

Συγκρίνοντας δύο υπολογιστές

• Απόδοση ΚΜΕ

• Συγκρίνοντας αποδόσεις

- Έστω υπολογιστές X και Y

- Εάν:

$$\text{Απόδοση}(X) > \text{Απόδοση}(Y)$$

- Τότε (και αντίστροφα):

$$\text{Χρόνος Εκτέλεσης}(X) < \text{Χρόνος Εκτέλεσης}(Y)$$

$$\frac{\text{Απόδοση}(X)}{\text{Απόδοση}(Y)} = \frac{\text{Χρόνος Εκτέλεσης}(Y)}{\text{Χρόνος Εκτέλεσης}(X)} = n$$

Ο X είναι n φορές γρηγορότερος από τον Y

;

Ο X εκτελεί ένα πρόγραμμα σε 10 sec και ο Y σε 15 sec. Πόσο πιο γρήγορος είναι ο X;

Χρόνος Εκτέλεσης (Execution Time)

• Απόδοση ΚΜΕ

• Χρόνος εκτέλεσης στην ΚΜΕ

- Ο χρόνος για τον οποίο η ΚΜΕ εκτελεί εντολές του προγράμματος
 - Όχι χρόνος για αναμονή Ε/Ε ή για άλλες διεργασίες

• Συνιστώσες

- Χρόνος προγράμματος χρήστη
 - Για το πρόγραμμα καθαυτό
- Χρόνος συστήματος
 - Λειτουργίες ΛΣ για την εξυπηρέτηση του προγράμματος

Βασικά μεγέθη μέτρησης χρόνου εκτέλεσης

• Απόδοση ΚΜΕ

• Κύκλος ρολογιού (περίοδος)

- Clock Cycle (CC)
 - Η διάρκεια ενός κύκλου ρολογιού (περίοδος) κατά τον οποίο η ΚΜΕ εκτελεί τις μικρότερες βασικές λειτουργίες
 - Σταθερό μέγεθος

• Κύκλοι ρολογιού ανά εντολή

- Clocks Per Instruction (CPI)
 - Οι απαιτούμενοι κύκλοι ρολογιού για την ολοκλήρωση μιας εντολής
 - Ενδεχομένως διαφορετικό μέγεθος ανά τύπο εντολής

• Αριθμός εντολών

- Instruction Count (IC)
 - Ο αριθμός των εντολών ενός προγράμματος

;

Πώς υπολογίζεται το CPI όταν υπάρχουν διαφορετικοί τύποι εντολών;

Χρόνος εκτέλεσης στην ΚΜΕ

• Απόδοση ΚΜΕ

• Χρόνος Εκτέλεσης για ένα πρόγραμμα

$$\text{ExecTime} = \text{IC} \times \text{CPI} \times \text{CC}$$

- Τι μπορεί να κάνει ο σχεδιαστής ΚΜΕ για να βελτιώσει την απόδοση;
 - Να μειώσει τον κύκλο ρολογιού (CC)
 - Να μειώσει τον αριθμό κύκλων ανά εντολή (CPI)
 - Ο αριθμός εντολών δεν αλλάζει

Παράδειγμα

- Απόδοση ΚΜΕ

Τύπος εντολής	A	B	C
CPI	1	2	3

Ακολουθία κώδικα	A	B	C
1	2	1	2
2	4	1	1

- Επιλογή μεταξύ 2 ακολουθιών εντολών
 - Ποια ακολουθία εκτελεί τις περισσότερες εντολές;
 - Ποια είναι ταχύτερη;
 - Ποιο το μέσο CPI σε κάθε περίπτωση;

[Patterson-Hennessy "Computer Organization and Design", 3rd ed]

Συσχέτιση με λογισμικό

- Απόδοση ΚΜΕ

- Αλγόριθμος
 - Καθορίζει το IC
 - Ενδεχομένως καθορίζει το CPI, ευνοώντας ορισμένους τύπους εντολών (π.χ. κινητής υποδιαστολής)
- Γλώσσα προγραμματισμού - Μεταγλωττιστής
 - Καθορίζει το IC (μετάφραση εντολών υψηλού επιπέδου)
 - Καθορίζει το CPI απαιτώντας/χρησιμοποιώντας συγκεκριμένους τύπους εντολών

!

Το υλικό (ISA) καθορίζει και τα τρία μεγέθη (IC, CPI και CC)

Μετροπρογράμματα

- Απόδοση ΚΜΕ

- **Benchmarks**
 - Για τη μέτρηση της απόδοσης
 - Και τη σύγκριση μεταξύ υπολογιστών
 - Θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές εφαρμογές
 - Υπό ρεαλιστικές συνθήκες εκτέλεσης και δεδομένα εισόδου
 - Χωρίς "εσωτερικές" ειδικές βελτιστοποιήσεις
 - Δυνατότητα επανάληψης μέτρησης
 - Διαφορετικά για ανόμοιες κλάσεις υπολογιστών
 - PCs, servers, embedded systems...

Ο "νόμος" του Amdahl

- Απόδοση ΚΜΕ

;

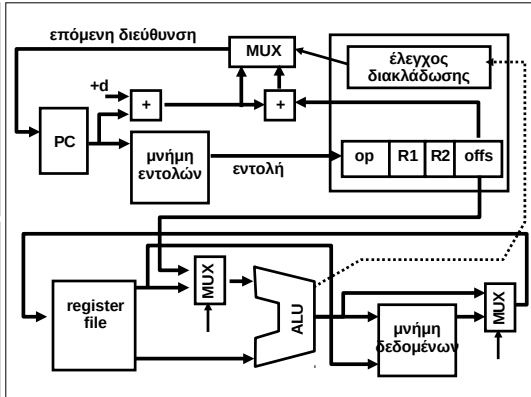
Ένα πρόγραμμα τρέχει για 100 sec σε έναν υπολογιστή και εκτελεί 80 sec. Πόσο πρέπει να βελτιώσω τη ταχύτητα του πολλαπλασιασμού για να πενταπλασιάσω τη συνολική απόδοση;

- "Η βελτίωση της συνολικής απόδοσης ενός συστήματος μέσω της εισαγωγής ενός νέου χαρακτηριστικού, περιορίζεται από το βαθμό χρήσης αυτού του νέου χαρακτηριστικού"
- Ερμηνεία – συνέπειες
 - Οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενες περιπτώσεις πρέπει να είναι γρήγορες
 - Δεν ωφελεί η βελτιστοποίηση των σπάνιων περιπτώσεων
 - Η μη χρήση του νέου χαρακτηριστικού εμποδίζει να επιτύχουμε την «τέλεια» απόδοση

KME ενός κύκλου (single-cycle)

- Απόδοση KME
- KME ενός κύκλου

Κάθε εντολή ολοκληρώνεται σε έναν κύκλο ρολογιού



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Απόδοση KME”

13

KME ενός κύκλου (single-cycle)

- Απόδοση KME
- KME ενός κύκλου

- $CPI = 1$
 - Σε κάθε έναν κύκλο ρολογιού ολοκληρώνεται μια εντολή ή
 - κάθε εντολή απαιτεί έναν κύκλο ρολογιού
- Πόσο πρέπει να είναι το CC;
 - Ίσο με τη διάρκεια της μεγαλύτερης λειτουργίας
 - Μη αποδοτικό σχήμα
 - Όλες οι εντολές δεν απαιτούν τον ίδιο χρόνο

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Απόδοση KME”

14

Παράδειγμα

- Απόδοση KME
- KME ενός κύκλου

Εντολή	IF	ID	EX	DM	WB	Σύνολο
Αριθμητική	200	50	100	0	50	400 ps
Διακλάδωση	200	50	100	0	0	350 ps
Ανάγνωση μνήμης	200	50	100	200	50	600 ps
Εγγραφή μνήμης	200	50	100	200	0	550 ps

- CC πρέπει να είναι 600 ps (single cycle CPU)
 - Αν ήταν δυνατή η χρήση με μεταβλητό CC (προσοχή: πρακτικά αδύνατο!)
 - Ποια η βελτίωση της απόδοσης;
 - 25% ανάγνωση, 10% εγγραφή, 45% αριθμητικές, 20% διακλάδωσης

[Patterson-Hennessy “Computer Organization and Design”, 3rd ed]

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Απόδοση KME”

15

KME πολλαπλών κύκλων (multi-cycle)

- Απόδοση KME
- KME ενός κύκλου
- KME πολλαπλών κύκλων

- $CPI > 1$
 - Κάθε εντολή χωρίζεται σε έναν μεταβλητό αριθμό βημάτων
 - Κάθε βήμα απαιτεί έναν κύκλο ρολογιού
- Πόσο πρέπει να είναι το CC;
 - Ίσο με τη διάρκεια ολοκλήρωσης του μεγαλύτερου βήματος
- Καταχωρητές για τη συγκράτηση αποτελεσμάτων μεταξύ βημάτων
- Μέρη της KME μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περισσότερες από μία φορές κατά την εκτέλεση μιας εντολής

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Απόδοση KME”

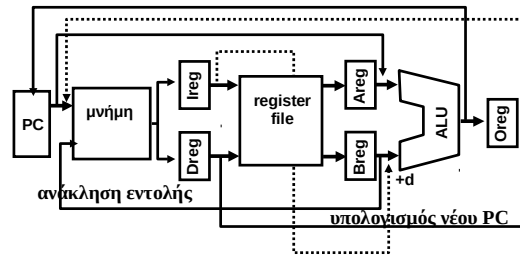
16

Παράδειγμα: Εντολή load (βήμα IF)

- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων

!

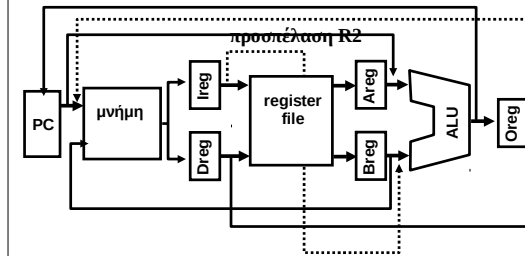
Η εντολή load απαιτεί τα περισσότερα βήματα (κύκλους ρολογιού) για να εκτελεστεί



$$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$$

Παράδειγμα: Εντολή load (βήμα ID)

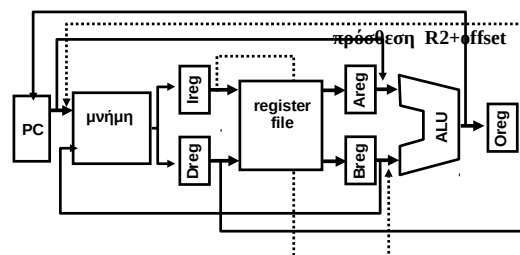
- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων



$$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$$

Παράδειγμα: Εντολή load (βήμα EX)

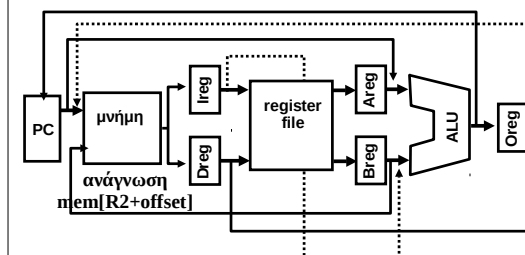
- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων



$$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$$

Παράδειγμα: Εντολή load (βήμα DM)

- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων



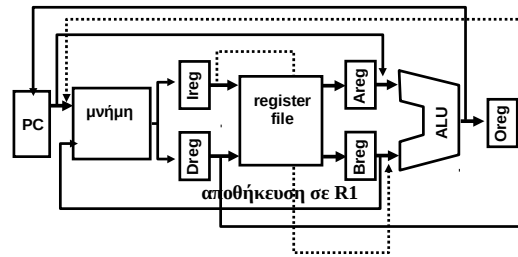
$$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$$

Παράδειγμα: Εντολή load (βήμα WB)

- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων

;

Σε κάθε βήμα, μερικά τμήματα μένουν ανενεργά. Πώς θα μπορούσαμε να τα εκμεταλλευτούμε;



$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$

Μονάδα Ελέγχου ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων

- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων

- Πολυπλοκότητα σημάτων ελέγχου
 - Δημιουργία σημάτων σε κάθε βήμα εκτέλεσης
 - Ανάλογα με το είδος της εντολής
 - Διατήρηση προηγούμενης κατάστασης
- Μέθοδοι υλοποίησης
 - Αυτόματα πεπερασμένων καταστάσεων
 - Ακολουθιακά λογικά κυκλώματα
 - Παραγωγή σημάτων ελέγχου ανάλογα με εισόδους και τρέχουσα κατάσταση
 - Μικροπρόγραμμα
 - Καθορισμός σημάτων μέσω μικροεντολών
 - Εσωτερικά στην ΚΜΕ
 - Για υλοποίηση σύνθετων εντολών με πολλά βήματα και πολλαπλά περάσματα από το datapath
 - Μερικές φορές είναι εγγράψιμο (updates, patches..)

Απόδοση ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων

- Απόδοση ΚΜΕ
- ΚΜΕ ενός κύκλου
- ΚΜΕ πολλαπλών κύκλων

- Πλεονεκτήματα
 - Δεν απαιτείται ο μέγιστος χρόνος για το CC
 - Μέρη της ΚΜΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλαπλό τρόπο κατά την εκτέλεση μιας εντολής
- Μειονεκτήματα
 - Η μονάδα ελέγχου γίνεται πολυπλοκότερη
 - Η πολυπλοκότητα πιθανόν να ακυρώνει τα πλεονεκτήματα
- Σήμερα
 - Οι ΚΜΕ υψηλής απόδοσης χρησιμοποιούν πρόσθετες τεχνικές παραλληλισμού σε επίπεδο εντολών (instruction level parallelism – ILP)
 - (στο επόμενο μάθημα...)