

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	xxi
ΣΗΜΕΙΩΣΗ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΑ .....	xxiv
ΣΗΜΕΙΩΣΗ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ .....	xxv
ΣΗΜΕΙΩΣΗ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ .....	xxv

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 0

---

<b>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....</b>	<b>1</b>
0.1. Ιστορία των υπολογιστικών μηχανών .....	1
0.1.1. Αρχαιότητα.....	1
0.1.2. Αναγέννηση.....	2
0.1.3. Δέκατος ένατος αιώνας .....	3
0.1.4. Πρώτος και Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος .....	5
0.1.5. Υπολογιστές πρώτης γενιάς .....	8
0.1.6. Υπολογιστές δεύτερης γενιάς.....	11
0.1.7. Υπολογιστές τρίτης γενιάς .....	13
0.1.8. Υπολογιστές τέταρτης γενιάς .....	16
0.1.9. Πέμπτη και έκτη γενιά.....	16
0.2. Ιστορία του λογισμικού.....	17
0.2.1. Πρώτη γενιά .....	18
0.2.2. Δεύτερη γενιά .....	20
0.2.3. Τρίτη γενιά .....	23
0.2.4. Τέταρτη γενιά .....	26
0.2.5. Πέμπτη γενιά .....	28
0.3. Εισαγωγή στην οργάνωση υπολογιστών.....	29

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΜΝΗΜΗ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ..... 35

1.1. Μνήμη .....	35
1.1.1. Διατάξεις δυφιοσυλλαβών.....	37
1.1.2. Φυσικά χαρακτηριστικά (Physical characteristics) της μνήμης.....	39
1.1.3. Λογική οργάνωση (Logical organisation) της μνήμης.....	40
1.1.4. Χαρακτηριστικά μεγέθη της μνήμης.....	42
1.1.4.1. Χωρητικότητα.....	42
1.1.4.2. Χαρακτηριστικοί χρόνοι (Characteristic times).....	43
1.1.5. Είδη και ιδιότητες της μνήμης.....	44
1.1.6. Σελιδοποιημένες μνήμες.....	46
1.1.7. Μνήμες που οι προσπελάσεις τους επικαλύπτονται χρονικά ή Διεμπλεκόμενες μνήμες (Interleaved Memories).....	46
1.1.8. Πολυθυρικές Μνήμες (Multi-ported Memories).....	48
1.1.9. Συνειρμικές μνήμες ή μνήμες συσχέτισης (Associative memories)...	50
1.1.10. Κρυφές μνήμες (Cache memories).....	51
1.1.11. Σημαδεμένες μνήμες (Tagged memories) .....	59
1.1.12. Άλλοι τύποι μνημών.....	60
1.1.13. Τεχνολογίες μνημών.....	61
1.1.14. Κώδικες εντοπισμού και διόρθωσης σφαλμάτων (Error detecting and correcting codes) .....	64
1.2. Παράσταση τιμών δεδομένων σ' ένα σύστημα υπολογιστή .....	68
1.2.1. Παράσταση χαρακτήρων (τιμών τύπου char της Pascal και της Java).....	68
1.2.2. Παράσταση τιμών σταθερής υποδιαστολής .....	72
1.2.2.1. Παράσταση μέτρου (magnitude representation).....	74
1.2.2.2. Παράσταση προσήμου και μέτρου (sign and magnitude representation) .....	74
1.2.2.3. Παράσταση συμπληρώματος ως προς ένα (ones complement representation) .....	75
1.2.2.4. Παράσταση συμπληρώματος ως προς δύο (twos complement representation) .....	77
1.2.2.5. Υπερχείλιση .....	84
1.2.2.6. Ακρίβεια παραστάσεων και στρογγυλοποίηση.....	85
1.2.3. Παράσταση δεκαδικών τιμών (τιμών τύπου DECIMAL της PL/1 και αριθμών της COBOL).....	86
1.2.3.1. Αριθμητική BCD .....	88

1.2.4. Παράσταση τιμών κινητής υποδιαστολής (τιμών τύπου real της Pascal) .....	89
1.2.4.1. Πρότυπο κινητής υποδιαστολής IEEE 754 (Παράσταση τιμών τύπου float και double της Java) .....	92
1.2.4.2. Αριθμητική κινητής υποδιαστολής .....	95
ΑΣΚΗΣΕΙΣ 1.1. ....	98
1.2.5. Παράσταση λογικών τιμών (τιμών τύπου boolean της Pascal και της Java) .....	100
1.2.6. Παράσταση τιμών των τύπων που ορίζονται από το χρήστη της Pascal .....	100
1.2.7. Παράσταση τιμών συνόλων (τιμών τύπου set της Pascal) .....	100
1.2.8. Παράσταση συμβολοσειρών .....	101
1.2.9. Παράσταση τιμών των υπόλοιπων δομημένων τύπων της Pascal και των αντικειμένων της Java .....	102
1.2.10 Υπολογιστές της οικογένειας 80x86 της Intel .....	103
1.2.10.1 Οργάνωση μνήμης των υπολογιστών 80x86 .....	103
1.2.10.2 Παράσταση τιμών δεδομένων στους υπολογιστές της οικογένειας 80x86 .....	104
1.2.11. Παράσταση δεδομένων ήχου .....	106
1.2.12. Παράσταση δεδομένων εικόνας .....	108
1.2.13. Παράσταση δεδομένων βίντεο .....	110
1.2.14. Μέθοδοι συμπίεσης .....	111

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ..... 113

2.1. Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας .....	113
2.1.1. Εντολές τριών διευθύνσεων (three-address instructions) .....	114
2.1.2. Εντολές δύο διευθύνσεων (two-address instructions) .....	115
2.1.3. Εντολές μίας διεύθυνσης (one-address instructions) .....	117
2.1.4. Εντολές μηδέν διευθύνσεων (zero-address instructions) και υπολογιστές στοίβας (stack computers) .....	119
2.1.5. Υπολογιστές RISC .....	125
2.2. Συμβολικές γλώσσες χαμηλού επιπέδου .....	127
2.3. Ένας υπολογιστής MIPS32 .....	130
2.3.1. Καταχωρητές (Registers) .....	132
2.3.2. Κλήσεις του συστήματος .....	134
2.3.3. Οδηγίες προς το συμβολομεταφραστή .....	136
2.3.4. Συμβολική γλώσσα .....	139

2.4.	Εντολές υπολογιστών.....	140
2.4.1.	Εντολές τοποθέτησης.....	141
2.4.2.	Αριθμητικές εντολές.....	144
	ΑΣΚΗΣΕΙΣ 2.1.....	148
2.4.3.	Λογικές εντολές δυφίου-προς-δυφίο.....	148
2.4.3.1.	Χρήσεις των λογικών εντολών.....	150
2.4.4.	Εντολές διακλάδωσης (branch instructions) ή άλματος (jump instructions) και εντολές σύγκρισης (compare instructions).....	152
	ΑΣΚΗΣΕΙΣ 2.2.....	157
2.4.4.1.	Εντολές παράλειψης.....	157
2.4.4.2.	Εντολές σύγκρισης και ο καταχωρητής κωδικών των συνθηκών.....	157
2.4.4.3.	Εντολές Ανακύκλωσης (Loop Instructions).....	159
2.4.5.	Εντολές μετατόπισης (shift instructions).....	159
2.4.5.1.	Λογικές μετατοπίσεις (Logical shifts).....	160
2.4.5.2.	Αριθμητικές μετατοπίσεις (Arithmetic shifts).....	161
	ΑΣΚΗΣΕΙΣ 2.3.....	163
2.4.5.3.	Κυκλικές μετατοπίσεις (Cyclic shifts).....	163
	ή Περιστροφές (Rotations).....	163
2.4.5.4.	Μετατοπίσεις διπλού μήκους (double length shifts).....	164
2.4.5.5.	Άλλες μετατοπίσεις.....	164
2.4.6.	Εντολές εισόδου και εξόδου υποπρογραμμάτων.....	165
	ΑΣΚΗΣΕΙΣ 2.4.....	168
2.4.7.	Άλλες εντολές.....	169
2.4.8.	Εντολές Εισόδου και Εξόδου και προνομιούχες ή ειδικές εντολές..	170
2.5.	Σύγκριση γλωσσών χαμηλού και υψηλού επιπέδου.....	170
2.5.1.	Χρήσεις των συμβολικών γλωσσών.....	173
2.6.	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας και Εντολές των υπολογιστών της οικογένειας 80x86.....	174
2.6.1.	Καταχωρητές.....	174
2.6.2.	Εντολές.....	177
2.6.2.1.	Εντολές τοποθέτησης.....	179
2.6.2.2.	Αριθμητικές εντολές.....	180
2.6.2.3.	Λογικές εντολές.....	184
2.6.2.4.	Εντολές διακλάδωσης ή άλματος.....	185
2.6.2.5.	Εντολές σύγκρισης.....	186
2.6.2.6.	Εντολές ανακύκλωσης.....	189
2.6.2.7.	Εντολές εισόδου και εξόδου υποπρογραμμάτων.....	190
2.6.2.8.	Εντολές μετατόπισης.....	192
2.6.2.9.	Κυκλικές μετατοπίσεις.....	193
2.6.2.10.	Μετατοπίσεις διπλού μήκους.....	194

2.6.2.11. Εντολές εισόδου και εξόδου .....	195
2.6.2.12. Εντολές μετατροπής δυφιοσυλλαβών σε λέξεις και λέξεων σε διπλές λέξεις .....	196
2.6.2.13. Εντολές επεξεργασίας σημαιών .....	197
2.6.2.14. Εντολές επεξεργασίας δυαδικά κωδικοποιημένων δεκαδικών αριθμών .....	197

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΝΗΜΗΣ (MEMORY ADDRESSING MODES) ..... 205

3.1. Εισαγωγή.....	205
3.2. Κυριολεκτική Αναφορά (Literal Addressing) ή Αναφορά Άμεσου Τελεστέου (Immediate Operand) .....	206
3.3. Αναφορά μέσω καταχωρητή (Register Addressing) .....	206
3.4. Άμεση Αναφορά Διεύθυνσης (Direct Addressing) .....	207
3.5. Αναφορά διεύθυνσης μέσω Καταχωρητή Βάσης (Base Register Addressing) .....	207
ΑΣΚΗΣΕΙΣ 3.1. ....	219
3.6. Σχετική Αναφορά Διεύθυνσης (Relative Addressing) .....	222
3.7. Ψευδοάμεση Αναφορά Διεύθυνσης (Pseudodirect Addressing) .....	224
3.8. Αναφορά μέσω καταχωρητή Στοίβας (Stack Addressing) .....	225
3.9. Υποστήριξη υλισμικού για την υλοποίηση υποπρογραμμάτων .....	228
3.9.1. Κλήση και επιστροφή υποπρογραμμάτων .....	228
3.9.2. Μεταβίβαση παραμέτρων υποπρογραμμάτων .....	231
3.9.2.1. Μεταβίβαση παραμέτρων υποπρογραμμάτων μέσω καταχωρητών και στοίβας .....	232
3.9.3. Έγγραφές ενεργοποίησης και πλαίσια στοίβας .....	233
3.9.4. Κλητική ακολουθία, πρόλογος και επίλογος διαδικασίας .....	236
ΑΣΚΗΣΕΙΣ 3.2. ....	243
3.10. Διαχείριση στατικών μεταβλητών και σωρού .....	246
3.11. Άλλοι τρόποι διευθυνσιοδότησης .....	248
3.11.1. Αναφορά Διεύθυνσης μέσω (Καταχωρητή) Δείκτη [Indexed (ή Index Register) Addressing] .....	248
3.11.2. Αυτόματη Αύξηση και Ελάττωση περιεχομένων καταχωρητών (Autoincrement και Autodecrement) .....	249
3.11.3. Έμμεση αναφορά διεύθυνσης (Indirect addressing) .....	249
3.11.4. Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητών και έμμεσης αναφοράς .	250
3.11.5. Εντολές Πολλαπλού Μήκους (Multiple Length Instructions) .....	251

3.11.6. Αναφορά διεύθυνσης μέσω Καταχωρητών Βάσης (Base Register Addressing) .....	252
3.11.7. Χρήση τρόπων διευθυνσιοδότησης από τους μεταγλωττιστές .....	253
3.12. Μέθοδοι προσδιορισμού τελικής διεύθυνσης στους υπολογιστές της οικογένειας 80x86.....	254
3.12.1. Τεμαχισμός.....	254
3.12.2. Εντολές που δεν αναφέρονται στη μνήμη .....	256
3.12.3. Εντολές αναφοράς στη μνήμη.....	256
3.12.3.1. Άμεση αναφορά .....	257
3.12.3.2. Αναφορά μέσω καταχωρητή δείκτη και έμμεση αναφορά .....	257
3.12.3.3. Αναφορά μέσω καταχωρητή βάσης και καταχωρητή δείκτη .....	257
3.12.3.4 Αναφορά μέσω καταχωρητή στοιβάς .....	258
3.12.3.5 Επισκόπηση .....	259
3.12.4. Εντολές φόρτωσης απόστασης τελικής διεύθυνσης και δεικτών .....	260
3.12.5. Εντολές επεξεργασίας συμβολοσειρών.....	261
3.12.6. Εντολές που διευκολύνουν την υλοποίηση γλωσσών υψηλού επιπέδου .....	266
3.12.7. MASM και LINK .....	268
3.12.8. Συμβολική γλώσσα MASM .....	271
3.12.8.1.Κλήσεις του συστήματος με την εντολή INT 21h .....	273
3.12.8.2. Ψευδοεντολές ορισμών και δηλώσεων .....	276

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<b>ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ, ΜΙΚΡΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.....</b>	<b>285</b>
4.1. Φυσικά χαρακτηριστικά της μονάδας ελέγχου .....	285
4.1.1. Εσωτερικές Λεωφόροι.....	286
4.2. Μορφότυπο και κωδικοποίηση εντολών.....	289
4.2.1. Μορφότυπα και κωδικοποίηση των εντολών του MIPS32 .....	293
ΑΣΚΗΣΕΙΣ 4.1. ....	301
4.3. Λογική οργάνωση της μονάδας ελέγχου.....	301
4.4. Υλισμικό Λεωφόρων (Bus Hardware) .....	304
4.5. Καλωδιωμένες μονάδες ελέγχου (Hardwired control units) .....	309
4.6. Μικροπρογραμματιζόμενες μονάδες ελέγχου (Microprogrammed control units) 310	
4.6.1. Εκτέλεση μικροπρογραμμάτων.....	312
4.6.2. Οριζόντιος και κατακόρυφος μικροπρογραμματισμός.....	313

4.6.3. Νανοπρογραμματισμός .....	314
4.6.4. Τα υπέρ και τα κατά του μικροπρογραμματισμού .....	316
4.7. Διορατικοί υπολογιστές (Lookahead computers).....	318
4.8. Σωληνωτοί υπολογιστές (Pipelined computers).....	319
4.9. Αρχιτεκτονική των υπολογιστών της οικογένειας 80x86 .....	321
4.9.1. Μορφότυπα εντολών .....	321
4.9.2. Μικροαρχιτεκτονική .....	326
4.9.3. Μηχανισμοί Σωληνώσεων.....	329
4.10. Χαρακτηριστικά των υπολογιστών RISC .....	330
4.10.1.1. Εντολές και τρόποι προσδιορισμού των διευθύνσεων.....	331
4.10.1.2. Σωληνωτή οργάνωση .....	333
4.10.1.3. Αρχιτεκτονική .....	335
4.10.2. Χρήση συνόλων καταχωρητών και κρυφής μνήμης .....	335
4.10.2.1. Μέθοδος επικαλυπτόμενων παραθύρων .....	335
4.10.2.2. Χρήση κρυφής μνήμης.....	338
4.11. Παράλληλοι υπολογιστές (Parallel computers).....	339
4.11.1. Πρόβλημα συνοχής της κρυφής μνήμης .....	342
4.12. Ολοκληρωμένα κυκλώματα και οικογένειες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων .....	347

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<b>ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....</b>	<b>353</b>
5.1. Τύποι περιφερειακών συσκευών .....	353
5.2. Συσκευές Εξόδου .....	354
5.2.1. Εκτυπωτές .....	354
5.2.1.1. Κρουστικοί εκτυπωτές .....	354
5.2.1.2. Εκτυπωτές τύπου μήτρας .....	355
5.2.1.3. Εκτυπωτές τύπου λέιζερ .....	357
5.2.2. Συσκευές Γραφικών .....	359
5.2.2.1. Σχεδιογράφοι.....	359
5.2.3. Οθόνες .....	361
5.2.3.1. Οθόνες απεικόνισης χαρακτήρων .....	362
5.2.3.2. Οθόνες απεικόνισης δυφίων .....	362
5.2.3.3. Οθόνες καθοδικών ακτίνων .....	364
5.2.3.4. Οθόνες υγρών κρυστάλλων .....	366
5.2.3.5. Οθόνες πλάσματος .....	367
5.2.3.6. Οθόνες ηλεκτροφθορισμού .....	368
5.2.3.7. Οθόνες εκπομπής πεδίου.....	369

5.3.	Συσκευές εισόδου.....	369
5.3.1.	Πληκτρολόγια.....	369
5.3.2.	Τερματικά.....	371
5.3.3.	Διεπαφή RS-232-C.....	371
5.3.4.	Συσκευές κατάδειξης.....	373
5.3.4.1.	Ποντίκια.....	374
5.3.4.2.	Παιχιδολαβές.....	375
5.3.4.3.	Καταδεικτικές Λαβές.....	375
5.3.4.4.	Ιχθύσφαιρες.....	375
5.3.4.5.	Επιφάνειες αφής.....	376
5.3.4.6.	Ψηφιοποιητές.....	376
5.3.4.7.	Οθόνες αφής.....	377
5.3.4.8.	Φωτοπένες.....	377
5.3.4.9.	Οπτικοί αναγνώστες σημαδιών.....	378
5.3.4.10.	Αναγνωριστές χαρακτήρων μαγνητικής μελάνης.....	379
5.3.5.	Σαρωτές.....	380
5.3.6.	Συστήματα Αναγνώρισης Φωνής (Voice Recognition Systems).....	382
5.3.8.	Λήπτες εικόνας.....	383
5.4.	Συσκευές εικονικής πραγματικότητας.....	383
5.5.	Συσκευές Βοηθητικής μνήμης.....	384
5.5.1.	Μονάδες Μαγνητικών Δίσκων (Magnetic Disc Units).....	384
5.5.1.1.	Δίσκοι κινητής κεφαλής.....	386
5.5.1.2.	Δίσκοι Σταθερής Κεφαλής.....	390
5.5.2.	Μαγνητικά Τύμπανα (Magnetic Drums).....	390
5.5.3.	Ανίχνευση σφαλμάτων και μορφοποίηση δίσκων.....	391
5.6.	Συσκευές Εφεδρικής Αποθήκευσης (Backup Devices).....	392
5.6.1.	Οπτικοί δίσκοι.....	393
5.6.1.1.	Δίσκοι τύπου CD ROM.....	393
5.6.1.2.	Δίσκοι τύπου WORM ή CD R.....	396
5.6.1.3.	Δίσκοι τύπου CD RW.....	397
5.6.1.4.	Δίσκοι τύπου DVD ROM.....	398
5.6.2.	Μονάδες Μαγνητικών Ταινιών (Magnetic Tape Units).....	398
5.7.	Ιεράρχηση της μνήμης.....	402
	ΑΣΚΗΣΕΙΣ 5.1.....	403
5.8.	Τεχνολογίες εγγραφής των δεδομένων στα μαγνητικά και οπτικά μέσα.....	404
5.8.1.	Μαγνητικοί δίσκοι.....	404
5.8.1.1.	Κωδικοποίηση διαμόρφωσης της συχνότητας.....	405
5.8.1.2.	Κωδικοποίηση παραλλαγμένης διαμόρφωσης της συχνότητας.....	405
5.8.1.3.	Κωδικοποίηση περιορισμένου τρέχοντος μήκους 2,7.....	406
5.8.2.	Μαγνητικές ταινίες.....	410



5.8.3. Οπτικοί δίσκοι.....	411
5.9. Συσκευές πολυμέσων.....	414
5.9.1. Μικρόφωνα.....	415
5.9.2. Ηχεία.....	415
5.9.3. Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές (digital cameras).....	416
5.9.4. Ψηφιακές βιντεοκάμερες.....	419
5.10. Μετάδοση δεδομένων και συσκευές τηλεπικοινωνιών και δικτύωσης.....	419
5.10.1. Διαποδιαμορφωτές.....	421
5.10.2. Σύγχρονη μετάδοση.....	423
5.10.3. Τρόποι μετάδοσης δεδομένων.....	424
5.10.4. Μερισμός γραμμών (Line Sharing).....	425
5.11. Δίκτυα υπολογιστών και συσκευές επικοινωνιών και δικτύωσης.....	426

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΑΓΙΔΕΣ, ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ/ΕΞΟΔΟΥ..... 433

6.1. Παγίδες (Traps) ή Εξαιρέσεις.....	433
6.2. Διακοπές (Interrupts).....	438
6.2.1. Αναγνώριση αιτιών διακοπών με λογισμικό.....	439
6.2.2. Αναγνώριση αιτιών διακοπών από το υλισμικό.....	441
6.2.3. Αδρανοποίηση και ενεργοποίηση διακοπών.....	442
6.2.4. Διακοπές και λεωφόροι εισόδου/εξόδου.....	444
6.2.5. Προτεραιότητες διακοπών.....	445
6.2.5.1. Εφαρμογή προτεραιοτήτων από το λογισμικό.....	446
6.2.5.2. Εφαρμογή προτεραιοτήτων από το υλισμικό.....	447
6.2.5.3. Εφαρμογή προτεραιοτήτων από το υλισμικό και το λογισμικό.....	450
6.2.6. Εξαιρέσεις και διακοπές στους MIPS32.....	451
6.2.6.1. Υλισμικό διαχείρισης εξαιρέσεων και διακοπών.....	453
6.2.6.2. Αντιμετώπιση εξαιρέσεων και διακοπών στους MIPS32.....	457
6.2.6.3. Κύρια ρουτίνα εξυπηρέτησης εξαιρέσεων και διακοπών στον προσομοιωτή SPIM.....	459
6.2.6.4. Υποστήριξη διανυσματικών διακοπών.....	463
6.3. Άμεσος έλεγχος εισόδου/εξόδου από την ΚΜΕ.....	464
6.4. Έλεγχος εισόδου/εξόδου με διακοπές.....	469
6.4.1. Εισαγωγή.....	469
6.4.2. Υλισμικό.....	471
6.4.3. Λογισμικό.....	473
6.4.4. Είσοδος/Εξοδος με απεικόνιση στη μνήμη.....	478

6.5.	Είσοδος/Εξοδος στους MIPS32 .....	479
6.5.1.	Είσοδος/Εξοδος με απεικόνιση στη μνήμη .....	479
6.5.2.	Έλεγχος εισόδου/εξόδου με διακοπές .....	483
6.6.	Άμεση Προσπέλαση της Μνήμης (Direct Memory Access, DMA) .....	486
6.6.1.	Εισαγωγή.....	486
6.6.2.	Κλοπή Κύκλων (Cycle Stealing) ή δισταγμοί του επεξεργαστή (processor hesitations).....	491
6.6.3.	Τύποι διαύλων .....	493
6.6.4.	Έλεγχος της εισόδου/εξόδου με διακοπές διαύλων.....	493
6.6.4.1.	Φυσική δομή διαύλου-επιλογή.....	494
6.6.4.2.	Λογική οργάνωση διαύλου .....	494
6.6.4.3.	Λειτουργία ΚΜΕ ενός συστήματος με διαύλους.....	497
6.6.4.4.	Διαδικασία εξυπηρέτησης διακοπής διαύλου .....	498
6.6.4.5.	Διαδικασίες διαύλων .....	499
6.6.5.	Δίαυλοι-πολυπλέκτες (Multiplexer Channels) .....	501
6.6.5.1.	Δίαυλοι Πολυπλεξίας Δυφιοσυλλαβών (Byte Multiplex Channels).....	501
6.6.5.2.	Δίαυλοι Πολυπλεξίας Ομάδων (Block Multiplex Channels).....	502
6.6.6.	Είσοδος/Εξοδος με περιφερειακούς υπολογιστές .....	502
6.7.	Υλισμικό των υπολογιστών της οικογένειας 80x86.....	504
6.7.1.	Γραμμές, ακίδες και σήματα .....	504
6.7.2.	Η λεωφόρος εισόδου/εξόδου IBM PC Bus .....	508
6.7.3.	Ο παράλληλος ελεγκτής εισόδου/εξόδου 8255A .....	511
6.7.4.	Ο ελεγκτής διακοπών 8259A .....	511
6.7.5.	Ο ελεγκτής DMA 8237A.....	513
6.8.	Παγίδες και διακοπές στους επεξεργαστές της οικογένειας 80x86 .....	513
6.8.1.	Παγίδες και Εξαιρέσεις .....	514
6.8.2.	Διακοπές.....	516
6.8.2.1.	Διακοπές που δεν επιδέχονται μάσκα (NMI).....	516
6.8.2.2.	Διακοπές που επιδέχονται μάσκα (INTR) .....	516
6.8.2.3.	Εντολές αδρανοποίησης και ενεργοποίησης διακοπών ...	516
6.8.2.4.	Μηχανισμός διακοπών.....	517
6.8.2.5.	Διαδικασίες εξυπηρέτησης διακοπών .....	518
6.8.2.6.	Εντολές που διευκολύνουν την αντιμετώπιση διακοπών.	519
6.8.2.7.	Άλλες χρήσιμες εντολές.....	520

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΒΑΣΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ..... 523

7.1. Εκκίνηση (Bootstrap) ή Αρχική Φόρτωση Προγράμματος (Initial Program Load, IPL) ή Πρόγραμμα Εισαγωγής Προγράμματος (Program Input Program, PIP) .....	523
7.1.1. Απόλυτος φορτωτής (Absolute loader) .....	525
ΑΣΚΗΣΕΙΣ 7.1 .....	529
7.1.2. Προσομοίωση της διαδικασίας εκκίνησης από τον SPIM .....	529
7.1.3. Εκκίνηση των υπολογιστών της οικογένειας 80x86 .....	533
7.2. Συναρμολογητές ή Συμβολομεταφραστές (Assemblers) .....	534
7.2.1. Συμβολομεταφραστές Δύο Σαρώσεων (Two-Pass Assemblers).....	539
7.2.2. Συμβολομεταφραστές μίας σάρωσης .....	541
7.2.3. Άλλοι τύποι οδηγίων προς συμβολομεταφραστές.....	543
7.2.4. Κλειστά και ανοικτά υποπρογράμματα.....	547
7.2.4.1. Κλειστές υπορουτίνες (closed subroutines) ή κλειστά υποπρογράμματα (closed subprograms) .....	547
7.2.4.2. Μακροεντολές [macrocommands ή macroinstructions ή απλώς μάκρος (macros)].....	549
7.2.5. Συρρουτίνες (Coroutines).....	555
7.3. Συνδέτες, (Linkers) , φορτωτές και συνδέτες φορτωτές (linking loaders)...	557
7.3.1. Στατικοί συνδέτες (Static linkers) .....	558
7.3.2. Στατικοί Φορτωτές Μετάθεσης και Σύνδεσης (Relocating and Linking Loaders).....	561
7.3.3. Συνδέτες φορτωτές δύο σαρώσεων .....	563
7.3.4. Συνδέτες μίας σάρωσης.....	567
7.3.5. Δυναμική σύνδεση (Dynamic Linking).....	568
7.3.5.1. Δυναμική σύνδεση στο MULTICS.....	569
7.3.5.2. Δυναμική σύνδεση στο UNIX .....	571
7.3.5.3. Δυναμική σύνδεση στα Windows .....	572
7.4. Συντάκτες (Editors).....	574
7.5. Προγράμματα Εντοπισμού και Άρσης σφαλμάτων (Debuggers) .....	575
7.6. Άλλοι μεταφραστές (Other translators).....	576
7.7. Προσομοιωτές (Simulators) .....	578

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **A**

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ..... 581

A.1. Δεκαδικό σύστημα (Denary ή Decimal system) .....	582
A.2. Δυαδικό σύστημα (Binary system) .....	583
A.2.1. Μετατροπή αριθμού από το δυαδικό στο δεκαδικό σύστημα .....	583
A.2.2. Μετατροπή αριθμού από το δεκαδικό στο δυαδικό σύστημα .....	583
A.2.2.1. Ακέραιοι.....	583
A.2.2.2. Κλάσματα.....	584
A.2.2.3. Πραγματικοί αριθμοί.....	585
A.2.3. Δυαδική αριθμητική .....	585
A.3. Οκταδικό σύστημα (Octal system).....	587
A.4. Δεκαεξαδικό σύστημα (Hexadenary ή Hexadecimal system).....	587

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **B**

### ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΤΙΣ ΒΑΣΕΙΣ 10, 8, 16, ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΟΥ 2 ΚΑΙ ΤΟΥ 16 ..... 591

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **Γ**

### ΕΝΤΟΛΕΣ ΤΟΥ MIPS32 ..... 595

Γ.1. Συμβολισμοί.....	595
Γ.2. Εντολές τοποθέτησης.....	595
Γ.3. Εντολές διαχείρισης σταθερών .....	596
Γ.4. Αριθμητικές εντολές .....	597
Γ.5. Εντολές μετακίνησης .....	598
Γ.6. Λογικές εντολές δυφίου-προς-δυφίο.....	598
Γ.7. Εντολές σύγκρισης.....	599
Γ.8. Εντολές διακλάδωσης .....	600
Γ.9. Εντολές κινητής υποδιαστολής.....	601
Γ.10. Άλλες εντολές .....	604

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **Δ**

<b>ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ 80x86 .....</b>	<b>605</b>
Δ.1. Ιστορική εξέλιξη .....	605
Δ.2. Μητρική κάρτα.....	609
Δ.2.1. Είδη μητρικών καρτών .....	611
Δ.2.2. Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας ή (Μικρο)επεξεργαστής.....	612
Δ.2.2.1. Είδη υποδοχών μητρικής κάρτας .....	613
Δ.2.3. Κρυφή μνήμη .....	613
Δ.2.4. Ελεγκτές .....	614
Δ.2.5. Λεωφόροι .....	614
Δ.2.5.1. Είδη λεωφόρων μικροϋπολογιστών .....	615
Δ.2.5.2. Πρότυπα Λεωφόρων (Bus Standards) .....	616
Δ.2.6. Κάρτες επέκτασης .....	617
Δ.2.7. Βασικό Σύστημα Εισόδου/Εξόδου .....	621
Δ.2.8. Θύρες επικοινωνίας.....	622
Δ.2.8.1. Πρότυπο διεπαφής ATA .....	623
Δ.2.8.2. Πρότυπο διεπαφής SCSI.....	625
Δ.3. Αρχιτεκτονική Pentium.....	626
Δ.3.1. Εντολές Κινητής Υποδιαστολής.....	631
Δ.4. Κατάταξη των εντολών των μελών της οικογένειας 80x86 .....	633
Δ.4.1. Εντολές του 80286 που δεν υπάρχουν στον 8086 .....	633
Δ.4.2. Εντολές του 80386 που δεν υπάρχουν στον 80286 .....	633
Δ.4.3. Εντολές του 80486 που δεν υπάρχουν στον 80386 .....	633

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **Ε**

<b>ΒΑΣΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ 80X86 .....</b>	<b>635</b>
E.1. MASM.....	635
E.1.1. Ορισμοί σταθερών.....	635
E.1.2. Ορισμοί άλλων δομημένων τύπων .....	639
E.1.3. Δηλώσεις μεταβλητών των δομημένων τύπων STRUC και REC....	641
E.1.4. Τελεστές και παραστάσεις.....	644
E.1.5. Ψευδοεντολές ορισμού καθολικών ονομάτων .....	651
E.1.6. Μακροψευδοεντολές.....	654
E.1.6.1. Μακροτελεστές.....	660

E.1.7. Υπό συνθήκη ψευδοεντολές.....	662
E.1.7.1. Ψευδοεντολές συμβολομετάφρασης υπό συνθήκη.....	662
E.1.7.2. Ψευδοεντολές σφαλμάτων υπό συνθήκη.....	665
E.1.8. Άλλες ψευδοεντολές.....	666
E.2. LINK.....	668
E.2.1. Τύποι για χρήση του LINK.....	669
E.2.2. Ψευδοεντολές για χρήση του LINK.....	673
E.2.3. Λειτουργία του LINK.....	676
E.2.4. Αρχεία .COM και .EXE.....	678
E.3. SYMDEB.....	682
E.4. LIB.....	690
E.5. MAKE.....	693
E.5.1. Δημιουργία ενός αρχείου περιγραφών.....	694
E.5.2. Μακροεντολές.....	696
E.5.3. Συμπερασματικοί Κανόνες.....	698
<b>ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>701</b>
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 1.1.....	701
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 2.1.....	705
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 2.2.....	706
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 2.3.....	708
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 2.4.....	709
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 3.1.....	711
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 3.2.....	724
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 4.1.....	740
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 5.1.....	741
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ 7.1.....	744
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>743</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ.....</b>	<b>747</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ, ΜΙΚΡΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Η μονάδα ελέγχου συγχρονίζει και ελέγχει τις υπόλοιπες μονάδες του συστήματος του υπολογιστή. Παράγει *σήματα χρονισμού* (*timing signals* ή *clock signals*), που ελέγχουν την ακολουθία των γεγονότων του υπολογιστή, την αποκωδικοποίηση των εντολών, την εκτέλεση των αριθμητικών πράξεων που χρειάζονται για τον προσδιορισμό της τελικής διεύθυνσης της μνήμης, τη μεταφορά των δεδομένων από και προς τη μνήμη και, τέλος, το ξεκίνημα των περιφερειακών συσκευών.

### 4.1. Φυσικά χαρακτηριστικά της μονάδας ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου περιέχει δύο καταχωρητές:

- i) Το **Μετρητή του Προγράμματος (Program Counter, PC)**, που είναι γνωστός και ως *μετρητής εντολών* (*instruction counter*) ή *μετρητής ελέγχου* (*control counter*) ή *δείκτης ελέγχου* (*control pointer*) ή *δείκτης εντολών* (*instruction pointer*). Ο καταχωρητής αυτός περιέχει πάντα τη διεύθυνση της επόμενης εντολής, δηλαδή της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί.

Όταν  $2^n$  είναι το μέγιστο πλήθος των θέσεων της μνήμης που είναι δυνατό να προσπελαστούν με δεδομένα τα περιεχόμενα των καταχωρητών βάσης, τότε το μήκος του μετρητή του προγράμματος είναι ίσο με  $n$  ( $n = 16$  στον απλό υπολογιστή). Τα περιεχόμενα του μετρητή του προγράμματος μπορούν να αλλάξουν από τον προγραμματιστή (μ' εντολές διακλάδωσης για παράδειγμα).

ii) Τον **Καταχωρητή των Εντολών (Instruction Register, IR)**, που είναι γνωστός και ως *καταχωρητής ελέγχου (control register)*. Ο καταχωρητής αυτός περιέχει την εντολή που εκτελείται, δηλαδή την “τρέχουσα εντολή” (current instruction). Το μήκος του καταχωρητή των εντολών είναι ίσο με το μήκος της μακρύτερης εντολής του υπολογιστή. Τα περιεχόμενα του καταχωρητή αυτού δεν μπορούν να αλλάξουν από τον προγραμματιστή.

Η μονάδα ελέγχου περιέχει επίσης:

iii) Τον **Αποκωδικοποιητή των Εντολών (Instruction Decoder)**, που χρησιμοποιείται για την αποκωδικοποίηση του *τελεστικού κώδικα* της εντολής, η οποία βρίσκεται στον καταχωρητή IR.

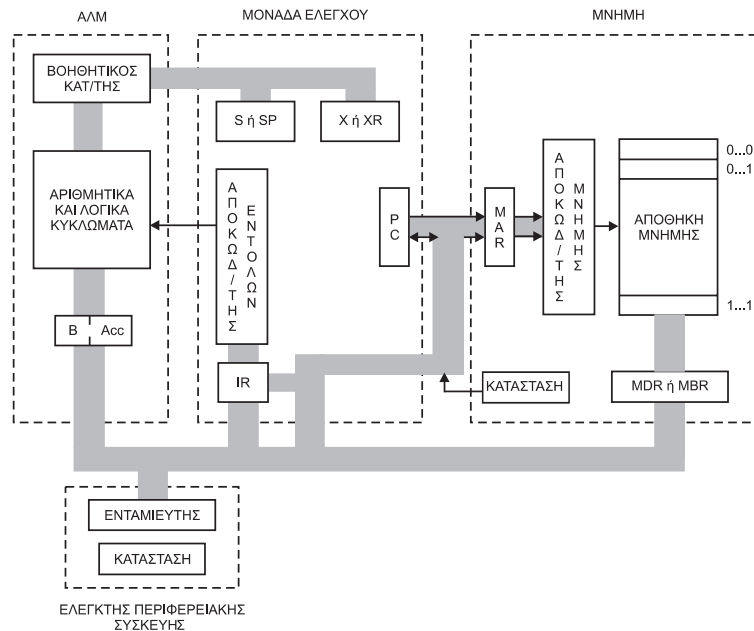
#### 4.1.1. Εσωτερικές Λεωφόροι

Οι μεταφορές των δεδομένων και των διευθύνσεων μεταξύ των καταχωρητών ενός συστήματος υπολογιστή γίνεται μέσω *λεωφόρων, διαδρόμων ή αρτηριών (buses ή highways)*, που είναι απλώς ομάδες αγωγών (συρμάτων ή, στην περίπτωση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, τυποποιημένων ιχνών). Σε μία μηχανή που έχει μήκος λέξης 16 δυφίων, οι λεωφόροι αποτελούνται από 16 αγωγούς. Οι λεωφόροι χρησιμοποιούνται γιατί η παράλληλη μεταφορά όλων των δυφίων ενός καταχωρητή είναι πολύ ταχύτερη από τη σειριακή μεταφορά δυφίου προς δυφίο.

Στα σχήματα του κεφαλαίου αυτού, οι λεωφόροι παριστάνονται συνήθως με γραμμοσκιάσεις. Τα σχήματα αυτά είναι ελλιπή (λείπουν όλες οι γραμμές ελέγχου, όπως επίσης και μερικές λεωφόροι). Ένα τυπικό σύστημα υπολογιστών αποτελείται από έναν ή περισσότερους επεξεργαστές, από την κύρια (και την κρυφή) μνήμη και από ελεγκτές συσκευών εισόδου/εξόδου. Οι καταχωρητές όλων των μονάδων αυτών συνδέονται μεταξύ τους μέσω μίας ή περισσότερων λεωφόρων.

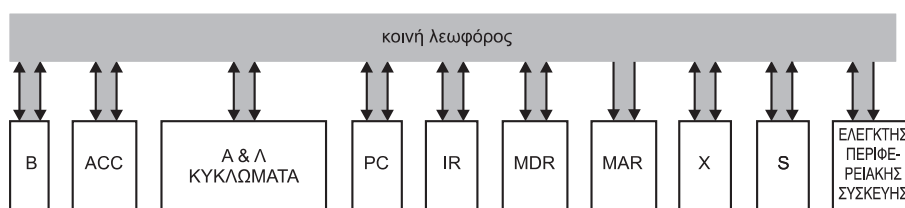
Το Σχήμα 4.1 δείχνει μία μέση λύση μεταξύ των συστημάτων όπου κάθε καταχωρητής είναι συνδεδεμένος με όλους τους άλλους και των συστημάτων όπου όλοι οι καταχωρητές είναι συνδεδεμένοι στην ίδια λεωφόρο. Σε συστήματα όπου κάθε καταχωρητής είναι συνδεδεμένος με κάθε άλλο (point-to-point bus systems), κάθε μεταφορά γίνεται σε διαφορετική λεωφόρο. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι οι μεταφορές μπορούν να γίνουν παράλληλα, δηλαδή η ΚΜΕ είναι πολύ γρήγορη. Το μειονέκτημα είναι ότι χρειάζονται τόσες λεωφόροι όσοι είναι οι συνδυασμοί των καταχωρητών, δηλαδή η ΚΜΕ είναι όχι μόνο σύνθετη, αλλά και ακριβή. Επιπλέον ορισμένες μεταφορές δεν μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα.





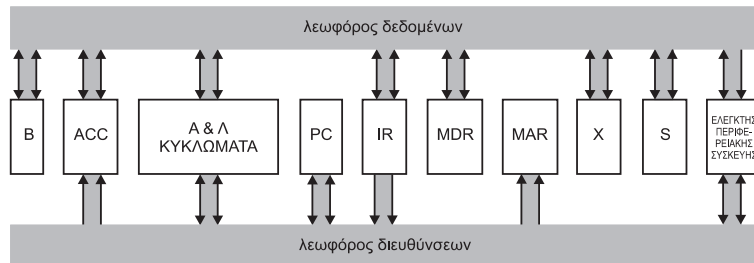
Σχήμα 4.1. Διάγραμμα δομής ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Στα συστήματα όπου οι καταχωρητές είναι συνδεδεμένοι με την ίδια λεωφόρο (common bus systems, βλ. Σχ. 4.2), όλες οι μεταφορές γίνονται μέσω της λεωφόρου αυτής. Έτσι, παρόλο που τα συστήματα αυτά είναι φθηνότερα, δεν επιτρέπουν την παράλληλη μεταφορά των δεδομένων ή των διευθύνσεων.



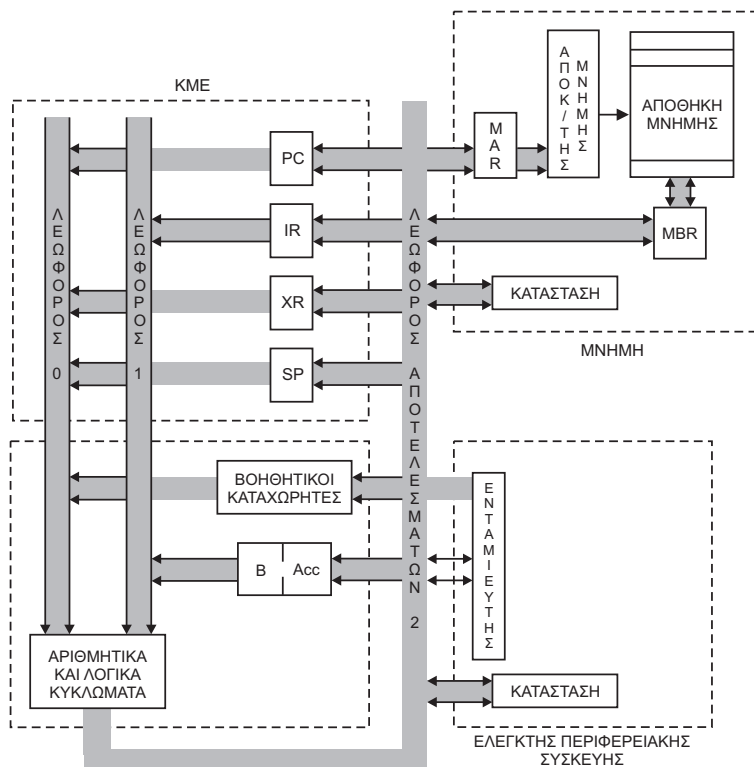
Σχήμα 4.2. Διάγραμμα συστήματος κοινής λεωφόρου.

Σήμερα η πιο συνηθισμένη μορφή ΚΜΕ είναι τα *συστήματα των πολλών λεωφόρων* (multiple bus systems), όπου καταχωρητές χωρίζονται σε ομάδες συνδεδεμένες με μία ή περισσότερες λεωφόρους. Οι λεωφόροι αυτές μπορεί να είναι *λεωφόροι δεδομένων* (data buses) ή *λεωφόροι διευθύνσεων* (address buses). Το Σχήμα 4.3 παριστάνει το διάγραμμα ενός συστήματος με δύο λεωφόρους.



**Σχήμα 4.3.** Διάγραμμα συστήματος δύο λεωφόρων.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.4, δύο λεωφόροι παρέχουν τις εισόδους των Αριθμητικών και Λογικών Κυκλωμάτων. Η έξοδος των κυκλωμάτων αυτών είναι συνδεδεμένη με μία τρίτη λεωφόρο έτσι ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να αποθηκευτούν στους διάφορους καταχωρητές.



**Σχήμα 4.4.** Διάγραμμα ενός απλού συστήματος με τρεις λεωφόρους.

Σε όλα τα παραπάνω διαγράμματα η ροή των δεδομένων ή των διευθύνσεων επιτυγχάνεται με τα σήματα που παράγει η μονάδα ελέγχου (σήματα ελέγχου). Αυτά επιτρέπουν το “άνοιγμα” των καταχωρητών προς ή από τις λεωφόρους (μέσω κυκλωμάτων που ονομάζονται “πύλες” (gates) και που θα περιγραφούν στο Κεφάλαιο 4.4).

## 4.2. Μορφότυπο και κωδικοποίηση εντολών

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη για το σχεδιασμό του μορφοτύπου των εντολών (*instruction format*) ενός υπολογιστή. Το πρώτο αφορά στο μήκος των εντολών. Οι εντολές μικρού μήκους είναι προτιμότερες από τις εντολές μεγάλου μήκους, γιατί οι πρώτες σπαταλούν λιγότερο χώρο της μνήμης απ’ ό,τι οι δεύτερες. Επιπλέον, αν η ταχύτητα μεταφοράς μίας μνήμης είναι  $t$  bps και το μέσο μήκος των εντολών  $l$  bit, τότε η ΚΜΕ είναι δυνατό να ανακαλέσει το πολύ  $t/l$  εντολές ανά δευτερόλεπτο. Κατά συνέπεια, η ταχύτητα της ΚΜΕ εξαρτάται από το μήκος των εντολών, γιατί συνήθως ο (μέσος) χρόνος εκτέλεσης των εντολών είναι μικρότερος από το χρόνο που απαιτείται για την ανάκλησή τους. Έτσι, η μνήμη αποτελεί συχνά το σημείο συνωστισμού ή συμφόρησης (μποτιλιάρισμα, *bottleneck*) του όλου συστήματος. Το δεύτερο κριτήριο αφορά στο γεγονός ότι το μήκος κάθε εντολής πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να είναι δυνατό να χωρέσει όλα τα πεδία που απαιτούνται γι’ αυτήν.

Το γενικό μορφότυπο των εντολών ενός υπολογιστή είναι:

O	M	A1	A2
---	---	----	----

Το πεδίο κώδικα της εντολής O προσδιορίζει την εντολή που θα εκτελεστεί. Αν το πεδίο αυτό καταλαμβάνει  $k$  δυφία, τότε ο υπολογιστής είναι δυνατό να έχει μέχρι  $2^k$  διαφορετικές εντολές. Το πεδίο καθορισμού της διεύθυνσης M προσδιορίζει τον τρόπο που καθορίζεται η τελική αναφορά της διεύθυνσης. Αν το πεδίο αυτό καταλαμβάνει  $m$  δυφία, τότε ο υπολογιστής είναι δυνατό να έχει μέχρι  $2^m$  διαφορετικούς τρόπους προσδιορισμού της τελικής διεύθυνσης. Τα πεδία διευθύνσεων A1, A2 προσδιορίζουν:

- τη διεύθυνση ενός καταχωρητή γενικού σκοπού ή
- τη διεύθυνση ενός καταχωρητή δείκτη ή
- το δεδομένο (κυριολεκτική αναφορά) ή
- μία διεύθυνση της μνήμης, που είναι:

- η διεύθυνση του δεδομένου ή του αποτελέσματος (άμεση αναφορά) ή
- η διεύθυνση της διεύθυνσης του δεδομένου ή του αποτελέσματος (έμμεση αναφορά ενός επιπέδου) ή
- η διεύθυνση της διεύθυνσης ... της διεύθυνσης του δεδομένου ή του αποτελέσματος (έμμεση αναφορά πολλών επιπέδων)

κ.ο.κ.

Αν το πεδίο διεύθυνσης καταλαμβάνει  $\alpha$  δυφία, τότε είναι δυνατόν να προσδιοριστούν μέχρι  $2^\alpha$  διαφορετικές διευθύνσεις. Έτσι, το μήκος των εντολών εξαρτάται από τα  $\kappa$ ,  $m$ ,  $\alpha$ , ενώ το μήκος των λέξεων της μνήμης εξαρτάται από το μήκος των εντολών και από το πλήθος των δυφίων που χρησιμοποιούνται για την εσωτερική παράσταση των δεδομένων. Το μήκος της λέξης μίας μηχανής είναι άκρως επιθυμητό να είναι πολλαπλάσιο του μήκους που χρησιμοποιείται για την εσωτερική παράσταση των χαρακτήρων στη μηχανή αυτή [Γιατί;].

Επειδή το πλήθος των δυφίων που μπορούν να αποθηκευτούν στις θέσεις της μνήμης διαφέρει από υπολογιστή σε υπολογιστή και επειδή το μήκος των εντολών διαφέρει επίσης από υπολογιστή σε υπολογιστή, οι θέσεις της μνήμης των υπολογιστών μπορούν να αποθηκεύσουν διαφορετικό πλήθος εντολών. Έτσι, οι υπολογιστές των σειρών 5000 της Burroughs και CYBER της Control Data μπορούσαν να αποθηκεύσουν τέσσερις εντολές ανά λέξη, ενώ οι περισσότεροι μεσαίοι υπολογιστές μία εντολή ανά λέξη. Οι περισσότεροι μικροϋπολογιστές χρειαζόνταν και εξακολουθούν να χρειάζονται να αποθηκεύουν τις εντολές σε περισσότερες από μία δυφιοσυλλαβές, βλ. Κεφ 4.9.1). Οι εντολές αυτές ονομάζονται *εντολές πολλαπλού μήκους (multiple length instructions*, βλ. και Κεφ. 3.11.5).

Τέλος, το μήκος των εντολών ενός υπολογιστή μπορεί να διαφέρει και μέσα στον ίδιο υπολογιστή. Έτσι, στους υπολογιστές της σειράς 370 της IBM, υπήρχαν εντολές που είχαν μήκη 16, 32 και 48 δυφία. Εντολές της μορφής αυτής ονομάζονται *εντολές μεταβλητού μήκους (variable length instructions)*.

Με το παραπάνω μορφότυπο μπορούν να παρασταθούν  $2^k$  εντολές δύο (ή μίας και μισής) διευθύνσεων ή εντολές καταχωρητή-καταχωρητή. Αν ένας από τους  $2^k$  κώδικες (έστω ο  $11 \dots 1$ ) χρησιμοποιηθεί ως **κώδικας διαφυγής (escape code)**, τότε η πρώτη διεύθυνση A1 είναι δυνατό να θεωρηθεί ως μέρος του κώδικα της εντολής. Έτσι, είναι δυνατό να έχουμε  $2^k - 1$  εντολές δύο (ή μίας και μισής) διευθύνσεων και  $2^{\alpha 1}$  εντολές μίας διεύθυνσης. Ο κώδικας μίας από τις εντολές μίας διεύθυνσης είναι δυνατό επίσης να χρησιμοποιηθεί ως κώδικας διαφυγής, δίνοντάς μας έτσι ακόμη  $2^{\alpha 2}$  ε-

ντολές μηδέν διευθύνσεων [συνολικά θα έχουμε  $2^k - 1$  εντολές δύο (ή μίας και μισής) διευθύνσεων (ή καταχωρητή-καταχωρητή),  $2^{\alpha_1} - 1$  εντολές μίας διεύθυνσης (ή εντολές που δεν αναφέρονται στη μνήμη) και  $2^{\alpha_2}$  εντολές μηδέν διευθύνσεων]. Οι κώδικες εντολών που μπορούν να επεκταθούν με αυτόν τον τρόπο, ονομάζονται **επεκτεινόμενοι τελεστικοί κώδικες (expanding opcodes)** και είναι πολύ συνηθισμένοι στους σύγχρονους μικροϋπολογιστές.

Η εντολή που εκτελείται κάποια χρονική στιγμή από την ΚΜΕ είναι η δυαδική ακολουθία που βρίσκεται στον καταχωρητή των εντολών IR. Ο αποκωδικοποιητής της μονάδας ελέγχου αποκωδικοποιεί τον τελεστικό κώδικα της εντολής, επιτρέποντας έτσι τις κατάλληλες μεταφορές των δεδομένων ή/και των διευθύνσεων. Η κωδικοποίηση των εντολών πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η εύκολη αποκωδικοποίησή τους.

Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι ένας υπολογιστής έχει μήκος λέξης 16 δυφίων και λιγότερες από 16 εντολές αναφοράς στη μνήμη. Τέσσερα δυφία μπορούν να κωδικοποιήσουν 15 από αυτές τις εντολές και έναν κώδικα διαφυγής, ο οποίος δείχνει ότι η εντολή δεν αναφέρεται στη μνήμη. Οι εντολές που αναφέρονται στη μνήμη μπορούν να χωριστούν σε ομάδες ως εξής:

- α) αν το σημαντικότερο δυφίο του κώδικα της εντολής είναι 0, τότε η εντολή είναι αριθμητική ή λογική, δηλαδή χρησιμοποιεί την ΑΛΜ, ενώ
- β) αν το σημαντικότερο δυφίο του κώδικα της εντολής είναι 1, τότε η εντολή είναι εντολή διακλάδωσης, δηλαδή μεταβάλλει τα περιεχόμενα του PC.

Μέσα στις ομάδες αυτές είναι δυνατό να υπάρχουν άλλες υποομάδες. Έτσι, στο β) παραπάνω, αν τα πρώτα δύο δυφία είναι 10, τότε η εντολή είναι άμεσου άλματος, ενώ, αν είναι 11, τότε χρειάζεται να διαβαστεί η μνήμη για να φορτωθεί ο PC (έμμεσο άλμα).

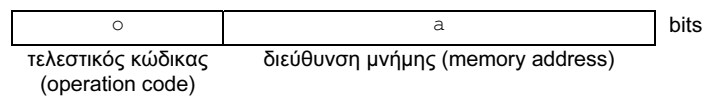
Αν τα τέσσερα πρώτα δυφία του κώδικα της εντολής είναι όλα μονάδες, τότε ο αποκωδικοποιητής θεωρεί ότι οι εντολές δεν αναφέρονται στη μνήμη. Οι εντολές αυτές μπορούν να διαιρεθούν σε εντολές εισόδου/εξόδου κ.ά. Η διαίρεση αυτή χρειάζεται ένα ακόμη δυφίο της εντολής. Έτσι, αν τα πρώτα πέντε δυφία της εντολής είναι 11111, τότε η εντολή είναι εισόδου/εξόδου, ενώ αν είναι 11110, τότε η εντολή δεν είναι εισόδου/εξόδου και δεν αναφέρεται στη μνήμη. Από τις εντολές αυτές οι σπουδαιότερες είναι οι πέντε βασικές εντολές μετατόπισης. Οι εντολές αυτές μπορούν να κωδικοποιηθούν στα επόμενα τρία δυφία, αφήνοντας δύο αχρησιμοποίητους κώδικες και έναν κώδικα διαφυγής για τις εντολές μηδέν διευθύνσεων.

Η κωδικοποίηση των εντολών μετατόπισης είναι δυνατό επίσης να γίνει συστηματικά. Ένα από τα τρία δυφία μπορεί να προσδιορίσει τη μορφή τής μετατόπισης (γραμμική ή κυκλική), το δεύτερο τη φορά της (αριστερά ή δεξιά) και το τρίτο το αν η μετατόπιση είναι λογική ή αριθμητική. Αυτού του είδους η κωδικοποίηση ονομάζεται *δυφίων-σημαντική (bit-significant)* και, ενώ δεν είναι πολύ οικονομική σε δυφία, είναι ευκολονόητη από τους ανθρώπους και αποκωδικοποιείται εύκολα από το υλισμικό. Χρησιμοποιείται συχνά στον καταχωρητή των συνθηκών και στους καταχωρητές κατάστασης των περιφερειακών συσκευών.

Η κωδικοποίηση των εντολών των σύγχρονων υπολογιστών δεν είναι τόσο μεθοδευμένη όσο ήταν εκείνη των παλαιότερων (βλ., για παράδειγμα, το Κεφ. 4.9.1). Αυτό οφείλεται στο ότι τα σύγχρονα ολοκληρωμένα κυκλώματα μπορούν να αποκωδικοποιήσουν όλους τους συνδυασμούς  $N$  δυφίων, ενώ αυτό στοίχιζε ακριβά στις παλαιότερες τεχνολογίες. Έτσι, σήμερα, ακόμη και αν δεν χρειάζονται και οι 16 γραμμές εξόδου ενός αποκωδικοποιητή 4 δυφίων, ο αποκωδικοποιητής αυτός θα χρησιμοποιηθεί ούτως ή άλλως, γιατί είναι ένα τυποποιημένο (standard) ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Ο τρόπος με τον οποίον δομείται μία εντολή ονομάζεται **μορφότυπο (format)** της εντολής. Με άλλα λόγια, το μορφότυπο μιας εντολής καθορίζει τα πεδία (fields) της, καθένα από τα οποία αποτελεί ουσιαστικά ένα δυαδικό αριθμό. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, για λόγους απλότητας του υλισμικού, είναι επιθυμητό να έχουν όλες οι εντολές ενός υπολογιστή το ίδιο μήκος και το ίδιο (ένα) μορφότυπο.

Ας υποθέσουμε ότι το μορφότυπο μίας εντολής μίας διεύθυνσης μήκους  $(o + a)$  δυφίων έχει πεδίο τελεστικού κώδικα μήκους  $o$  δυφίων και πεδίο διεύθυνσης  $a$  δυφίων.

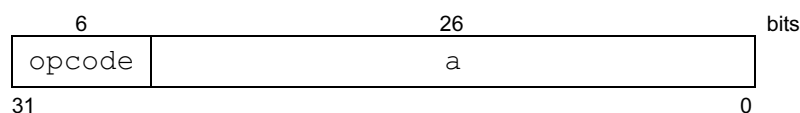


Ένα τέτοιο μορφότυπο επιτρέπει  $2^o$  διαφορετικές εντολές και  $2^a$  διευθύνσεις κυττάρων της μνήμης. Αν το μορφότυπο είχε πεδίο τελεστικού κώδικα μήκους  $o-1$  δυφίων και πεδίο διεύθυνσης μήκους  $a+1$  δυφίων, τότε θα μπορούσε να εκφράσει μόνο τις μισές εντολές, αλλά θα μπορούσε να αναφερθεί σε διπλάσιο πλήθος διευθύνσεων της μνήμης. Αντίθετα, αν το μορφότυπο είχε πεδίο τελεστικού κώδικα μήκους  $o+1$  δυφίων και πεδίο διεύθυνσης  $a-1$  δυφίων, τότε θα μπορούσε να εκφράσει τις διπλές εντολές και να προσπελάσει το μισό πλήθος διευθύνσεων.

### 4.2.1. Μορφότυπα και κωδικοποίηση των εντολών του MIPS32

Είναι φανερό ότι πρέπει να υπάρχει ένας συμβιβασμός μεταξύ της επιλογής του μήκους και των δυνατών μορφοτύπων των εντολών ενός υπολογιστή. Έτσι οι σχεδιαστές του MIPS32 αποφάσισαν να έχουν όλες οι εντολές του το ίδιο μήκος –και αυτό να είναι ίσο με το μήκος της λέξης του, δηλαδή 32 bits–, και να υπάρχουν μόνο τρία μορφότυπα: το μορφότυπο (τύπου) *J*, το μορφότυπο (τύπου) *R* και το μορφότυπο (τύπου) *I*. Κάθε εντολή (πρέπει να) ανήκει σε ένα από αυτά τα μορφότυπα. Το μορφότυπο κάθε εντολής εξαρτάται ουσιαστικά από τους τύπους των τελεστών της.

Οι εντολές του μορφότυπου (τύπου άλματος) **J (J-type ή J-format)** περιέχουν τα εξής πεδία:

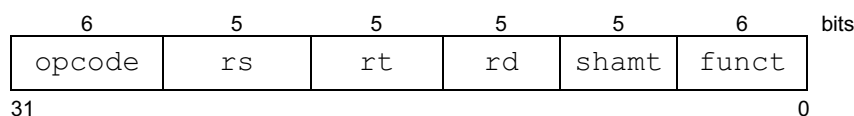


όπου:

opcode    ο τελεστικός κώδικας της εντολής και  
a            μία διεύθυνση.

Μόνο δύο εντολές του MIPS32 είναι τύπου *J*. Πρόκειται για της εντολές *άλματος χωρίς συνθήκη j* και *jal*. Χαρακτηριστικό των εντολών αυτών είναι ότι έχουν έναν και μοναδικό τελεστέο: μία διεύθυνση της μνήμης. Στο Κεφάλαιο 2.3. περιγράψαμε αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίον υπολογίζεται η τελική διεύθυνση στην περίπτωση αυτήν.

Οι εντολές του μορφότυπου (τύπου καταχωρητή) **R (R-type ή R-format)** περιέχουν τα εξής πεδία:



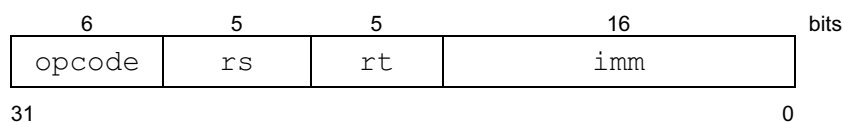
όπου:

opcode    ο τελεστικός κώδικας της εντολής,  
rs          η διεύθυνση του πρώτου καταχωρητή πηγής,  
rt          η διεύθυνση του δεύτερου καταχωρητή πηγής,

rd	η διεύθυνση του καταχωρητή προορισμού,
shamt	η σταθερά της μετατόπισης ή μηδέν και
funct	ο κώδικας λειτουργίας ( <i>function code</i> ), ο οποίος προσδιορίζει, σε συνδυασμό με τον τελεστικό κώδικα της εντολής, τη λειτουργία που πρέπει να εκτελεστεί.

Το συγκεκριμένο μορφότυπο το χρησιμοποιούν εντολές που δε χρειάζονται σταθερές τιμές και δεν αναφέρονται στη μνήμη. Τέτοιες εντολές στον MIPS32 περιλαμβάνουν τις λογικές και αριθμητικές εντολές, με όλες τους τελεστές τους σε καταχωρητές, τις εντολές μετατόπισης και τις εντολές άλματος μέσω καταχωρητή.

Όλες οι υπόλοιπες εντολές του MIPS32 είναι **μορφότυπου (τύπου) I (I-type ή I-format)**, περιέχουν δηλαδή τα εξής πεδία:



όπου:

opcode	ο τελεστικός κώδικας της εντολής,
rs	η διεύθυνση ενός καταχωρητή πηγής,
rt	η διεύθυνση ενός καταχωρητή προορισμού και
imm	ένας άμεσος τελεστέος ή μια απόσταση από την αρχή ( <i>offset</i> ).

Όλες οι εντολές που χρησιμοποιούν άμεσο τελεστέο, οι εντολές διακλάδωσης υπό συνθήκη και οι εντολές τοποθέτησης ανήκουν στην ομάδα αυτήν. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των εντολών άλματος υπό συνθήκη σε σχέση με το μηδέν, το πεδίο *rt* προσδιορίζει τη συνθήκη, ενώ στην περίπτωση των εντολών *beq* και *bne* το πεδίο *rs* προσδιορίζει τη συνθήκη.

Παρόλο που η ύπαρξη περισσότερων του ενός μορφοτύπων περιπλέκει το σχεδιασμό του υλισμικού, μπορούμε να μειώσουμε την πολυπλοκότητά του με το να έχουμε παρόμοια μορφότυπα. Παρατηρήστε, για παράδειγμα, ότι το πρώτο πεδίο όλων των παραπάνω μορφοτύπων έχει το ίδιο μήκος, ενώ το ίδιο μήκος και τα ίδια ονόματα έχουν και τα πρώτα τρία πεδία των μορφοτύπων R και I. Επίσης το τέταρτο πεδίο του μορφοτύπου I έχει το ίδιο μήκος με τα τρία τελευταία πεδία του μορφοτύπου R.



μήκος πεδίου	6	5	5	5	5	6	bits	
<b>μορφότυπο J</b>	opcode	διεύθυνση στόχου						
<b>μορφότυπο R</b>	opcode	rs	rt	rd	shamt	funct		
<b>μορφότυπο I</b>	opcode	rs	rt	σταθερά ή διεύθυνση				
	31					0		

Άσχετα με τα όσα αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3, η εικονική μηχανή του MIPS32 παρέχει μόνο τους παρακάτω πέντε διαφορετικούς τρόπους διευθυνσιοδότησης<sup>1</sup>:

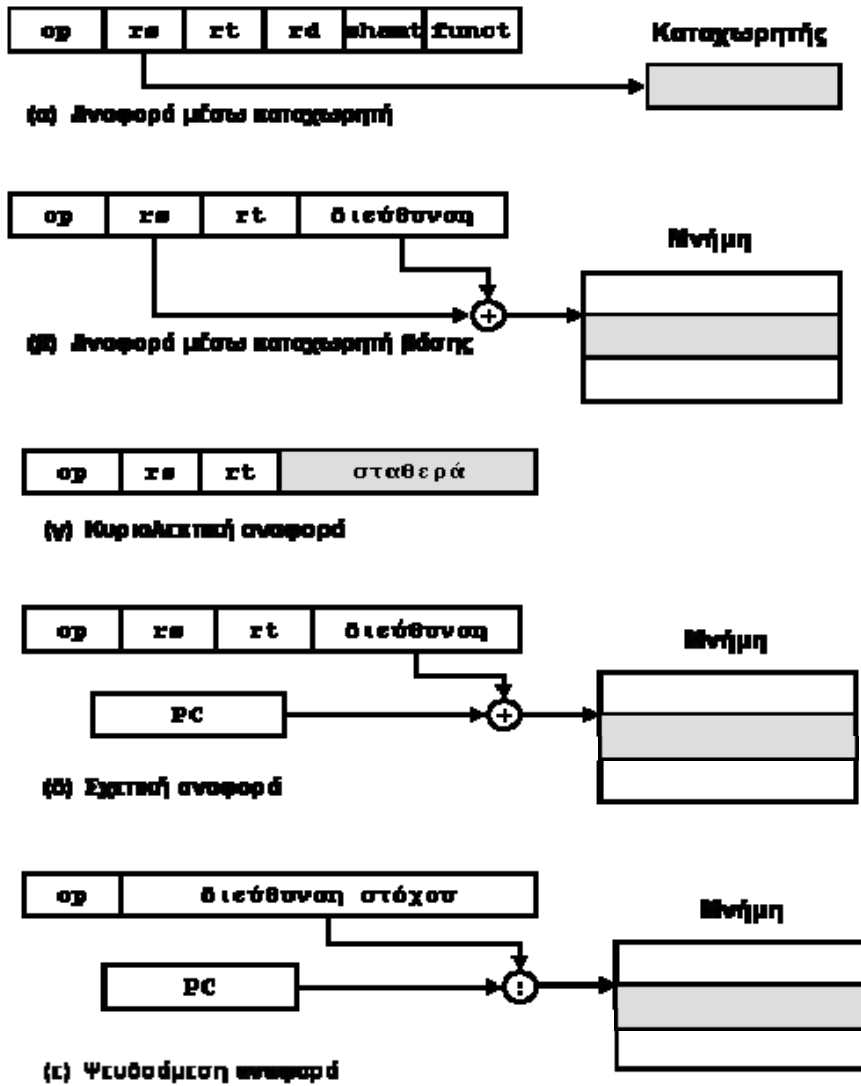
1. *Αναφορά μέσω καταχωρητή*, όπου ο τελεστέος είναι τα περιεχόμενα ενός καταχωρητή που προσδιορίζεται από την εντολή
2. *Αναφορά μέσω καταχωρητή βάσης ή δείκτη*, όπου ο τελεστέος βρίσκεται στη θέση της μνήμης που έχει διεύθυνση ίση με το άθροισμα των περιεχομένων ενός καταχωρητή και μιας σταθεράς που προσδιορίζονται μέσα στην εντολή
3. *Κυριολεκτική αναφορά*, όπου ο τελεστέος είναι μία σταθερά που προσδιορίζεται μέσα στην ίδια την εντολή
4. *Σχετική αναφορά ως προς τον PC*, όπου ο τελεστέος είναι η διεύθυνση που καθορίζεται από το άθροισμα των περιεχομένων του μετρητή του προγράμματος και της σταθεράς που προσδιορίζεται μέσα στην εντολή και
5. *Ψευδοάμεση αναφορά*, όπου η διεύθυνση του άλματος καθορίζεται επισυνάπτοντας τα τέσσερα ανώτερα δυφία του PC με την 26 δυφίων διεύθυνση που προσδιορίζεται μέσα στην εντολή και με δύο ακόμα μηδενικά.

Το υλισμικό μπορεί να προσδιορίσει το μορφότυπο μιας εντολής εξετάζοντας μόνο την τιμή που έχει το πεδίο `opcode`. Ο τελεστικός κώδικας των εντολών τύπου J είναι της μορφής  $00001x$ , των εντολών τύπου R ίσος με  $000000$  και των εντολών τύπου I οτιδήποτε εκτός από  $000000$ ,  $00001x$  και  $0100xx^2$ . Έτσι, με βάση το πεδίο του τελεστικού κώδικα, το υλισμικό μπορεί να αποφασίσει αν θα μεταχειριστεί το κατώτερο μισό της εντολής ως τρία διαφορετικά πεδία (μορφότυπο R), ως ένα πεδίο (μορφότυπο I) ή το υπόλοιπο της εντολής (πέραν του τελεστικού της κώδικα) ως ένα μόνο

<sup>1</sup> Η φυσική (πραγματική) μηχανή MIPS32 παρέχει μόνο την αναφορά μέσω καταχωρητή βάσης.

<sup>2</sup> Τελεστικό κώδικα αυτής της μορφής έχουν οι εντολές των συνεπεξεργαστών του MIPS32.

πεδίο (μορφότυπο J)-. Οι πίνακες 4.1 ως 4.3 δείχνουν την κωδικοποίηση των εντολών του MIPS32 που έχουμε περιγράψει στο Κεφάλαιο 2.



Σχήμα 4.5. Τρόποι διευθυνσιοδότησης στους MIPS32.

opcode (δυφία 31 30 29 28 27 26)	τελεστικός κώδικας	σχόλιο
0 0 0 0 0 0		κώδικας διαφυγής στις εντολές των οποίων ο τελεστικός κώδικας προσδιορίζεται πλήρως και από το πεδίο <i>funct</i> (δυφία 5 ως 0)
0 0 0 0 0 1		κώδικας διαφυγής στις εντολές των οποίων ο τελεστικός κώδικας προσδιορίζεται πλήρως και από το πεδίο <i>rt</i> (δυφία 20 ως 16)
0 0 0 0 1 0	j	άλμα
0 0 0 0 1 1	jal	κλήση υποπρογράμματος
0 0 0 1 0 0	beq	διακλάδωση αν ίσα
0 0 0 1 0 1	bne	διακλάδωση αν διάφορα
0 0 0 1 1 0	blez	διακλάδωση αν μικρότερο ή ίσο του μηδενός
0 0 0 1 1 1	bgtz	διακλάδωση αν μεγαλύτερο του μηδενός
0 0 1 0 0 0	addi	πρόσθεσε σταθερά (με έλεγχο υπερχειλίσης)
0 0 1 0 0 1	addiu	πρόσθεσε σταθερά (χωρίς έλεγχο υπερχειλίσης)
0 0 1 0 1 0	slti	σύγκρινε αν μικρότερα από σταθερά
0 0 1 0 1 1	sltiu	σύγκρινε αν μικρότερα από απρόσημη σταθερά
0 0 1 1 0 0	andi	σύζευξε λογικά με σταθερά
0 0 1 1 0 1	ori	διάζευξε λογικά με σταθερά
0 0 1 1 1 0	xori	αποκλειστική διάζευξη με σταθερά
0 0 1 1 1 1	lui	φόρτωσε το πάνω μισό με σταθερά
0 1 0 0 0 0		
0 1 0 0 0 1		κώδικες διαφυγής στις εντολές κινητής υποδιαστολής
0 1 0 0 1 0		
0 1 0 0 1 1		
. . . . .	...	...
1 0 0 0 0 0	lb	φόρτωσε δυφιοσυλλαβή
1 0 0 0 0 1	lh	φόρτωσε ημιλέξη
. . . . .	...	...
1 0 0 0 1 1	lw	φόρτωσε λέξη
1 0 0 1 0 0	lbu	φόρτωσε δυφιοσυλλαβή (χωρίς επέκταση προσήμου)
1 0 0 1 0 1	lhu	φόρτωσε ημιλέξη (χωρίς επέκταση προσήμου)
. . . . .	...	...
1 0 0 1 1 1		δεν ορίζεται
1 0 1 0 0 0	sb	αποθήκευσε δυφιοσυλλαβή
1 0 1 0 0 1	sh	αποθήκευσε ημιλέξη
. . . . .	...	...
1 0 1 0 1 1	sw	αποθήκευσε λέξη
. . . . .	...	...

Πίνακας 4.1. Κωδικοποίηση εντολών του MIPS32.

Είναι φανερό ότι οι εντολές του MIPS32 είναι σχετικά ορθογώνιες (βλ. Κεφ. 1.1.11), δίνουν, δηλαδή, στον προγραμματιστή τη δυνατότητα να αναμειγνύει σε αυτές καταχωρητές γενικού σκοπού χωρίς κανέναν απολύτως περιορισμό.

Παρατηρούμε, τέλος, ότι μερικές εντολές—όπως αυτή της οποίας η κωδικοποίηση αρχίζει με 17, και αυτές των οποίων η κωδικοποίηση αρχίζει με 00 και τελειώνει με 04, 14, ή 15 δεν υπάρχουν (δεν έχουν οριστεί). Οι εντολές αυτές ονομάζονται *παράνομες εντολές (illegal instructions)*. Τυχόν απόπειρα εκτέλεσης μίας από αυτές τις εντολές προξενεί μία *εξάιρεση* (βλ. Κεφ. 6.1).

<b>funct</b> <b>5 4 3 2 1 0</b>	<b>(δυφία</b>	<b>τελεστικός</b>	<b>σχόλιο</b>
	<b>κώδικας</b>		
0 0 0 0 0 0	sll	μετατόπισε λογικά προς τα αριστερά	κώδικας διαφυγής στις εντολές κινητής υποδιαστολής των οποίων ο τελεστικός κώδικας προσδιορίζεται πλήρως και από το πεδίο <i>funct</i> (δυφία 5 ως 0)
0 0 0 0 0 1			
0 0 0 0 1 0	srl	μετατόπισε λογικά προς τα δεξιά	μετατόπισε αριθμητικά προς τα δεξιά μετατόπισε λογικά προς τα αριστερά κατά μεταβλητό πλήθος δυφίων (το οποίο προσδιορίζεται μέσω καταχωρητή)
0 0 0 0 1 1	sra	μετατόπισε αριθμητικά προς τα δεξιά	
0 0 0 1 0 0	sllv	μετατόπισε λογικά προς τα αριστερά κατά μεταβλητό πλήθος δυφίων (το οποίο προσδιορίζεται μέσω καταχωρητή)	
0 0 0 1 0 1		δεν ορίζεται	μετατόπισε λογικά προς τα δεξιά κατά μεταβλητό πλήθος δυφίων (το οποίο προσδιορίζεται μέσω καταχωρητή)
0 0 0 1 1 0	srlv	μετατόπισε λογικά προς τα δεξιά κατά μεταβλητό πλήθος δυφίων (το οποίο προσδιορίζεται μέσω καταχωρητή)	
0 0 0 1 1 1	srav	μετατόπισε αριθμητικά προς τα δεξιά κατά μεταβλητό πλήθος δυφίων (το οποίο προσδιορίζεται μέσω καταχωρητή)	
0 0 1 0 0 0	jr	άλμα μέσω περιεχομένων καταχωρητή	άλμα μέσω περιεχομένων καταχωρητή και αποθήκευση του PC στον §31
0 0 1 0 0 1	jalr	άλμα μέσω περιεχομένων καταχωρητή	
. . . . .	...	...	...
0 0 1 1 0 0	syscall	κάλεσε το σύστημα	προκαλεί την εξαίρεση 9 (breakpoint, βλ. Κεφ. 6.9)
0 0 1 1 0 1	break	προκαλεί την εξαίρεση 9	
0 0 1 1 1 0		αόριστος τελεστικός κώδικας	συγχρονισμός μεριζόμενης μνήμης μετακίνησε στον καταχωρητή Hi μετακίνησε από τον καταχωρητή Hi μετακίνησε από τον καταχωρητή Lo μετακίνησε στον καταχωρητή Lo
0 0 1 1 1 1	sync	συγχρονισμός μεριζόμενης μνήμης	
0 1 0 0 0 0	mthi	μετακίνησε στον καταχωρητή Hi	
0 1 0 0 0 1	mfhi	μετακίνησε από τον καταχωρητή Hi	
0 1 0 0 1 0	mflo	μετακίνησε από τον καταχωρητή Lo	
0 1 0 0 1 1	mtlo	μετακίνησε στον καταχωρητή Lo	

. . . . .	...	...
0 1 1 0 0 0	mult	πολλαπλασίασε με υπερχείλιση
0 1 1 0 0 1	multu	πολλαπλασίασε χωρίς υπερχείλιση
0 1 1 0 1 0	div	διαίρεσε με υπερχείλιση
0 1 1 0 1 1	divu	διαίρεσε χωρίς υπερχείλιση
. . . . .	...	...
1 0 0 0 0 0	add	πρόσθεσε με υπερχείλιση
1 0 0 0 0 1	addu	πρόσθεσε χωρίς υπερχείλιση
1 0 0 0 1 0	sub	αφαίρεσε με υπερχείλιση
1 0 0 0 1 1	subu	αφαίρεσε χωρίς υπερχείλιση
1 0 0 1 0 0	and	σύζευξε λογικά
1 0 0 1 0 1	or	διάζευξε λογικά
1 0 0 1 1 0	xor	αποκλειστική διάζευξη
1 0 0 1 1 1	nor	αρνητική διάζευξη
1 0 1 0 0 0		δεν ορίζεται
1 0 1 0 0 1		δεν ορίζεται
1 0 1 0 1 0	slt	αποθήκευσε 1 αν μικρότερο (με επέκταση προσήμου)
1 0 1 0 1 1	sltu	αποθήκευσε 1 αν μικρότερο (χωρίς επέκταση προσήμου)
. . . . .	...	...

Πίνακας 4.2. Κωδικοποίηση εντολών του MIPS32 (συνέχεια).

rt (δυφία					τελεστικός	σχόλιο
20	19	18	17	16)	κώδικας	
0	0	0	0	0	bltz	διακλάδωση αν μικρότερο του μηδενός
0	0	0	0	1	bgez	διακλάδωση αν μεγαλύτερο ή ίσο του μηδενός
. . . . .					...	...
1	0	0	0	0	bltzal	διακλάδωση και αποθήκευση του PC στον \$31 αν μικρότερο του μηδενός
1	0	0	0	1	bgezal	διακλάδωση και αποθήκευση του PC στον \$31 αν μεγαλύτερο ή ίσο του μηδενός
. . . . .					...	...

Πίνακας 4.3. Κωδικοποίηση εντολών του MIPS32 (συνέχεια).