Άσκηση Pipeline

Νεκτάριος Κοζύρης
Άρης Σωτηρόπουλος
Νίκος Αναστόπουλος

Άσκηση Pipeline

Άσκηση Pipeline

Δεδομένα

Άσκηση Pipeline

Δεδομένα

Έχουμε ένα loop...

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Άσκηση Pipeline

Δεδομένα

Έχουμε ένα loop...

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

και αυτή την αρχική κατάσταση στους καταχωρητές

$1: 500
$7: 5

- Δεν υπάρχει cache miss
- Cache hit σε 1cc
- branches γίνονται resolve στο MEM stage

Ζητούμενο

Για το 1ο LOOP (μέχρι και το lw του 2ου LOOP)

Να δείξετε τα **διάφορα στάδια του pipeline** (Διάγραμμα χρονισμού) που περνάνε οι εντολές.
Υποδείξτε και **εξηγείστε** τα **πιθανά hazards** που μπορούν να προκύψουν κατά την εκτέλεση, καθώς και τον τρόπο που αντιμετωπίζονται.

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	7
Εντολή 1	IF	ID	EX	MEM	WB		
Εντολή 2		IF	ID	EX	MEM	WB	
Εντολή 3			…	…	…	…	…
…							

Ζητούμενο (2)

Πόσοι κύκλοι απαιτούνται συνολικά για να ολοκληρωθεί ο βρόχος (για όλες τις επαναλήψεις του, όχι μόνο για την 1η);

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	7
Εντολή 1	IF	ID	EX	MEM	WB		
Εντολή 2		IF	ID	EX	MEM	WB	
Εντολή 3			…	…	…	…	…
…							

Απάντηση

```
Rep:                          $1: 500
  lw $2,100($3)               $7: 5
  sub $2,$2,$5                Δεν υπάρχει cache miss
  sw $2,100($3)               cache hit σε 1cc
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7  ──────→  $1 = 500, 495, 490, 485, ...
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Ο βρόχος θα εκτελεστεί για 500 / 5 = 100 επαναλήψεις.

Το διάγραμμα χρονισμού του pipeline για τη χρονική διάρκεια που ζητείται είναι το ακόλουθο:

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
lw $2,100($3)	IF	ID	EX	MEM	WB								
sub $2,$2,$5		IF	ID			EX	MEM	WB					
sw $2,100($3)			IF			ID			EX	MEM	WB		
sub $3,$3,$6						IF			ID	EX	MEM	WB	
sub $1,$1,$7									IF	ID	EX	MEM	WB
bne $1,$0, Rep										IF	ID		
lw $2,100($3)													

Κύκλος	14	15	16	17	18	19	20
lw $2,100($3)							
sub $2,$2,$5							
sw $2,100($3)							
sub $3,$3,$6							
sub $1,$1,$7							
bne $1,$0, Rep	EX	MEM	WB				
lw $2,100($3)			IF	ID	EX	MEM	WB

Ή πιο συμπιεσμένο για να χωράει σε μια σελίδα ☺

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

Ας δούμε λίγο τα hazards που παρουσιάζονται

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

```
Rep:
   lw $2,100($3)
   sub $2,$2,$5
   sw $2,100($3)
   sub $3,$3,$6
   sub $1,$1,$7
   bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Stalls στους κύκλους 4,5:

Ο καταχωρητής **$2** για την εντολή **sub $2,$2,$5** (η ανάγνωση του οποίου γίνεται στο στάδιο ID) γίνεται διαθέσιμος στο τέλος του κύκλου 5 (στάδιο WB) από την εντολή **lw**.

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Stalls στους κύκλους 7,8:

Ο $2 για την εντολή sw $2,100($3) γίνεται διαθέσιμος στο τέλος του κύκλου 8.

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

```
Rep:
   lw $2,100($3)
   sub $2,$2,$5
   sw $2,100($3)
   sub $3,$3,$6
   sub $1,$1,$7
   bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Stalls στους κύκλους 12,13:

Ο $1 για την εντολή bne $1,$0,Rep γίνεται διαθέσιμος στο τέλος του κύκλου 13.

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

Το δεύτερο στιγμιότυπο της εντολής lw $2,100($3)
αρχίζει να εκτελείται από τον κύκλο 16,
διότι η απόφαση για την διακλάδωση ελήφθη στον κύκλο 15.

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

15 κύκλοι ρολογιού

Για τα πρώτα 99 loops έχουμε 99 × 15cc= 1485cc.
Για την 100η επανάληψη έχουμε 16cc.

Συνολικά απαιτούνται 1485cc + 16cc = **1501cc** για την εκτέλεση του βρόχου.

Pipeline 2

Για την ίδια ακολουθία εντολών,

Pipeline 2

Για την ίδια ακολουθία εντολών,

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Pipeline 2

Για την ίδια ακολουθία εντολών, δείξτε και εξηγείστε **τον χρονισμό του pipeline**,

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Pipeline 2

Για την ίδια ακολουθία εντολών, δείξτε και εξηγείστε **τον χρονισμό του pipeline**, θεωρώντας τώρα ότι **υπάρχει σχήμα προώθησης**.

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Pipeline 2

Για την ίδια ακολουθία εντολών, δείξτε και εξηγείστε **τον χρονισμό του pipeline**, θεωρώντας τώρα ότι **υπάρχει σχήμα προώθησης**.
Θεωρείστε ότι οι αποφάσεις για τις διακλαδώσεις λαμβάνονται στο στάδιο MEM.

Ερώτημα:
Πόσοι κύκλοι απαιτούνται συνολικά για να ολοκληρωθεί ο βρόχος;

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0, Rep
Exit:
```

Σύγκριση με και χωρίς προώθηση

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID		EX	M	WB													
sw			IF		ID	EX	M	WB												
sub					IF	ID	EX	M	WB											
sub						IF	ID	EX	M	WB										
bne							IF	ID	EX	M	WB									
lw											IF	ID	EX	M	WB					

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0,Rep
Exit:
```

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID		EX	M	WB													
sw			IF		ID	EX	M	WB												
sub					IF	ID	EX	M	WB											
sub						IF	ID	EX	M	WB										
bne							IF	ID	EX	M	WB									
lw											IF	ID	EX	M	WB					

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0,Rep
Exit:
```

Στον κύκλο 4 υπάρχει stall. **Γιατί**;

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
lw	IF	ID	EX	MEM	WB										
sub		IF	ID		EX	MEM	WB								
sw			IF		ID	EX	MEM	WB							
sub					IF	ID	EX	MEM	WB						
sub						IF	ID	EX	MEM	WB					
bne							IF	ID	EX	MEM	WB				
lw											IF	ID	EX	MEM	WB

Η τιμή της θέσης μνήμης 100($3), που θα αποθηκευτεί στον $2, δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη πριν το στάδιο MEM.

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0,Rep
Exit:
```

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
lw	IF	ID	EX	MEM	WB										
sub		IF	ID		EX	MEM	WB								
sw			IF		ID	EX	MEM	WB							
sub					IF	ID	EX	MEM	WB						
sub						IF	ID	EX	MEM	WB					
bne							IF	ID	EX	MEM	WB				
lw											IF	ID	EX	MEM	WB

Η τιμή της θέσης μνήμης 100($3), που θα αποθηκευτεί στον $2, δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη πριν το στάδιο MEM.

Όταν όμως θα γίνει διαθέσιμη στο τέλος του κύκλου αυτού θα προωθηθεί στις εισόδους της ALU, ώστε να εκτελεστεί η εντολή sub $2,$2,$5 χωρίς να περιμένουμε να γραφτεί η τιμή στον $2.

Αποφεύγεται το stall που είχαμε στην προηγούμενη περίπτωση στην κύκλο 5 ☺

```
Rep:
  lw $2,100($3)
  sub $2,$2,$5
  sw $2,100($3)
  sub $3,$3,$6
  sub $1,$1,$7
  bne $1,$0,Rep
Exit:
```

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
lw	IF	ID	EX	MEM	WB										
sub		IF	ID		EX	MEM	WB								
sw			IF		ID	EX	MEM	WB							
sub					IF	ID	EX	MEM	WB						
sub						IF	ID	EX	MEM	WB					
bne							IF	ID	EX	MEM	WB				
lw											IF	ID	EX	MEM	WB

Το ίδιο ισχύει και για τα stalls που είχαμε στους κύκλους 7, 8

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID		EX	M	WB													
sw			IF		ID	EX	M	WB												
sub					IF	ID	EX	M	WB											
sub						IF	ID	EX	M	WB										
bne							IF	ID	EX	M	WB									
lw											IF	ID	EX	M	WB					

Το ίδιο ισχύει και για τα stalls που είχαμε στους κύκλους 12, 13.

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID			EX	M	WB												
sw			IF			ID			EX	M	WB									
sub						IF			ID	EX	M	WB								
sub									IF	ID	EX	M	WB							
bne										IF	ID			EX	M	WB				
lw																IF	ID	EX	M	WB

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID		EX	M	WB													
sw			IF		ID	EX	M	WB												
sub					IF	ID	EX	M	WB											
sub						IF	ID	EX	M	WB										
bne							IF	ID	EX	M	WB									
lw											IF	ID	EX	M	WB					

Πλήθος Κύκλων Ρολογιού

CC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
lw	IF	ID	EX	M	WB															
sub		IF	ID		EX	M	WB													
sw			IF		ID	EX	M	WB												
sub					IF	ID	EX	M	WB											
sub						IF	ID	EX	M	WB										
bne							IF	ID	EX	M	WB									
lw											IF	ID	EX	M	WB					

10 κύκλοι ρολογιού

Για τα πρώτα 99 loops έχουμε 99 × 10cc = 990cc.
Για την 100η επανάληψη έχουμε 11cc.

Συνολικά απαιτούνται 990cc + 11cc = **1001cc** για την εκτέλεση του βρόχου.

Χωρίς την προώθηση χρειαστήκαμε **1501cc.**

ΤΕΛΟΣ