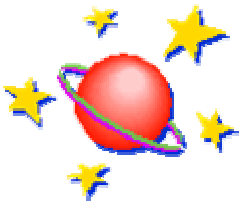

Ενότητα 5η : *Η Αρχιτεκτονική του υπολογιστή VAX*

Σκοπός **Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να παρουσιάσει την αρχιτεκτονική του υπολογιστή VAX.**

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα **Όταν θα έχετε μελετήσει την ενότητα, θα είστε σε θέση να:**

αναφέρετε τους καταχωρητές και τους τύπους δεδομένων του VAX,

παρουσιάζετε τους τρόπους διευθυνσιοδότησης που χρησιμοποιούνται στον VAX,

αναφέρετε τους τρόπους κωδικοποίησης των εντολών του VAX,

απαριθμείτε τις εντολές που υποστηρίζει ο VAX,

εξηγείτε την εκτέλεση των εντολών που υποστηρίζει ο VAX.

προσδιοριστής τελεστέου

Καταχωρητές και τύποι δεδομένων στον υπολογιστή VAX

Ο VAX διαθέτει 16 καταχωρητές των 32-bits που ονομάζονται $R_{0,...,}R_{15}$ και χρησιμοποιούνται ως εξής:

- Οι R_0 έως R_{11} είναι καταχωρητές γενικής χρήσης και χρησιμοποιούνται για να κρατήσουν δεδομένα ή διευθύνσεις.
- Ο R_{14} είναι ο δείκτης της στοίβας (stack pointer SP).
- R_{15} είναι ο απαριθμητής προγράμματος (program counter PC).
- Οι R_{12} και R_{13} είναι καταχωρητές που χρησιμοποιούνται για την κλήση διαδικασιών και το πέρασμα παραμέτρων.

Οι τύποι δεδομένων του VAX είναι:

- 1 byte (8 bits), 2 bytes (16 bits), 4 bytes (32 bits) και 8 bytes (64 bits) για ακέραια δεδομένα
- 4 bytes (32 bits) και 8 bytes (64 bits) για δεδομένα κινητής υποδιαστολής απλής και διπλής ακρίβειας αντίστοιχα.

Όλα αυτά τα αριθμητικά δεδομένα μπορούν να τοποθετηθούν στην κύρια μνήμη ξεκινώντας από οποιαδήποτε διεύθυνση byte. Όταν κάποιος αριθμός αποτελείται από περισσότερα του ενός byte, τότε το λιγότερο σημαντικό byte τοποθετείται στη μικρότερη διεύθυνση (Little Endian).

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

- **Πόσους καταχωρητές διαθέτει ο υπολογιστής DLX και με ποιον τρόπο αυτοί χρησιμοποιούνται; Στην περίπτωση που δυσκολεύεστε να απαντήσετε στην ερώτηση αυτή, κρίνεται σκόπιμο να επαναλάβετε τη μελέτη της 4ης ενότητας και συγκεκριμένα της υποενότητας: «Καταχωρητές και τύποι δεδομένων στον υπολογιστή DLX».**
- **Ποιες διαφορές παρατηρείτε ανάμεσα στους καταχωρητές του DLX και του VAX;**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 1

Οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στους καταχωρητές των υπολογιστών DLX και VAX είναι:

- **Ο DLX περιέχει συνολικά 32 καταχωρητές γενικής χρήσης, ενώ ο VAX περιέχει συνολικά 16 καταχωρητές εκ των οποίων μόνο οι 12 (R_0, R_1, …, R_{11}) είναι καταχωρητές γενικής χρήσης.**
- **Ο VAX περιέχει 4 καταχωρητής ειδικής χρήσης: ο καταχωρητής R_{14} είναι ο δείκτης στοίβας, ο R_{15} είναι ο απαριθμητής προγράμματος και οι R_{12} και R_{13} χρησιμοποιούνται για την κλήση διαδικασιών και το πέρασμα παραμέτρων. Αντιθέτως, ο DLX δεν περιέχει καταχωρητές ειδικής χρήσης.**
- **Στον DLX, το σύνολο καταχωρητών κινητής υποδιαστολής μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως 32 καταχωρητές των 32 bits απλής ακρίβειας, είτε ως 16 ζεύγη των 64 bits που περιέχουν τιμές διπλής ακρίβειας. Κάθε ζεύγος προκύπτει από δύο καταχωρητές διπλής ακρίβειας.**

Τρόποι διευθυνσιοδότησης στον VAX

Οι τελεστέοι μπορούν να βρίσκονται είτε σε καταχωρητές, είτε να περιέχονται σαν απευθείας δεδομένα στην εντολή. Για να καθοριστεί η θέση ενός τελεστέου που βρίσκεται στην κύρια μνήμη, χρησιμοποιείται μια διεύθυνση των 32-bits. Η διεύθυνση αυτή προσδιορίζεται μέσω του τρόπου διευθυνσιοδότησης και του περιεχομένου ενός καταχωρητή.
Κάθε **προσδιοριστής τελεστέου** σε μια εντολή ξεκινά με ένα byte (8 bits = $b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$) του οποίου η μορφή είναι η εξής: το πάνω μισό (δηλαδή τα bits b_7 έως b_4), καθορίζουν τον τρόπο της διευθυνσιοδότησης του τελεστέου όπως αυτός φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Το υπόλοιπο μισό του προσδιοριστή τελεστέου είναι ένας καταχωρητής, το περιεχόμενο του οποίου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διεύθυνσης του τελεστέου.

b_7 b_6 b_5 b_4	Δεκαδικό ισοδύναμο	Τρόπος διευθυνσιοδότησης	Συμβολική αναπαράσταση	Σημασία
0 0 X X	"0"	Απευθείας (literal)	S # τιμή	Τα bit b_{5-0} καθορίζουν τον τελεστέο
0 1 0 0	4	Με δείκτη	{Indexable mode} [Ri]*	Διεύθυνση= A+k[R_i], όπου το A είναι η διεύθυνση ενός πίνακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τρόπος διευθυνσιοδότησης, ενώ ο καταχωρητής R_i δείχνει τη θέση του δείκτη μέσα στον πίνακα και το k καθορίζεται από το μήκος του τελεστέου σε bytes
0 1 0 1	5	Άμεσος καταχωρητή	R_n	Διεύθυνση= R_n
0 1 1 0	6	Έμμεσος Καταχωρητή	(R_n)	Διεύθυνση = [R_n]
0 1 1 1	7	Αυτοελάττωσης	-(R_n)	Μείωσε το περιεχόμενο του R_n, Διεύθυνση = [Rn]
1 0 0 0	8	Αυτοαύξησης	(R_n)+	Διεύθυνση = [R_n], Αύξησε το περιεχόμενο του R_n

$b_7\ b_6\ b_5\ b_4$	Δεκαδικό ισοδύναμο	Τρόπος διευθυνσιοδότησης	Συμβολική αναπαράσταση	Σημασία
1 0 0 1	9	Έμμεσος Αυτοαύξησης	@(R_n)	Διεύθυνση = [[R_n]], Αύξησε το περιεχόμενο του R_n
1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0	10 12 14	Με μετατόπιση	$\begin{Bmatrix} B\uparrow \\ W\uparrow \\ L\uparrow \end{Bmatrix} D(Rn)$	Διεύθυνση = D + [R_n]
1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1	11 13 15	Έμμεσος με μετατόπιση	@ $\begin{Bmatrix} B\uparrow \\ W\uparrow \\ L\uparrow \end{Bmatrix} D(Rn)$	Διεύθυνση = [D + [R_n]]

Σχήμα 2.5.1- Οι τρόποι διευθυνσιοδότησης του VAX

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τους τρόπους διευθυνσιοδότησης του VAX όταν R_n είναι ο απαριθμητής προγράμματος (R_{15}).

$b_7\ b_6\ b_5\ b_4$	Δεκαδικό ισοδύναμο	Τρόπος διευθυνσιοδότησης	Συμβολική αναπαράσταση	Σημασία
1 0 0 0	8	Απευθείας (Αυτοαύξησης)	I # Τιμή	Διεύθυνση = [PC], Αύξησε το περιεχόμενο του PC
1 0 0 1	9	Απόλυτος (Έμμεσος Αυτοαύξησης)	@#A	Διεύθυνση = [[PC]]=A, PC ← [PC]+4
1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0	10 12 14	Σχετικός (Με μετατόπιση)	$\begin{Bmatrix} B\uparrow \\ W\uparrow \\ L\uparrow \end{Bmatrix} A$	Διεύθυνση = D + [PC] =A
1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1	11 13 15	Έμμεσος σχετικός (Έμμεσος με μετατόπιση)	B @ W A L	Διεύθυνση = [D + [PC]] = [A]

Κωδικοποίηση εντολών του VAX

Οι εντολές στον VAX αποτελούνται από ένα πλήθος bytes που καταλαμβάνουν διαδοχικές θέσεις στη μνήμη και μπορούν να ξεκινήσουν από οποιαδήποτε διεύθυνση μνήμης. Κάθε εντολή αποτελείται από:

- Τον **κωδικό λειτουργίας** (Opcode) που καταλαμβάνει το πρώτο byte της εντολής.
- Έναν αριθμό από **προσδιοριστές τελεστέων** (operand specifiers) οι οποίοι αναφέρονται σε καθέναν από τους τελεστέους της εντολής και προσδιορίζουν την διεύθυνσή τους. Κάθε εντολή μπορεί να έχει μέχρι και 6 τελεστέους.

Η μορφή μιας εντολής k τελεστέων που αρχίζει στη διεύθυνση A της κύριας μνήμης φαίνεται στο σχήμα.

Κωδικός λειτουργίας (opcode)
Προσδιοριστής 1ου τελεστέου (Operand specifier 1)
Προσδιοριστής 2ουτελεστέου (Operand specifier 2)
• • •
Προσδιοριστής kου τελεστέου (Operand specifier k)

Σχήμα 2.5.2 - Γενική μορφή εντολής στον VAX. Το μέγεθος κάθε θέσης μνήμης είναι 1 byte. Κάθε προσδιοριστής τελεστέου μπορεί να καταλαμβάνει περισσότερα του ενός συνεχόμενα bytes, ενώ η εντολή μπορεί να περιλαμβάνει το πολύ μέχρι και 6 τελεστέους.

Παράδειγμα

Πως παριστάνεται στην κύρια μνήμη η παρακάτω εντολή; (Απευθείας τρόπος διευθυνσιοδότησης)

MOVL S #23,R1

Απάντηση:

Με την εντολή αυτή φορτώνεται στον καταχωρητή R1 η τιμή 23. Επειδή η εντολή είναι Move Long-word, στον τελεστέο μεγέθους 6 bits (που είναι η τιμή 23) προσθέτουμε μηδενικά από αριστερά ώστε να δημιουργήσουμε μια τιμή μεγέθους 32 bits, που στη συνέχεια φορτώνεται στον καταχωρητή R1. Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει πως η εντολή αυτή παριστάνεται στην κύρια μνήμη:

1 byte

MOVL			Κωδικός λειτουργίας
0 *(1 bit)*	0*(1 bit)*	23 *(6 bits)*	Προσδιοριστής τελεστέου 1
5		R1	Προσδιοριστής τελεστέου 2

4 bits **4bits**

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Να εξηγήσετε πως παριστάνεται στην κύρια μνήμη η παρακάτω εντολή μετακίνησης: MOVB I #53,R2
Ποιος τρόπος διευθυνσιοδότησης χρησιμοποιείται;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 2

Η εντολή αυτή είναι μια εντολή μετακίνησης byte (MOVB) που χρησιμοποιεί τον απευθείας τρόπο διευθυνσιοδότησης για να καθορίσει τον πρώτο τελεστέο (πηγαίο τελεστέο) και τον τρόπο διευθυνσιοδότησης άμεσο καταχωρητή για να καθορίσει τον δεύτερο τελεστέο (τελεστέο προορισμού). Αυτή η εντολή μετακινεί την τιμή 53 στον καταχωρητή R2. Η τιμή 53 είναι αποθηκευμένη στο byte που βρίσκεται αμέσως μετά το byte του πρώτου προσδιοριστή διεύθυνσης. Το πρόθεμα I χρησιμοποιείται για να περιγραφεί ο τρόπος διευθυνσιοδότησης του τελεστέου (στο παράδειγμά μας είναι ο απευθείας). Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει πως η εντολή αυτή παριστάνεται στην κύρια μνήμη:

1 byte

MOVB		**Κωδικός λειτουργίας**
8	**R15**	**Προσδιοριστής τελεστέου 1**
53		
5	**R2**	**Προσδιοριστής τελεστέου 2**

Παράδειγμα

Πως παριστάνεται στην κύρια μνήμη η παρακάτω εντολή; (Τρόπος διευθυνσιοδότησης με Αυτοαύξηση)

CLRL (R9)+

Απάντηση:

Με την εντολή αυτή μηδενίζουμε το περιεχόμενο που βρίσκονται στη θέση μνήμης η διεύθυνση της οποίας είναι καταχωρημένη στον καταχωρητή R9. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του R9 αυξάνεται κατά 4 γιατί ο τελεστέος έχει μέγεθος 4 bytes (λόγω του γράμματος L που περιέχεται στον κωδικό της εντολής CLR_). Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει πως η εντολή αυτή παριστάνεται στην κύρια μνήμη:

1 byte

CLRL	
8	R9

Παράδειγμα

Πως παριστάνεται στην κύρια μνήμη η παρακάτω εντολή; (Διευθυνσιοδότηση με δείκτη)

CLRW B ARRAY[R6]

Απάντηση:

Η εντολή αυτή μηδενίζει το n^o στοιχείο ενός μονοδιάστατου πίνακα του οποίου το πρώτο στοιχείο είναι αποθηκευμένο στην κύρια μνήμη στη διεύθυνση ARRAY. Το στοιχείο που θα μηδενιστεί καθορίζεται από τον καταχωρητή R6. Έστω η κωδικοποίηση της εντολής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έστω ότι ARRAY=1050, η εντολή ξεκινά από τη διεύθυνση μνήμης 1000 και ότι ο καταχωρητής R6 περιέχει την τιμή 3. Ο τρόπος διευθυνσιοδότησης καθορίζεται στο 1° byte του προσδιοριστή τελεστέου και έχει τον κωδικό 4 (τρόπος διευθυνσιοδότησης με δείκτη). Η διεύθυνση ARRAY=1050 υπολογίζεται προσθέτοντας την τιμή 46 στην τιμή του PC που είναι 1004 και είναι καταχωρημένη στον καταχωρητή R15. Ο τρόπος που χρησιμοποιείται είναι σχετικός ως προς τον PC (με μετατόπιση). Η τιμή 3 που είναι καταχωρημένη στον R6 (και προσδιορίζει το 4° στοιχείο του πίνακα *ARRAY(3))* πολλαπλασιάζεται με το 2 γιατί τα δεδομένα του πίνακα είναι τύπου λέξης (W- 16 bits). Η τιμή 1056 που υπολογίστηκε είναι εκείνη που καθορίζει τη διεύθυνση της λέξης που θα μηδενιστεί. Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει πως η εντολή αυτή παριστάνεται στην κύρια μνήμη:

Παράσταση εντολής στη κύρια μνήμη

1 byte

1000	CLRW		Opcode	
1001	4	R6	Index mode	Operand specifier
1002	10	R15		
1003	46		Relative mode	

Καταχωρητές

R6	3
R15	1004

Πίνακας

1 byte

1050		Word data
1052		
1054		
1056		

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Ποια είναι η αναπαράσταση της παρακάτω εντολής στη μνήμη του υπολογιστή VAX; CLRL R4

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 3

CLRL		Κωδικός λειτουργίας Προσδιοριστής τελεστέου
5	R4	

Στο σχήμα φαίνεται η αναπαράσταση της εντολής στην κύρια μνήμη. Στο 1^{ο} byte της μνήμης βρίσκεται κωδικοποιημένη η εντολή (opcode). Στο αμέσως επόμενο byte βρίσκεται ο προσδιοριστής τελεστέου. Στα 4 πρώτα bits αυτού του byte βρίσκεται ο κωδικός του τρόπου διευθυνσιοδότησης του τελεστέου. Στην άσκησή μας ο τρόπος διευθυνσιοδότησης είναι με καταχωρητή και έχει κωδικό 5. Στα 4 τελευταία bits του προσδιοριστή τελεστέου βρίσκεται ο καταχωρητής R4.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

Ποια είναι η αναπαράσταση της παρακάτω εντολής στη μνήμη του υπολογιστή VAX; ADDW3 B↑50(R1), (R2), @(R3)

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 4

ADDW3		Κωδικός λειτουργίας
10	R1	Προσδιοριστής τελεστέου 1
50		
6	R2	Προσδιοριστής τελεστέου 2
9	R3	Προσδιοριστής τελεστέου 3

Στο σχήμα φαίνεται η αναπαράσταση της εντολής στην κύρια μνήμη. Το μέγεθος της εντολής είναι 5 bytes. Στο 1^{ο} byte βρίσκεται κωδικοποιημένη η εντολή καθώς και ο τύπος και το πλήθος των τελεστέων.
Στα δύο επόμενα bytes βρίσκεται ο προσδιοριστής τελεστέου του 1^{ου} τελεστέου. Έτσι στο πρώτο από τα δύο bytes βρίσκεται ο κωδικός του τρόπου διευθυνσιοδότησης του 1^{ου} τελεστέου, που είναι με μετατόπιση (B↑) και έχει κωδικό 10, καθώς και ο καταχωρητής που χρησιμοποιείται (R1). Στο δεύτερο βρίσκεται η τιμή της μετατόπισης 50, που έχει μέγεθος 1 byte (λόγω του συμβόλου B). Στο τέταρτο κατά σειρά byte της μνήμης βρίσκεται ο προσδιοριστής τελεστέου του 2^{ου} τελεστέου. Στα 4 πρώτα bits αυτού του byte βρίσκεται ο κωδικός του τρόπου διευθυνσιοδότησης του 2^{ου} τελεστέου, που είναι 6 (έμμεσος καταχωρητή) και στα 4 επόμενα bits βρίσκεται ο καταχωρητής R2. Τέλος, στο τελευταίο byte βρίσκεται ο προσδιοριστής τελεστέου του 3^{ου} τελεστέου.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 5

Ποια είναι η αναπαράσταση της παρακάτω εντολής στη μνήμη του υπολογιστή VAX; **MOVL @W↑1146(R15), R0**

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 5

200	**-327**		
	…		
1000 **1001** **1002** **1003** **1004**	**MOVL**		**Κωδικός λειτουργίας**
	13	**R15**	**Προσδιοριστή τελεστέου 1**
	1146		
	5	**R0**	**Προσδιοριστή τελεστέου 2**
	…		
POINTER=2150 **2151** **2152** **2153**	**200**		

Χρησιμοποιείται ο έμμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης με αυτοαύξηση. Έστω ότι η εντολή ξεκινά από τη διεύθυνση 1000 της κύριας μνήμης. Ο PC έχει αυξηθεί και έχει την τιμή 1004 τη στιγμή που η τιμή 1146 (μετατόπιση) είναι έτοιμη να προστεθεί στον PC. Έτσι μετά την πρόσθεση παίρνουμε την τιμή 2150, που αντιστοιχεί στη διεύθυνση του δείκτη (POINTER). Στη διεύθυνση 2150 της κύριας μνήμης βρίσκεται αποθηκευμένη η ενεργή διεύθυνση (μεγέθους 32 bits) που είναι 200. Τα 4 bytes που βρίσκονται σ' αυτή τη διεύθυνση, δηλαδή η τιμή -327, θα μετακινηθούν στον καταχωρητή R0. Η τιμή που θα μετακινηθεί είναι μεγέθους 4 bytes, λόγω του γράμματος L που βρίσκεται κολλημένο στην εντολή MOV_).
Μπορούμε να εξηγήσουμε την εντολή αυτή χρησιμοποιώντας συμβολισμούς, ως εξής: $\text{Regs[R0]} \leftarrow_{32} \text{Mem[Mem[1146 + PC]]}$

Σύνολο εντολών στον VAX

Ο VAX υποστηρίζει τρεις κατηγορίες εντολών:

- Αριθμητικές και λογικές
- Μεταφορές δεδομένων και μετατροπές
- Εντολές ελέγχου:
  - ✓ Τερματισμός βρόγχων
  - ✓ Εντολές Case
  - ✓ Κλήση διαδικασιών

Αριθμητικές και λογικές

Στις αριθμητικές και λογικές εντολές περιλαμβάνονται προσθέσεις, αφαιρέσεις, πολλαπλασιασμοί και διαιρέσεις για όλους τους τύπους δεδομένων του υπολογιστή VAX-11. Κάθε τέτοια εντολή μπορεί να έχει δύο ή τρεις τελεστέους.

Ο υπολογιστής VAX-11 μπορεί επίσης να εκτελέσει πράξεις, μέσω των εντολών που παρέχει, πάνω σε προσημασμένους ακεραίους.

Παράδειγμα

Ποια η λειτουργία της παρακάτω εντολής του VAX;

ADDW2 B↑ 50(R2), R1

Απάντηση:

Με την εντολή αυτή προστίθεται το περιεχόμενο του καταχωρητή R1 με έναν πηγαίο τελεστέο που βρίσκεται στη μνήμη. Η διεύθυνση του τελεστέου υπολογίζεται προσθέτοντας στο περιεχόμενο του καταχωρητή R2 την τιμή 50 (τρόπος διευθυνσιοδότησης με μετατόπιση). Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης μεταξύ των δύο πηγαίων τελεστέων καταχωρείται στον καταχωρητή R1. Παρατηρούμε ότι ο καταχωρητής R1 είναι και πηγαίος καταχωρητής και καταχωρητής προορισμού. Ο αριθμός 2 που βρίσκεται στον κωδικό της εντολής δηλώνει ότι το πλήθος των τελεστέων σ' αυτή την εντολή είναι δύο. Το γράμμα W που βρίσκεται στον κωδικό λειτουργίας δηλώνει ότι οι πηγαίοι τελεστέοι που θα προστεθούν είναι μεγέθους 2 bytes. Το σύμβολο B δηλώνει ότι η μετατόπιση είναι μεγέθους 1 byte.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 6

Να εξηγήσετε τον τρόπο με τον οποίο εκτελείται η παρακάτω εντολή του υπολογιστή VAX.

ADDL3 W↑50(R3),R2,R1

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 6

Με την εντολή αυτή προστίθεται το περιεχόμενο του καταχωρητή R2 με έναν πηγαίο τελεστέο που βρίσκεται στη μνήμη. Η διεύθυνση του τελεστέου αυτού υπολογίζεται προσθέτοντας στο περιεχόμενο του καταχωρητή R3 την τιμή 50 (τρόπος διευθυνσιοδότησης με μετατόπιση). Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης μεταξύ των δύο πηγαίων τελεστέων καταχωρείται στον καταχωρητή R1. Ο αριθμός 3 που βρίσκεται στον κωδικό της εντολής δηλώνει ότι το πλήθος των τελεστέων σ' αυτή την εντολή είναι τρεις. Το γράμμα L που βρίσκεται στον κωδικό λειτουργίας δηλώνει ότι οι πηγαίοι τελεστέοι που θα προστεθούν είναι μεγέθους 4 bytes. Το σύμβολο W δηλώνει ότι η μετατόπιση είναι μεγέθους 2 bytes.

Εντολές μεταφοράς δεδομένων και μετατροπές

Ο υπολογιστής VAX υποστηρίζει εντολές για μεταφορά δεδομένων μεταξύ καταχωρητών και κύριας μνήμης ή και μεταξύ των θέσεων της κύριας μνήμης. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής ενός τύπου δεδομένων σε άλλον.

Στον VAX σε αντίθεση με τον DLX μπορεί να γίνει μετακίνηση δεδομένων από μια διεύθυνση μνήμης σε μια άλλη χρησιμοποιώντας την εντολή MOV_ . Στον DLX χρειάζεται μια σειρά εντολών για την μετακίνηση αυτή.

Παράδειγμα

Ποια η λειτουργία της παρακάτω εντολής του VAX;

MOVB W↑50(R1),(R2)

Απάντηση:

Με την εντολή αυτή μετακινούνται τα δεδομένα που βρίσκονται στη θέση μνήμης η διεύθυνση της οποίας υπολογίζεται προσθέτοντας στο περιεχόμενο του καταχωρητή R1 την τιμή 50 (τρόπος διευθυνσιοδότησης με μετατόπιση) στη θέση μνήμης με διεύθυνση το περιεχόμενο του καταχωρητή R2 (έμμεσος καταχωρητή τρόπος διευθυνσιοδότησης). Το γράμμα B που βρίσκεται στον κωδικό της εντολής δηλώνει ότι το δεδομένο που θα μετακινηθεί είναι μεγέθους 1 byte. Το σύμβολο W δηλώνει ότι η μετατόπιση είναι μεγέθους 2 bytes.

Εντολές ελέγχου

Στο σύνολο εντολών του υπολογιστή VAX περιλαμβάνεται ένα πλήρες σύνολο εντολών διακλάδωσης με συνθήκη. Στις εντολές ελέγχου εξετάζονται τα ψηφία N(Negative), V(oVerflow), Z(Zero), C(Carry) του καταχωρητή κατάστασης. Τα ψηφία αυτά τίθενται μετά από την εκτέλεση οποιασδήποτε εντολής ανάλογα με τον τύπο της και το αποτέλεσμά της.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 7

Θυμάστε τι είναι ο καταχωρητής συνθήκης και από τι αποτελείται; Για περισσότερες λεπτομέρειες μπορείτε να ανατρέξετε στην 2η ενότητα αυτού του κεφαλαίου και συγκεκριμένα στην υποενότητα «Κατηγορίες εντολών».

Παράδειγμα

Με ποιον τρόπο εκτελείται η παρακάτω σειρά εντολών του υπολογιστή VAX;

CMPL R1,50(R2);
BLEQ exit1

(Το exit1 συμβολίζει μια διεύθυνση μνήμης.)

Απάντηση:

Είναι μια εντολή σύγκρισης και διακλάδωσης. Η εντολή σύγκρισης θέτει τον κώδικα συνθήκης που θα χρησιμοποιηθεί από την εντολή διακλάδωσης που ακολουθεί. Έτσι με την εντολή αυτή συγκρίνονται το περιεχόμενο του καταχωρητή R1 με το περιεχόμενο της θέσης μνήμης που βρίσκεται στη διεύθυνση που υπολογίζεται προσθέτοντας την τιμή 50 (μετατόπιση) στο περιεχόμενο του καταχωρητή R2 (τρόπος διευθυνσιοδότησης με μετατόπιση). Τα δεδομένα που συγκρίνονται είναι μεγέθους 4 bytes λόγω του γράμματος L που βρίσκεται στον κωδικό της εντολής CMP_ . Έτσι το

δεδομένο που ανακτάται από τη μνήμη καταλαμβάνει 4 διαδοχικές θέσεις μνήμης του ενός byte, ξεκινώντας από το byte του οποίου η διεύθυνση είναι αυτή που υπολογίστηκε. Αν το περιεχόμενο του καταχωρητή R1 είναι μικρότερο ή ίσο του δεδομένου που ανακτήθηκε από τη μνήμη τότε ο PC φορτώνεται με την τιμή exit1.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σειρά ειδικών εντολών ελέγχου:

❖ **Τερματισμός βρόχων**

Ο VAX διαθέτει την εντολή τριών τελεστέων AOBLEQ (Add One and Branch on Less than or EQual) που είναι χρήσιμη στον έλεγχο τερματισμού ενός βρόχου. Η εντολή αυτή αυξάνει τη μεταβλητή βρόχου, τη συγκρίνει με ένα ανώτατο όριο και επαναλαμβάνει τον βρόχο αν το όριο δεν έχει ξεπεραστεί. Ο πρώτος τελεστέος καθορίζει τον ανώτατο όριο, ο δεύτερος είναι το όνομα της μεταβλητής του βρόχου και ο τρίτος είναι το offset της διακλάδωσης.

❖ **Εντολές Case**

Ο VAX υποστηρίζει μια εντολή τριών τελεστέων (με κωδικό Case), για να υλοποιήσει τις εντολές Case των γλωσσών υψηλού επιπέδου. Η εκτέλεση αυτής της εντολής προκαλεί μια διακλάδωση στην αρχή του μπλοκ εντολών που θα εκτελεστεί.

❖ **Κλήση διαδικασιών**

Η αποδοτικότητα εκτέλεσης των κλήσεων διαδικασιών είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αξιολόγηση του συνόλου εντολών ενός υπολογιστή. Και αυτό διότι οι μοντέρνες γλώσσες προγραμματισμού χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο τις διαδικασίες για να καταστήσουν τα προγράμματά τους περισσότερο ευέλικτα.

Δυο σημαντικά στοιχεία στον χειρισμό των κλήσεων διαδικασιών είναι:
1. Ο τρόπος μεταβίβασης των παραμέτρων από το πρόγραμμα στην καλούμενη διαδικασία.
2. Ο τρόπος με τον οποίο σώζονται τα περιεχόμενα των καταχωρητών της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας κατά την εκτέλεση της καλούμενης διαδικασίας και ο τρόπος επαναφοράς τους όταν επιστρέφουμε στο κυρίως πρόγραμμα.

Ο VAX διαθέτει τις εξής μεθόδους για την εκτέλεση κλήσεων διαδικασιών οι οποίες διαφέρουν στο πέρασμα των παραμέτρων:
1. Οι παράμετροι τοποθετούνται σε ένα μπλόκ της κύριας μνήμης στο οποίο η εντολή (μέσω της οποίας γίνεται η κλήση της διαδικασίας) έχει πρόσβαση μέσω ενός δείκτη.
2. Το πέρασμα των παραμέτρων γίνεται μέσω της στοίβας του επεξεργαστή.

Παράδειγμα

Ποια η λειτουργία της παρακάτω εντολής του υπολογιστή VAX;

CALLS #n,PROC

Απάντηση:

Η εντολή αυτή περιέχει δύο τελεστέους. Ο πρώτος (n) καθορίζει το πλήθος των 32 bits παραμέτρων, που έχουν προηγουμένως τοποθετηθεί στη στοίβα. Ο δεύτερος (PROC) είναι η διεύθυνση της διαδικασίας που θα κληθεί.

Ειδική εντολή του VAX για δεικτοδότηση πινάκων

Έστω ότι έχουμε ένα δισδιάστατο πίνακα ARRAY(i,j) του οποίου το πρώτο στοιχείο ARRAY(0,0) βρίσκεται στη θέση μνήμης με διεύθυνση ARRAY. Το στοιχείο

ARRAY(i,j) αυτού του πίνακα θα βρίσκεται στη θέση ARRAY+j*m+i (όπου m είναι ο αριθμός των γραμμών του πίνακα). Αν τώρα προσθέσουμε και μια τρίτη διάσταση έστω k, τότε η διεύθυνση του στοιχείου ARRAY(i,j,k) είναι ARRAY+k*n*m+j*m+i (όπου n είναι ο αριθμός των στηλών του πίνακα).

Η τελευταία έκφραση γράφεται και ως ((k*n)+j)*m+i και μας οδηγεί στον εξής αλγόριθμο για τον υπολογισμό της διεύθυνσης:

- *πρόσθεσε τη νέα διάσταση στην ήδη υπάρχουσα τιμή του δείκτη και*
- *πολλαπλασίασε με το μέγεθος της.*

Ο VAX διαθέτει την εντολή με κωδικό INDEX για την εκτέλεση αυτού του βασικού βήματος. Η εντολή αυτή έχει έξι τελεστέους οι οποίοι κατά σειρά είναι οι εξής:

- ο δείκτης,
- το κάτω όριό του δείκτη,
- το πάνω όριό του δείκτη,
- το μέγεθός του δείκτη,
- η ήδη υπολογισμένη τιμή του δείκτη,
- η τιμή του δείκτη μετά την εκτέλεση του βήματος αυτού.

Η λειτουργία της εντολής έχει ως εξής: καταρχήν, η τιμή του δείκτη ελέγχεται για να διαπιστωθεί αν όντως βρίσκεται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια. Αν δε βρίσκεται προκύπτει λάθος, αλλιώς η τιμή του δείκτη προστίθενται στη μέχρι στιγμής υπολογιζόμενη τιμή και πολλαπλασιάζεται με το μέγεθός του. Το αποτέλεσμα είναι η νέα τιμή του δείκτη.

Παράδειγμα

Θεωρήστε έναν τρισδιάστατο πίνακα ARRAY[i, j, k] του οποίου κάθε στοιχείο είναι μία λέξη και οι δείκτες κυμαίνονται από 0 έως m-1, n-1 και p-1 αντίστοιχα. Ας θεωρήσουμε επίσης ότι ο R0 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη.
Ποια είναι η ακολουθία εντολών για την παρακάτω λειτουργία;

ARRAY(i, j, k) ← 250

Απάντηση:

Η ακολουθία εντολών έχει ως εξής:

```
INDEX K,#0,#p-1,#n,#0,R0
INDEX J,#0,#n-1,#m,R0,R0
INDEX I,#0,#m-1,#1,R0,R0
MOVW #250,ARRAY[R0]
```

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν …

Ο υπολογιστής VAX υποστηρίζει όλους του συνήθεις τύπους δεδομένων, ενώ διαθέτει 16 καταχωρητές εκ των οποίων οι 12 είναι γενικής χρήσης.

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι διευθυνσιοδότησης στον VAX. Στην περίπτωση που ο καταχωρητής ο οποίος βρίσκεται στον προσδιοριστή τελεστέου είναι ο απαριθμητής προγράμματος, τότε προκύπτουν και άλλοι τρόποι διευθυνσιοδότησης (απευθείας, απόλυτος, σχετικός, έμμεσος σχετικός).

Κάθε εντολή στον VAX αποτελείται από ένα πεδίο στο οποίο αποθηκεύεται ο κωδικός εντολής και ακολουθούν 1 έως 6 προσδιοριστές τελεστέων που αντιστοιχούν στους τελεστέους της εντολής.

Το σύνολο εντολών που υποστηρίζει ο υπολογιστής VAX αποτελείται από: τις αριθμητικές και λογικές εντολές, τις εντολές μεταφοράς δεδομένων και τις εντολές ελέγχου.

Ο υπολογιστής VAX περιέχει μια ειδική εντολή για δεικτοδότηση πινάκων, η οποία έχει κωδικό INDEX.