



2^η Άσκηση Στην Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Ακ. Έτος 2013 - 2014, 5^ο Εξάμηνο, Σχολή ΗΜ&ΜΥ

Τμήμα Λ - Ω

Ημερομηνία Παράδοσης: 31/01/2014

Απορίες στο: ca2013-2014t2@cslab.ece.ntua.gr

Μέρος Α

Σχεδιάστε ένα σύστημα κινητής υποδιαστολής sysfp36 στο οποίο διατίθενται 36 bits για την παράσταση ενός αριθμού, κατ' αναλογία με το πρότυπο IEEE 754.

Για το σύστημα sysfp36 να δοθούν

1. Οι τύποι για τον υπολογισμό της τιμής για οποιαδήποτε πιθανή παράσταση
2. Το εύρος παράστασης των αριθμών (δηλαδή τον μέγιστο πιθανό παραστήσιμο αριθμό)
3. Η μέγιστη ακρίβεια (δηλαδή η ελάχιστη διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών παραστήσιμων αριθμών)

Λύση:

Το συγκεκριμένο ζήτημα δεν επιδέχεται μοναδική λύση, αρκεί η προτεινόμενη λύση να συμμορφώνεται στις προδιαγραφές του προτύπου IEEE 754.

Έστω λοιπόν η ακόλουθη αρχιτεκτονική:

| s | e | f |
|-------|-------|--------|
| 1 bit | 7 bit | 28 bit |

Βάσει της παραπάνω αρχιτεκτονικής επιλογής θα έχουμε πόλωση: $p=2^{(7-1)}-1=63$

Συνεπώς η τιμή του αριθμού V σε κάθε περίπτωση ορίζεται ως:

1. $0 < e < 127$: $V = -1^s * 2^{(e-63)} * (1, f)$ (normal)
2. $e = 127, f < > 0$: $V = NaN$
3. $e = 127, f = 0, s = 1$: $V = -\infty$
4. $e = 127, f = 0, s = 0$: $V = +\infty$
5. $e = 0, f = 0, s = 0$: $V = +0$
6. $e = 0, f = 0, s = 1$: $V = -0$
7. $e = 0, f < > 0$: $V = (-1)^s * 2^{-62} * (0, f)$ (subnormal)

Ο μέγιστος παραστήσιμος αριθμός υπολογίζεται ως:

$$V_{max} = \pm(1,11..1) * 2^{(126-63)}$$

Η ακρίβεια μεταξύ normal:

$$D_{normal} = (1,0..0) * 2^{(1-63)} = 2^{-62}$$

Και η ακρίβεια μεταξύ subnormal:

$$D_{subnormal} = (0,0..01) * 2^{-62} = 2^{-28} * 2^{-62} = 2^{-90}$$

Μέρος Β

Δίνεται ο παρακάτω κώδικας MIPS:

```
addi $3, $0, 100
```

```
add $1, $0, $0
```

Loop:

```
addi $2, $1, $0
```

```
sll $2, $2, 2
```

```
lw $4, 400($2)
```

```
muli $4, $4, 10
```

```
add $4, $4, $2
```

```
sw $4, 800($2)
```

```
addi $1, $1, 1
```

```
bne $1, $3, Loop
```

Exit: halt

Ο παραπάνω κώδικας εκτελείται σε επεξεργαστή MIPS με αρχιτεκτονική σωλήνωσης (pipeline) 5 σταδίων (IF, ID, EX, MEM, WB). Η εγγραφή σε κάποιον καταχωρητή (WB) γίνεται στο πρώτο μισό ενός κύκλου, ενώ η ανάγνωση (ID) στο δεύτερο μισό του ίδιου κύκλου. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν αστοχίες στην συνδιαλλαγή με τη μνήμη. Η απόφαση διακλάδωσης λαμβάνεται στο στάδιο MEM.

1. Ζητείται το διάγραμμα χρονισμού για μία επανάληψη του παραπάνω βρόχου και το πλήθος των απαιτούμενων κύκλων για την ολοκλήρωση της εκτέλεσης:

Αρχικά εντοπίζουμε ότι ο βρόχος θα επαναληφθεί 100 φορές.

- a. Σε περίπτωση μη ύπαρξης σχήματος προώθησης

RAW only once!

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
|---------------------------|----|----|----|-------|-------|---|----|-------|---|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| addi \$3, \$0, 100 | IF | ID | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| add \$1, \$0, \$0 | | IF | ID | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| addi \$2, \$1, \$0 | | | IF | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sll \$2, \$2, 2 | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| lw \$4, 400(\$2) | | | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | |
| muli \$4, \$4, 10 | | | | | | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | |
| add \$4, \$4, \$2 | | | | | | | | | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | |
| sw \$4, 800(\$2) | | | | | | | | | | | | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | |
| addi \$1, \$1, 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | IF | - | - | ID | EX | MEMWB | | | |
| bne \$1, \$3, Loop | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | IF | ID | - | - | EX | MEMWB | |
| addi \$2, \$1, \$0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | IF |

Άρα απαιτούνται: 28 κύκλοι για την εκτέλεση της πρώτης επανάληψης και του κώδικα αρχικοποίησης.

| | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
|---------------------------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|-------|----|----|----|-------|-------|----|-------|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|
| addi \$1, \$1, 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| bne \$1, \$3, Loop | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| addi \$2, \$1, \$0 | ID | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sll \$2, \$2, 2 | IF | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| lw \$4, 400(\$2) | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| muli \$4, \$4, 10 | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | | | | | |
| add \$4, \$4, \$2 | | | | | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | | |
| sw \$4, 800(\$2) | | | | | | | | | | IF | - | - | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | | | | | | |
| addi \$1, \$1, 1 | | | | | | | | | | | | | | IF | - | - | ID | EX | MEMWB | | | | | | | | | |
| bne \$1, \$3, Loop | | | | | | | | | | | | | | | | | IF | ID | - | - | EX | MEMWB | | | | | | |
| addi \$2, \$1, \$0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | IF |

Άρα για κάθε επόμενη επανάληψη απαιτούνται 23 κύκλοι. Αυτή η μείωση οφείλεται τόσο στην επικάλυψη ενός κύκλου, όσο και στο ότι η πρώτη επανάληψη εμφάνιζε RAW hazard με τον κώδικα αρχικοποίησης στον καταχωρητή \$1, γεγονός που εισήγαγε 2 κύκλους φυσαλίδες. Οι 2 αυτοί κύκλοι είχαν ως αντίκτυπο άλλα 2 επιπλέον stall λόγω structural hazard μεταξύ των εντολών addi \$2, \$1, \$0 και sll \$2, \$2, 2.

Συνεπώς για την ολοκλήρωση της εκτέλεσης απαιτούνται $28 + 99 \cdot 23 = 2305$ κύκλοι

b. Σε περίπτωση ύπαρξης σχήματος προώθησης

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| addi \$3, \$0, 100 | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | | | | |
| add \$1, \$0, \$0 | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | | | |
| addi \$2, \$1, \$0 | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | | |
| sll \$2, \$2, 2 | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | | |
| lw \$4, 400(\$2) | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | | | | |
| muli \$4, \$4, 10 | | | | | | IF | ID | - | EX | MEM | WB | | | | |
| add \$4, \$4, \$2 | | | | | | | IF | - | ID | EX | MEM | WB | | | |
| sw \$4, 800(\$2) | | | | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | | |
| addi \$1, \$1, 1 | | | | | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | | |
| Bne \$1, \$3, Loop | | | | | | | | | | IF | ID | EX | MEM | WB | |
| addi \$2, \$1, \$0 | | | | | | | | | | | | | | | IF |

Σε αυτήν την περίπτωση απαιτούνται: $2+13+99*12 = 1203$ κύκλοι

2. Θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί ο κώδικας χωρίς να αλλάξει η σημασιολογία του; Αν ναι δώστε το διάγραμμα χρονισμού για μία επανάληψη του βρόχου, με υποστηριζόμενο μηχανισμό προώθησης και υπολογίστε τους κύκλους που απαιτεί η εκτέλεση του προγράμματος.

Με τη μεταφορά της εντολής `addi $1, $1, 1` μεταξύ των `lw $4, 400($2)` και `muli $4, $4, 10` αποφεύγεται η φουσαλίδα κερδίζοντας έναν κύκλο ρολογιού για κάθε επανάληψη. Συνεπώς στην περίπτωση αυτή απαιτούνται $2+12+99*11 = 1103$ κύκλοι. (Το διάγραμμα είναι το ίδιο με πριν αν εξαιρέσουμε τα stalls που οφείλεται στην `lw` και ακυρώσουμε την προώθηση στην `bne`).

Απορίες στο: <http://www.cslab.ece.ntua.gr/courses/comparch/submit>