

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

28 Σεπτεμβρίου 2006

ΘΕΜΑ 1. (2 μονάδες)

Θεωρούμε δύο υπολογιστές Y1 και Y2 που έχουν υλοποιηθεί με τους επεξεργαστές E₁ και E₂ αντίστοιχα που έχουν την ίδια αρχιτεκτονική σε επίπεδο εντολών γλώσσας μηχανής αλλά έχουν υλοποιηθεί με διαφορετική τεχνολογία και έχουν χρόνο κύκλου ρολογιού 5 nsec και 2,5 nsec αντίστοιχα. Η μνήμη που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της κύριας μνήμης τόσο του Y1 όσο και του Y2 έχει χρόνο προσπέλασης 50 nsec. Κανένας από τους Y₁ και Y₂ δεν διαθέτει κρυφή μνήμη και το σύνολο των εντολών τους σε επίπεδο γλώσσας μηχανής αποτελείται από τρία είδη εντολών όπως φαίνεται στον Πίνακα 1. Υπολογίστε τον χρόνο εκτέλεσης σε κάθε ένα υπολογιστή ενός προγράμματος του οποίου το πλήθος των εκτελούμενων εντολών δίνονται στον Πίνακα 2. Να συγκρίνετε και να σχολιάσετε τα αποτελέσματα. Υποθέστε ότι τόσο το εκτελούμενο πρόγραμμα όσο και τα απαιτούμενα δεδομένα βρίσκονται στην κύρια μνήμη.

Πίνακας 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	1
B	4	2	1
Γ	10	3	2

Πίνακας 2

είδος εντολής	Πλήθος εκτελούμενων εντολών
A	300
B	10
Γ	100

Λύση

Χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους συμβολισμούς:

T: χρόνος κύκλου ρολογιού

XE: χρόνος εκτέλεσης

$KPE_i(KME)$ = πλήθος κύκλων ρολογιού που δαπανώνται για την εκτέλεση της εντολής i από την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

$KPE_i(KM)$ = πλήθος κύκλων ρολογιού που δαπανώνται για την προσπέλαση της εντολής i και των σχετικών δεδομένων από την Κύρια Μνήμη

Ο χρόνος προσπέλασης της Κύριας Μνήμης είναι 50 nsec επομένως ισούται με $50/5 = 10$ κύκλους ρολογιού του Y₁ και $50/2,5 = 20$ κύκλους ρολογιού για τον Y₂.

$$XE = \sum_{i=1}^3 [KPE_i(KME) + KPE_i(KM)] \cdot T$$

Υπολογιστής Y₁.

$KPE(KME) = 300 \cdot 4 + 10 \cdot 4 + 100 \cdot 10 = 2240$ κύκλοι ρολογιού

$KPE(KM) = [300 \cdot (1+1) + 10 \cdot (2+2) + 100 \cdot (3+2)] \cdot 10 = 11300$ κύκλοι ρολογιού

Επομένως $XE = (2240 + 11300) \cdot 5 \text{ nsec} = 67.700 \text{ nsec}$

(0,75 μονάδες)

Υπολογιστής Y₂.

$KPE(KME) = 300 \cdot 4 + 10 \cdot 4 + 100 \cdot 10 = 2240$ κύκλοι ρολογιού

$KPE(KM) = [300 \cdot (1+1) + 10 \cdot (2+2) + 100 \cdot (3+2)] \cdot 20 = 22600$ κύκλοι ρολογιού

Επομένως $XE = (2240 + 22600) \cdot 2,5 \text{ nsec} = 62.100 \text{ nsec}$

(0,75 μονάδες)

Παρατηρούμε ότι αν και ο χρόνος κύκλου ρολογιού του Y₂ είναι ο μισός του χρόνου κύκλου ρολογιού του Y₁ ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος στον Y₂ δεν είναι ο μισός. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρόνος προσπέλασης της κύριας μνήμης είναι ο ίδιος και για τους δύο υπολογιστές και ένα μεγάλο μέρος του χρόνου δαπανάται για την προσπέλαση της κύριας μνήμης.

(0,5 μονάδες)

ΘΕΜΑ 2. (2,5 μονάδες)

Θεωρήστε τρεις κρυφές μνήμες των 512 πλαισίων με 8 λέξεις ανά πλαίσιο και οργανώσεις αντίστοιχα:

i. άμεση.

ii. πλήρους συσχέτισης.

iii. 8-τρόπων συνόλου συσχέτισης.

α. Να δώσετε τις διευθύνσεις των πλαισίων (στο οκταδικό) της κρυφής μνήμης στα οποία μπορούν να αποθηκευτούν τα περιεχόμενα των θέσεων της κύριας μνήμης με διευθύνσεις $117165_{(8)}$, $117167_{(8)}$, $445231_{(8)}$, $575232_{(8)}$, $675253_{(8)}$ και $677335_{(8)}$ σε κάθε μία από τις περιπτώσεις i. ii. iii.

β. Ποια από τα περιεχόμενα των ανωτέρω θέσεων μνήμης είναι δυνατόν να βρίσκονται ταυτόχρονα στην κρυφή μνήμη σε κάθε μία από τις περιπτώσεις i. ii. iii και γιατί;

Λύση

α.i. Άμεση οργάνωση

Αφού κάθε πλαίσιο έχει $8=2^3$ λέξεις τα 3 λιγότερο σημαντικά δυαδικά ψηφία της διεύθυνσης θα καθορίζουν την θέση της λέξης μέσα στο μπλοκ της κύριας μνήμης και το πλαίσιο της κρυφής μνήμης.

Αφού η κρυφή μνήμη έχει $512=2^9$ πλαίσια τα αμέσως επόμενα 9 λιγότερο σημαντικά δυαδικά ψηφία της διεύθυνσης θα καθορίζουν την διεύθυνση του πλαισίου στην κρυφή μνήμη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε ψηφίο στο οκταδικό είναι των 3 δυαδικών ψηφίων έχουμε

τα υπόλοιπα 2 ψηφία στο οκταδικό	3 ψηφία στο οκταδικό	1 ψηφίο στο οκταδικό
Ετικέτα	Διεύθυνση πλαισίου	Διεύθυνση της λέξης μέσα στο πλαίσιο
Διεύθυνση μπλοκ στην κύρια μνήμη		Διεύθυνση της λέξης μέσα στο μπλοκ

Διεύθυνση μνήμης	Διεύθυνση πλαισίου της κρυφής μνήμης
$117165_{(8)}$	$716_{(8)}$
$117167_{(8)}$	$716_{(8)}$
$445231_{(8)}$	$523_{(8)}$
$575232_{(8)}$	$523_{(8)}$
$675253_{(8)}$	$525_{(8)}$
$677335_{(8)}$	$733_{(8)}$

(βαθμός 0,5)

α.ii. Οργάνωση πλήρους συσχέτισης.

Στην οργάνωση πλήρους συσχέτισης οποιοδήποτε μπλοκ της κύριας μνήμης μπορεί να μεταφερθεί σε οποιοδήποτε πλαίσιο της κρυφής μνήμης. Οι διευθύνσεις $117165_{(8)}$ και $117167_{(8)}$ ανήκουν στο ίδιο μπλοκ επομένως μπορούν να μεταφερθούν σε οποιοδήποτε αλλά και οι δύο πάντα στο ίδιο πλαίσιο της κρυφής μνήμης. Κάθε μία από τις υπόλοιπες διευθύνσεις μπορεί να μεταφερθεί σε οποιοδήποτε πλαίσιο της κρυφής μνήμης. (βαθμός 0,25)

α.iii. 8-τρόπων συνόλου συσχέτισης.

Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε 8 πλαίσια ανά σύνολο επομένως έχουμε $512/8=64$ σύνολα. Αφού κάθε πλαίσιο έχει $8=2^3$ λέξεις τα 3 λιγότερο σημαντικά δυαδικά ψηφία της διεύθυνσης θα καθορίζουν και πάλι την θέση της λέξης μέσα στο μπλοκ της κύριας μνήμης και το πλαίσιο της κρυφής μνήμης.

Αφού η κρυφή μνήμη έχει $64=2^6$ σύνολα τα αμέσως επόμενα 6 λιγότερο σημαντικά δυαδικά ψηφία της διεύθυνσης θα καθορίζουν την διεύθυνση του πλαισίου στην κρυφή μνήμη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε ψηφίο στο οκταδικό είναι των 3 δυαδικών ψηφίων έχουμε

τα υπόλοιπα 3 ψηφία στο οκταδικό	2 ψηφία στο οκταδικό	1 ψηφίο στο οκταδικό
Ετικέτα	Διεύθυνση πλαισίου	Διεύθυνση της λέξης μέσα στο πλαίσιο
Διεύθυνση μπλοκ στην κύρια μνήμη		Διεύθυνση της λέξης μέσα στο μπλοκ

Διεύθυνση μνήμης	Διεύθυνση πλαισίου της κρυφής μνήμης
117165 ₍₈₎	16 ₍₈₎
117167 ₍₈₎	16 ₍₈₎
445231 ₍₈₎	23 ₍₈₎
575232 ₍₈₎	23 ₍₈₎
675253 ₍₈₎	25 ₍₈₎
677335 ₍₈₎	33 ₍₈₎

(βαθμός 0,5)

β.i. Άμεση οργάνωση

Οι διευθύνσεις 11-716-5₍₈₎ και 11-716-7₍₈₎ ανήκουν στο ίδιο μπλοκ επομένως όταν βρίσκονται τα περιεχόμενα της μίας διεύθυνσης στην κρυφή μνήμη θα βρίσκονται και της άλλης. Οι διευθύνσεις 44-523-1₍₈₎ και 57-523-2₍₈₎ ανήκουν σε διαφορετικά μπλοκ της κύριας μνήμης που αντιστοιχούν στο ίδιο πλαίσιο της κρυφής μνήμης (με διεύθυνση 523), επομένως τα περιεχόμενά τους δεν μπορούν να βρίσκονται ταυτόχρονα στην κρυφή μνήμη.

Οι διευθύνσεις 67-525-3₍₈₎ και 67-733-5₍₈₎ μεταξύ τους και σε σχέση με τις προηγούμενες διευθύνσεις ανήκουν σε διαφορετικά μπλοκ της κύριας μνήμης που αντιστοιχούν σε διαφορετικά πλαίσια της κρυφής μνήμης επομένως τα περιεχόμενά τους μπορούν να βρίσκονται ταυτόχρονα στην κρυφή μνήμη.

(βαθμός 0,75)

β.ii. Οργάνωση πλήρους συσχέτισης.

Αφού έχουμε μόνο 6 διευθύνσεις κύριας μνήμης και 512 πλαίσια τα περιεχόμενά των διευθύνσεων αυτών μπορούν να βρίσκονται ταυτόχρονα στην κρυφή μνήμη.

(βαθμός 0,25)

β.iii. 8-τρόπων συνόλου συσχέτισης.

Αφού έχουμε μόνο 6 διευθύνσεις κύριας μνήμης και 8 πλαίσια ανά σύνολο τα περιεχόμενά των διευθύνσεων αυτών μπορούν να βρίσκονται ταυτόχρονα στην κρυφή μνήμη ακόμη και αν όλα αντιστοιχούσαν στο ίδιο σύνολο (πράγμα που βέβαια δεν συμβαίνει).

(βαθμός 0,25)

ΘΕΜΑ 3. (2,5 μονάδες)

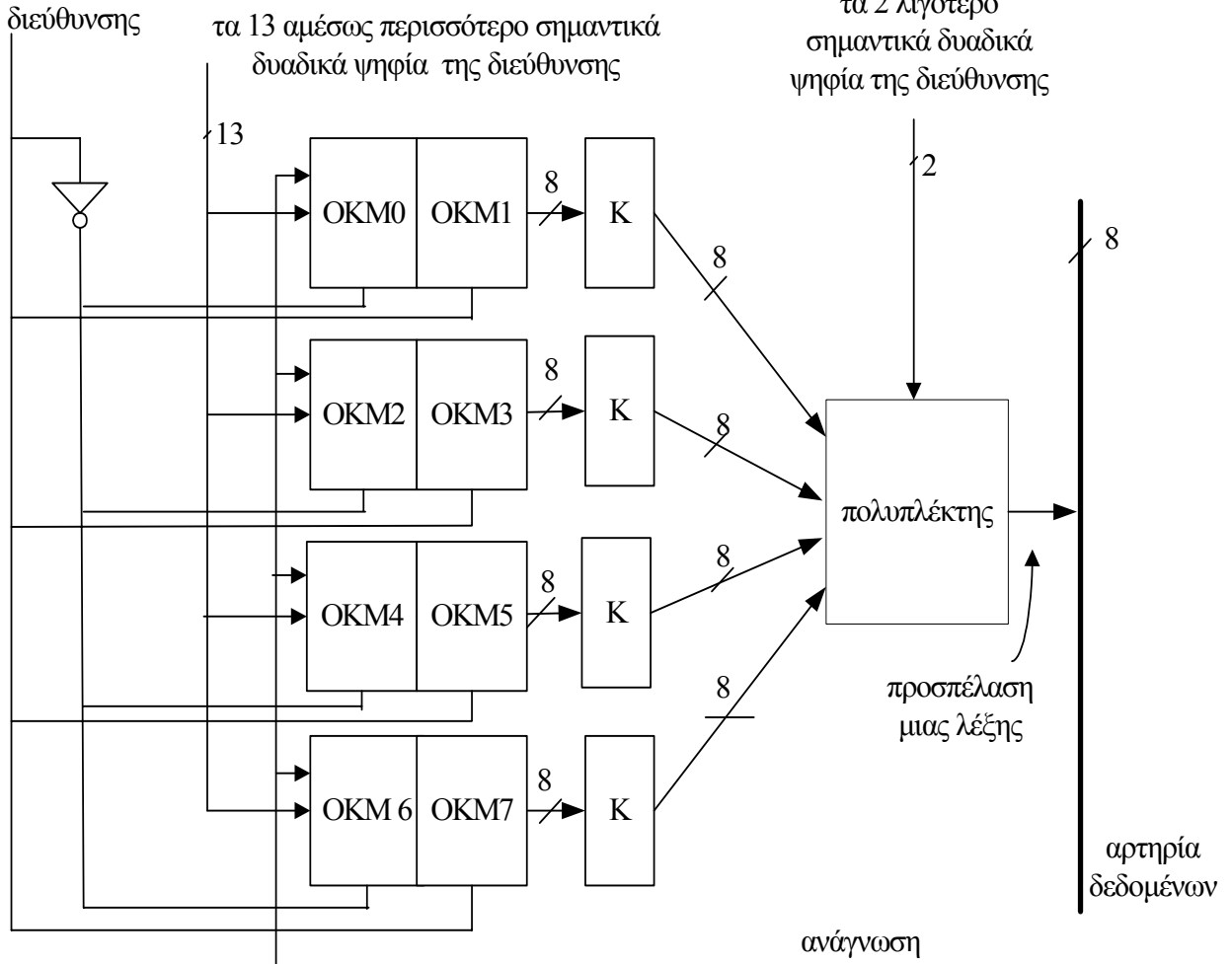
Θεωρήστε σύστημα μνήμης αποτελούμενο από κρυφή μνήμη δεδομένων και ξεχωριστή κρυφή μνήμη εντολών με 4 λέξεις της μίας ψηφιολέξης (byte) ανά πλαίσιο, κύρια μνήμη και βοηθητική μνήμη. Κάθε θέση της κύριας μνήμης είναι των 8 δυαδικών ψηφίων. Η αρτηρία για την μεταφορά εντολών μεταξύ κρυφής μνήμης και κύριας μνήμης είναι των 8 δυαδικών ψηφίων. Η εγγραφή μίας ψηφιολέξης στην κρυφή μνήμη απαιτεί 1 κύκλο ρολογιού. Να σχεδιάσετε κύρια μνήμη με χωρητικότητα 64Kbytes έτσι ώστε η μεταφορά ενός μπλοκ της κύριας μνήμης σε ένα πλαίσιο της κρυφής μνήμης εντολών να ολοκληρώνεται σε 16 κύκλους ρολογιού. Έχετε στη διάθεσή σας ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης, ΟΚΜ, με χωρητικότητα 8Kbytes με μία ψηφιολέξη ανά θέση μνήμης και χρόνο προσπέλασης ίσο με 12 κύκλους ρολογιού. Θεωρήστε ότι έχετε στη διάθεσή σας οποιαδήποτε άλλα κυκλώματα χρειάζεστε και ότι

η αρτηρία διευθύνσεων είναι των 16 δυαδικών ψηφίων. (το σχήμα είναι απαραίτητο και η αιτιολόγηση πέντε γραμμών)

Λύση

Τα δεδομένα ενός μπλοκ της κύριας μνήμης που πρέπει να μεταφερθούν σε ένα πλαίσιο της κρυφής μνήμης είναι αποθηκευμένα σε διαδοχικές διευθύνσεις. Αν στην οργάνωση της κύριας μνήμης αντιστοιχίσουμε τις διαδοχικές διευθύνσεις στο ίδιο ΟΚΜ τότε αφού ο χρόνος προσπέλασης ενός ΟΚΜ είναι 12 κύκλοι ρολογιού για να προσπελάσουμε 4 διαδοχικές διευθύνσεις απαιτούνται 4X12 κύκλοι ρολογιού που παραβιάζουν κατά πολύ τις απαιτήσεις μας. Επομένως πρέπει να αντιστοιχίσουμε διαδοχικές διευθύνσεις σε διαφορετικά ΟΚΜ. Συγκεκριμένα αφού θέλουμε ανά 4 οι διαδοχικές διευθύνσεις να αντιστοιχούν σε διαφορετικά ΟΚΜ θα χρησιμοποιήσουμε οργάνωση κύριας μνήμης 4-δρόμων χαμηλής τάξης διαφύλλωσης όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Τώρα τα 4 τμήματα προσπελαύνονται παράλληλα άρα ο χρόνος προσπέλασης είναι 12 κύκλοι ρολογιού και το περιεχόμενο κάθε θέσης αποθηκεύεται στον αντίστοιχο καταχωρητή Κ. Σε κάθε ένα από τους επόμενους 4 κύκλους ρολογιού το περιεχόμενο μίας θέσης της κύριας μνήμης αποθηκεύεται στην κρυφή μνήμη. Αφού θέλουμε 64 Kbytes κάθε τμήμα θα είναι των 16 Kbytes οπότε αφού διαθέτουμε ΟΚΜ με χωρητικότητα 8 Kbytes το κάθε ένα, κάθε τμήμα θα υλοποιείται με 2 ΟΚΜ.

το επόμενο, 14ο,
δυαδικό ψηφίο της



ΘΕΜΑ 4. (3 μονάδες)

Θεωρείστε ένα υπολογιστή με συχνότητα λειτουργίας 200 MHz και μία περιφερειακή μονάδα εισόδου που εισάγει δεδομένα σε μπλοκ του 1 MB με ρυθμό 8 MB το δευτερόλεπτο. Τα δεδομένα μεταφέρονται από την μονάδα εισόδου προς τη μνήμη σε ομάδες των 4 ψηφιολέξεων. Όταν χρησιμοποιείται η προγραμματισμένη διαδικασία εισόδου-εξόδου με χρήση σημάτων διακοπής το κόστος κάθε διακοπής είναι 500 χρονικές περιόδους (cycles) ενώ το κόστος μεταφοράς 4 ψηφιολέξεων από την μονάδα εισόδου στην κύρια μνήμη είναι 80 χρονικές περιόδους.

i. Διερευνήστε σε ποια από τις δύο τεχνικές απασχολείται λιγότερο η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ):

α. ο επεξεργαστής δέχεται ένα σήμα διακοπής (interrupt) για την μεταφορά κάθε 4 ψηφιολέξεων ή

β. ο επεξεργαστής δέχεται ένα σήμα διακοπής στην αρχή της μεταφοράς κάθε μπλοκ δεδομένων από την μονάδα εισόδου;

ii. Ποια σχέση πρέπει να ισχύει όσον αφορά τον ρυθμό εισαγωγής δεδομένων της μονάδας εισόδου ώστε η κεντρική μονάδα επεξεργασίας να απασχολείται για λιγότερες χρονικές περιόδους όταν υλοποιηθεί η άλλη από την τεχνική που σας προέκυψε από τα τρέχοντα δεδομένα;

Παρατήρηση: Όταν μιλάμε για μεταφορά πληροφορίας 1KByte = 1.000 Bytes και 1MByte = 1.000.000 Bytes

Λύση

Θα χρησιμοποιήσουμε τους ακόλουθους συμβολισμούς:

Χρονική περίοδος $T = 5 \text{ nsec}$

Ρυθμός εισαγωγής δεδομένων $R = 8 \text{ MB}$ το δευτερόλεπτο

Μέγεθος ομάδας $GS = 4 \text{ bytes}$

Επομένως χρόνος εισαγωγής ομάδας $GT = GS/R = 4 \text{ bytes/sec}/8\text{Mbytes} = 500 \text{ nsec}$

Κόστος διακοπής $IC = 500$ χρονικές περιόδους

Κόστος μεταφοράς $MC = 80$ χρονικές περιόδους

Χρόνος μεταφοράς $MT = MC \cdot T = 80 \cdot 5 \text{ nsec} = 400 \text{ nsec}$

Μέγεθος μπλοκ $BS = 1\text{MB}$ και μέγεθος ομάδας $GS = 4 \text{ bytes}$ άρα

πλήθος ομάδων των 4 bytes: # ομάδων = $BS/GS = 250.000$ ομάδες

i.α.

Για κάθε ομάδα απαιτούνται $IC + MC$ χρονικές περιόδους, επομένως για όλες τις ομάδες απαιτούνται $(IC + MC) \cdot (\# \text{ ομάδων})$ χρονικές περιόδους

ή χρόνος $T_a = (IC + MC) \cdot (\# \text{ ομάδων}) \cdot T = (500+80) \cdot 250.000 \cdot 5 \text{ nsec} = 725.000.000 \text{ nsec}$. **(βαθμός 1)**

i.β.

Η ΚΜΕ για να μεταφέρει μία ομάδα στην κύρια μνήμη απαιτείται χρόνος $MT = 400 \text{ nsec}$. Επομένως κάθε χρονικό διάστημα ίσο με $GT = 500 \text{ nsec}$ η μονάδα εισόδου εισάγει μία ομάδα ψηφιολέξεων και ο επεξεργαστής στο επόμενο χρονικό διάστημα ίσο με $MT = 400 \text{ nsec}$ την μεταφέρει στην μνήμη ενώ η μονάδα εισόδου εισάγει την επόμενη ομάδα δεδομένων. Επομένως ο συνολικός χρόνος απασχόλησης της ΚΜΕ είναι

$T_b = IC \cdot T + GT \cdot (\# \text{ ομάδων} - 1) + MT = IC \cdot T + (GS/R) \cdot (\# \text{ ομάδων} - 1) + MT =$

$$= IC \cdot T + [(4 \text{ bytes}) \cdot \text{sec} / (8 \text{ MB})][1\text{MB}/(4 \text{ bytes}) - 1] + MT \approx$$

$$\approx IC \cdot T + 1/8 \text{ sec} + MT = 125.002.400 \text{ nsec}.$$

Παρατηρούμε ότι όταν υλοποιείται η τεχνική β η ΚΜΕ απασχολείται για λιγότερες χρονικές περιόδους.

(βαθμός 1)

ii.

Θέλουμε να βρούμε τον ρυθμό εισαγωγής δεδομένων R ώστε η εφαρμογή της τεχνικής α να έχει ως αποτέλεσμα η ΚΜΕ να απασχολείται λιγότερο, δηλαδή

$$T_a < T_b \text{ ή ισοδύναμα } (IC + MC) \cdot (\# \text{ ομάδων}) \cdot T < IC \cdot T + (GS/R) \cdot (\# \text{ ομάδων} - 1) + MT \Rightarrow$$

$$R < [GS \cdot (\# \text{ ομάδων} - 1)] / [(IC + MC) \cdot (\# \text{ ομάδων}) \cdot T - MT - IC \cdot T] \Rightarrow$$

$$R < 1,379 \text{ Mbytes/sec}.$$

(βαθμός 1)