



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Οργάνωση Υπολογιστών

Επιμέλεια:

Γεώργιος Θεοδωρίδης, Επίκουρος Καθηγητής

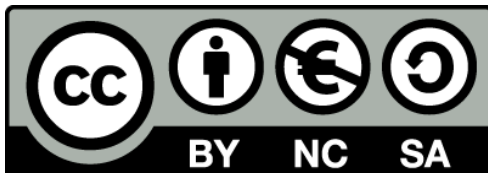
Ανδρέας Εμερετλής, Υποψήφιος Διδάκτορας

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα **ΠΠ**

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Ανάπτυξη

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό αναπτύχθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΑΦΗΡΗΜΕΝΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Έστω τρεις επεξεργαστές (P1, P2, P3) που εκτελούν που εκτελούν το ίδιο σύνολο εντολών με συχνότητες ρολογιού και τιμές CPI που δίνονται στον επόμενο πίνακα.

Επεξεργαστής	Συχνότητα ρολογιού	CPI
P1	2 GHz	1,5
P2	1,5 GHz	1,0
P3	3,5 GHz	2,5

- A.** Ποιος επεξεργαστής έχει τη μεγαλύτερη επίδοση (σε ποιον επεξεργαστή εκτελείται ταχύτερα το ίδιο πρόγραμμα) ;
- B.** Αν και οι τρεις επεξεργαστές εκτελούν το ίδιο πρόγραμμα σε χρόνο 10 sec, πόσοι κύκλοι δαπανούνται και πόσες εντολές εκτελούνται από κάθε επεξεργαστή;
- Γ.** Στην προσπάθεια μας να μειώσουμε το χρόνο εκτέλεσης ενός προγράμματος κατά 30%, αυξάνουμε το CPI σε κάθε επεξεργαστή κατά 20% χωρίς όμως να μεταβάλλεται το πλήθος των εντολών του προγράμματος. Ποια πρέπει να είναι η περίοδος ρολογιού σε κάθε επεξεργαστή ώστε να πετύχουμε την παραπάνω μείωση του χρόνου εκτέλεσης του προγράμματος;

ΛΥΣΗ

- A.** Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$t = \text{cycles} \times T = \text{cycles} / f \quad (1)$$

$$\text{cycles} = I \times \text{CPI} \quad (2)$$

όπου, t ο χρόνος εκτέλεσης ενός προγράμματος, cycles το πλήθος των κύκλων ρολογιού που δαπανούνται για την εκτέλεση του προγράμματος, T και f η περίοδος και η συχνότητα του ρολογιού, I το πλήθος των εντολών του προγράμματος και CPI (Clocks Per Instruction) το πλήθος των κύκλων ανά εντολή. Επιπλέον, από τις (1) και (2) έχουμε:

$$t = I \times \text{CPI} \times T = (I \times \text{CPI}) / f \quad (3)$$

Για να βρούμε ποιος επεξεργαστής έχει την υψηλότερη επίδοση μπορούμε να εργαστούμε με δύο τρόπους:

α) να βρούμε το πλήθος των εντολών που εκτελούνται ανά δευτερόλεπτο (IPS- Instructions per Second) και να εξάγουμε το αντίστοιχο συμπέρασμα καθώς ο ταχύτερος επεξεργαστής θα έχει τη μεγαλύτερη τιμή για τη μετρική IPS ή

β) να θεωρήσουμε ότι και οι τρεις επεξεργαστές εκτελούν το ίδιο πρόγραμμα, που έστω ότι έχει I εντολές, και να βρούμε τους χρόνους εκτέλεσης του προγράμματος.

Έτσι, ακολουθώντας την πρώτη μέθοδο και με βάση την (1), ο P1 απαιτεί για κάθε εντολή $1,5$ κύκλους ρολογιού ή $1,5/(2 \times 10^9)$ sec. Άρα, σε 1 sec εκτελεί $(2 \times 10^9)/1,5$ εντολές δηλαδή, $IPS_1 = (2 \times 10^9)/1,5 = 1,33 \times 10^9$. Εργαζόμενοι ομοίως έχουμε: $IPS_2 = 1,5 \times 10^9$ και $IPS_3 = 1,4 \times 10^9$. Άρα, ο P2 έχει τη μεγαλύτερη επίδοση αφού εκτελεί περισσότερες εντολές ($1,5 \times 10^9$ εντολές) στο δευτερόλεπτο.

Αντίστοιχα, με τη δεύτερη προσέγγιση και λαμβάνοντας υπόψη την (3), έχουμε: $t_1 = (CPI_1 \times I)/f_1$ δηλαδή, $t_1 = (0,75 \times 10^{-9} \times I)$ sec. Ομοίως έχουμε: $t_2 = (0,66 \times 10^{-9} \times I)$ sec και $t_3 = (0,71 \times 10^{-9} \times I)$ sec. Επομένως, ο επεξεργαστής P2 έχει την καλύτερη επίδοση.

Β. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ότι $t_1 = t_2 = t_3 = 10$ sec. Επίσης, λόγω της (1) ισχύει: $cycles = t \times f$. Άρα, $cycles_1 = t \times f_1 = 20 \times 10^9$. Ομοίως έχουμε: $cycles_2 = 15 \times 10^9$ και $cycles_3 = 35 \times 10^9$.

Όσον αφορά το πλήθος των εντολών, με βάση τη (2) έχουμε: $I_1 = cycles_1/CPI_1$ δηλαδή, $I_1 = 13,33 \times 10^9$ εντολές. Ομοίως έχουμε: $I_2 = 15 \times 10^9$ εντολές και $I_3 = 14 \times 10^9$ εντολές.

Γ. Στην περίπτωση αυτή ισχύουν: $t_{new} = 0,7 t_{old}$ και $CPI_{new} = 1,2 CPI_{old}$. Δεδομένου ότι το πλήθος των εντολών I του προγράμματος δεν αλλάζει, τότε λαμβάνοντας υπόψη την (3) έχουμε:

$$\frac{t_{new}}{t_{old}} = \frac{\left(\frac{I \times CPI_{new}}{f_{new}} \right)}{\left(\frac{I \times CPI_{old}}{f_{old}} \right)} = \frac{CPI_{new} \times f_{old}}{CPI_{old} \times f_{new}} = 0,7 .$$

Άρα, $\frac{f_{new}}{f_{old}} = \frac{CPI_{new}}{CPI_{old} \times 0,7}$ δηλαδή, $\frac{f_{new}}{f_{old}} = \frac{1,2}{0,7}$ δηλαδή, $f_{new} = 1,71 f_{old}$.

Επομένως, έχουμε:

Επεξεργαστής P1: $f_{new} = 1,71 \times f_{old} = 1,71 \times 2 = 3,4$ GHz . Ομοίως έχουμε:

Οργάνωση Υπολογιστών

Επεξεργαστής P2: $f_{new} = 2,5 \text{ GHz}$

Επεξεργαστής P3: $f_{new} = 5,9 \text{ GHz}$

ΑΣΚΗΣΗ 2

Θεωρείστε δύο επεξεργαστές (P1, P2) που εκτελούν το ίδιο σύνολο εντολών, το οποίο αποτελείται από πέντε επιμέρους κατηγορίες εντολών (A, B, Γ, Δ, E). Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται η συχνότητα ρολογιού του κάθε επεξεργαστή και η τιμή του CPI για κάθε κατηγορία εντολών (CPI_A, CPI_B, CPI_Γ, CPI_Δ, CPI_E).

Επεξεργαστής	Συχνότητα	CPI_A	CPI_B	CPI_Γ	CPI_Δ	CPI_E
P1	1,0 GHz	1	2	3	4	3
P2	1,5 GHz	2	2	2	4	4

A. Η αξιολόγηση των επιδόσεων ενός επεξεργαστή μπορεί να γίνει με χρήση της μετρικής *κορυφαίας επίδοσης* (peak performance). Η μετρική αυτή ορίζεται ως ο ταχύτερος ρυθμός με τον οποίο ένας επεξεργαστής μπορεί να εκτελέσει μία κατηγορία εντολών. Ποιες είναι οι κορυφαίες επιδόσεις των επεξεργαστών P1 και P2 στην περίπτωση αυτή;

B. Κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος το πλήθος των εντολών των κατηγοριών B, Γ, Δ, και E είναι ίδιο, ενώ το πλήθος των εντολών της κατηγορίας A είναι διπλάσιο από αυτό της κατηγορίας B. Ποιος επεξεργαστής είναι ταχύτερος και πόσο;

ΛΥΣΗ

A. Όπως είναι γνωστό η μετρική IPS (Instructions Per Second) δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$IPS = f / CPI \tag{4}$$

Εφόσον κορυφαία απόδοση ορίζεται ως ταχύτερος ρυθμός όπου ο επεξεργαστής εκτελεί μία κατηγορία εντολών, τότε έχουμε:

$$IPS = f / \min(CPI_A, CPI_B, CPI_Γ, CPI_Δ, CPI_E).$$

Άρα,

$$IPS_{P1} = f_{P1} / CPI_A = (1 \times 10^9) / 1 = 1 \times 10^9 \text{ instr / sec} \tag{και}$$

$$IPS_{P2} = f_{P2} / CPI_A = (1,5 \times 10^9) / 2 = 0,75 \times 10^9 \text{ instr / sec} .$$

B. Στην περίπτωση αυτή έχουμε $I_B = I_Γ = I_Δ = I_E = I$ ενώ $I_A = 2I$, όπου $I_A, I_B, I_Γ, I_Δ$ και I_E το πλήθος των εκτελέσιμων εντολών ανά κατηγορία . Έτσι, με βάση την (3) έχουμε:

$$t = \frac{1}{f} \sum_i (I_i \times CPI_i) \quad i = A, B, \Gamma, \Delta, E.$$

Επομένως, για τους δύο επεξεργαστές έχουμε:

$$t_{P1} = \frac{1}{f_{P1}} (2I \times 1 + I \times 2 + I \times 3 + I \times 4 + I \times 3) = I \times 14 ns \text{ και}$$

$$t_{P2} = \frac{1}{f_{P2}} (2I \times 2 + I \times 2 + I \times 2 + I \times 4 + I \times 4) = I \times 10.66 ns.$$

Τέλος βρίσκοντας το λόγο των δύο χρόνων έχουμε ότι $t_{P1} = 1,31 \times t_{P2}$.

Άρα, η υλοποίηση με τον επεξεργαστή P1 είναι κατά 1,31 φορές πιο αργή σε σχέση με την υλοποίηση με τον επεξεργαστή P2.

Παρατηρούμε ότι αν και με βάση την μετρική της κορυφαίας απόδοσης ο επεξεργαστής P1 είναι ταχύτερος, αυτό δεν ισχύει για το 2^ο ερώτημα. Αυτό συμβαίνει διότι η μετρική της κορυφαίας επίδοσης δεν είναι η ακριβέστερη καθώς η τιμή της καθορίζεται από την κατηγορία των εντολών που μεγιστοποιούν αυτή τη μετρική. Όμως, έτσι υπονοείται ότι όλο το πρόγραμμα αποτελείται από εντολές αυτής της κατηγορίας. Αυτό όμως δεν ισχύει στην πράξη καθώς ένα πρόγραμμα αποκλείεται από εντολές διαφορετικών τύπων με διαφορετικά CPI.

Επομένως, για την αποτίμηση της απόδοσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το πλήθος και ο τύπος των εντολών και το συμπέρασμα να εξάγεται από τον πραγματικό χρόνο που δαπανάται για την εκτέλεση του προγράμματος.

ΑΣΚΗΣΗ 3

Έστω μία ακολουθία από 10^6 εντολές που εκτελείται σε δύο επεξεργαστές P1 και P2. Η συχνότητα ρολογιού και το CPI του κάθε επεξεργαστή δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Επεξεργαστής	Συχνότητα ρολογιού	CPI
P1	8 GHz	2,5
P2	6 GHz	1,5

A. Ένα συνηθισμένο λάθος είναι να θεωρήσουμε ότι ο επεξεργαστής με τη μεγαλύτερη συχνότητα έχει και την υψηλότερη επίδοση. Εξετάστε αν αυτό ισχύει για τη συγκεκριμένη περίπτωση.

B. Ένα άλλο σύνηθες λάθος είναι να θεωρήσουμε ότι ο επεξεργαστής που εκτελεί τις περισσότερες εντολές θα χρειαστεί και περισσότερο χρόνο για την εκτέλεση ενός προγράμματος. Για τη περίπτωση της άσκησης, βρείτε το πλήθος των εντολών που μπορεί να εκτελέσει ο επεξεργαστής P2 στο ίδιο χρόνο στον οποίο ο P1 εκτελεί την ακολουθία των 10^6 εντολών.

ΛΥΣΗ

A. Η ακριβέστερη μετρική για τη σύγκριση των επιδόσεων δύο επεξεργαστών είναι χρόνος εκτέλεσης ενός (ή περισσοτέρων) προγράμματος αναφοράς. Έτσι, με βάση την (3) και καθώς το πλήθος των εντολών του προγράμματος είναι ίσο με $I=10^6$, έχουμε:

$$t_1 = \frac{10^6 \times 2,5}{8 \times 10^9} = 0,3125 \text{ ms} \quad \text{και} \quad t_2 = \frac{10^6 \times 1,5}{6 \times 10^9} = 0,25 \text{ ms}, \quad \text{όπου } t_1 \text{ και } t_2 \text{ οι χρόνοι εκτέλεσης}$$

των εντολών στους επεξεργαστές P1 και P2, αντίστοιχα.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι αν και ο επεξεργαστής P1 έχει υψηλότερη συχνότητα, λόγω του μεγαλύτερου CPI εκτελεί την ακολουθία των 10^6 εντολών σε περισσότερο χρόνο από τον P2. Άρα, ο επεξεργαστής P1 έχει υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τον επεξεργαστή P2. Άρα, το κριτήριο της συχνότητας από μόνο του μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένο συμπέρασμα.

B. Ο χρόνος που χρειάζεται ο επεξεργαστής P1 ώστε να εκτελέσει τις 10^6 εντολές ($I_1=10^6$) έχει βρεθεί στο προηγούμενο ερώτημα και είναι ίσος με $t_1=0,3125$ ms. Επίσης, με βάση την εκφώνηση ισχύει ότι $t_1 = t_2 = 0,3125$ ms. Επομένως, λόγω της (3) έχουμε:

$$I_2 = \frac{t_2 \times f_2}{CPI_2} = 1,25 \times 10^6 \text{ εντολές.}$$

Παρατηρούμε ότι επειδή ο επεξεργαστής P2 είναι ταχύτερος του P1 (όπως αποδείχθηκε στο προηγούμενο ερώτημα), μπορεί να εκτελέσει στον ίδιο χρόνο περισσότερες εντολές. Άρα, το κριτήριο του πλήθους των εντολών από μόνο του επίσης δεν είναι ασφαλές όσον αφορά τη σύγκριση των επιδόσεων δύο επεξεργαστών.

ΑΣΚΗΣΗ 4

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται το πλήθος σε τύπους εντολών (Α, Β, Γ) ενός προγράμματος που εκτελείται σε τρία υπολογιστικά συστήματα Σ1, Σ2, Σ3 με 1, 2 και 4 επεξεργαστές, αντίστοιχα. Στα συστήματα με περισσότερους επεξεργαστές οι επεξεργαστές είναι όμοιοι και το πρόγραμμα εκτελείται παράλληλα. Θεωρείστε συχνότητα ρολογιού 2GHz για κάθε επεξεργαστή.

Σύστημα	Επεξεργαστές	Εντολές / επεξεργαστή			CPI		
		Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ	Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ
Σ1	1	2560	1280	256	1	4	2
Σ2	2	1280	640	128	1	4	2
Σ3	4	640	320	64	1	4	2

A. Πόσες εντολές εκτελούνται σε κάθε σύστημα;

B. Με βάση τις τιμές του CPI υπολογίστε το χρόνο εκτέλεσης του προγράμματος σε κάθε σύστημα.

Γ. Αν το CPI των εντολών τύπου Α διπλασιαζόταν, πώς μεταβάλλεται ο χρόνος στα τρία συστήματα;

ΛΥΣΗ

A. Αφού το πρόγραμμα εκτελείται παράλληλα σε ίδιους επεξεργαστές, το πλήθος των εκτελούμενων εντολών σε κάθε σύστημα είναι ίσο με το πλήθος των εντολών που εκτελεί ο κάθε επεξεργαστής επί το πλήθος των επεξεργαστών του κάθε συστήματος. Όσον αφορά το πλήθος των εκτελούμενων εντολών ανά επεξεργαστή, αυτό είναι ίσο με το άθροισμα των εντολών των επιμέρους κατηγοριών. Επομένως, έχουμε:

Πλήθος εντολών προγράμματος = (Εντολές_Α+ Εντολές_Β+ Εντολές_Γ) x επεξεργαστές.
Έτσι, έχουμε:

$$\Sigma 1: (2560+1280+256) \times 1 = 4096 \text{ εντολές.}$$

$$\Sigma 2: (1280+640+128) \times 2 = 4096 \text{ εντολές.}$$

$$\Sigma 3: (640+ 320+64) \times 4 = 4096 \text{ εντολές.}$$

B.

Στα συστήματα Σ2 και Σ3 οι επεξεργαστές είναι ίδιοι και το πρόγραμμα εκτελείται παράλληλα, άρα σε κάθε σύστημα οι επεξεργαστές αυτού δαπανούν τον ίδιο χρόνο.

Οργάνωση Υπολογιστών

Συνεπώς, ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος σε κάθε σύστημα είναι ίσος με το χρόνο που δαπανάται σε κάθε επεξεργαστή.

Για το χρόνο λειτουργίας του κάθε επεξεργαστή πρέπει να βρούμε τους κύκλους ρολογιού που δαπανώνται και αυτοί να πολλαπλασιαστούν με την περίοδο του ρολογιού. Η περίοδος του ρολογιού είναι $T = 1/f$, όπου f η συχνότητα ρολογιού (2GHz), δηλαδή, $T = 0,5\text{ns}$. Όσον αφορά το πλήθος των κύκλων ρολογιού, αυτό είναι ίσο με:

Συνολικοί κύκλοι = (# Εντολές_A×CPI_A) +(# Εντολές_B×CPI_B) +(# Εντολές_Γ×CPI_Γ),
όπου το σύμβολο, #, δηλώνει πλήθος. Άρα, έχουμε:

Σύστημα	Συνολικοί κύκλοι	Χρόνος = (Συν. Κύκλοι)×περίοδος
Σ1	$2560 \times 1 + 1280 \times 4 + 256 \times 2 = 8192$	4096 ns
Σ2	$1280 \times 1 + 640 \times 4 + 128 \times 2 = 4096$	2048 ns
Σ3	$640 \times 1 + 320 \times 4 + 64 \times 2 = 2048$	1024 ns

Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο καθώς και τα τρία συστήματα εκτελούν το ίδιο πρόγραμμα. Όμως, το σύστημα Σ2 έχει διπλάσιο αριθμό επεξεργαστών και λόγω της παράλληλης εκτέλεσης του προγράμματος, ο χρόνος που αυτό δαπανά για την εκτέλεση του προγράμματος είναι ο μισός του χρόνου που δαπανά το σύστημα Σ1. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τις υπόλοιπες συγκρίσεις των συστημάτων.

Γ. Αν το CPI_A διπλασιαστεί δηλαδή, CPI_A = 2, τότε έχουμε:

Σύστημα	Συνολικοί κύκλοι	Χρόνος
Σ1	$2560 \times 2 + 1280 \times 4 + 256 \times 2 = 10752$	5376 ns
Σ2	$1280 \times 2 + 640 \times 4 + 128 \times 2 = 5376$	2688 ns
Σ3	$640 \times 2 + 320 \times 4 + 64 \times 2 = 2688$	1344 ns

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Γεώργιος Θεοδωρίδης, Οδυσσέας Κουφοπαύλου,
«Οργάνωση Υπολογιστών»

Έκδοση: 1.0 Πάτρα 2015

Διαθέσιμο στη διαδικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE893/>

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιאμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

