

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ

Θέμα 1

Α) Έστω η έκφραση $Y = A / B \times C - (D \times E + F)$. Να αναπτύξετε πρόγραμμα για επεξεργαστή, ο οποίος βασίζεται σε αρχιτεκτονική στοίβας. Να σημειωθεί το περιεχόμενο της στοίβας μετά την εκτέλεση κάθε εντολής.

Σημειώνεται ότι στην αρχιτεκτονική του επεξεργαστή οι εντολές αριθμητικών πράξεων εκτελούνται επί των δύο κορυφαίων στοιχείων του σωρού με δεύτερο τελεστέο κάθε πράξης αυτόν που βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας και πρώτο τον επόμενο μετά το κορυφαίο στοιχείο. Δηλαδή, για στοίβα με περιεχόμενο $K_{n-1}, K_{n-2}, \dots, K_0$ όπου το K_{n-1} είναι το κορυφαίο στοιχείο (αυτό που εισήχθη στην στοίβα πλέον πρόσφατα), η εκτέλεση της εντολής "OPER", που αντιστοιχεί στην υλοποίηση της πράξης "OPERATION", θα επιστρέψει το αποτέλεσμα (K_{n-2} OPERATION K_{n-1}).

Β) Να γράψετε πρόγραμμα το οποίο να υπολογίζει την ίδια έκφραση για επεξεργαστή που βασίζεται σε αρχιτεκτονική συσσωρευτή και να δώσετε τα περιεχόμενα του συσσωρευτή μετά την εκτέλεση κάθε εντολής.

Γ) Να γράψετε πρόγραμμα το οποίο να υπολογίζει την ίδια έκφραση για επεξεργαστή που βασίζεται σε αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή με δύο τελούμενα. Στη λύση σας να φαίνονται τα περιεχόμενα των καταχωρητών που χρησιμοποιούνται σε κάθε εντολή.

Δ) Υποθέτουμε ότι και για τις τρεις παραπάνω αρχιτεκτονικές:

1. Κάθε εντολή έχει μήκος ακέραιο πολλαπλάσιο του 1 byte,
2. Το σύνολο των διαθέσιμων κωδικών λειτουργίας (*opcodes*) είναι 256,
3. Οι διευθύνσεις δεδομένων είναι των 24 bits,
4. Τα δεδομένα σε όλες τις αρχιτεκτονικές είναι των 2 bytes ,
5. Η κάθε θέση μνήμης είναι 2 bytes,
6. Ο δίαυλος δεδομένων μεταξύ της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (ΚΜΕ) και της κύριας μνήμης έχει εύρος 2 bytes,
7. Η στοίβα υλοποιείται στην ΚΜΕ
8. Για τις εντολές χρησιμοποιείται αποκλειστικά ο κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης (*direct addressing mode*) του συστήματος μνήμης,
9. Για την αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή υπάρχουν 16 καταχωρητές γενικού σκοπού.

Να βρεθούν για τα τρία προγράμματα που αναπτύχθηκαν στα Α, Β και Γ ο συνολικός αριθμός των προσπελάσεων της μνήμης τόσο για δεδομένα όσο και για εντολές συμπληρώνοντας τον παρακάτω πίνακα για κάθε ένα από τα 3 προγράμματα.

Εντολή	α) Μήκος Εντολής σε Θέσεις μνήμης	β) Bytes Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη	γ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη Εντολών	δ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής και Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη

Σύνολο:				

Ενδεικτική Λύση

A) Για να υλοποιήσουμε το πρόγραμμα σε αρχιτεκτονική στοίβας μετατρέπουμε την έκφραση σε postfix και έχουμε :

$$(A / B \times C) - (D \times E + F) \rightarrow (A / B \times C) (D \times E + F) - \rightarrow [(AB /) \times C] [(DE \times) F +] - \rightarrow AB / C \times DE \times F + -$$

Οπότε το ζητούμενο πρόγραμμα είναι το παρακάτω

Εντολή	Σωρός
PUSH A	A
PUSH B	B, A
DIV	A / B
PUSH C	C, A / B
MUL	A / B × C
PUSH D	D, A / B × C
PUSH E	E, D, A / B × C
MUL	D × E , A / B × C
PUSH F	F, D × E, A / B × C
ADD	D × E + F, A / B × C
SUB	A / B × C – (D × E + F)
POP Y	-

B) Το πρόγραμμα που υπολογίζει την ίδια έκφραση για επεξεργαστή που βασίζεται σε αρχιτεκτονική συσσωρευτή είναι το παρακάτω

Εντολή	Συσσωρευτής
LOAD D	D
MUL E	D × E
ADD F	D × E + F
STORE TMP	D × E + F
LOAD A	A
DIV B	A / B
MUL C	A / B × C
SUB TMP	A / B × C – (D × E + F)
STORE Y	-

Γ) Η ίδια έκφραση για επεξεργαστή αρχιτεκτονικής καταχωρητή-καταχωρητή με δύο τελούμενα προκύπτει ως εξής:

Εντολή	Περιεχόμενα Καταχωρητών
LOAD R1, A	R1 = A
LOAD R2, B	R2 = B
DIV R1, R2	R1 = A / B
LOAD R3, C	R3 = C
MUL R1, R3	R1 = A / B × C
LOAD R4, D	R4 = D
LOAD R5, E	R5 = E
MUL R4, R5	R4 = D × E
LOAD R6, F	R6 = F
ADD R4, R6	R4 = D × E + F
SUB R1, R4	R1 = A / B × C – (D × E + F)
STORE Y, R1	Y = A / B × C – (D × E + F)

Δ) Και για τις τρεις αρχιτεκτονικές, για την αναπαράσταση $256 = 2^8$ κωδικών λειτουργίας χρειάζονται 8 bits = 1 byte, ενώ οι διευθύνσεις μνήμης είναι 24 bits άρα 3 bytes. Δεδομένου ότι οι εντολές γράφονται στη μνήμη σε ακέραια πολλαπλάσια του εύρους των δεδομένων ανά θέση μνήμης, παρακάτω χρησιμοποιούμε το συμβολισμό $[x]$ για την στρογγυλοποίηση του αριθμού x προς το πλησιέστερο προς τα πάνω ακέραιο πολλαπλάσιο των 2 bytes.

Στην αρχιτεκτονική στοίβας, ο opcode καταλαμβάνει 1 byte, ενώ αν υπάρχει τελούμενο, αυτό θα έχει μήκος όσο οι διευθύνσεις, δηλαδή 3 bytes. Δεδομένου ότι κάθε εντολή γράφεται στη μνήμη ως ακέραιο πολλαπλάσιο του byte, το συνολικό μήκος της θα είναι 1 byte, όταν δεν υπάρχει τελούμενο, δηλαδή όταν δεν υπάρχει μεταφορά δεδομένων από ή προς τη μνήμη, ενώ όταν υπάρχει τελούμενο, το συνολικό μήκος της εντολής θα είναι 4 bytes, με μεταφορά δεδομένων από ή προς τη μνήμη δεδομένων των 2 bytes. Αφού ο διάυλος της μνήμης είναι 2 bytes τότε για την μεταφορά των εντολών που έχουν μήκος 1 byte απαιτείται μια πρόσβαση, ενώ για αυτές που είναι 4 bytes, 2 προσβάσεις. Για τα δεδομένα, αφού είναι 2 bytes, απαιτείται πάντα μια πρόσβαση μνήμης για κάθε δεδομένο.

Εντολή	α) Μήκος Εντολής σε Θέσεις μνήμης	β) Bytes Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη	γ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη Εντολών	δ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής και Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη
PUSH A	2	2	2	3
PUSH B	2	2	2	3
DIV	1	0	1	1
PUSH C	2	2	2	3
MUL	1	0	1	1
PUSH D	2	2	2	3
PUSH E	2	2	2	3
MUL	1	0	1	1
PUSH F	2	2	2	3
ADD	1	0	1	1
SUB	1	0	1	1
POP Y	2	2	2	3
	19 θέσεις μνήμης	14 bytes	19 προσβάσεις	26 προσβάσεις

Για την αρχιτεκτονική συσσωρευτή όλες οι εντολές αποτελούνται από τον κωδικό λειτουργίας (1 byte) και μια διεύθυνση μνήμης (3 bytes) οπότε συνολικά η κάθε εντολή έχει μήκος 4 bytes ή 2 θέσεις μνήμης και έτσι απαιτούνται 2 προσβάσεις στην μνήμη εντολών για να διαβαστεί, ενώ διαβάζει και ένα δεδομένο των 2 bytes σε μία πρόσβαση στη μνήμη δεδομένων. Άρα αφού έχουμε 9 εντολές, τότε συνολικά απαιτούνται $9 \times 2 = 18$ προσβάσεις για τις εντολές και 9 προσβάσεις για τα δεδομένα, άρα συνολικά 27 προσβάσεις

Εντολή	α) Μήκος Εντολής σε Θέσεις μνήμης	β) Bytes Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη	γ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη Εντολών	δ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής και Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη
LOAD D	2	2	2	3
MUL E	2	2	2	3
ADD F	2	2	2	3
STORE TMP	2	2	2	3
LOAD A	2	2	2	3
DIV B	2	2	2	3
MUL C	2	2	2	3
SUB TMP	2	2	2	3
STORE Y	2	2	2	3
	18 θέσεις μνήμης	18 bytes	18 προσβάσεις	27 προσβάσεις

Για την αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή, ο κωδικός λειτουργίας καταλαμβάνει 1 byte, κάθε τελούμενο καταχωρητή 0,5 byte, αφού ο αριθμός των καταχωρητών είναι $16 = 2^4$ (δηλαδή απαιτούνται 4 bits για την αναπαράσταση), ενώ κάθε τελούμενο διεύθυνσης μνήμης καταλαμβάνει 3 bytes. Συνεπώς, για κάθε εντολή στην οποία υπάρχει μια διεύθυνση μνήμης ως τελούμενο, το συνολικό μήκος της εντολής θα είναι $[1 + 0,5 + 3] = 5$ bytes. Για την μεταφορά των 5 bytes από την μνήμη εντολών απαιτούνται 3 προσβάσεις των 2 Bytes, για την μεταφορά των 2 bytes δεδομένων από ή προς την μνήμη απαιτείται μία πρόσβαση. Για τις υπόλοιπες εντολές, δηλαδή όπου δεν υπάρχει διεύθυνση μνήμης ως τελούμενο, το μήκος κάθε εντολής θα είναι 1 byte για τον κώδικα λειτουργίας και $2 \times 0,5 = 1$ byte για τους 2 καταχωρητές, άρα συνολικά 2 bytes χωρίς μεταφορά δεδομένων από ή προς την μνήμη.

Για κάθε γραμμή εντολής του προγράμματος τα ζητούμενα του ερωτήματος συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Εντολή	α) Μήκος Εντολής σε Θέσεις μνήμης	β) Bytes Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη	γ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη Εντολών	δ) Προσβάσεις για Bytes Εντολής και Δεδομένων Μεταφερόμενα από/προς Μνήμη
LOAD R1, A	3	2	3	4
LOAD R2, B	3	2	3	4
DIV R1, R2	1	0	1	1
LOAD R3, C	3	2	3	4
MUL R1, R3	1	0	1	1
LOAD R4, D	3	2	3	4

LOAD R5, E	3	2	3	4
MUL R4, R5	1	0	1	1
LOAD R6, F	3	2	3	4
ADD R4, R6	1	0	1	1
SUB R1, R4	1	0	1	1
STORE Y, R1	3	2	3	4
	26 θέσεις μνήμης	14 bytes	26 προσβάσεις	33 προσβάσεις

Θέμα 2

Θεωρήστε ένα υπολογιστή που βασίζεται στη χρήση καταχωρητών γενικού σκοπού και του οποίου το σύνολο των εντολών σε επίπεδο γλώσσας μηχανής αποτελείται από 200 εντολές, το μήκος κάθε εντολής είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του οκτώ, και διαθέτει 8 καταχωρητές με μήκος 32 δυαδικών ψηφίων ο καθένας. Η αρτηρία διευθύνσεων είναι των 32 δυαδικών ψηφίων

- α. Για κάθε μία από τις ακόλουθες εντολές σε συμβολική γλώσσα να σχεδιάσετε τη μορφή των εντολών σε επίπεδο γλώσσας μηχανής (δηλαδή να δώσετε τα πεδία από τα οποία αποτελείται κάθε εντολή σε επίπεδο γλώσσας μηχανής, το εύρος κάθε πεδίου και τι δηλώνει κάθε πεδίο) ώστε να μπορεί να διευθυνσιοδοτηθεί ολόκληρη η κύρια μνήμη.
- β. Εάν η κύρια μνήμη έχει οργάνωση ενός byte ανά θέση μνήμης και σε κάθε προσπέλαση διαβάζεται ένα byte και τα δεδομένα είναι των 32 bits να υπολογίσετε το πλήθος των προσπελάσεων που απαιτούνται για την προσπέλαση και την εκτέλεση κάθε εντολής.

Ενδεικτική Λύση

Εντολές σε συμβολική γλώσσα	Μορφή εντολής σε επίπεδο γλώσσας μηχανής				Πλήθος προσπελάσεων κύριας μνήμης για προσπέλαση και εκτέλεση								
LOAD R, A / $R \leftarrow A$, όπου A διεύθυνση θέσης μνήμης (κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης)	<table><tr><td>8 bits</td><td>3 bits</td><td>32 bits</td><td>5 bits</td></tr><tr><td>κωδικός λειτουργίας</td><td>R1</td><td>διεύθυνση θέσης μνήμης</td><td>Αχρησιμοποίητα</td></tr></table>				8 bits	3 bits	32 bits	5 bits	κωδικός λειτουργίας	R1	διεύθυνση θέσης μνήμης	Αχρησιμοποίητα	6+4= 10
8 bits	3 bits	32 bits	5 bits										
κωδικός λειτουργίας	R1	διεύθυνση θέσης μνήμης	Αχρησιμοποίητα										
LOAD R1, (R2) / $R1 \leftarrow M(R2)$, έμμεσος (indirect) τρόπος διευθυνσιοδότησης με χρήση καταχωρητή	<table><tr><td>8 bits</td><td>3 bits</td><td>3 bits</td><td>2 bits</td></tr><tr><td>κωδικός λειτουργίας</td><td>R1</td><td>R2</td><td>Αχρησιμοποίητα</td></tr></table>				8 bits	3 bits	3 bits	2 bits	κωδικός λειτουργίας	R1	R2	Αχρησιμοποίητα	2+4 = 6
8 bits	3 bits	3 bits	2 bits										
κωδικός λειτουργίας	R1	R2	Αχρησιμοποίητα										
LOAD R, #D / άμεσος (immediate) τρόπος διευθυνσιοδότησης, D είναι αριθμός 13 δυαδικών ψηφίων	<table><tr><td>8 bits</td><td>3 bits</td><td>13 bits</td></tr><tr><td>κωδικός λειτουργίας</td><td>R5</td><td>δεδομένο</td></tr></table>				8 bits	3 bits	13 bits	κωδικός λειτουργίας	R5	δεδομένο	3+0 = 3		
8 bits	3 bits	13 bits											
κωδικός λειτουργίας	R5	δεδομένο											