

Γκιούρδας Εκδοτική

**ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΝΙΚΟΛΟΣ**

Καθηγητής Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών

**ΑΣΚΗΣΕΙΣ  
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

# 1

## Ασκήσεις στη Δομή, Οργάνωση, Λειτουργία και Αξιολόγηση Υπολογιστών

### Άσκηση 1.1 (1.1 βιβλίου)

Θεωρήστε έναν επεξεργαστή του οποίου οι εντολές σε επίπεδο γλώσσας μηχανής μπορούν να χωριστούν, ανάλογα με το πλήθος των κύκλων ρολογιού (clock cycles) που απαιτούνται για την εκτέλεσή τους, σε τέσσερις ομάδες. Στον Πίνακα 1.1.1 δίνεται το πλήθος των απαιτούμενων κύκλων ρολογιού για την εκτέλεση μίας εντολής κάθε ομάδας.

Πίνακας 1.1.1

Ομάδα	Χρονικοί Περίοδοι ανά Εντολή
A	1
B	2
Γ	3
Δ	5

Να υπολογίσετε το μέσο αριθμό κύκλων ρολογιού που απαιτούνται ανά εντολή κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος, λαμβάνοντας υπόψη ότι εκτελούνται 1500 εντολές της ομάδας A, 2000 εντολές της ομάδας B, 1000 εντολές της ομάδας Γ και 500 εντολές της ομάδας Δ.

### Απάντηση

Ο μέσος αριθμός κύκλων ρολογιού για την εκτέλεση μίας εντολής του προγράμματος, ΜΚΡΕ, θα ισούται με το πηλίκο της διαίρεσης του πλήθους των κύκλων ρολογιού που απαιτούνται για την εκτέλεση όλων των εντολών του προγράμματος δια του πλήθους των εντολών που εκτελούνται. Επομένως:

$$\text{ΜΚΡΕ} = (1500 \times 1 + 2000 \times 2 + 1000 \times 3 + 500 \times 5) / (1500 + 2000 + 1000 + 500) = 11000 / 5000 = 2,2$$

## Άσκηση 1.2 (1.2 βιβλίου)

Έχουμε δύο υπολογιστές  $Y_1$  και  $Y_2$  με την ίδια αρχιτεκτονική σε επίπεδο εντολών γλώσσας μηχανής και συχνότητες λειτουργίας της ΚΜΕ 2 GHz και 2,5 GHz αντίστοιχα. Όταν εκτελείται το πρόγραμμα Α τότε ο μέσος αριθμός κύκλων ρολογιού ανά εντολή για τους  $Y_1$  και  $Y_2$  είναι  $MKPE_1=1,2$  και  $MKPE_2=1,6$  αντίστοιχα. Ποιός από τους δύο υπολογιστές εκτελεί γρηγορότερα το πρόγραμμα αυτό;

### Απάντηση

Θεωρούμε ότι η επίδραση του λειτουργικού συστήματος και της διαδικασίας εισόδου/εξόδου είναι η ίδια και για τους δύο υπολογιστές και την αγνοούμε.

Εφόσον έχουμε την ίδια αρχιτεκτονική σε επίπεδο εντολών γλώσσας μηχανής, ένα πρόγραμμα θα έχει το ίδιο πλήθος εντολών και στους δύο υπολογιστές.

Έστω ότι ο χρόνος εκτέλεσης στον  $Y_1$  και  $Y_2$  είναι αντίστοιχα  $T_1$  και  $T_2$ . Τότε:

$$\begin{aligned} T_1 &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (\text{μέσος αριθμός κύκλων ρολογιού ανά εντολή στον } Y_1) \times \\ &\quad (\text{περίοδος ρολογιού του } Y_1) = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (\text{μέσος αριθμός κύκλων ρολογιού ανά εντολή στον } Y_1) / \\ &\quad (\text{συχνότητα λειτουργίας του } Y_1) = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (1,2 \text{ κύκλοι ρολογιού ανά εντολή}) / 2 \text{ GHz} = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (1,2 \text{ κύκλοι ρολογιού ανά εντολή}) / (2 \times 10^9 \text{ κύκλοι ανά sec}) = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (1,2 \times 0,5 \times 10^{-9} \text{ sec}) = (\text{πλήθος εντολών}) \times 0,6 \times 10^{-9} \text{ sec.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (\text{μέσος αριθμός κύκλων ρολογιού ανά εντολή στον } Y_2) \times \\ &\quad (\text{περίοδος ρολογιού του } Y_2) = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (\text{μέσος αριθμός κύκλων ρολογιού ανά εντολή στον } Y_2) / \\ &\quad (\text{συχνότητα λειτουργίας του } Y_2) = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (1,6 \text{ κύκλοι ρολογιού ανά εντολή}) / 2,5 \text{ GHz} = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (1,6 \text{ κύκλοι ρολογιού ανά εντολή}) / (2,5 \times 10^9 \text{ κύκλοι ανά sec}) = \\ &= (\text{πλήθος εντολών}) \times (1,6 \times 0,4 \times 10^{-9} \text{ sec}) = (\text{πλήθος εντολών}) \times 0,64 \times 10^{-9} \text{ sec.} \end{aligned}$$

Επομένως ο χρόνος εκτέλεσης στον υπολογιστή  $Y_1$  είναι μικρότερος απ' ότι στον  $Y_2$ . Παρατηρούμε ότι δεν μπορούμε να βγάλουμε συμπέρασμα για την απόδοση ενός υπολογιστή μόνο από τη συχνότητα του ρολογιού της ΚΜΕ.

### Άσκηση (1.3) (1.3 βιβλίου)

Ένας επεξεργαστής χρησιμοποιείται σε εφαρμογές στις οποίες το 30 % του χρόνου δαπανάται για την εκτέλεση πράξεων πολλαπλασιασμού και το 10% για την εκτέλεση πράξεων διαίρεσης. Κατά τη σχεδίαση ενός νέου μοντέλου οι σχεδιαστές έχουν τη δυνατότητα λόγω κόστους να υλοποιήσουν είτε ένα νέο κύκλωμα πολλαπλασιασμού, το οποίο θα διπλασιάσει την ταχύτητα των πολλαπλασιασμών, είτε ένα νέο κύκλωμα διαίρεσης, το οποίο θα τετραπλασιάσει την ταχύτητα των διαιρέσεων. Ποια επιλογή θα οδηγήσει στη μέγιστη απόδοση;

### Απάντηση

Έστω ότι  $T_x$  είναι ο χρόνος εκτέλεσης των εντολών τύπου  $x$ . Τότε ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος θα είναι:

$$T = T_{\text{πολλαπλασιασμών}} + T_{\text{διαιρέσεων}} + T_{\text{άλλων εντολών}}$$

με

$$T_{\text{πολλαπλασιασμών}} = 0,3 \times T$$

$$T_{\text{διαιρέσεων}} = 0,1 \times T$$

$$T_{\text{άλλων εντολών}} = 0,6 \times T$$

(1.3.1)

Εάν αντικατασταθεί η μονάδα του πολλαπλασιασμού, τότε ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος θα είναι:

$$T_{\pi} = (T_{\text{πολλαπλασιασμών}} / 2) + T_{\text{διαιρέσεων}} + T_{\text{άλλων εντολών}} \quad (1.3.2)$$

ενώ αν αντικατασταθεί η μονάδα της διαίρεσης τότε ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος θα είναι:

$$T_{\delta} = T_{\text{πολλαπλασιασμών}} + (T_{\text{διαιρέσεων}} / 4) + T_{\text{άλλων εντολών}} \quad (1.3.3)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις (1.3.1), από τις σχέσεις (1.3.2) και (1.3.3) παίρνουμε:

$$T_{\pi} = (0,3 \times T / 2) + 0,1 \times T + 0,6 \times T = 0,15 \times T + 0,1 \times T + 0,6 \times T = 0,85 \times T$$

και

$$T_{\delta} = 0,3 \times T + (0,1 \times T / 4) + 0,6 \times T = 0,3 \times T + 0,025 \times T + 0,6 \times T = 0,925 \times T$$

Από τις παραπάνω σχέσεις παρατηρούμε ότι η αντικατάσταση του πολλαπλασιαστή οδηγεί στη μεγαλύτερη μείωση του χρόνου εκτέλεσης ενός προγράμματος, επομένως στη μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης.

Παρατηρούμε ότι καίτοι η καθυστέρηση του διαιρέτη μειώθηκε κατά δύο φορές περισσότερο απ' ό,τι του πολλαπλασιαστή, η αντικατάσταση του πολλαπλασιαστή οδήγησε στη μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συμβολή του πολλαπλασιαστή στο συνολικό χρόνο εκτέλεσης (30%) είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι του διαιρέτη (10%). Επομένως θα μπορούσαμε να βγάλουμε το γενικότερο συμπέρασμα: όταν θέλουμε να αυξήσουμε την απόδοση ενός συστήματος θα πρέπει να βελτιώνουμε την απόδοση της μονάδας που βάζει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση, συνήθως της μονάδας που χρησιμοποιείται πιο πολύ. Αυτός είναι γνωστός και ως νόμος του Amdahl.

### Άσκηση 1.4 (1.4 βιβλίου)

Θεωρούμε δύο υπολογιστές Y1 και Y2 που έχουν υλοποιηθεί με τον ίδιο επεξεργαστή E, του οποίου ο χρόνος κύκλου ρολογιού του είναι 5ns. Ο επεξεργαστής E δεν περιέχει κρυφή μνήμη και το σύνολο των εντολών του σε επίπεδο γλώσσας μηχανής αποτελείται από πέντε είδη εντολών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.4.1. Η κύρια μνήμη του υπολογιστή Y1 έχει υλοποιηθεί με πιο αργή μνήμη από ότι η κύρια μνήμη του υπολογιστή Y2. Συγκεκριμένα θεωρούμε ότι κάθε προσπέλαση της κύριας μνήμης του υπολογιστή Y1 εισάγει καθυστέρηση 30 κύκλων ρολογιού, ενώ κάθε προσπέλαση της κύριας μνήμης του υπολογιστή Y2 εισάγει καθυστέρηση 20 κύκλων ρολογιού. Υπολογίστε το χρόνο εκτέλεσης σε κάθε ένα υπολογιστή ενός προγράμματος του οποίου το πλήθος των εκτελούμενων εντολών δίνονται στον Πίνακα 1.4.2 και συγκρίνετέ τους μεταξύ τους. Υποθέστε ότι τόσο το εκτελούμενο πρόγραμμα όσο και τα απαιτούμενα δεδομένα βρίσκονται στην κύρια μνήμη. Η κύρια μνήμη έχει οργάνωση μιας ψηφιολέξης ανά θέση μνήμης και η προσπέλαση γίνεται ανά ψηφιολέξη.

Πίνακας 1.4.1

είδος εντολής	Κύκλοι ρολογιού ανά εντολή	Ψηφιολέξεις που καταλαμβάνει η εντολή στη μνήμη	Πλήθος ψηφιολέξεων μνήμης που προσπελαύνει η εντολή κατά την εκτέλεσή της
A	4	1	0
B	7	1	1
Γ	7	2	1
Δ	10	3	0
E	10	3	2

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## Ασκήσεις για το σύστημα μνήμης

### Άσκηση 5.1

Θεωρήστε μια μνήμη SDRAM με χρόνο αναζωογόνησης 64 ms, η οποία αποτελείται από 8K γραμμές κυψελίδων. Υποθέστε ότι χρειάζονται τέσσερις κύκλοι ρολογιού για την προσπέλαση μιας γραμμής για αναζωογόνηση. Εάν η συχνότητα του ρολογιού είναι 133 MHz να υπολογίσετε το ποσοστό του χρόνου που δαπανάται για την αναζωογόνηση της μνήμης, καθώς και το ποσοστό του χρόνου για το οποίο η μνήμη είναι διαθέσιμη για προσπελάσεις από την εφαρμογή.

### Απάντηση

Αφού η συχνότητα του ρολογιού είναι 133 MHz, η περίοδος θα είναι  $1/(133\text{MHz})=1/(133\times 10^6) \text{ sec}=1\times 10^{-6}/133 \text{ sec}=1/133 \text{ }\mu\text{sec}$ .

Λαμβάνοντας υπόψη ότι έχουμε  $8\text{K}=8\times 2^{10}=8.192$  γραμμές και ότι χρειάζονται τέσσερις κύκλοι ρολογιού για την προσπέλαση μιας γραμμής για αναζωογόνηση, συνεπάγεται ότι για την αναζωογόνηση όλης της μνήμης χρειάζονται  $4\times 8.192=32.768$  κύκλοι ρολογιού ή ισοδύναμα  $32.768\times 1/133 \text{ }\mu\text{sec}=32.768/133 \text{ }\mu\text{sec}=246,4 \text{ }\mu\text{sec}$ . Επομένως, το ποσοστό του χρόνου που δαπανάται για την αναζωογόνηση της μνήμης είναι  $(246,4 \text{ }\mu\text{sec})/(64 \text{ ms})=0,00385$  ή ισοδύναμα 0,385%. Προφανώς το ποσοστό του χρόνου για το οποίο η μνήμη είναι διαθέσιμη για προσπελάσεις από την εφαρμογή είναι  $100\% - 0,385\% = 99,615\%$ .

### Άσκηση 5.2 (5.1 βιβλίου)

Θεωρήστε επεξεργαστή με αρτηρία διευθύνσεων 16 δυαδικών ψηφίων. Διαθέτετε τα Ολοκληρωμένα Κυκλώματα (ΟΚ) μνήμης του Πίνακα 5.2.1, με οργάνωση μίας ψηφιολέξης (byte) ανά θέση μνήμης.

**Άσκηση 5.5** (5.2 βιβλίου)

Ένας μαγνητικός δίσκος με  $\tau = 400.000$  ομόκεντρους κύκλους (tracks) συνολικά σε 4 επιφάνειες εγγραφής, περιστρέφεται με ταχύτητα 10000 στροφές το λεπτό (rpm) και ο χρόνος μετακίνησης της κεφαλής από ένα ομόκεντρο κύκλο στον γειτονικό του είναι 0,7 ms. Ποιος είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να κάνουμε ένα πλήρες αντίγραφο (backup) του περιεχομένου του μαγνητικού δίσκου; Υποθέστε ότι ο δίσκος είναι γεμάτος, έχουμε μία κεφαλή εγγραφής/ανάγνωσης ανά επιφάνεια εκ των οποίων μόνο μία διαβάζει ή γράφει κάθε φορά και ότι η συσκευή στην οποία παίρνουμε το αντίγραφο μπορεί να δέχεται δεδομένα με το ρυθμό που τα προσφέρει ο μαγνητικός δίσκος.

**Απάντηση**

Αφού η άσκηση μας ζητάει να βρούμε τον ελάχιστο χρόνο για να κάνουμε ένα αντίγραφο, θα θεωρήσουμε ότι η αντιγραφή γίνεται ανά κύλινδρο, δηλαδή πρώτα αντιγράφονται τα περιεχόμενα όλων των ομόκεντρων κύκλων με την ίδια ακτίνα και μετά τα περιεχόμενα του γειτονικού κυλίνδρου κλπ ξεκινώντας από τον εξωτερικό κύλινδρο. Θεωρούμε ότι οι κεφαλές κατά την έναρξη βρίσκονται στον εξωτερικό κύλινδρο. Επομένως το πλήθος των μετακινήσεων από κύλινδρο σε κύλινδρο ισούται με  $(\tau/4)-1=(400.000/4)-1 = 99.999$ . Ο απαιτούμενος χρόνος για μία πλήρη περιστροφή το δίσκου ισούται με  $T_{\text{περ}} = (1/10000)$  λεπτά =  $(60000/10000)$  ms = 6 ms. Αφού θέλουμε τον ελάχιστο χρόνο που απαιτείται για να κάνουμε ένα αντίγραφο, θα θεωρήσουμε ότι κατά την έναρξη η κεφαλή βρίσκεται στη σωστή θέση του εξωτερικού κυλίνδρου για να αρχίσει η ανάγνωση. Επομένως ο απαιτούμενος συνολικός χρόνος είναι:

$$\begin{aligned} T &= 4 \times T_{\text{περ}} + 99.999 \times (0,7 \text{ms} + 4 \times T_{\text{περ}}) = \\ &= 4 \times 6 \text{ ms} + 99.999 \times (0,7 \text{ ms} + 4 \times 6 \text{ ms}) = \\ &= 2.469.999,3 \text{ ms} \approx 2.469,9993 \text{ s} \approx 41,17 \text{ λεπτά.} \end{aligned}$$

**Άσκηση 5.6** (5.3 βιβλίου)

α. Να υπολογίσετε το μέσο χρόνο προσπέλασης του ιεραρχικού συστήματος μνήμης που χαρακτηρίζεται από τα στοιχεία του Πίνακα 5.6.1

β. Υποθέστε ότι για λόγους ελάττωσης του κόστους πρέπει να αφαιρεθεί ένα από τα επίπεδα κρυφής μνήμης. Ποιο πρέπει να αφαιρεθεί ώστε να επηρεαστεί λιγότερο ο μέσος χρόνος προσπέλασης του ιεραρχικού συστήματος μνήμης;