

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών



Γιώργος Δημητρίου

Ενότητα 5^η:

Δυναμική Δρομολόγηση Εντολών
(Διακλαδώσεις, Υποθετική &
Υπερβαθμωτή Εκτέλεση)

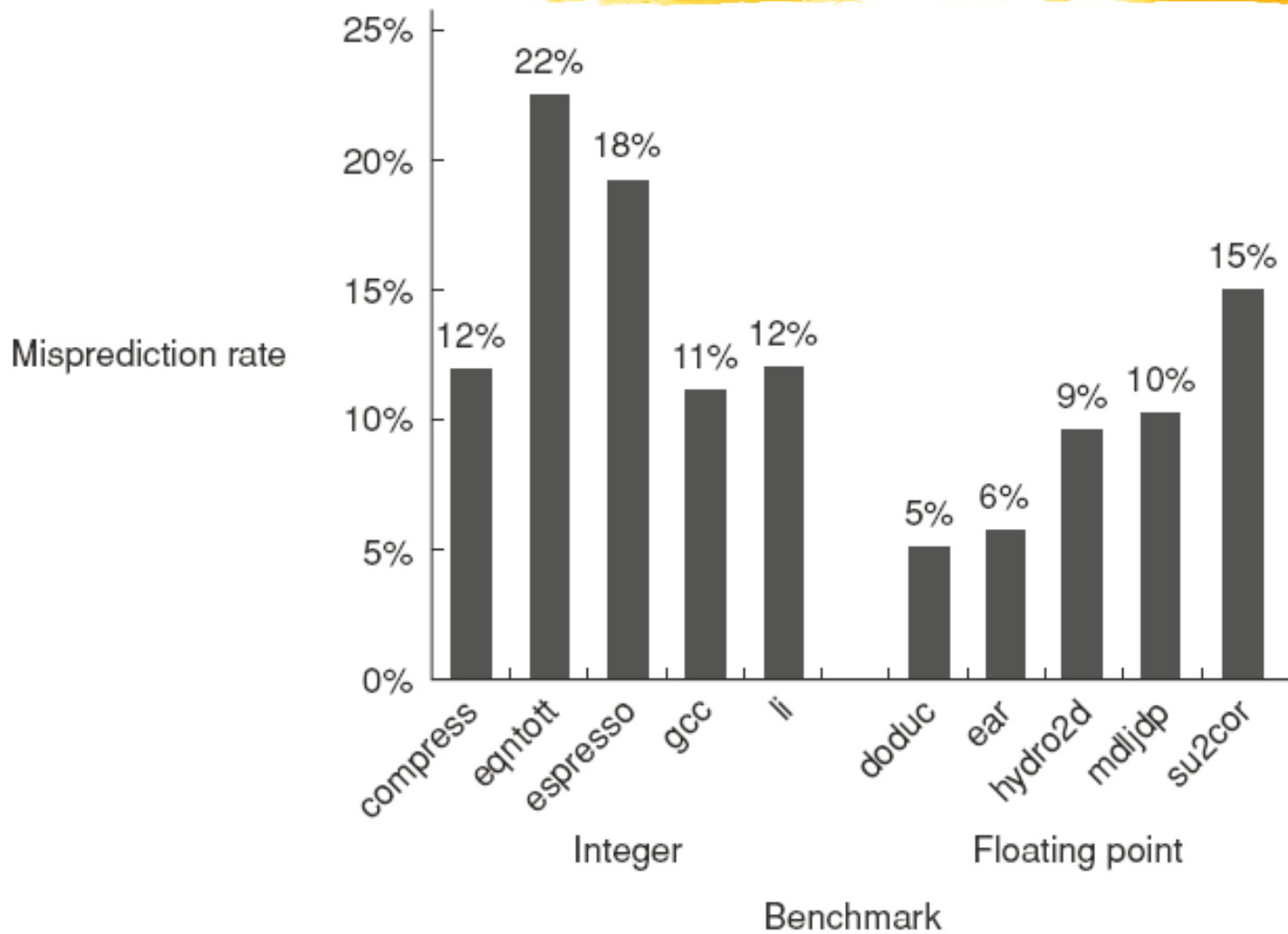
Πέρα από την Εκτέλεση Εκτός Σειράς

- Δυναμική πρόβλεψη διακλαδώσεων
 - Ιστορία διακλάδωσης
 - Πρόβλεψη πολλαπλών επιπέδων
- Υποθετική εκτέλεση
 - Διαχείριση εντολών μετά από μία πρόβλεψη διακλάδωσης
- Υπερβαθμωτή ΜΕΔ
 - Πολλαπλές ολικά επικαλυπτόμενες εντολές
- Περιορισμοί στην εκμετάλλευση ILP

Θέματα Πρόβλεψης Διακλαδώσεων

- Στατική πρόβλεψη
 - Ορισμένη κατά τη μεταγλώττιση
- Δυναμική πρόβλεψη
 - Προσαρμόζεται δυναμικά στη συμπεριφορά της διακλάδωσης κατά την εκτέλεση του κώδικα
- Κόστος αποτυχίας πρόβλεψης
 - Υλοποίηση ΜΕΔ
 - Στρατηγική ανάνηψης

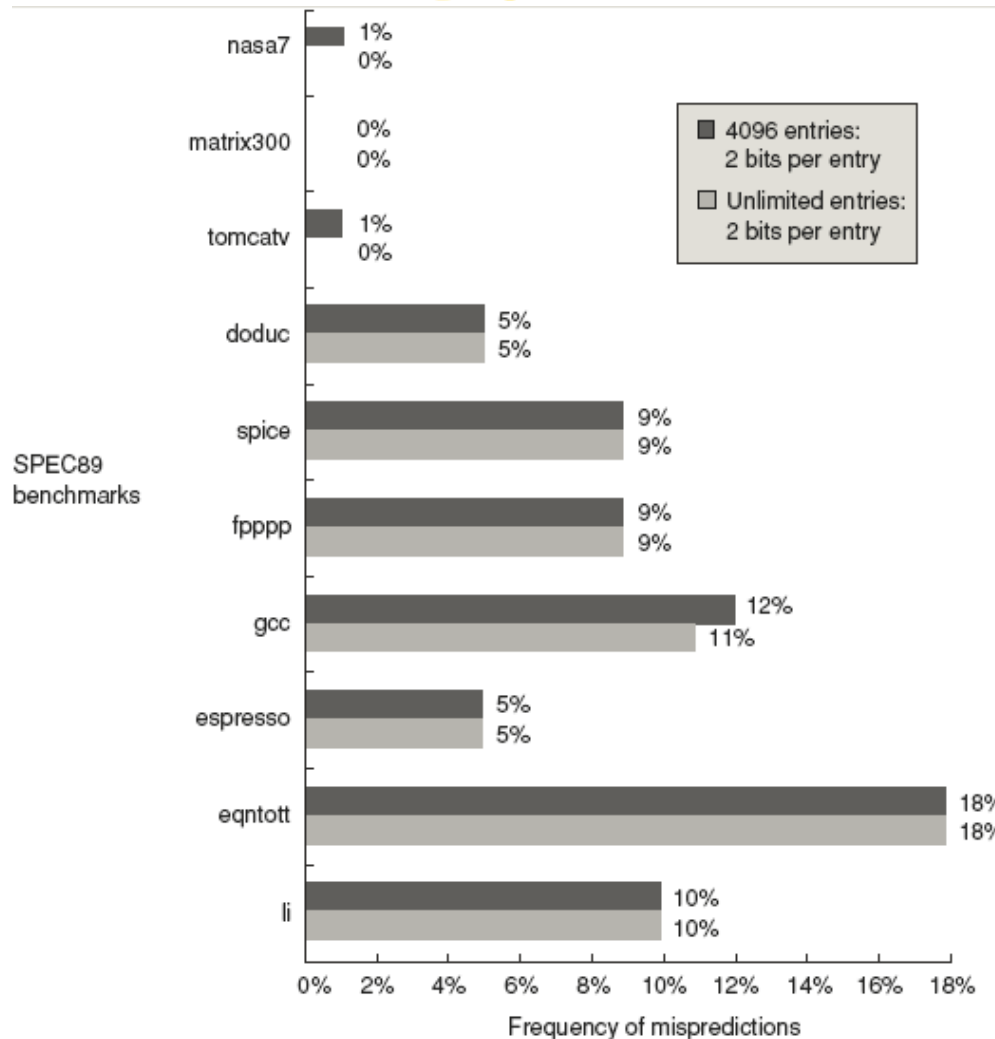
Στατική Πρόβλεψη με Προφίλ



Απλή Δυναμική Πρόβλεψη Διακλαδώσεων

- Πίνακας ιστορίας διακλάδωσης (branch history)
- Διευθυνσιοδότηση από μέρος της διεύθυνσης της εντολής, όχι ετικέτα
 - Πολλαπλές διακλαδώσεις πιθανά μοιράζονται την ίδια ιστορία
- 2 bits ιστορίας αποδίδουν καλύτερα από 1, και όχι πολύ λιγότερο καλά από $n > 2$ bits

Μέγεθος Πίνακα Ιστορίας Διακλάδωσης



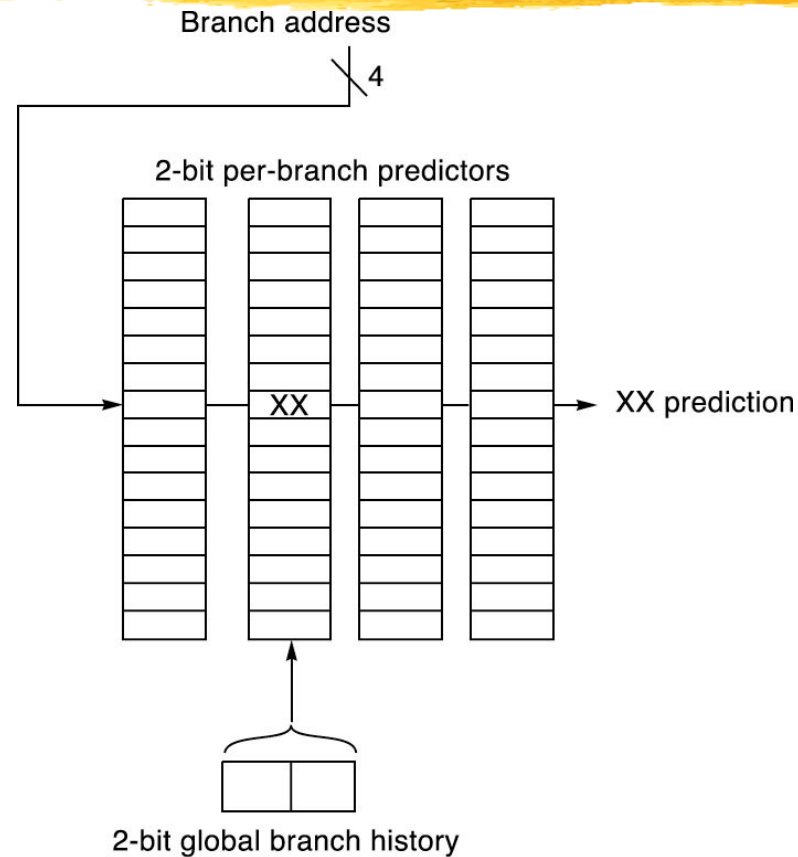
Πρόβλεψη σε Δύο Επίπεδα

- Η συμπεριφορά της ίδιας διακλάδωσης σε διαδοχικές εκτελέσεις της πριν την παρούσα
- Η συμπεριφορά διαδοχικών διακλαδώσεων που εκτελούνται πριν την παρούσα
 - Παράδειγμα:

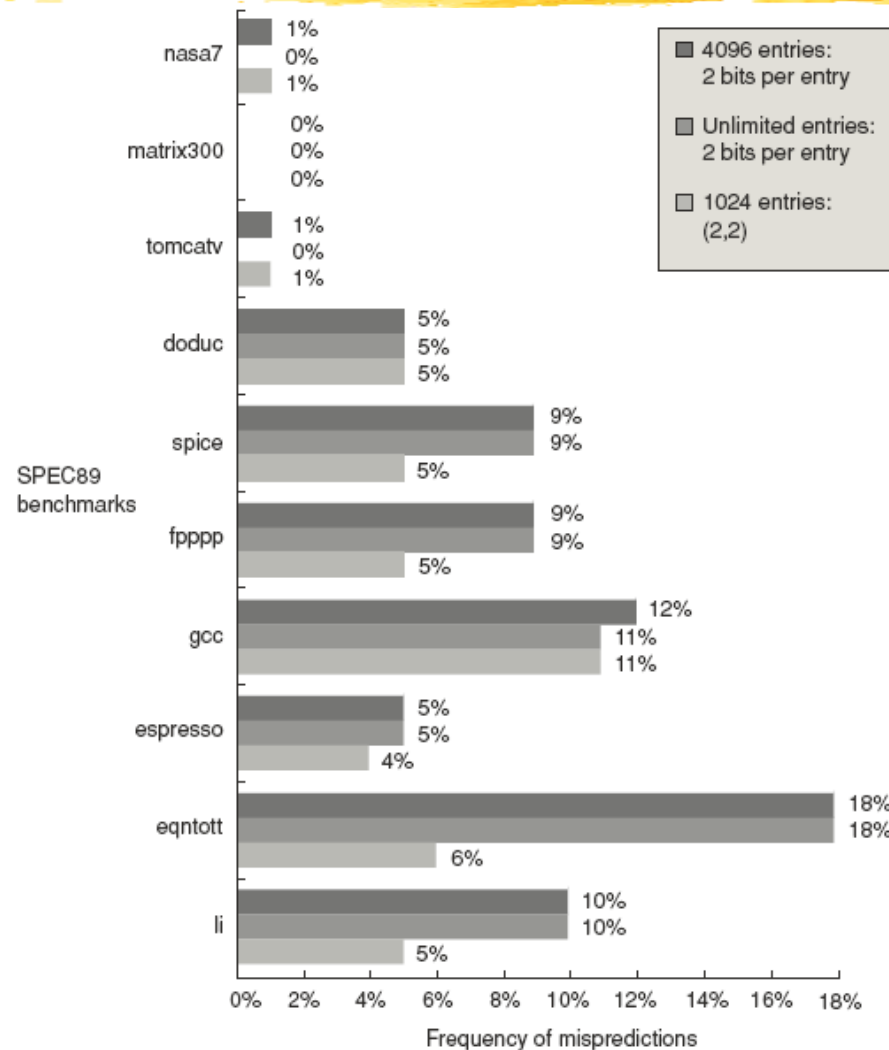
```
if (d == 0)
    d = 1;
if (d == 1)
    ...

bne    $1, $0, L1
addiu  $1, $0, 1
L1:    addiu  $3, $1, -1
bne    $3, $0, L2
...
L2:
```

Υλοποιώντας το Δεύτερο Επίπεδο

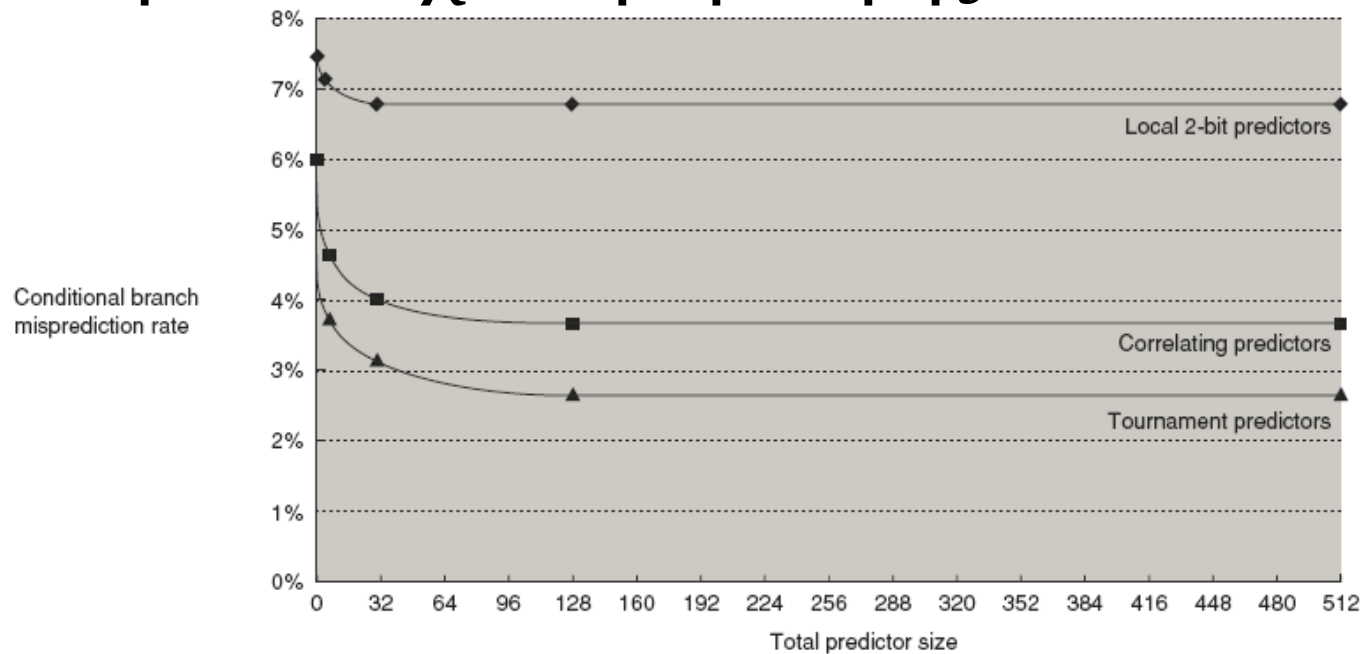


Συγκριτική Απόδοση



Εναλλαγή Μεθόδων Πρόβλεψης

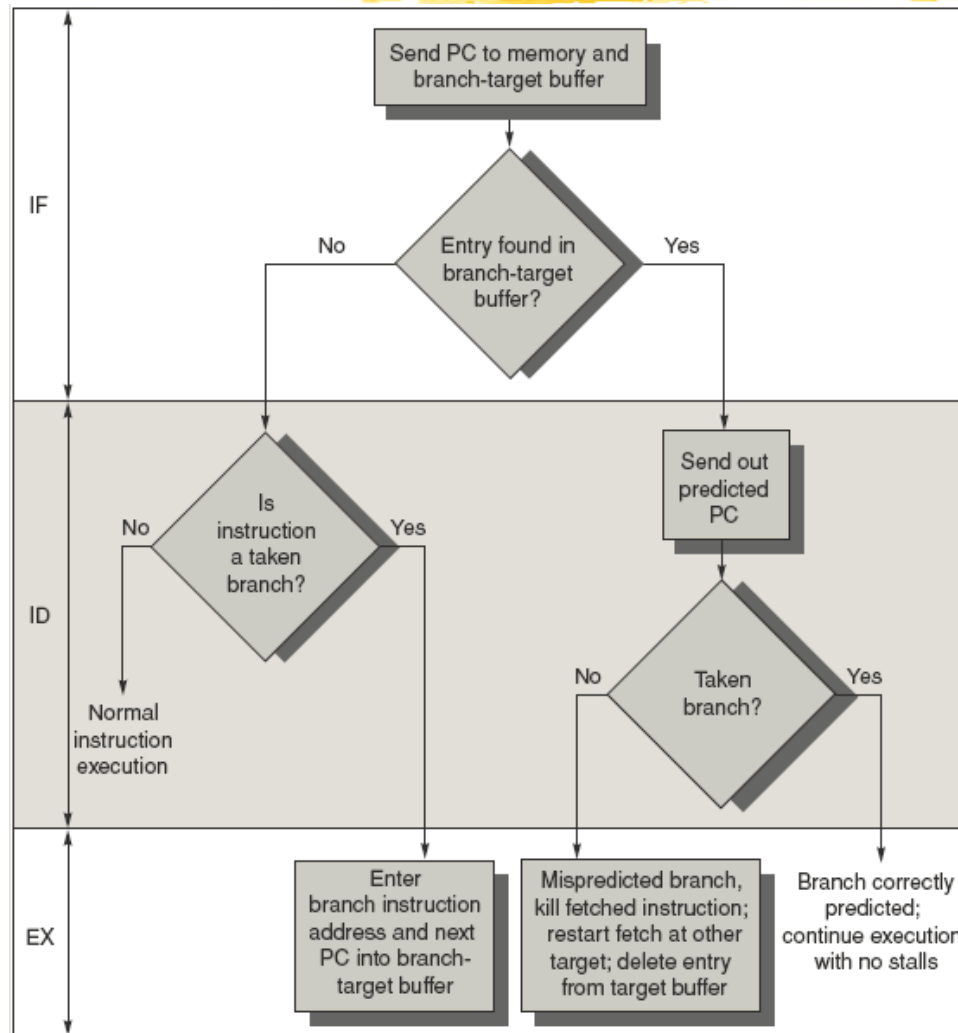
- Υλοποίηση πολλαπλών μεθόδων πρόβλεψης
- Επιλογή μιας μεθόδου δυναμικά, ανάλογα με την επιτυχία πρόβλεψης



Πρόβλεψη Προορισμού

- Μνήμη διευθύνσεων προορισμού διακλάδωσης (BTB)
 - Συσχετιστική μνήμη, ετικέτα η διεύθυνση της εντολής διακλάδωσης
 - Αποθήκευση διευθύνσεων μόνο για άλματα που εκτελούνται
- Άμεση εύρεση διεύθυνσης προορισμού για ανάκληση εντολών
 - Αποθήκευση εντολών αντί διευθύνσεων
- Χρήση με ή χωρίς πίνακα ιστορίας

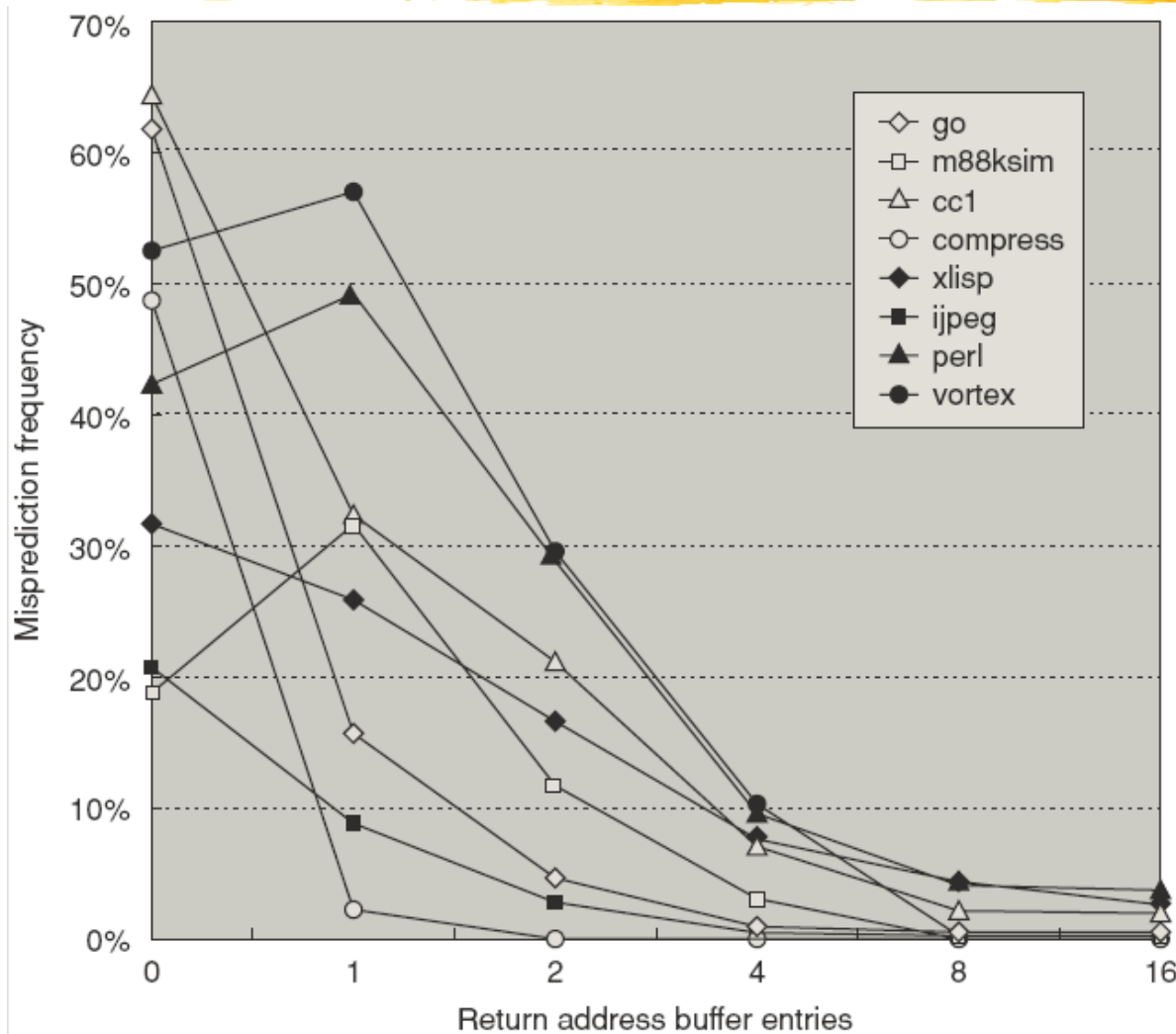
Διαχείριση BTB



Άλλες Τεχνικές Αντιμετώπισης Διαδικασιακών Εξαρτήσεων

- Πρόβλεψη έμμεσων αλμάτων
 - Πρόβλεψη διεύθυνσης επιστροφής από υπο-πρόγραμμα
- Προσκόμιση εντολών και από τις δύο κατευθύνσεις μιας διακλάδωσης

Πρόβλεψη Διεύθυνσης Επιστροφής



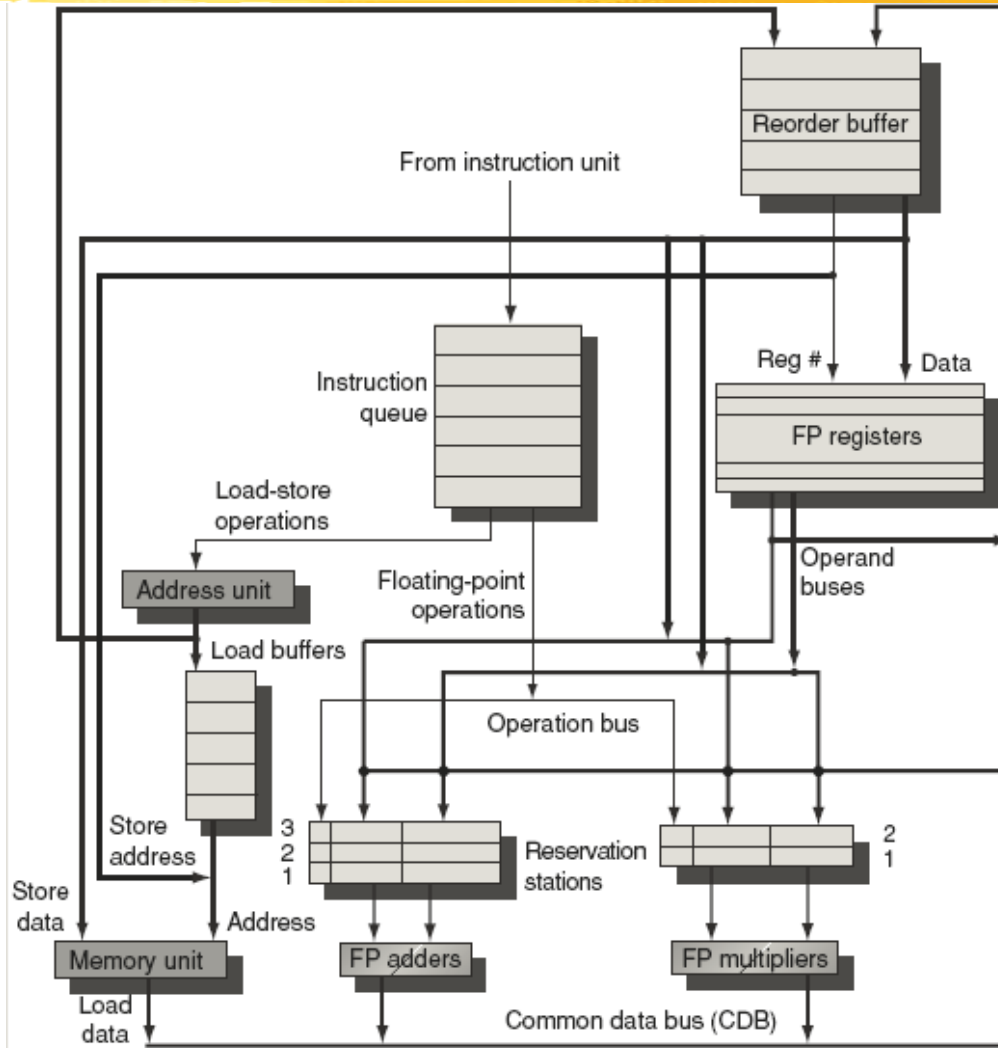
Υποθετική Εκτέλεση

- Επιτρέπει την εκτέλεση εντολών που πιθανά να μην πρέπει να εκτελεστούν
- Απαραίτητη για συνδυασμό πρόβλεψης διακλαδώσεων με δυναμική δρομολόγηση εντολών για εκτέλεση εκτός σειράς
- Επιτηρεί την μεταβολή της κατάστασης του επεξεργαστή με βάση τις εκτελέσεις των διακλαδώσεων με τη σωστή σειρά

Απόσυρση Εντολών (Commit)

- Η τελευταία φάση στον κύκλο εντολής, που διαχωρίζεται από τη φάση εκτέλεσης
- Η απόσυρση γίνεται με την αρχική σειρά των εντολών
 - Ακριβής αντιμετώπιση ειδικών περιπτώσεων
- Χρήση πίνακα επαναδιάταξης εντολών (reorder buffer)
 - Ένα αποτέλεσμα εκτέλεσης αποθηκεύεται προσωρινά στον πίνακα επαναδιάταξης

MIPS με Υποθετική Εκτέλεση



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Παράδειγμα

Όνομα	Κατάσταση υπομονάδων εκτέλεσης							
	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest	A
Load1	N							
Load2	N							
Add1	N							
Add2	N							
Add3	N							
Mult1	N	Mul	Mem[45+Regs[3]]	Regs[F4]				#3
Mult2	Y	Div		Mem[34+Regs[2]]	#3			#5

#	Busy	Εντολή	Πίνακας επαναδιάταξης			
			Κατάσταση	Προορισμός	Τιμή	
1	N	Ldc1	\$f6,34(\$2)	Commit	F6	Mem[34+Regs[2]]
2	N	Ldc1	\$f2,45(\$3)	Commit	F2	Mem[45+Regs[3]]
3	Y	Mul.d	\$f0,\$f2,\$f4	Write result	F0	#2 x Regs[F4]
4	Y	Sub.d	\$f8,\$f6,\$f2	Write result	F8	#1 - #2
5	Y	Div.d	\$f10,\$f0,\$f6	Execute	F10	
6	Y	Add.d	\$f6,\$f8,\$f2	Write result	F6	#4 + #2

Πεδίο	Κατάσταση εγγραφής καταχωρητών								
	\$f0	\$f2	\$f4	\$f6	\$f8	\$f10	\$f12	...	\$f30
#/Busy	3/Y	-/N	-/N	6/Y	4/Y	5/Y	-/N		-/N

Μετονομασία Καταχωρητών

- Χρήση μεγάλου αριθμού φυσικών καταχωρητών για προσωρινή απεικόνιση των καταχωρητών της αρχιτεκτονικής
- Μια προσωρινή απεικόνιση:
 - οριστικοποιείται στην απόσυρση της αντίστοιχης διακλάδωσης
 - ακυρώνεται σε αποτυχημένη πρόβλεψη
- Τα δεδομένα αποθηκεύονται μόνο στο ΦΚ, όχι στον πίνακα επαναδιάταξης

Υπερβαθμωτή ΜΕΔ

- Περισσότερες από μία διαδοχικές εντολές ανακαλούνται ταυτόχρονα από τη μνήμη, αποκωδικοποιούνται ταυτόχρονα και ετοιμάζονται για εκτέλεση ταυτόχρονα
- Αντιμετώπιση κινδύνων από εξαρτήσεις μεταξύ εντολών που επεξεργαζόμαστε ταυτόχρονα, και σύμφωνα με τη σωστή σειρά τους στον κώδικα!

Υπερβαθμωτή ΜΕΔ με Υποθετική Εκτέλεση

- Μετά την εκτέλεσή τους, πολλαπλές εντολές αποσύρονται ταυτόχρονα
 - Περισσότερο πολύπλοκο υλικό
- Μεγαλύτερη ανάγκη επιτυχίας πρόβλεψης, ώστε να μη χάνεται το κέρδος από την υπερβαθμωτή εκτέλεση

Πού Σταματάμε;

- ILP που διαθέτουν τα προγράμματα
- Υλικό, πχ μέγεθος πίνακα επαναδιάταξης, αριθμός υπομονάδων εκτέλεσης, μέγεθος παραθύρου εντολών που βλέπει ο επεξεργαστής
- Πραγματική δυνατότητα πρόβλεψης διακλαδώσεων
- Δυσκολία αντιμετώπισης κινδύνων από εξαρτήσεις μνήμης