

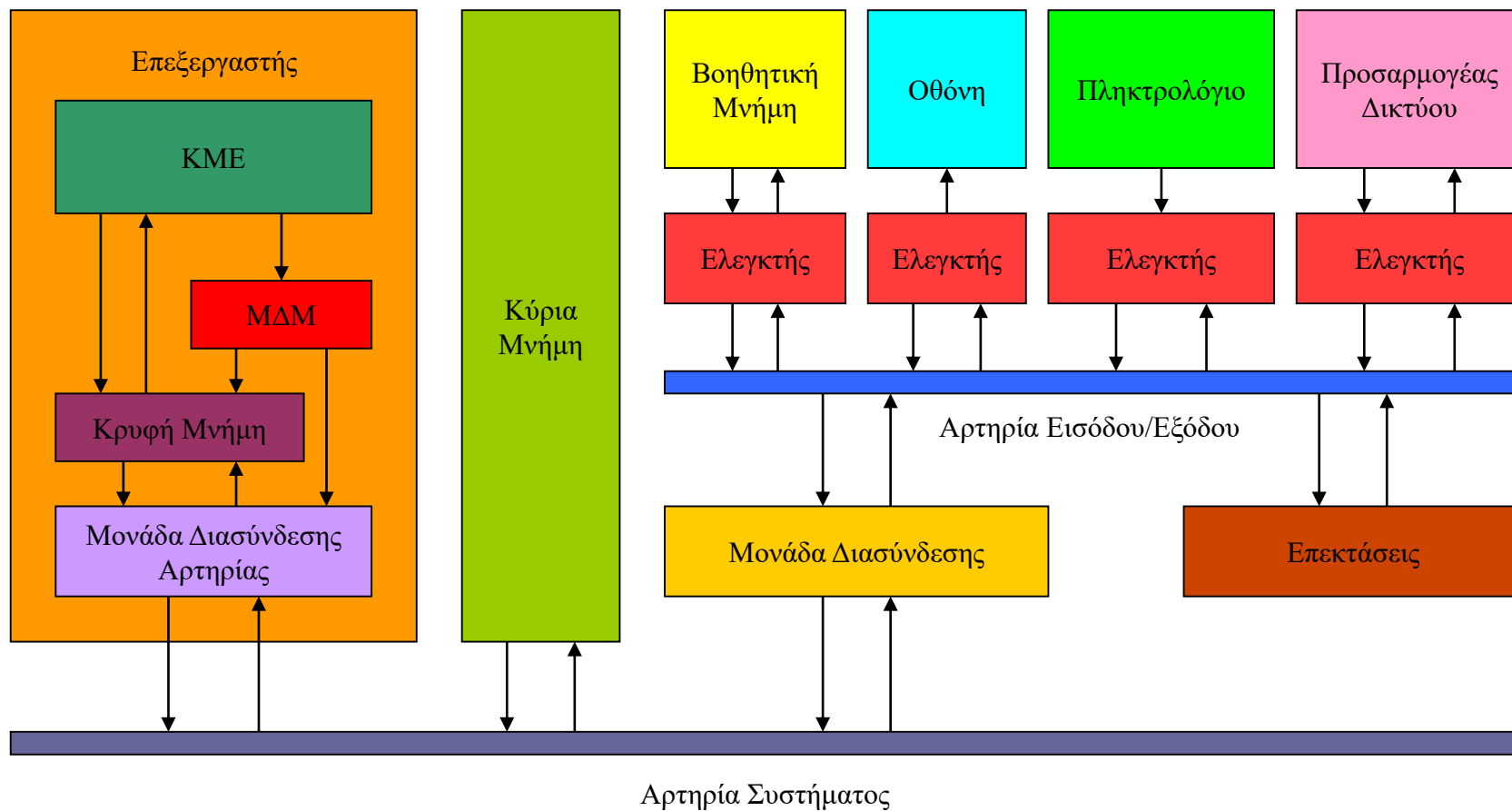
Αρχιτεκτονική Η/Υ



Γιώργος Δημητρίου

Μια Ανασκόπηση στην Οργάνωση Η/Υ

Οργάνωση ενός Κλασικού Η/Υ



Δομικές Μονάδες ενός Η/Υ

- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)
 - Μονάδα Επεξεργασίας Δεδομένων (ΜΕΔ)
 - Μονάδα Ελέγχου (ΜΕ)
- Σύστημα Μνήμης
 - Κρυφές μνήμες
 - Κύρια μνήμη
- Συσκευές Ε/Ε
- Αρτηρίες διασύνδεσης

Α. Αναπαράσταση Πληροφορίας

- Αριθμητικά δεδομένα
 - Σταθερής υποδιαστολής
 - Κινητής υποδιαστολής
- Μη αριθμητικά δεδομένα
 - Κωδικοποιημένοι χαρακτήρες
- Εντολές
 - Γλώσσα μηχανής
 - Συμβολική γλώσσα

Γλώσσα Μηχανής ενός Η/Υ

- Το σύνολο των δυαδικά κωδικοποιημένων αριθμών που ο επεξεργαστής αντιλαμβάνεται ως εντολές για:
 - την εκτέλεση κάποιων πράξεων,
 - τη μεταφορά πληροφορίας μεταξύ υπομονάδων του, ή μεταξύ αυτού και του συστήματος μνήμης ή των συσκευών Ε/Ε,
 - την εκτέλεση άλλων λειτουργιών
- Διαφορετική για κάθε επεξεργαστή
 - συμβατότητα μεταξύ επεξεργαστών

Συμβολική Γλώσσα

- Ανάγκη κατανόησης της γλώσσας μηχανής του Η/Υ
- Κάθε εντολή μηχανής απεικονίζεται συμβολικά
- Παράδειγμα εντολής μηχανής MIPS:

00000010001100100100000000100000

ισοδύναμη συμβολική γραφή:

add \$8, \$17, \$18

Κατηγορίες Εντολών

- Εντολές αριθμητικών πράξεων
 - συμπεριλαμβάνονται πράξεις σύγκρισης
- Εντολές λογικών πράξεων
 - άλγεβρα Boole και ολισθήσεις
- Εντολές μεταφοράς δεδομένων
 - αντιγραφή δεδομένων από/προς τη μνήμη
 - μεταφορά μεταξύ καταχωρητών
- Εντολές ελέγχου ροής προγράμματος
 - άλματα με/χωρίς συνθήκη
- Εντολές E/E ή συνεπεξεργαστή

Διευθυνοδοσότητα Εντολών

- Άμεση διευθυνοδοσότητα
- Κατ' ευθείαν διευθυνοδοσότητα
 - με αριθμό ή όνομα καταχωρητή
 - με διεύθυνση μνήμης
- Έμμεση διευθυνοδοσότητα
 - δείκτης προς τη διεύθυνση
- Σχετική διευθυνοδοσότητα
 - έμμεση με μετατόπιση
- Δεικτοδοτούμενη διευθυνοδοσότητα
 - με χρήση καταχωρητή-δείκτη

Β. Μονάδα Επεξεργασίας Δεδομένων (ΜΕΔ)

- Υπομονάδες αριθμητικών και λογικών πράξεων
 - αριθμητική σταθερής/κινητής υποδιαστολής
- Υπομονάδα ολίσθησης
- Καταχωρητές ειδικού/γενικού σκοπού
- Κρυφή μνήμη εντολών και δεδομένων
- Δρόμοι μεταφοράς πληροφορίας

Αριθμητικές Πράξεις

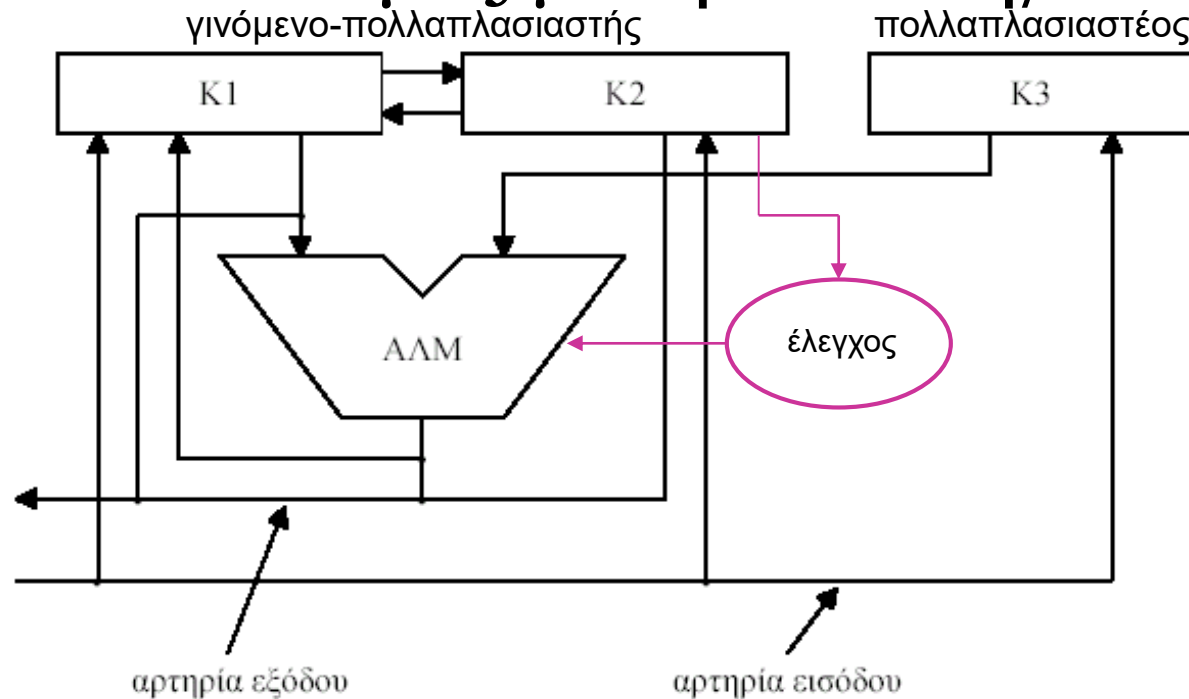
- Σταθερής/Κινητής υποδιαστολής
 - πρόσθεση/αφαίρεση
 - πολλαπλασιασμός
 - διαίρεση
- Αλγόριθμοι πράξεων
- Υλικό πράξεων
 - άμεση απεικόνιση των αλγόριθμων σε λογικά κυκλώματα
 - μονάδα πρόσθεσης/αφαίρεσης ακεραίων απαραίτητη για όλες τις πράξεις

Πρόσθεση Ακεραίων

- Το βασικό πρόβλημα ταχύτητας είναι η παραγωγή κρατουμένου:
 - Διάδοση (carry-propagate)
 - Πρόβλεψη (carry-lookahead)
 - Επιλογή (carry-select)
 - Παράκαμψη (carry-skip)
- Άλλο πρόβλημα είναι ο χειρισμός πολλαπλών προσθετέων:
 - Επαναληπτικά ή συνδυαστικά
 - Διατήρηση κρατουμένου (carry-save)

Πολλαπλασιασμός Ακεραίων

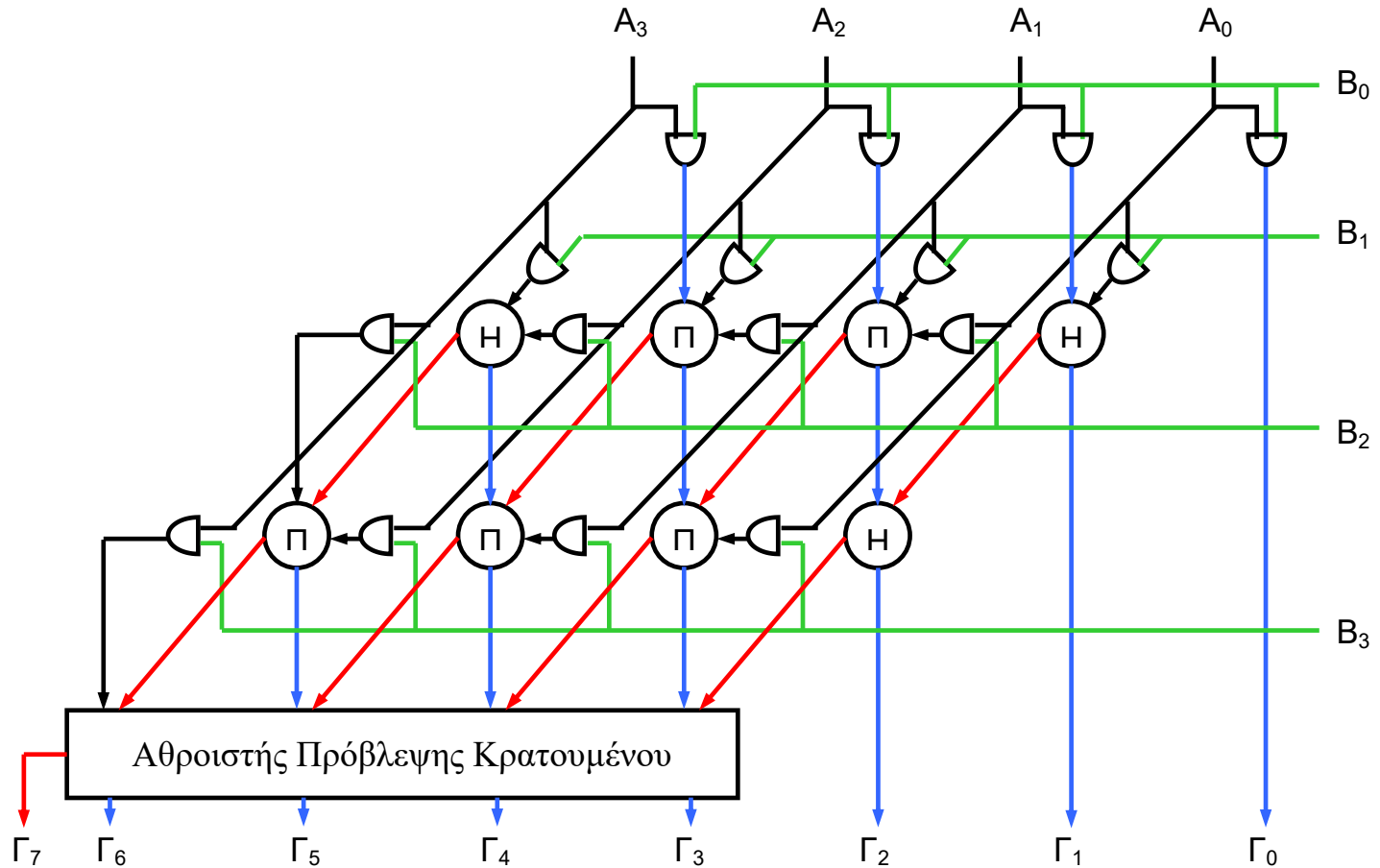
- Πολλαπλασιασμός με πρόσθεση/ολίσθηση



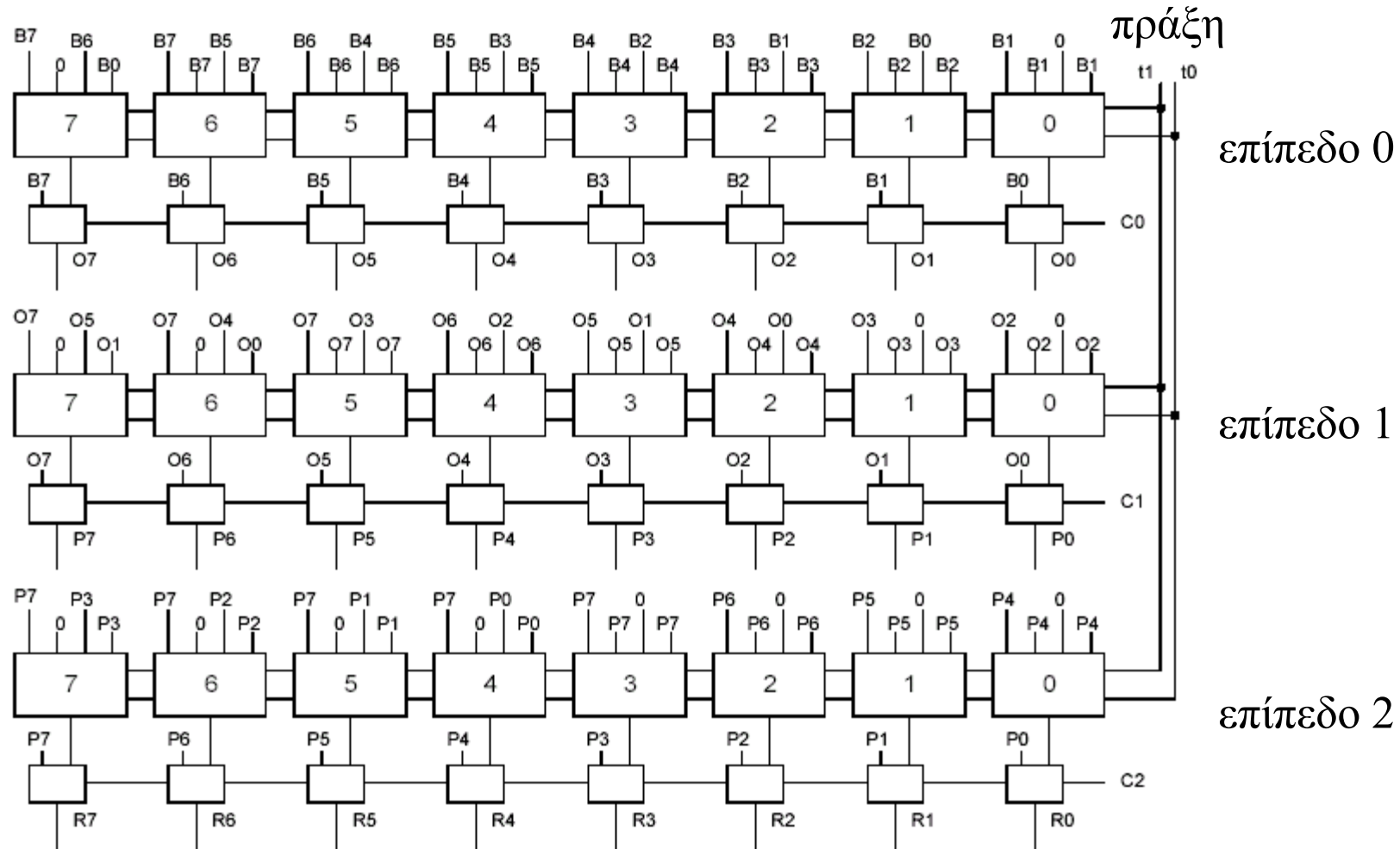
- K1/K2** υπολογίζει το γινόμενο
- Αλγόριθμος Booth

Πολλαπλασιασμός Ακεραίων

- Με συγκράτηση κρατουμένου:

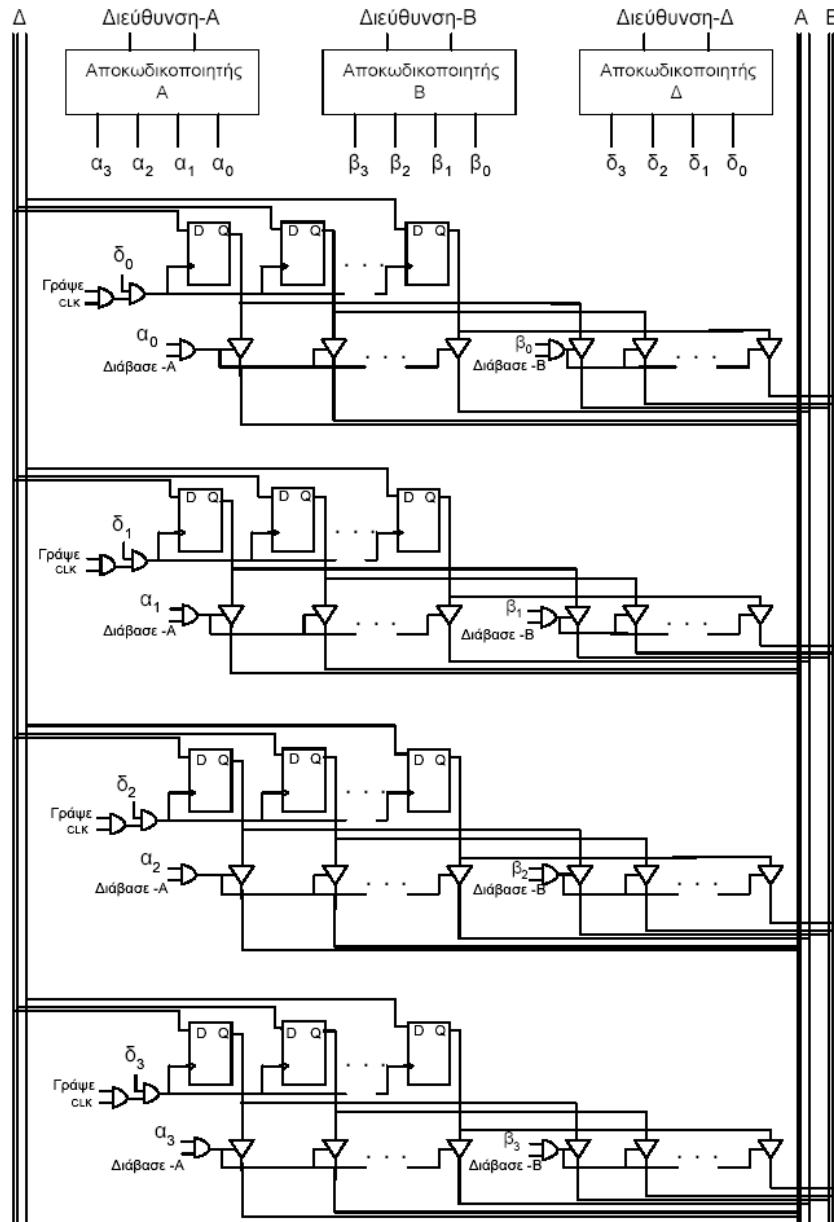


Υπομονάδα Ολίσθησης



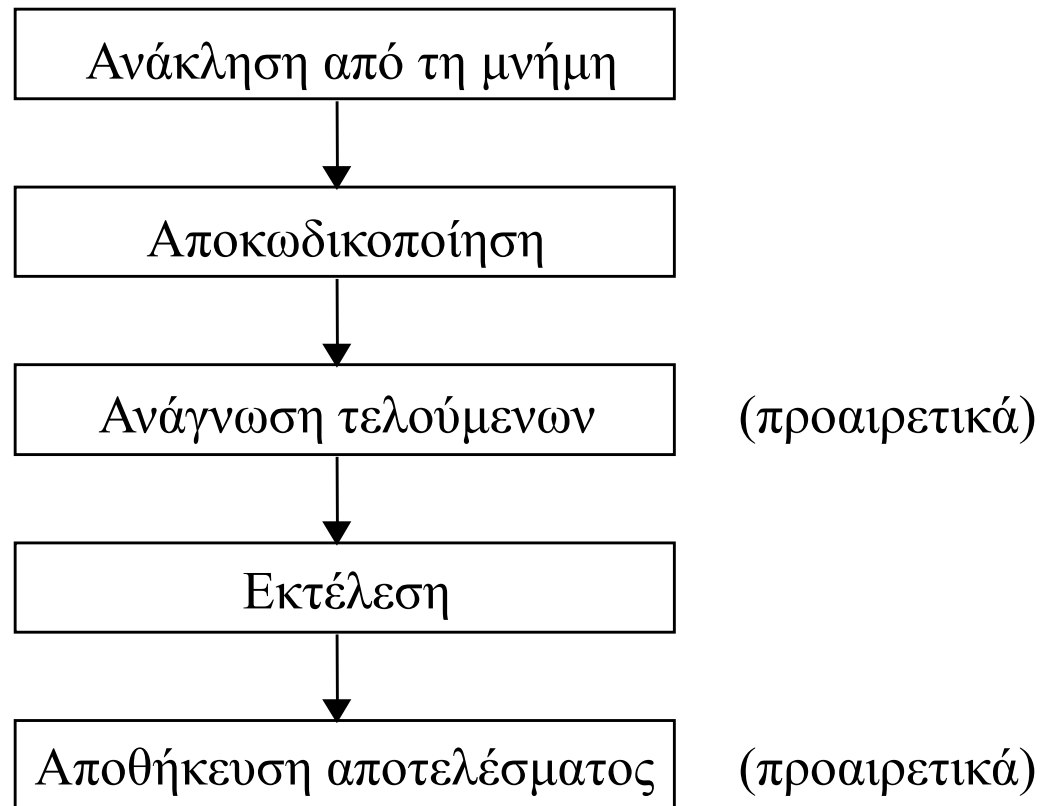
Φάκελος Καταχωρητών

1 θύρα
εγγραφής



2 θύρες
ανάγνωσης

Γ. Κύκλος Εντολής



Σειριακή/Παράλληλη Εκτέλεση

- Βασική αρχή σειριακής εκτέλεσης
 - μοντέλο von Neumann
 - χρήση του μετρητή προγράμματος
 - άλματα/βρόχοι
- Επικάλυψη εκτέλεσης
 - μερική επικάλυψη
 - εκτέλεση εντολών εκτός σειράς
 - παράλληλα προγράμματα
- Ροή ελέγχου και ροή δεδομένων

Σύνολα Εντολών

- Αρχιτεκτονικές στοίβας
- Αρχιτεκτονικές συσσωρευτή
- Αρχιτεκτονικές καταχωρητών γενικού σκοπού
 - Αρχιτεκτονικές καταχωρητή-μνήμης
 - Αρχιτεκτονικές φόρτωσης-αποθήκευσης ή καταχωρητή-καταχωρητή
- RISC/CISC αρχιτεκτονικές

Έλεγχος ΜΕΔ

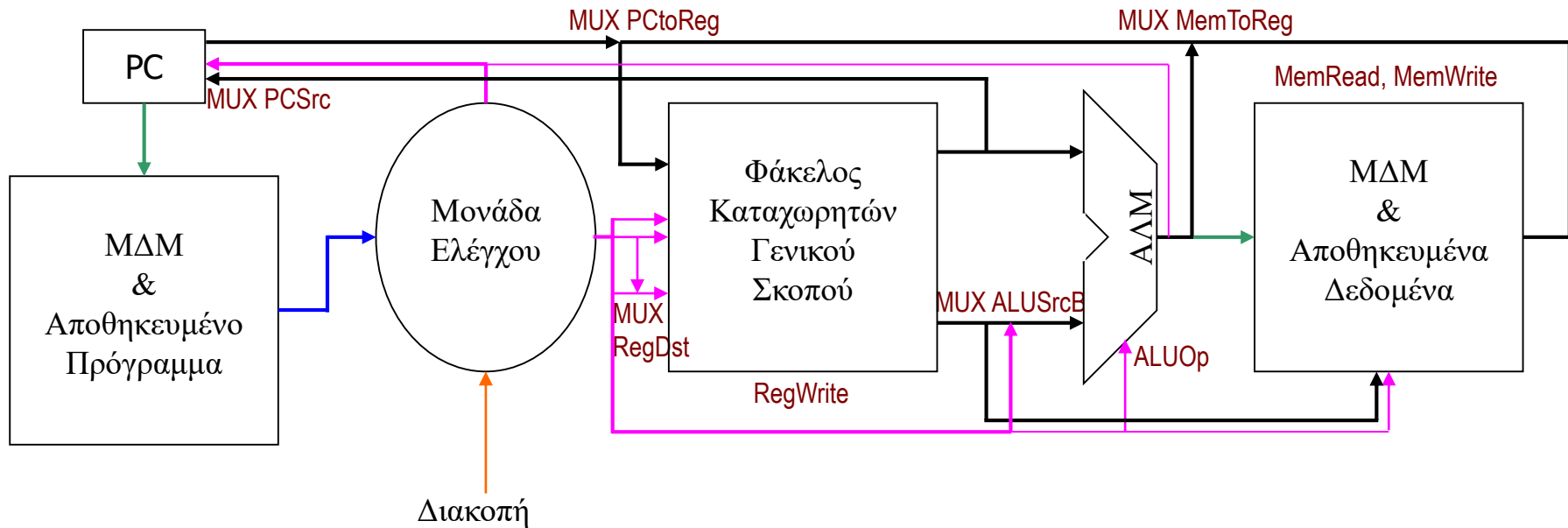
- Οι μικρολειτουργίες ενεργοποιούνται με σήματα ελέγχου
- Με καλωδιωμένη λογική:
 - σήματα ελέγχου από λογικό κύκλωμα
 - δύο μέθοδοι υλοποίησης:
 - ένας κύκλος μηχανής για κάθε κύκλο εντολής
 - ένας κύκλος μηχανής για κάθε φάση κύκλου εντολής
- Με μικροπρογραμματισμένη λογική:
 - σήματα ελέγχου από μικροεντολή, σαν αποτέλεσμα της εκτέλεσης ενός προγράμματος

Κύκλος Εντολής MIPS

1. Προσκόμισε την εντολή από τη θέση μνήμης που δείχνει ο PC.
2. Αύξησε την τιμή του PC κατά 1 λέξη.
3. Αποκωδικοποίησε την εντολή.
4. Διάβασε τα τελούμενα από το φάκελο καταχωρητών (ΦΚ).
5. Εκτέλεσε την εντολή στην ΑΛΜ.
6. Προσπέλασε τη μνήμη δεδομένων.
7. Αποθήκευσε το αποτέλεσμα στο ΦΚ.

ΜΕΔ

Απλού Κύκλου Μηχανής



Αξιολόγηση - Προβλήματα

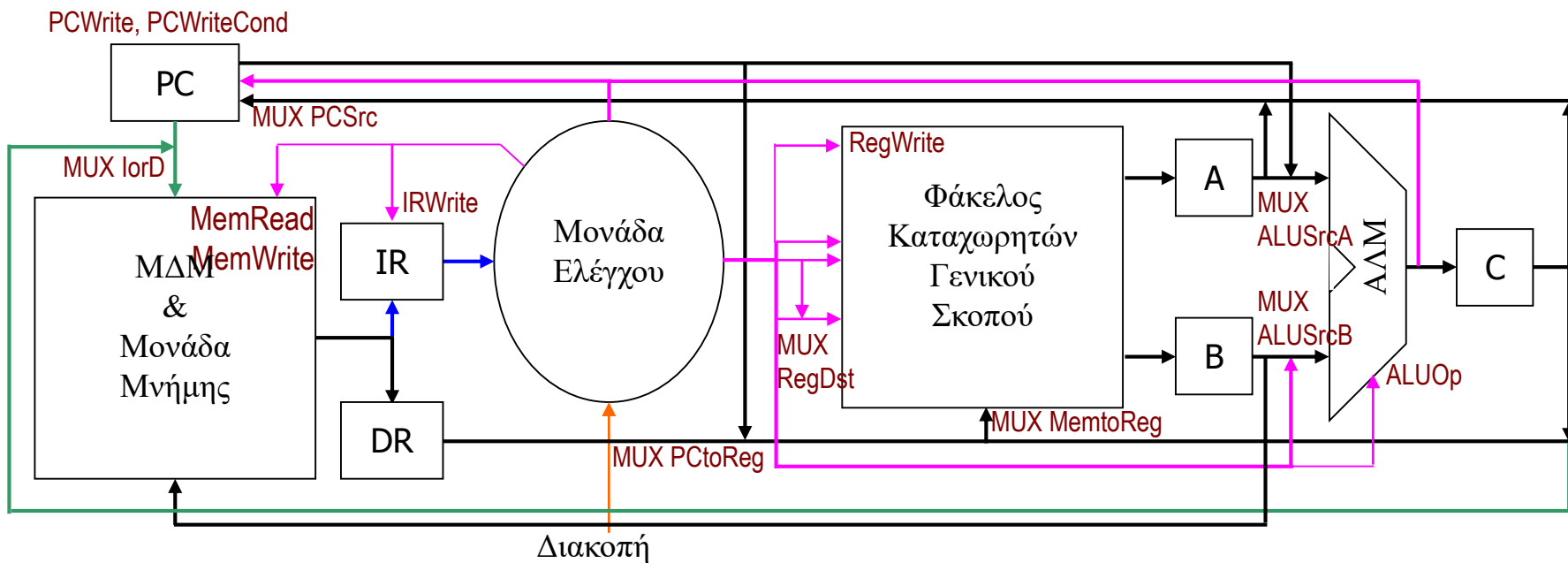
- Το σταθερό μήκος παλμού δημιουργεί ένα μοναδικό μακρύ κύκλο μηχανής.
 - Το μήκος παλμού θα αντιστοιχεί στο μέγιστο μήκος κύκλου εντολής.
 - Το μέγιστο μήκος κύκλου εντολής μπορεί να αντιστοιχεί σε σπάνια εντολή.
- Ο απλός παλμός δεν επιτρέπει επαναχρησιμοποίηση υπομονάδων στον ίδιο κύκλο εντολής.

Πολλαπλοί Κύκλοι Μηχανής

- Διαχωρισμός των φάσεων του κύκλου εντολής.
- Κάθε φάση αντιστοιχείται σε διαφορετικό κύκλο μηχανής.
- Σε κάθε κύκλο μηχανής εκτελούνται μόνο οι συγκεκριμένες μικρολειτουργίες της αντίστοιχης φάσης.
- Η μονάδα ελέγχου πρέπει να ξέρει κάθε στιγμή ποια φάση εκτελείται και ποια φάση ακολουθεί.

ΜΕΔ

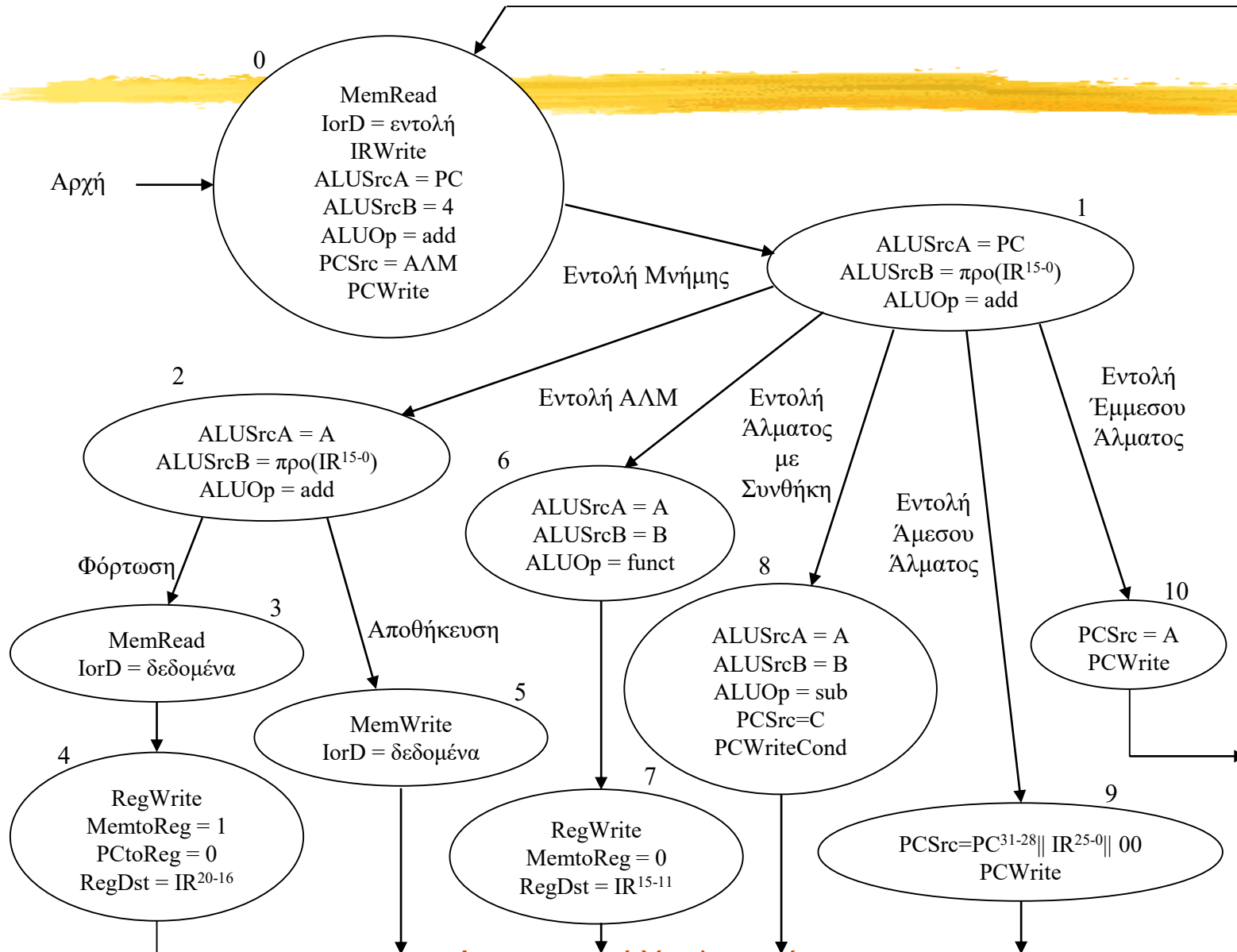
Πολλαπλών Κύκλων Μηχανής



Σχεδίαση Μονάδας Ελέγχου

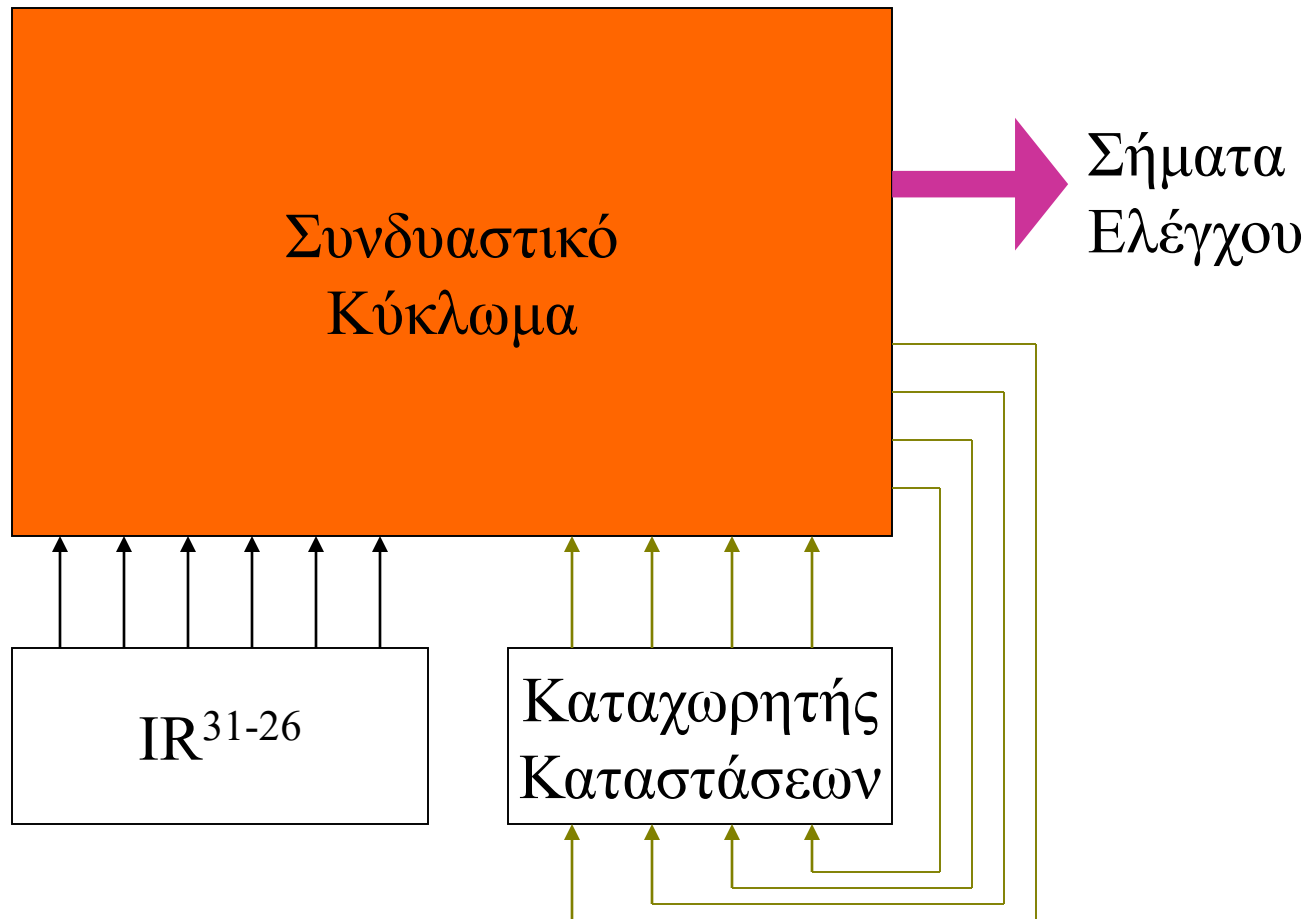
- Ορισμός καταστάσεων από τις φάσεις των εντολών.
 - Κάθε τύπος εντολής και διευθυνσιοδότησης δίνει διαφορετική ακολουθία καταστάσεων
- Σχεδίαση μηχανής καταστάσεων.
 - Καθορισμός των συνθηκών διαδοχής καταστάσεων
 - Καθορισμός των σημάτων ελέγχου για την εκτέλεση των μικρολειτουργιών
- Σχεδίαση του κυκλώματος ελέγχου.

Μηχανή Καταστάσεων



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

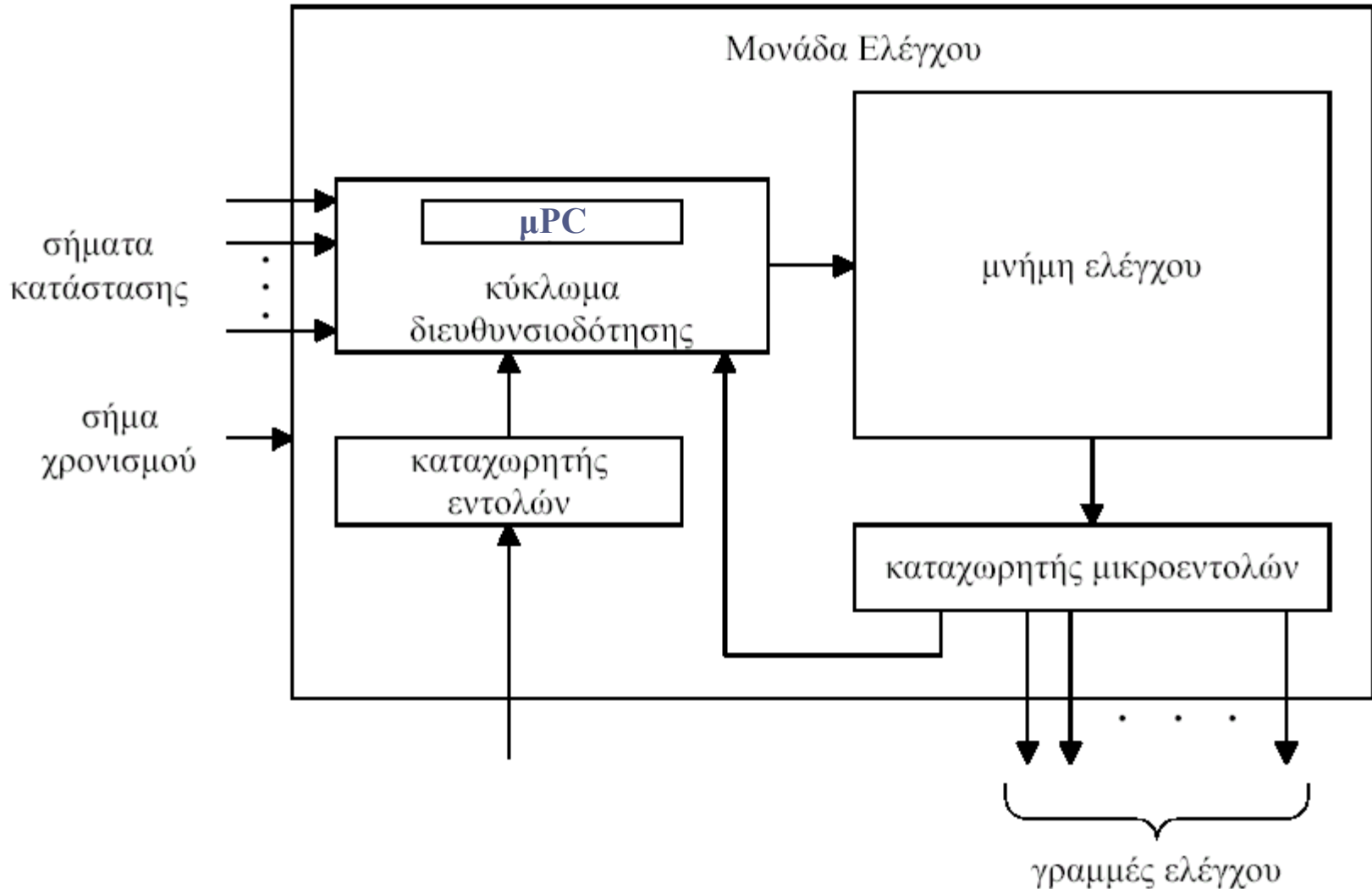
Μονάδα Ελέγχου



Μικροπρογραμματισμένη Λογική

- Καλωδιωμένη λογική για πραγματικές αρχιτεκτονικές:
 - πάνω από 100 εντολές μηχανής
 - πολύπλοκες μέθοδοι διευθυνσιοδότησης
 - χιλιάδες καταστάσεις
- Τεχνική μικροπρογραμματισμού:
 - αντιστοίχιση κάθε ομάδας μικρολειτουργιών σε μια μικροεντολή
 - εκτέλεση σα να έχουμε πρόγραμμα

Μικροπρογραμματισμένη ΜΕ



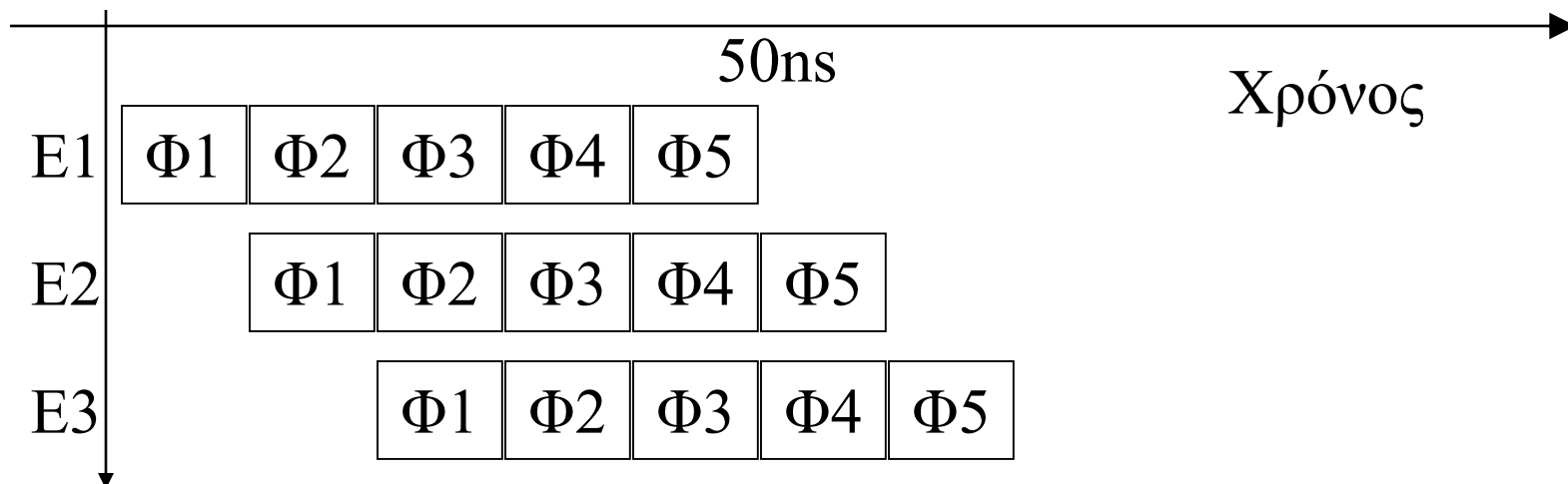
Παράδειγμα

- Εντολές MIPS lw, sw, add, sub, beq, j, jr:

Ετικέτα	Άλμα	ΑΛΜ	ΑΛΜ1	ΑΛΜ2	ΦΚ	MEM	PC=
Fetch:	seq	add	PC	4		readIR	ΑΛΜ
	disp	add	PC	$\text{προ}(\text{IR})_{\ll 2}$			
LW:	seq	add	A	$\text{προ}(\text{IR})$			
	seq					readDR	
	j Fetch				writeDR		
SW:	seq	add	A	$\text{προ}(\text{IR})$			
	j Fetch					write	
REGAΛΜ:	seq	funct	A	B			
	j Fetch				writeC		
BEQ:	j Fetch	sub	A	B			$C(Z==1)$
J:	j Fetch						$(\text{PC} \parallel \text{IR})_{\ll 2}$
JR:	j Fetch						A

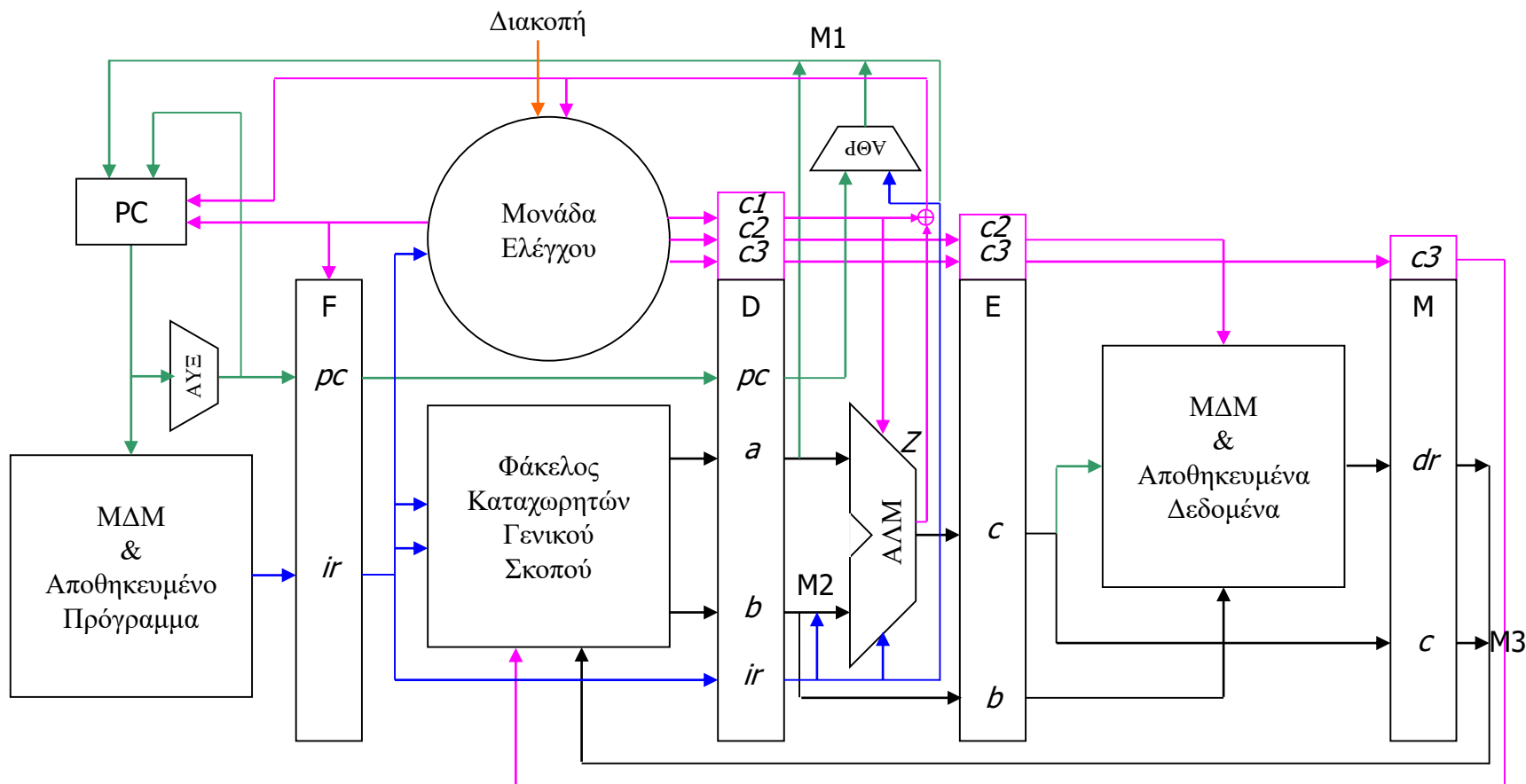
Μερική Επικάλυψη Εντολών

- Διαχωρισμός σε ισόχρονες φάσεις
- Ομοιόμορφη επικάλυψη



- Συνολικός χρόνος: 50ns
- Χρόνος μεταξύ διαδοχικών εντολών: 10ns

ΜΕΔ MIPS με Επικάλυψη Εντολών



Εξαρτήσεις Μεταξύ Εντολών

- Δομικές εξαρτήσεις
 - Εξαρτήσεις υλικού
- Εξαρτήσεις από δεδομένα
 - Εξαρτήσεις εγγραφής δεδομένων, όπως:
add \$7, \$10, \$26
sw \$7, -204(\$8)
- Διαδικασιακές εξαρτήσεις
 - Εξαρτήσεις ροής προγράμματος, όπως:
beq \$2, \$8, Label
add \$7, \$10, \$26

Δομικές Εξαρτήσεις

- Παραδείγματα κινδύνων:
 - Στη μνήμη, μεταξύ των φάσεων Φ1, Φ4
 - Στην ΑΛΜ, στη φάση Φ3 εντολών άλματος με συνθήκη
 - Στην ΑΛΜ, σε πράξεις μακρύτερες του ενός κύκλου μηχανής, όπως:
 - `div $4,$6`
 - `add $10,$8,$6`
- Αντιμετωπίζονται με πάγωμα ή με πολλαπλασιασμό υλικού

Εξαρτήσεις από Δεδομένα

- Ανάγνωση μετά από εγγραφή (ΑΜΕ)
 - $\Phi_5 \rightarrow \Phi_2$
- Εγγραφή μετά από εγγραφή (ΕΜΕ)
 - $\Phi_5 \rightarrow \Phi_5$
- Εγγραφή μετά από ανάγνωση (ΕΜΑ)
 - $\Phi_2 \rightarrow \Phi_5$
- Οι ΕΜΕ και ΕΜΑ δεν αποτελούν κίνδυνο στη ΜΕΔ που μελετάμε (γιατί;)

Τεχνική Παροχέτευσης

- Προωθούμε τα δεδομένα όπου και όταν χρειάζονται
- Παραδείγματα κινδύνων:

add \$R1, \$R2, \$R3	Φ1 Φ2 Φ3 Φ4 Φ5
lw \$R5, -100(\$R1)	Φ1 Φ2 Φ3 Φ4 Φ5
sub \$R8, \$R2, \$R5	Φ1 Φ2 X Φ3 Φ4 Φ5

Υλοποίηση Παροχέτευσης



- Η φάση αποκωδικοποίησης ανιχνεύει τις εξαρτήσεις από δεδομένα και παράγει κατάλληλα σήματα ελέγχου
- Μετά τη φάση εκτέλεσης τα δεδομένα προωθούνται πίσω στις εισόδους της ΑΛΜ
- Αν περιμένουμε τη μνήμη, παγώνουμε την εξαρτημένη εντολή όσο χρειάζεται

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 αφήσουμε στο μεταγλωττιστή...

Διαδικασιακές Εξαρτήσεις

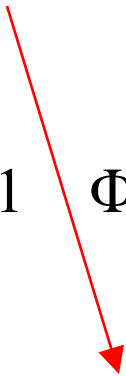
- Εξαρτήσεις λόγω αλμάτων:
 - $\Phi_2 \rightarrow \Phi_1$ είτε $\Phi_3 \rightarrow \Phi_1$
- Παραδείγματα κινδύνων:

j	0x1a402c0	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
add	\$7, \$5, \$12			Φ_2	Φ_3	Φ_4 Φ_5
beq	\$3, \$6, -2044	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
lw	\$16, 4(\$9)			Φ_2	Φ_3	Φ_4 Φ_5

Καθυστερημένο Άλμα

- Το άλμα εκτελείται μετά την επόμενη εντολή
- Η εξάρτηση μεταβιβάζεται στη μεθεπόμενη εντολή
- Παράδειγμα:

j	0x1a402c0	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5		
add	\$7, \$5, \$12		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5	
εντολή προορισμού				Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5



Πρόβλεψη Διακλάδωσης

- Πρόβλεψη στην αποτίμηση της συνθήκης
 - Άλμα / Όχι άλμα
 - Σωστή πρόβλεψη (όχι άλμα):

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

- Λάθος πρόβλεψη (με εκτέλεση στη Φ2):

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

Στατική Πρόβλεψη

- Η πρόβλεψη κάθε διακλάδωσης δεν αλλάζει με την εκτέλεση του κώδικα
- Πρόβλεψη ανάλογα με την εντολή
- Πρόβλεψη ανάλογα με τη μετατόπιση
- Πρόβλεψη που ορίζει ο μεταγλωττιστής

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

Λανθασμένη Πρόβλεψη

- Επαναφορά στην προηγούμενη κατάσταση:
 - Δε μπορεί να αλλάξει η κατάσταση που φαίνεται εξωτερικά, άρα
 - Δε γράφονται καταχωρητές γενικού σκοπού
 - Δε γράφεται μνήμη

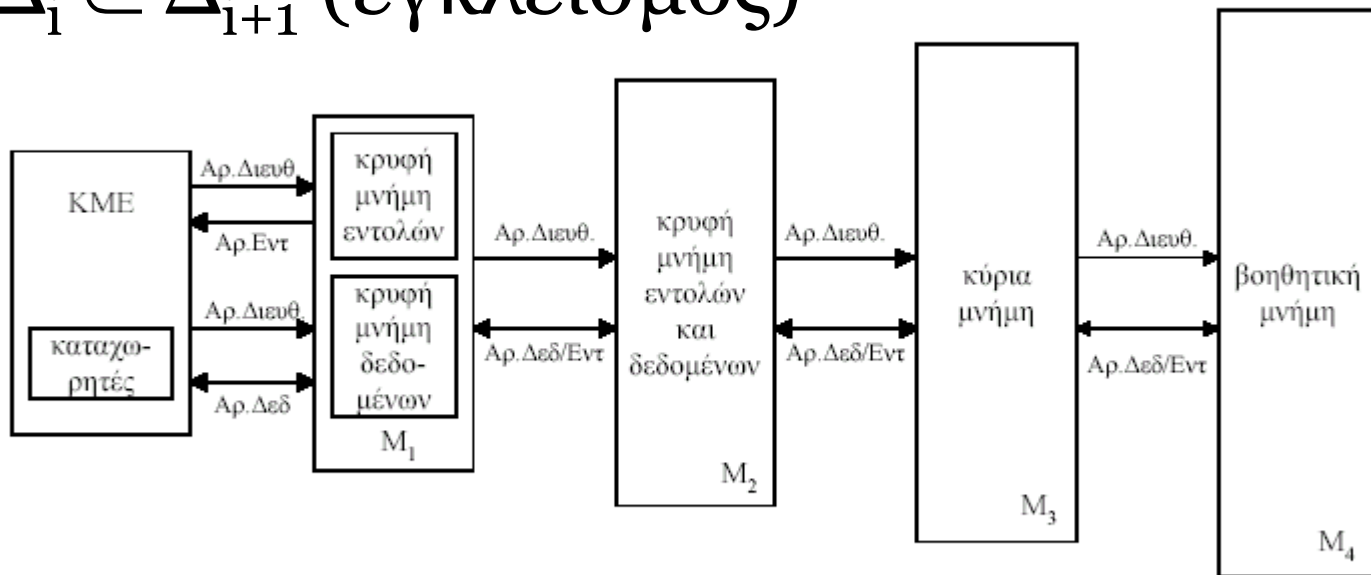
πριν αποτιμηθεί η συνθήκη άλματος
- Κόστος λάθους
 - Ανάλογα με την απόσταση από τη Φ1 της φάσης αποτίμησης της συνθήκης

Δ. Σύστημα Μνήμης

- Κεντρική μνήμη
 - κρυφή και κύρια μνήμη
 - φυσικές διευθύνσεις και χώρος φυσικών διευθύνσεων
- Βοηθητική μνήμη (σύστημα δίσκων)
 - κρυφή βοηθητική μνήμη
- Ιδεατή (ή εικονική) μνήμη
 - λογικές διευθύνσεις και χώρος λογικών διευθύνσεων

Ιεραρχία Μνήμης

- $KME \leftrightarrow M_1 \leftrightarrow M_2 \leftrightarrow M_3 \leftrightarrow M_4$
- $C_i > C_{i+1}$, $t_i < t_{i+1}$, $S_i < S_{i+1}$
- $\Delta_i \subset \Delta_{i+1}$ (εγκλεισμός)



Προσπέλαση Ιεραρχίας Μνήμης

- Η ΚΜΕ παράγει τη διεύθυνση
- Ψάχνουμε διαδοχικά στις M_1, M_2, \dots
- Όταν βρούμε τη διεύθυνση, φέρνουμε το δεδομένο διαδοχικά μέχρι τη ΚΜΕ
- Προσπελάζουμε τη M_1
- Τυχόν εγγραφή παραμένει στη M_1 (πρόβλημα ασυνέπειας)

Στόχοι Ιεραρχίας Μνήμης

- Ιδανικά:
 - $C = C_n, t = t_1, S = S_n$
- Η πραγματική απόδοση καθορίζεται από:
 - Χαρακτηριστικά λογισμικού
 - Παράμετροι κατασκευής
 - Λειτουργικοί αλγόριθμοι
 - Τρόπος απεικόνισης $\Delta_{i+1} \rightarrow \Delta_i$
 - Τακτική προσκόμισης μπλοκ $M_{i+1} \rightarrow M_i$
 - Στρατηγική αντικατάστασης M_i
 - Τακτική ενημέρωσης $M_i \rightarrow M_{i+1}$

Απεικόνιση

Πώς απεικονίζουμε μεγαλύτερη μνήμη σε μικρότερη;

- Χρήση συσχετιστικής (ή ψευδοσυσχετιστικής) μνήμης με κλειδί που είναι μέρος της διεύθυνσης
- Ένα μέρος της διεύθυνσης καθορίζει το πλαίσιο, ενώ άλλο μέρος αποθηκεύεται σαν κλειδί σύγκρισης

Ψηφίο εγκυρότητας

Τρόπος Απεικόνισης

- Άμεση απεικόνιση
 - κάθε μπλοκ σε καθορισμένο πλαίσιο
- Απεικόνιση πλήρους συσχέτισης
 - κάθε μπλοκ σε οποιοδήποτε πλαίσιο
- Απεικόνιση τ-τρόπων συνόλου συσχέτισης
 - κάθε μπλοκ σε ένα από τ πλαίσια ενός καθορισμένου συνόλου

Σύγκριση Απεικονίσεων

- Άμεση απεικόνιση:
 - πιο γρήγορη
 - πιο πολλές αποτυχίες
 - έλλειψη χώρου κι όταν η μνήμη περιέχει ένα μόνο έγκυρο πλαίσιο
- Απεικόνιση πλήρους συσχέτισης
 - πιο αργή
 - λιγότερες αποτυχίες
 - έλλειψη χώρου μόνο όταν γεμίσει η μνήμη
- τ-Τρόποι συνόλου συσχέτισης
 - ενδιάμεσα χαρακτηριστικά

Τακτική Προσκόμισης Μπλοκ

- Όταν αυτό απαιτείται (on demand)
 - Απλή τακτική
- Εκ των προτέρων (prefetch)
 - Πιο εύκολη υλοποίηση σε προσκόμιση εντολών, λόγω σειριακής εκτέλεσης
 - Πιο δύσκολη υλοποίηση σε προσκόμιση δεδομένων
 - Ειδική εντολή γλώσσας μηχανής
 - Ανίχνευση διαδοχικών προσπελάσεων

Στρατηγική Αντικατάστασης

Τετριμμένη για άμεση οργάνωση, αλλιώς:

- Επιλογή πλαισίου για απελευθέρωση
 - Τυχαία επιλογή
 - Επιλογή του μη χρησιμοποιηθέντος πρόσφατα (LRU)
 - Επιλογή του πρώτου προσκομισθέντος (FIFO)
- Οι LRU και FIFO στρατηγικές απαιτούν ψηφία ιστορίας ανά πλαίσιο
 - Συνήθως έχουμε προσεγγίσεις της LRU

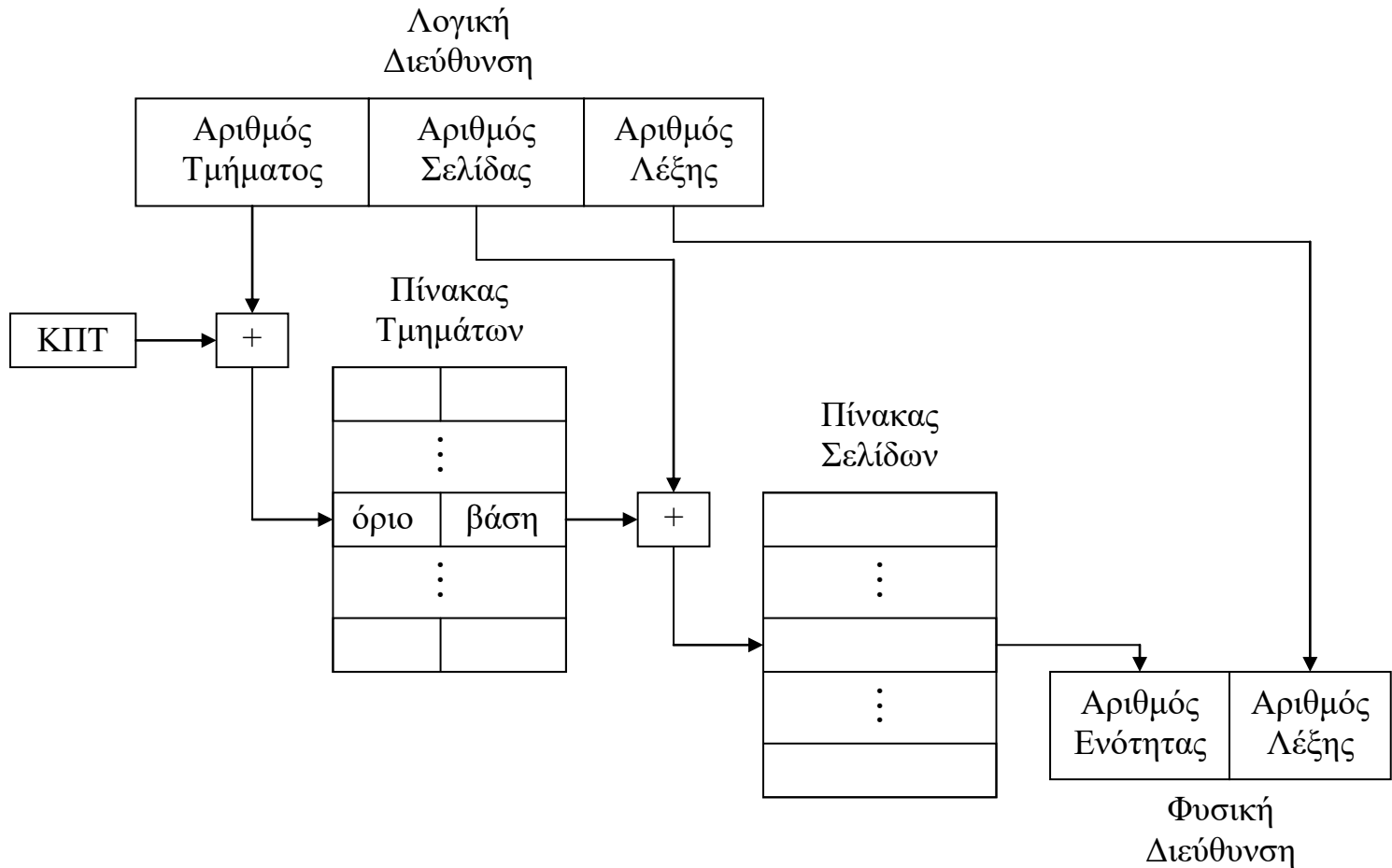
Τακτική Ενημέρωσης

- Εγγραφές σε σχέση με αναγνώσεις
- Όταν έχουμε επιτυχία:
 - Άμεση ενημέρωση (write through)
 - Τελική ενημέρωση (write back)
 - Σημαία αλλαγής (dirty bit)
- Όταν έχουμε αποτυχία:
 - Προσκόμιση κατά την εγγραφή (fetch on write)
 - Μη προσκόμιση κατά την εγγραφή (write around)

Τοπικότητα Αναφορών

- Τοπικότητα στο χρόνο
 - Βρόχοι
 - εντολές και δεδομένα
- Τοπικότητα στο χώρο
 - Βρόχοι
 - εντολές
 - Δομές δεδομένων (διανύσματα, πίνακες)
 - δεδομένα
- Εκμετάλλευση τοπικότητας αναφορών

Ιδεατή μνήμη



Χρήση Ιδεατής Μνήμης

- Η μετάφραση από λογικές σε φυσικές διευθύνσεις επιταχύνεται με τη χρήση ειδικής κρυφής μνήμης, την TLB
- Ο έλεγχος της TLB και γενικότερα της ιδεατής μνήμης γίνεται από το λειτουργικό σύστημα
- Θετική παρενέργεια της χρήσης ιδεατής μνήμης είναι ο μηχανισμός προστασίας μνήμης

Ε. Συσκευές Εισόδου/Εξόδου

- Τύπος συσκευής
 - Εισόδου, εξόδου, εισόδου + εξόδου, αποθήκευσης
- Χρήστης συσκευής
 - Άνθρωπος, μηχανή
- Ρυθμός μεταφοράς δεδομένων

Επικοινωνία με ΚΜΕ

- Πρόσβαση στους ελεγκτές από ΚΜΕ:
 - Ειδικές εντολές E/E
 - Μέσα από το χώρο διευθύνσεων μνήμης
- Επικοινωνία ελεγκτών E/E με ΚΜΕ:
 - Η ΚΜΕ εξετάζει τακτικά τους ελεγκτές
 - Οι ελεγκτές διακόπτουν την ΚΜΕ
- Προσπέλαση μνήμης από ελεγκτές E/E:
 - Μέσω ΚΜΕ
 - Άμεσα

Ε/Ε με Διακοπές

- Η ΚΜΕ ενεργοποιεί μια συσκευή Ε/Ε
- Η συσκευή προχωρά παράλληλα με την ΚΜΕ, η οποία εκτελεί άλλες διεργασίες
- Η συσκευή διακόπτει την ΚΜΕ με το τέλος της λειτουργίας Ε/Ε ή σε περίπτωση προβλήματος στην Ε/Ε.
- Προτεραιότητα διακοπών
- Απενεργοποίηση διακοπών

Άμεση Προσπέλαση Μνήμης

- Ε/Ε με τη μέθοδο των διακοπών
- Η ΚΜΕ στέλνει στον ελεγκτή ΑΠΜ τα στοιχεία της προσπέλασης
- Η συσκευή Ε/Ε προσπελαύνει άμεσα τη μνήμη όποτε χρειάζεται
 - Συνεχής προσπέλαση
 - Προσπέλαση μόνο σε διαθέσιμους κύκλους
- Η ΚΜΕ απελευθερώνεται από το κόστος της μεταφοράς δεδομένων

ΣΤ. Αρτηρίες Διασύνδεσης

- Σύγχρονες/Ασύγχρονες
- Γραμμές διευθύνσεων/δεδομένων
 - ξεχωριστές ή χρονικά πολυπλεγμένες
- Γραμμές ελέγχου
 - πρωτόκολλα επικοινωνίας
- Μηχανισμός διαιτησίας
 - προτεραιότητες, δικαιοσύνη
- Προσαρμογείς αρτηριών
 - σύνδεση αρτηριών
- Διασύνδεση μέσω δικτύων

Είδη Αρτηριών

- Επεξεργαστή - Μνήμης (processor - memory bus)
 - Πολύ γρήγορες, μικρού μήκους
- Συστήματος (system bus, backplane bus, local bus)
 - Γρήγορες, μεσαίου μήκους
- Εισόδου/Εξόδου (I/O bus)
 - Αργές, μεγάλου μήκους