

Οργάνωση Η/Υ

Γιώργος Δημητρίου

Μάθημα 8^ο – Μερική Επικάλυψη

Κίνδυνοι στη Μερική Επικάλυψη

- Αδυναμία ιδανικής εκτέλεσης με μερική επικάλυψη
- Εξαρτήσεις μεταξύ εντολών
 - Ανάγκη εκτέλεσης λειτουργιών σε συγκεκριμένη σειρά
- Κίνδυνοι από πιθανότητα παραβίασης των εξαρτήσεων μεταξύ εντολών
- Αντιμετώπιση των κινδύνων με εφαρμογή στη ΜΕΔ MIPS

Εξαρτήσεις και Κίνδυνοι

- Κίνδυνοι από δομικές εξαρτήσεις
 - Εξαρτήσεις υλικού
- Κίνδυνοι από εξαρτήσεις δεδομένων
 - Εξαρτήσεις εγγραφής καταχωρητών, όπως:
add \$7, \$10, \$26
sub \$9, \$7, \$8
- Κίνδυνοι από διαδικασιακές εξαρτήσεις
 - Εξαρτήσεις ροής προγράμματος, όπως:
beq \$2, \$8, Label
add \$7, \$10, \$26

Δομικοί Κίνδυνοι

- Όπως ήδη είδαμε:
 - Στη μνήμη, μεταξύ των φάσεων Φ1, Φ4
 - Στην ΑΛΜ, στη φάση Φ3 εντολών άλματος με συνθήκη
 - Αντιμετωπίστηκαν με αντιγραφή υλικού
- Επιπλέον:
 - Σε μονάδες πράξεων διάρκειας μεγαλύτερης από έναν κύκλο μηχανής, όπως:
mult \$4,\$6
mult \$10,\$8

Εξαρτήσεις Δεδομένων

- Ανάγνωση μετά από εγγραφή (ΑΜΕ)
 - Εγγραφή (Φ5) → Ανάγνωση (Φ2)
- Εγγραφή μετά από εγγραφή (ΕΜΕ)
 - Εγγραφή (Φ5) → Εγγραφή (Φ5)
- Εγγραφή μετά από ανάγνωση (ΕΜΑ)
 - Ανάγνωση (Φ2) → Εγγραφή (Φ5)
- Οι ΕΜΕ και ΕΜΑ δε μας απασχολούν στη ΜΕΔ που μελετάμε (γιατί;)

Κίνδυνοι Εξαρτήσεων ΑΜΕ

■ Παραδείγματα:

add \$8, \$12, \$7	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
lw \$10, -100(\$8)		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
sub \$5, \$12, \$10			Φ1	Φ2	Φ3	Φ4

- Το κόκκινο δείχνει τις **πραγματικές** σχέσεις εξάρτησης μεταξύ παραγωγής και χρήσης!

Πάγωμα Εξαρτημένων Εντολών

■ Παραδείγματα:

add \$8, \$12, \$7

Φ1 Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

lw \$10, -100(\$8)

Φ1 ~~Φ2~~ ~~Φ2~~ Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

sub \$5, \$12, \$10

Φ1 ~~Φ2~~ ~~Φ2~~ Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

- Πάγωμα μέχρι τα δεδομένα να γίνουν διαθέσιμα
- Γιατί πάγωμα 2 και όχι 3 κύκλων;

Τεχνική Παροχέτευσης

- Προωθούμε τα δεδομένα όπου και όταν χρειάζονται
- Παραδείγματα:

add \$8, \$12, \$7

Φ1 Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

lw \$10, -100(\$8)

Φ1 Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

sub \$5, \$12, \$10

Φ1 ~~Φ2~~ Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

Υλοποίηση Παροχέτευσης

- Η φάση αποκωδικοποίησης ανιχνεύει τους κινδύνους εξαρτήσεων δεδομένων και παράγει κατάλληλα σήματα ελέγχου
- Μετά τη φάση εκτέλεσης ή προσπέλασης μνήμης τα δεδομένα προωθούνται στις εισόδους της ΑΛΜ
- Επιλογή με κατάλληλους πολυπλέκτες
- Αν πρέπει να περιμένουμε τη μνήμη, παγώνουμε την εξαρτημένη εντολή

Αποφυγή Παροχέτευσης

- Ο μεταγλωττιστής μπορεί να εισάγει εντολές μεταξύ παραγωγής και χρήσης κάποιου δεδομένου
- Τέτοιες εντολές δεν είναι πάντα διαθέσιμες
- Οι εξαρτήσεις από δεδομένα είναι πολύ συχνές για να τις αφήνουμε στο μεταγλωττιστή...

Διαδικασιακοί Κίνδυνοι

- Εξαρτήσεις εντολών μετά από άλμα (με ή χωρίς συνθήκη)
- Για τη ΜΕΔ MIPS που μελετάμε:
 - Τις περισσότερες φορές θεωρούμε τόσο εκτέλεση όσο και αλλαγή ροής (άλμα) στη φάση Φ3
 - Πιο σπάνια μπορούμε να έχουμε εκτέλεση και αλλαγή ροής στη φάση Φ2
 - Ειδικά για άλματα με συνθήκη (διακλαδώσεις), μπορούμε να έχουμε εκτέλεση στη φάση Φ3 και αλλαγή ροής στη φάση Φ4

Παραδείγματα

- Με εκτέλεση και άλμα στη Φ3, υποδεικνύονται οι εμπλεκόμενες φάσεις:
 - Εκτέλεση (Φ3) → Ανάκληση (Φ1)

j	0x1a402c0	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
add	\$7, \$5, \$12		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
lw	\$16, 4(\$9)		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

Πάγωμα Επόμενης Εντολής

- Αν γνωρίζουμε τι εντολή έχουμε:

j	0x10a402c0	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
επόμενη εντολή		Φ1	Φ1	↓	<i>(η εντολή δεν ξεκινά ποτέ!)</i>	
εντολή προορισμού					Φ1	Φ2 Φ3 Φ4 Φ5
beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
επόμενη εντολή		Φ1	Φ1	↓	<i>(η εντολή δεν ξεκινά ποτέ!)</i>	
εντολή προορισμού					Φ1	Φ2 Φ3 Φ4 Φ5

- Μετά τη φάση Φ3 προσκομίζουμε την εντολή προορισμού
- Πότε όμως γνωρίζουμε τι εντολή έχουμε;

Ακύρωση Επόμενης Εντολής

- Αν δεν ξέρουμε έγκαιρα ότι έχουμε άλμα, η επόμενη εντολή δε μπορεί να παγώσει:

j	0x1a402c0	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5				
επόμενη εντολή		Φ1	Φ1		-	-	-	-	(ακύρωση!)	
εντολή προορισμού					Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5				
επόμενη εντολή		Φ1	Φ1		-	-	-	-	(ακύρωση!)	
εντολή προορισμού					Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	

- Παγώνουμε μετά την αποκωδικοποίηση!

Άλματα Διακλαδώσεων στη Φ4

- Μοντέλο βιβλίου Patterson-Hennessy: Υπολογισμός προορισμού και αποτίμηση συνθήκης στη Φ3, αλλά άλμα στη Φ4
- Παράδειγμα:

beq \$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5					
επόμενη εντολή	Φ1	Φ1	Φ1	Φ1	-	-	-	-		(ακύρωση!)
εντολή προορισμού					Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	

(πάγωμα!)

- Απώλεια 3 κύκλων σε εκτέλεση άλματος

Εκτέλεση Αλμάτων στη Φ2

- Τροποποιώντας το υλικό, μεταφέρουμε στη Φ2 την εκτέλεση αλμάτων
- Παραδείγματα:

jr \$18	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
επόμενη εντολή		Φ1	-	-	-	-	(ακύρωση!)
εντολή προορισμού			Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
beq \$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
επόμενη εντολή		Φ1	-	-	-	-	(ακύρωση!)
εντολή προορισμού			Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

Καθυστερημένα Άλματα

- Το άλμα εκτελείται μετά την επόμενη εντολή
- Η επόμενη εντολή δεν είναι διαδικασιακά εξαρτημένη από το άλμα
- Παραδείγματα (εκτέλεση στη Φ2):

j	0x1a402c0	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
add	\$7, \$5, \$12		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
εντολή προορισμού				Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
lw	\$16, 4(\$9)		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
εντολή προορισμού				Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

Θέση Καθυστέρησης

- Μεταφράζοντας για επεξεργαστή με καθυστερημένα άλματα, ο μεταγλωττιστής *πρέπει* να συμπληρώνει τη θέση καθυστέρησης
 - Κατά προτίμηση με χρήσιμη εντολή
 - Διαφορετικά με nop
- Πόσο εύκολο είναι να βρίσκουμε χρήσιμη εντολή για τη θέση καθυστέρησης;

Παραμένοντα Προβλήματα

- Ο συνδυασμός:
 - Εκτέλεση στη φάση $\Phi 2$ και
 - Καθυστερημένο άλμαλύνει το πρόβλημα;
- Προβλήματα από εξαρτήσεις από δεδομένα σε άλματα με ή χωρίς συνθήκη
- Για άλματα με συνθήκη (διακλαδώσεις), δεν είναι πάντα δυνατή η αποτίμηση της συνθήκης στη φάση $\Phi 2$

Διακλαδώσεις

- Για τη συνέχεια μελετάμε μόνο την πιο συνηθισμένη περίπτωση εκτέλεσης και αλλαγής ροής στη Φ3 (χωρίς καθυστέρηση)
- Μπορούμε με κάποιον τρόπο να προβλέψουμε αν θα συνεχίσουμε με τις επόμενες εντολές ή αν θα εκτελέσουμε άλμα στον προορισμό;

Πρόβλεψη Διακλαδώσεων

■ Πρόβλεψη της συνθήκης άλματος

- Σωστή πρόβλεψη (μη εκτέλεσης άλματος):

beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
lw	\$16, 4(\$9)		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
add	\$8, \$16, \$3			Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

εντολές που ακολουθούν τη διακλάδωση

- Λάθος πρόβλεψη (μη εκτέλεσης άλματος):

beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5			
lw	\$16, 4(\$9)		Φ1	Φ2	-	-	-		
add	\$8, \$16, \$3			Φ1	-	-	-	-	
sw	\$10, 28(\$5)				Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

εντολή στη διεύθυνση προορισμού

- Αντίστοιχα για πρόβλεψη εκτέλεσης άλματος

Λανθασμένη Πρόβλεψη

- Επαναφορά στην προηγούμενη κατάσταση:
 - Δε μπορεί να αλλάξει η κατάσταση που φαίνεται εξωτερικά, άρα
 - Δε γράφονται καταχωρητές γενικού σκοπού
 - Δε γράφεται μνήμηπριν αποτιμηθεί η συνθήκη άλματος
- Κόστος λάθους
 - Ανάλογα με την απόσταση από τη Φ1 της φάσης αποτίμησης της συνθήκης και ακύρωσης εντολών

Στατική Πρόβλεψη

- Η πρόβλεψη κάθε διακλάδωσης δεν αλλάζει με την εκτέλεση του κώδικα
- Πρόβλεψη ανάλογα με την εντολή
 - Γίνεται από το σχεδιαστή του συστήματος
- Πρόβλεψη ανάλογα με τη μετατόπιση
 - Καλή για βρόχους (αρνητική μετατόπιση)
- Πρόβλεψη που ορίζει ο μεταγλωττιστής
 - Ανάλογα με τα στοιχεία που έχει ο μεταγλωττιστής για βελτιστοποίηση του κώδικα

Δυναμική Πρόβλεψη

- Η πρόβλεψη αλλάζει κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του κώδικα, ανάλογα με τη συμπεριφορά της διακλάδωσης
- Πρόβλεψη στην αποτίμηση της συνθήκης:
 - Κρατάμε τις τιμές που αποτιμήθηκαν
- Πρόβλεψη στον προορισμό της διακλάδωσης:
 - Κρατάμε τις διευθύνσεις προορισμού

Δυναμική Πρόβλεψη

■ Πρόβλεψη συνθήκης και προορισμού

- Σωστή πρόβλεψη (εκτέλεσης άλματος):

beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
sw	\$10, 28(\$5)		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
add	\$6, \$25, \$12			Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

εντολές στη διεύθυνση προορισμού

- Λάθος πρόβλεψη (εκτέλεσης άλματος):

beq	\$3, \$6, -2044	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5			
sw	\$10, 28(\$5)		Φ1	Φ2	-	-	-		
add	\$6, \$25, \$12			Φ1	-	-	-	-	
lw	\$16, 4(\$9)				Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5

εντολή που ακολουθεί τη διακλάδωση

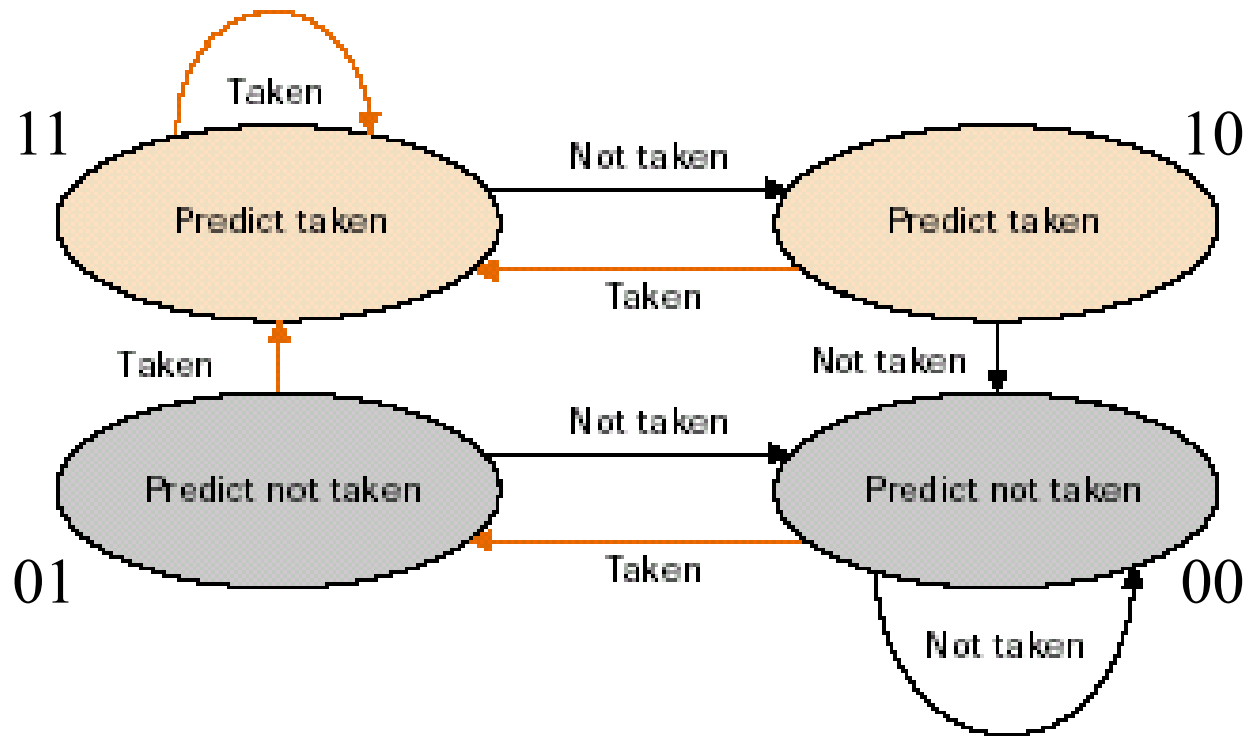
- Όμοια για πρόβλεψη μη εκτέλεσης άλματος

Υλοποίηση Δυναμικής Πρόβλεψης

- Αποθηκεύουμε τη συμπεριφορά κάθε διακλάδωσης:
 - Πίνακας ιστορικού διακλαδώσεων
 - Πίνακας διευθύνσεων προορισμού διακλαδώσεων
- Η φάση ανάκλησης συνοδεύεται από έλεγχο διακλάδωσης και πρόβλεψη
 - Σε διακλάδωση ακολουθούμε την πρόβλεψη που δίνει κατάλληλος αλγόριθμος
- Η φάση εκτέλεσης ενημερώνει την αποθηκευμένη συμπεριφορά

Αλγόριθμοι Πρόβλεψης

- Κλασικός αλγόριθμος με 2 bits ιστορίας



- Πρόβλεψη εναλλαγών;

Ενημέρωση PC

- Αν διαπιστωθεί λανθασμένη πρόβλεψη, η διόρθωση του PC έχει προτεραιότητα, λόγω ακύρωσης όλων των νεώτερων εντολών
- Διαφορετικά, και αν βρεθεί σχετική καταχώρηση στους πίνακες, ο PC λαμβάνει τιμή από το μηχανισμό πρόβλεψης
- Με τελευταία προτεραιότητα, επιλέγεται η αυξημένη τιμή του PC

Αποθήκευση

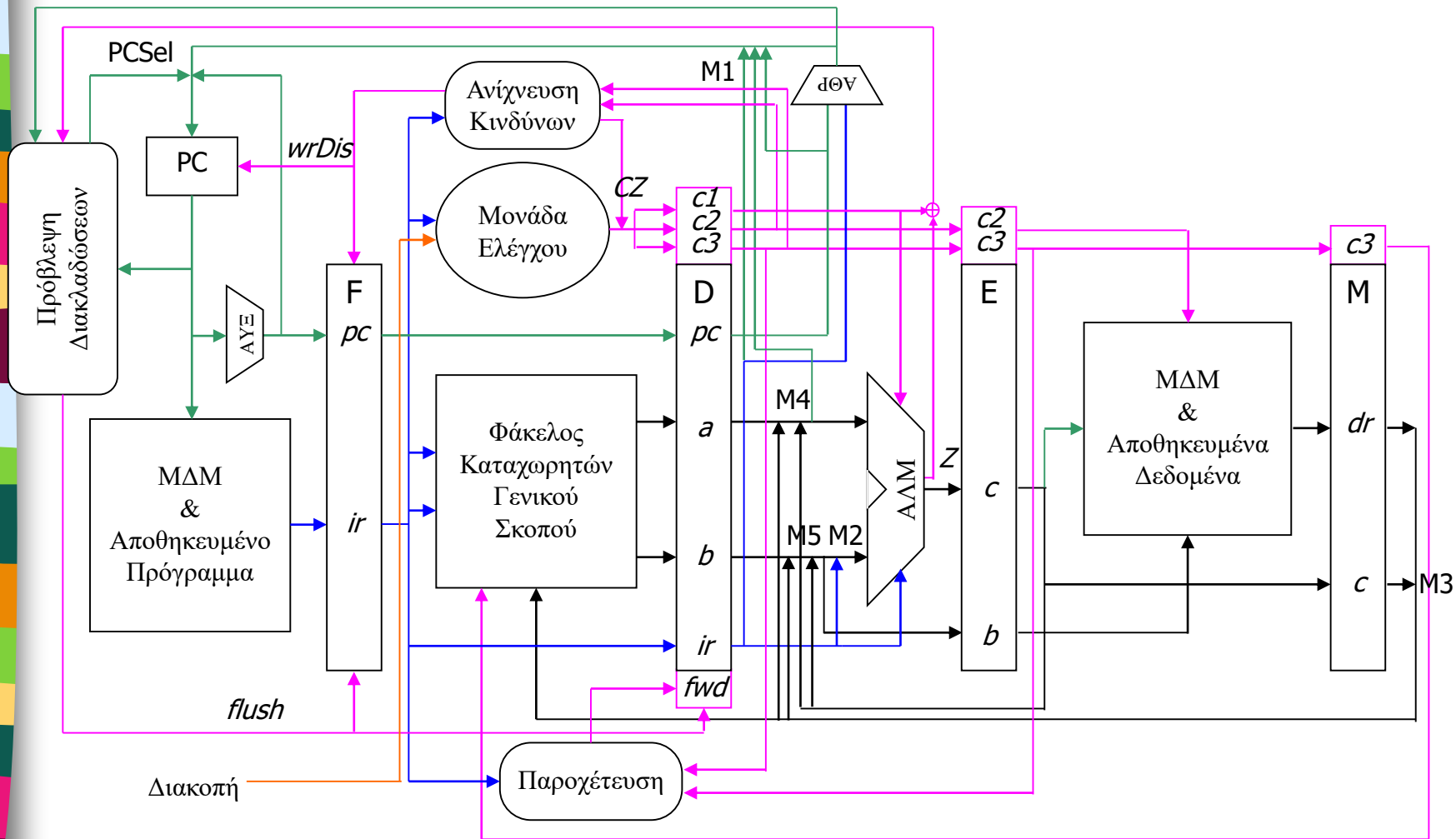
Συμπεριφοράς Διακλαδώσεων

- Περιορισμοί στο χώρο αποθήκευσης:
- Δύο πίνακες έναντι ενός ενιαίου
 - Λίγα bits στον πίνακα ιστορικού ανά διακλάδωση
 - Μία διεύθυνση στον πίνακα διευθύνσεων προορισμού ανά διακλάδωση
- Πολυπλέκουμε πολλές διακλαδώσεις μαζί
 - Μικρός αριθμός ενεργών διακλαδώσεων



ΜΕΔ με Επικάλυψη Εντολών

■ Αρχιτεκτονική MIPS



Οργάνωση Η/Υ