Fehlvorhersagen
 \Rightarrow 51 Iteration * 50 Fehlvorhersagen + 49 ungerade Iterationen * 100 Fehlvorhersagen \Rightarrow 7450 Fehlvorhersagen
- $0 \times 12C$: Bedingt durch die Initialisierung mit Strongly Taken \Rightarrow keine Fehlvorhersagen (auch die Fehlvorhersage von $0 \times 10C$ ändert an der Vorhersage Taken nichts)
- 0×134 : Sprung 0×114 hält den Prädiktor bei der Vorhersage Not Taken \Rightarrow 100 Fehlvorhersagen

Sprung	Statistiken			Fehlvorhersagen			
	Bits	Taken	Not Taken	Taken	1Bit	1Bit (32 Einträge)	2Bit
$0 \times 10C$	01100	1	100	100	100	100	100
0×114	10100	100	10000	10000	9900	200	201
0×120	00000	5000	5000	5000	5000	9900	7450
$0 \times 12C$	01100	10000	0	0	5000	100	0
0×134	10100	100	0	0	0	0	100
				15100	20000	10300	7851

3 SimpleScalar

a) Matrix-Multiplikation

	taken	not taken	bimod 1	bimod 16	2lev
Count	17172	2131190	17307	17067	16985
Rate	99,6%	50,4%	99,59%	99,6%	99,6%

⇒ Der Korrelationsprädiktor bietet die höchste Trefferrate und sollte daher gewählt werden.

b) MiBench Benchmark Suite

		taken	not taken	bimod 1	bimod 16	2lev
basicmath	Count	11142629	13658564	11907657	10001627	2400196
	Rate	66%	58,4%	63,7%	69,5%	92,7%
qsort	Count	2120041	2406870	2245820	1173120	446567
	Rate	68,5%	64,2%	66,6%	82,6%	93,4%
susan -s	Count	238434	1650032	247979	117397	116419
	Rate	87,4%	13,0%	86,9%	93,8%	93,9%
susan -e	Count	11707	72863	11757	6265	3403
	Rate	87,3%	21%	86,9%	92,8%	96%
susan -c	Count	20470	27832	8897	5539	2406
	Rate	63%	49,7%	83,3%	89,4%	95,1%

⇒ Der Korrelationsprädiktor bietet die höchste Trefferrate und sollte daher gewählt werden.