

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών



Γιώργος Δημητρίου

Ενότητα 4^η:

Δυναμική Δρομολόγηση Εντολών
(Scoreboarding & Tomasulo)

Πέρα από τη Μερική Επικάλυψη

Εκμετάλλευση παραλληλίας εντολών (ILP):

- Στατική δρομολόγηση για προσαρμογή στις δυνατότητες της αρχιτεκτονικής
- Δυναμική δρομολόγηση για εκτέλεση εκτός σειράς
- Βελτιωμένοι αλγόριθμοι πρόβλεψης διακλαδώσεων
- Υποθετική εκτέλεση
- Υπερβαθμωτή εκτέλεση και πολλαπλές ροές ελέγχου

Σειρά Εκτέλεσης Εντολών

- Η σειρά εκτέλεσης περιορίζεται από τις εξαρτήσεις μεταξύ των εντολών:

Ldc1 \$f6,34(\$2)

Ldc1 \$f2,45(\$3)

Mul.d \$f0,\$f2,\$f4

Sub.d \$f8,\$f6,\$f2

Div.d \$f10,\$f0,\$f6

Add.d \$f6,\$f8,\$f2

- Η αρχιτεκτονική δεν παραβιάζει τις εξαρτήσεις, αλλά μπορεί να διευκολύνει την εκτέλεση!

Στατική Δρομολόγηση Εντολών

- Περιορισμένες διευκολύνσεις από τον επεξεργαστή
- Εκμετάλλευση ILP μέσα από βελτιστοποιήσεις του μεταγλωττιστή
- Οι εντολές εκτελούνται με τη σειρά που προσκομίζονται
- Πάγωμα για όσους κινδύνους δε μπορεί να αντιμετωπίσει ο επεξεργαστής

Δυναμική Δρομολόγηση Εντολών

- Ειδικό υλικό παρακολουθεί την εκτέλεση κάθε εντολής που προσκομίζεται
- Οι εντολές εκτελούνται όταν είναι έτοιμες για εκτέλεση
 - Τα τελούμενα εισόδου είναι διαθέσιμα
 - Η υπομονάδα εκτέλεσης είναι ελεύθερη
- Η αποθήκευση αποτελέσματος γίνεται εντός ή εκτός σειράς;

Προβλήματα Δυναμικής Δρομολόγησης

- Περισσότεροι κίνδυνοι εξαρτήσεων από δεδομένα:
 - Εμφάνιση κινδύνων από εξαρτήσεις τύπου EME και EMA
 - Κίνδυνοι από τις προσπελάσεις μνήμης
- Πολλοί κίνδυνοι από δομικές εξαρτήσεις
- Μεγαλύτερες απαιτήσεις παροχέτευσης
- Αυξημένη πολυπλοκότητα στο χειρισμό ειδικών περιπτώσεων

Αλγόριθμοι

- Δυναμική δρομολόγηση βασισμένη στον πίνακα παρακολούθησης (scoreboard)
 - CDC6600 (Thornton/Cray 1964)
- Δυναμική δρομολόγηση βασισμένη στους σταθμούς δέσμευσης (reservation stations)
 - IBM S/360 Model 91 (Tomasulo/Amdahl 1965)

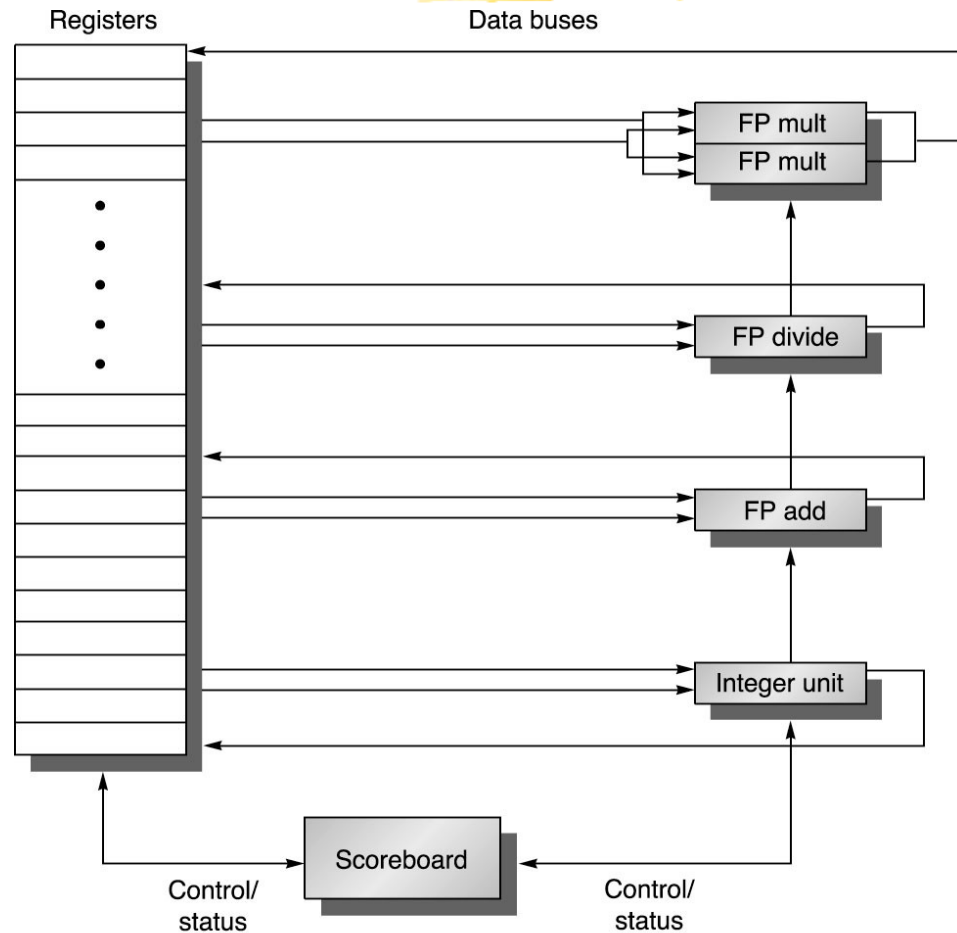
Πίνακας Παρακολούθησης

- Ο πίνακας παρακολούθησης αποτελεσμάτων εντολών (scoreboard) υποδεικνύει τις υπομονάδες από τις οποίες προέρχονται τα τελούμενα εισόδου που δε βρίσκονται ακόμα στο ΦΚ
- Μια εντολή μπορεί να μπει στη φάση εκτέλεσης μόλις τα τελούμενα που χρειάζεται γίνουν διαθέσιμα
- Η εγγραφή στο ΦΚ γίνεται μόνο αν δεν παραβιάζονται ΕΜΕ και ΕΜΑ εξαρτήσεις

Υλοποίηση Πίνακα

- Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης
 - Busy: Υπομονάδα απασχολημένη
 - Op: Λειτουργία που εκτελεί η υπομονάδα
 - Fi: Καταχωρητής αποτελέσματος
 - Fj, Fk: Καταχωρητές δεδομένων εισόδου
 - Qj, Qk: Υπομονάδες που παράγουν τους Fj, Fk
 - Rj, Rk: Καταχωρητές Fj, Fk έτοιμοι
- Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών

MIPS με Scoreboard



Υλοποίηση Ελέγχου Scoreboard (1)

- Έκδοση (Issue):
 - wait until not Busy[FU] && not Result[D];
 - Busy[FU] := Y; Op[FU] := op;
Fi[FU] := D; Fj[FU] := S1; Fk[FU] := S2;
Qj := Result[S1]; Qk := Result[S2];
Rj := Not Qj; Rk := Not Qk; Result[D] := FU;
- Ανάγνωση τελούμενων:
 - wait until Rj && Rk;
 - Rj := N; Rk := N; Qj := 0; Qk := 0;

Υλοποίηση Ελέγχου Scoreboard (2)

- Ολοκλήρωση εκτέλεσης:
 - wait until FU done;
- Αποθήκευση αποτελέσματος:
 - wait until $\forall f:((F_j[f] \neq F_i[FU] \parallel R_j[f] = N) \&\& (F_k[f] \neq F_i[FU] \parallel R_k[f] = N))$;
 - $\forall f:(\text{if } (Q_j[f] = FU) \{ R_j[f] := Y; \})$;
 - $\forall f:(\text{if } (Q_k[f] = FU) \{ R_k[f] := Y; \})$;
 - $\text{Result}[F_i[FU]] := o; \text{Busy}[FU] := N$;

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	✓	✓	✓	✓
Ldc1	\$f2,45(\$3)	✓	✓	✓	
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓			
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓			
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f2	\$3				N	
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4	Integer		N	Y
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2		Integer	Y	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
	Mult1	Integer			Add	Divide				

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)			
Ldc1	\$f2,45(\$3)			
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4			
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2			
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√		
Ldc1	\$f2,45(\$3)			
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4			
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2			
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f6	\$2				Y	
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
				Integer						

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,\$34(\$2)	√	√	
Ldc1	\$f2,\$45(\$3)			
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4			
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2			
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f6	\$2				N	
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Integer										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√		
Ldc1	\$f2,45(\$3)				
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4				
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2				
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6				
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f6	\$2				N	
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Integer										

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)			
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4			
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2			
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f6	\$2				N	
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Integer										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)				
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4				
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2				
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6				
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√			
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4				
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2				
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6				
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f2	\$3				Y	
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Υπομονάδα		Integer								

cc6

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2			
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f2	\$3				N	
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4	Integer		N	Y
Mult2	N								
Add	N								
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1		Integer								

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f2	\$3				N	
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4	Integer		N	Y
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2		Integer	Y	N
Divide	N								

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1	Integer				Add					

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	Y	Load	\$f2	\$3				N	
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4	Integer		N	Y
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2		Integer	Y	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
	Mult1	Integer			Add	Divide				

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής			
	Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			Y	Y
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2			Y	Y
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1					Add	Divide				

cc10

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1					Add	Divide				

cc11

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1					Add	Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Sub	\$f8	\$f6	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1					Add	Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2				

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	N								
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1										
Divide										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√			

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			Y	Y
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1				Add						
Divide										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Υπομονάδα	Mult1			Add		Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Υπομονάδα	Mult1			Add		Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1				Add						
Divide										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1				Add						
Divide										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1				Add						
Divide										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,\$34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,\$45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√	√	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	Y	Mult	\$f0	\$f2	\$f4			N	N
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6	Mult1		N	Y

	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Υπομονάδα	Mult1			Add		Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√	√	√
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√			
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6			Y	Y

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
				Add		Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√	√	√
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√	√		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	Y	Add	\$f6	\$f8	\$f2			N	N
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6			N	N

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
				Add		Divide				

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής			
		Έκδοση	Τελούμενα	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,34(\$2)	√	√	√	√
Ldc1	\$f2,45(\$3)	√	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√	√	√
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√	√		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√	√

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης								
	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk
Integer	N								
Mult1	N								
Mult2	N								
Add	N								
Divide	Y	Div	\$f10	\$f0	\$f6			N	N

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
										Divide

Περιορισμοί/Προβλήματα

- Διαθέσιμη παραλληλία στην εκτέλεση των εντολών
- Αριθμός και είδος υπομονάδων εκτέλεσης
- Εμφάνιση κινδύνων από εξαρτήσεις από δεδομένα τύπου EME και EMA
- Μη υλοποίηση παροχέτευσης μεταξύ υπομονάδων εκτέλεσης

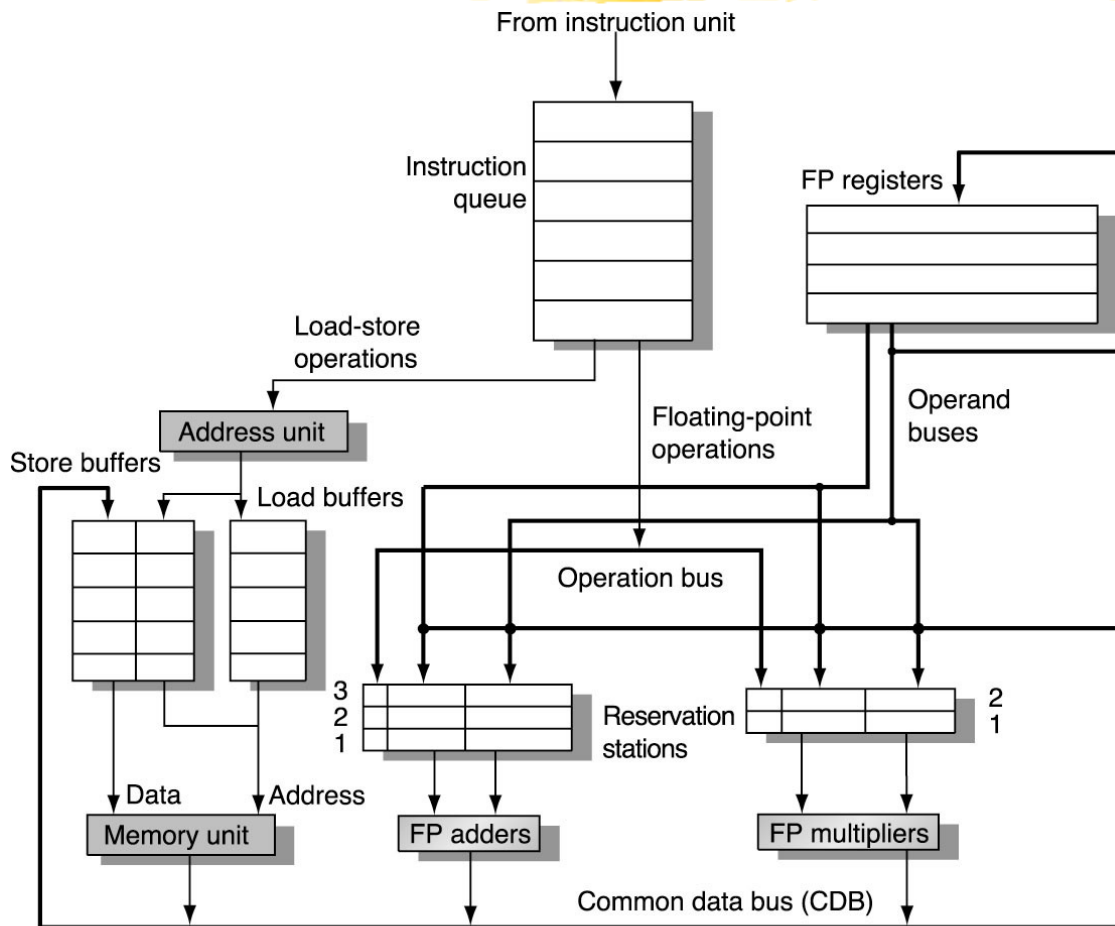
Σταθμοί Δέσμευσης (ή Αλγόριθμος Tomasulo)

- Οι σταθμοί δέσμευσης (reservation stations) υποδεικνύουν τις υπομονάδες από τις οποίες αναμένονται τα τελούμενα εισόδου που δε βρίσκονται ακόμα στο ΦΚ
- Μια εντολή μπορεί να μπει στη φάση εκτέλεσης μόλις τα τελούμενα που χρειάζεται γίνουν διαθέσιμα μέσω παροχέτευσης
- Εφ' όσον τα τελούμενα δεν διαβάζονται υποχρεωτικά από το ΦΚ, δεν εμφανίζονται κίνδυνοι από εξαρτήσεις EME και EMA

Υλοποίηση Σταθμών

- Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης
 - Busy: Υπομονάδα απασχολημένη
 - Op: Λειτουργία που εκτελεί η υπομονάδα
 - Qj, Qk: Υπομονάδες που παράγουν τα δεδομένα εισόδου (ή ο για διαθέσιμες τιμές)
 - Vj, Vk: Τιμές δεδομένων εισόδου
 - A: Διευθύνσεις προσπέλασης μνήμης
- Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών

MIPS και Αλγόριθμος Tomasulo



Υλοποίηση Ελέγχου Tomasulo (1)

- Έκδοση FP:
 - wait until Station r empty
 - if (RegisterStat[rs].Qi \neq 0)
 - { RS[r].Qj := RegisterStat[rs].Qi; }
 - else { RS[r].Vj := Regs[rs]; RS[r].Qj := 0; }
 - if (RegisterStat[rt].Qi \neq 0)
 - { RS[r].Qk := RegisterStat[rt].Qi; }
 - else { RS[r].Vk := Regs[rt]; RS[r].Qk := 0; }
 - RS[r].Busy := Y; RegisterStat[rd].Qi := r;

Υλοποίηση Ελέγχου Tomasulo (2)

- Έκδοση Load/Store:
 - wait until Buffer r empty
 - if (RegisterStat[rs].Qi \neq 0)
 - { RS[r].Qj := RegisterStat[rs].Qi; }
 - else { RS[r].Vj := Regs[rs]; RS[r].Qj := 0; }
 - RS[r].A := imm; RS[r].Busy := Y;
 - Load : RegisterStat[rt].Qi := r;
 - Store: if (RegisterStat[rt].Qi \neq 0)
 - { RS[r].Qk := RegisterStat[rt].Qi; }
 - else { RS[r].Vk := Regs[rt]; RS[r].Qk := 0; }

Υλοποίηση Ελέγχου Tomasulo (3)

- Εκτέλεση FP:
 - wait until $(RS[r].Q_j = 0) \ \&\& \ (RS[r].Q_k = 0)$
- Εκτέλεση Load (1^ο βήμα)/Store:
 - wait until $(RS[r].Q_j = 0) \ \&\& \ (r \text{ is head of queue})$
 - $RS[r].A := RS[r].V_j + RS[r].A;$
- Εκτέλεση Load (2^ο βήμα):
 - wait until step 1 complete
 - Read from $MEM[RS[r].A]$

Υλοποίηση Ελέγχου Tomasulo (4)

- Αποθήκευση αποτελέσματος FP/Load:
 - wait until execution complete && CDB available
 - $\forall x: (\text{if } (\text{RegisterStat}[x].Q_i = r)$
 { $\text{Regs}[x] := \text{result}; \text{RegisterStat}[x].Q_i := 0;$ });
 - $\forall x: (\text{if } (\text{RS}[x].Q_j = r)$
 { $\text{RS}[x].V_j := \text{result}; \text{RS}[x].Q_j := 0;$ });
 - $\forall x: (\text{if } (\text{RS}[x].Q_k = r)$
 { $\text{RS}[x].V_k := \text{result}; \text{RS}[x].Q_k := 0;$ });
 - $\text{RS}[r].\text{Busy} := N;$

Υλοποίηση Ελέγχου Tomasulo (5)

- Αποθήκευση αποτελέσματος Store:
 - wait until execution complete && $RS[r].Q_k = 0$
 - Store $RS[r].V_k$ into $MEM[RS[r].A]$;
 $RS[r].Busy := N$;

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	✓	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	Y	Load					44+Regs[3]
Add1	Y	Sub	Mem[32+Regs[2]]				Load2
Add2	Y	Add			Add1		Load2
Add3	N						
Mult1	Y	Mul		Regs[f4]			Load2
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]			Mult1

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Υπομονάδα	Mult1	Load2		Add2	Add1	Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)		
Ldc1	\$f2,44(\$3)		
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	N						
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	N						
Mult2	N						

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	
Ldc1	\$f2,44(\$3)		
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	Y	Load	Regs[2]				
Load2	N						
Add1	N						
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	N						
Mult2	N						

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
cc1				Load1					

cc1

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	Y	Load					32+Regs[2]
Load2	Y	Load	Regs[3]				
Add1	N						
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	N						
Mult2	N						

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
		Load2		Load1						

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2		
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	Y	Load					32+Regs[2]
Load2	Y	Load					44+Regs[3]
Add1	N						
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	Y	Mul		Regs[f4]	Load2		
Mult2	N						

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Υπομονάδα	Mult1	Load2		Load1					

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	Y	Load					32+Regs[2]
Load2	Y	Load					44+Regs[3]
Add1	Y	Sub			Load1	Load2	
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	Y	Mul		Regs[f4]	Load2		
Mult2	N						

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
	Mult1	Load2		Load1	Add1				

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,\$32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,\$44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2		

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	Y	Load					44+Regs[3]
Add1	Y	Sub	Mem[32+Regs[2]]			Load2	
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	Y	Mul		Regs[f4]	Load2		
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Υπομονάδα	Mult1	Load2			Add1	Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	✓	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	Y	Load					44+Regs[3]
Add1	Y	Sub	Mem[32+Regs[2]]				Load2
Add2	Y	Add			Add1	Load2	
Add3	N						
Mult1	Y	Mul		Regs[f4]		Load2	
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Υπομονάδα	Mult1	Load2		Add2	Add1	Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,\$32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,\$44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	✓	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	Y	Sub	Mem[32+Regs[2]]	Mem[44+Regs[3]]			
Add2	Y	Add		Mem[44+Regs[3]]	Add1		
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Mult1				Add2	Add1	Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	✓	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	Y	Sub	Mem[32+Regs[2]]	Mem[44+Regs[3]]			
Add2	Y	Add		Mem[44+Regs[3]]	Add1		
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Mult1				Add2	Add1	Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,\$32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,\$44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	✓
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	✓	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	Y	Sub	Mem[32+Regs[2]]	Mem[44+Regs[3]]			
Add2	Y	Add		Mem[44+Regs[3]]	Add1		
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
Mult1				Add2	Add1	Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	√	√
Ldc1	\$f2,44(\$3)	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	N						
Add2	Y	Add	Mem[...]-Mem[...]	Mem[44+Regs[3]]			
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1										
Add2										
Mult2										

Παράδειγμα

Εντολή	Κατάσταση εντολής		
	Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	✓	✓
Ldc1	\$f2,44(\$3)	✓	✓
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	✓	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	✓	✓
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	✓	
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	✓	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	N						
Add2	Y	Add	Mem[...]-Mem[...]	Mem[44+Regs[3]]			
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1										
Add2										
Mult2										

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής		
		Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,44(\$3)	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√		
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	N						
Add2	Y	Add	Mem[...]-Mem[...]	Mem[44+Regs[3]]			
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1				Add2			Mult2			

Παράδειγμα

Εντολή		Κατάσταση εντολής		
		Έκδοση	Εκτέλεση	Αποθήκευση
Ldc1	\$f6,32(\$2)	√	√	√
Ldc1	\$f2,44(\$3)	√	√	√
Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	√	√	
Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	√	√	√
Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	√		
Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	√	√	√

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης						
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	A
Load1	N						
Load2	N						
Add1	N						
Add2	N						
Add3	N						
Mult1	Y	Mul	Mem[44+Regs[3]]	Regs[f4]			
Mult2	Y	Div		Mem[32+Regs[2]]	Mult1		

Υπομονάδα	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών									
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30	
Mult1										
Mult2										

Περιορισμοί/Προβλήματα

- Διαθέσιμη παραλληλία στην εκτέλεση των εντολών
- Μέγεθος ουράς εντολών (παραθύρου έκδοσης – issue window)
- Αριθμός και είδος υπομονάδων εκτέλεσης
- Δυνατότητες παροχέτευσης μεταξύ υπομονάδων