

# Περιεχόμενα

Πρόλογος	v
Περιεχόμενα	xvii
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Γλώσσες προγραμματισμού . . . . .	1
1.2 Μεταγλωττιστές . . . . .	2
1.3 Αναγκαιότητα και ιστορική αναδρομή . . . . .	4
1.4 Είδη μεταγλωττιστών και συναφή εργαλεία . . . . .	5
1.5 Κατασκευή ενός μεταγλωττιστή . . . . .	10
1.5.1 Ορισμός του προβλήματος . . . . .	10
1.5.2 Απαιτήσεις . . . . .	10
1.5.3 Φάσεις της μεταγλώττισης . . . . .	12
1.5.3.1 Λεκτική ανάλυση . . . . .	14
1.5.3.2 Συντακτική ανάλυση . . . . .	14
1.5.3.3 Σημασιολογική ανάλυση . . . . .	14
1.5.3.4 Παραγωγή ενδιάμεσου κώδικα . . . . .	15
1.5.3.5 Βελτιστοποίηση . . . . .	16
1.5.3.6 Παραγωγή τελικού κώδικα . . . . .	16
1.5.4 Επιλογές κατά την υλοποίηση . . . . .	16
1.5.4.1 Οργάνωση σε περάσματα . . . . .	17
1.5.4.2 Οργάνωση σε εμπρόσθιο και οπίσθιο τμήμα . . . . .	18
1.5.5 Έλεγχος ορθότητας . . . . .	19
1.5.6 Σφάλματα και ανάνηψη . . . . .	19
1.6 Ένας πειραματικός μεταγλωττιστής . . . . .	21
Ασκήσεις . . . . .	23
<b>2 Τυπικές γλώσσες</b>	<b>25</b>
2.1 Ορισμοί . . . . .	25
2.1.1 Γλώσσες . . . . .	26
2.2 Γεννητικά και αναγνωριστικά μοντέλα . . . . .	28
2.2.1 Γραμματικές . . . . .	28
2.2.2 Ιεραρχία Chomsky . . . . .	30

2.2.3	Αναγνωριστές . . . . .	30
2.3	Κανονικές γλώσσες . . . . .	32
2.3.1	Κανονικές εκφράσεις . . . . .	33
2.3.2	Πεπερασμένα αυτόματα . . . . .	34
2.3.2.1	Ντετερμινιστικά πεπερασμένα αυτόματα . . . . .	35
2.3.2.2	Μη-ντετερμινιστικά πεπερασμένα αυτόματα . . . . .	35
2.3.2.3	Μη-ντετερμινιστικά πεπερασμένα αυτόματα με μη- δενικές μεταβάσεις . . . . .	36
2.3.2.4	Τρόποι παράστασης πεπερασμένων αυτομάτων . . . . .	37
2.3.2.5	Καταστάσεις παγίδευσης . . . . .	39
2.3.2.6	Ισοδυναμία πεπερασμένων αυτομάτων . . . . .	39
2.3.2.7	Ελαχιστοποίηση ΝΠΑ . . . . .	40
2.3.3	Αναγωγές . . . . .	42
2.3.3.1	Αναγωγή κανονικής γραμματικής σε ΜΠΑ-ε . . . . .	43
2.3.3.2	Αναγωγή κανονικής έκφρασης σε ΜΠΑ-ε . . . . .	44
2.4	Γλώσσες χωρίς συμφραζόμενα . . . . .	47
2.4.1	Γραμματικές χωρίς συμφραζόμενα . . . . .	47
2.4.1.1	Ισοδύναμες γραμματικές . . . . .	49
2.4.1.2	Διφορούμενες γραμματικές . . . . .	49
2.4.1.3	Τρόποι παράστασης γραμματικών . . . . .	52
2.4.2	Αυτόματα στοίβας . . . . .	54
2.4.2.1	Τρόποι παράστασης αυτομάτων στοίβας . . . . .	56
2.4.2.2	Είδη αυτομάτων στοίβας . . . . .	59
2.4.3	Οι γλώσσες χωρίς συμφραζόμενα στην κατασκευή μεταγλωτ- τιστών . . . . .	60
2.5	Κατηγορικές γραμματικές . . . . .	61
2.5.1	Χρήση κατηγορικών γραμματικών . . . . .	62
2.5.2	Κατηγορικές γραμματικές και μεταγλωττιστές . . . . .	65
	Ασκήσεις . . . . .	65
<b>3</b>	<b>Λεκτική ανάλυση</b> . . . . .	<b>69</b>
3.1	Λεκτικές μονάδες . . . . .	69
3.2	Αναγνώριση λεκτικών μονάδων . . . . .	70
3.2.1	Μια γενική μέθοδος . . . . .	71
3.2.2	Μια ειδική μέθοδος με βάση τα διαγράμματα μετάβασης . . . . .	73
3.3	Ανάληψη από σφάλματα . . . . .	74
3.4	Σχεδίαση και υλοποίηση ενός λεκτικού αναλυτή με βάση τα διαγράμ- ματα μετάβασης . . . . .	76
3.4.1	Καταγραφή και ταξινόμηση των χαρακτήρων . . . . .	77
3.4.2	Καταγραφή και ταξινόμηση των λεκτικών μονάδων . . . . .	78
3.4.3	Ενδιάμεση μνήμη και ανάληψη από σφάλματα . . . . .	79
3.4.4	Σχεδίαση του διαγράμματος μετάβασης . . . . .	80
3.4.5	Υλοποίηση του λεκτικού αναλυτή . . . . .	81
3.5	Υλοποίηση ενός λεκτικού αναλυτή με το μεταεργαλείο flex . . . . .	84
3.5.1	Περιγραφή κανονικών εκφράσεων στο flex . . . . .	86

3.5.2	Ένα παράδειγμα χρήσης του flex . . . . .	86
3.5.3	Ορισμός αρχικών καταστάσεων . . . . .	89
3.5.4	Το περιβάλλον εκτέλεσης του flex . . . . .	90
	Ασκήσεις . . . . .	91
<b>4</b>	<b>Συντακτική ανάλυση</b>	<b>93</b>
4.1	Εισαγωγή . . . . .	93
4.1.1	Βοηθητικές έννοιες: FIRST και FOLLOW . . . . .	94
4.2	Συντακτικοί αναλυτές από πάνω προς τα κάτω . . . . .	97
4.2.1	Γραμματικές LL(1) . . . . .	98
4.2.1.1	Αντικατάσταση . . . . .	99
4.2.1.2	Αριστερή παραγοντοποίηση . . . . .	99
4.2.1.3	Απαλοιφή αριστερής αναδρομής . . . . .	100
4.2.2	Συντακτικοί αναλυτές αναδρομικής κατάβασης . . . . .	101
4.2.3	Συντακτικοί αναλυτές LL(1) . . . . .	103
4.2.3.1	Κατασκευή του πίνακα συντακτικής ανάλυσης LL(1) . . . . .	104
4.2.3.2	Λειτουργία συντακτικού αναλυτή LL(1) . . . . .	105
4.3	Συντακτικοί αναλυτές από κάτω προς τα πάνω . . . . .	106
4.3.1	Συντακτικοί αναλυτές LR( $k$ ) . . . . .	109
4.3.1.1	Λειτουργία συντακτικού αναλυτή LR(1) . . . . .	110
4.3.1.2	Κατασκευή των πινάκων ελέγχου LR(1) . . . . .	111
4.3.2	Συντακτικοί αναλυτές SLR(1) . . . . .	112
4.3.2.1	Στοιχεία . . . . .	112
4.3.2.2	Η συνάρτηση CLOSURE . . . . .	112
4.3.2.3	Η συνάρτηση GOTO . . . . .	113
4.3.2.4	Εύρεση του συνόλου καταστάσεων . . . . .	114
4.3.2.5	Κατασκευή των πινάκων ελέγχου SLR(1) . . . . .	115
4.3.3	Συντακτικοί αναλυτές LALR(1) με το μεταεργαλείο bison . . . . .	119
4.3.3.1	Περιγραφή κανόνων παραγωγής στο bison . . . . .	122
4.3.3.2	Επίλυση συγκρούσεων στο bison . . . . .	124
4.3.3.3	Χειρισμός συντακτικών σφαλμάτων στο bison . . . . .	125
4.3.3.4	Το περιβάλλον εκτέλεσης του bison . . . . .	125
4.4	Ανάνηψη από σφάλματα . . . . .	126
4.4.1	Στρατηγικές για ανάνηψη από σφάλματα . . . . .	127
4.4.2	Ανάνηψη από σφάλματα σε συντακτικό αναλυτή LL(1) . . . . .	129
4.4.3	Ανάνηψη από σφάλματα σε συντακτικό αναλυτή LR(1) . . . . .	130
	Ασκήσεις . . . . .	131
<b>5</b>	<b>Πίνακες συμβόλων</b>	<b>137</b>
5.1	Εισαγωγή . . . . .	137
5.2	Χαρακτηριστικά των ονομάτων . . . . .	138
5.3	Περιεχόμενα του πίνακα συμβόλων . . . . .	140
5.4	Οργάνωση του πίνακα συμβόλων . . . . .	141
5.4.1	Γραμμικές λίστες . . . . .	142
5.4.2	Δέντρα δυαδικής αναζήτησης . . . . .	142

5.4.3	Πίνακες κατακερματισμού . . . . .	143
5.4.4	Πολλαπλές εμβέλειες . . . . .	144
	Ασκήσεις . . . . .	146
<b>6</b>	<b>Σημασιολογική ανάλυση</b>	<b>147</b>
6.1	Σύνταξη και σημασιολογία . . . . .	147
6.1.1	Στατική σημασιολογία . . . . .	147
6.1.2	Δυναμική σημασιολογία . . . . .	150
6.2	Είδη σημασιολογικών ελέγχων . . . . .	150
6.3	Συστήματα τύπων και σημασιολογικός έλεγχος . . . . .	152
6.3.1	Βασικοί και σύνθετοι τύποι . . . . .	152
6.3.2	Απλές εκφράσεις και έλεγχοι βασικών τύπων . . . . .	154
6.3.3	Μετατροπές τύπων . . . . .	156
6.3.4	Υπερφόρτωση τελεστών . . . . .	156
6.3.5	Πολυμορφικοί τελεστές . . . . .	157
6.3.6	Συνώνυμα τύπων . . . . .	158
6.3.7	Ισοδυναμία τύπων . . . . .	158
6.3.7.1	Δομική ισοδυναμία τύπων . . . . .	159
6.3.7.2	Ονομαστική ισοδυναμία τύπων . . . . .	159
6.3.8	Υποσύνολα τύπων και υποτύποι . . . . .	160
6.3.9	Πολυμορφικά συστήματα τύπων . . . . .	161
6.3.10	Αντιστοίχιση τύπων σε ονόματα . . . . .	161
6.3.11	Εξαγωγή τύπων . . . . .	162
6.4	Δυναμικός έλεγχος τύπων . . . . .	164
	Ασκήσεις . . . . .	165
<b>7</b>	<b>Παραγωγή ενδιάμεσου κώδικα</b>	<b>167</b>
7.1	Ενδιάμεσος κώδικας . . . . .	167
7.1.1	Μετάφραση οδηγούμενη από τη σύνταξη . . . . .	168
7.1.2	Ενδιάμεση γλώσσα . . . . .	169
7.1.2.1	Τετράδες . . . . .	170
7.1.2.2	Τριάδες . . . . .	171
7.1.2.3	Αφηρημένα συντακτικά δέντρα . . . . .	171
7.1.2.4	Προθεματικός και επιθεματικός κώδικας . . . . .	172
7.1.2.5	Κατευθυνόμενοι ακυκλικοί γράφοι . . . . .	172
7.2	Παραγωγή ενδιάμεσου κώδικα σε μορφή τετράδων . . . . .	173
7.2.1	Η γλώσσα των τετράδων . . . . .	173
7.2.1.1	Τελούμενα . . . . .	174
7.2.1.2	Τελεστές . . . . .	175
7.2.2	Μεταγλώσσα μετάφρασης και μεταβλητές ιδιοτήτων . . . . .	178
7.2.3	Ένα απλό σχέδιο παραγωγής τετράδων . . . . .	180
7.2.3.1	Απλές εκφράσεις . . . . .	180
7.2.3.2	Αριθμητικές εκφράσεις . . . . .	181
7.2.3.3	L-values και δείκτες . . . . .	182
7.2.3.4	Λογικές εκφράσεις . . . . .	184

7.2.3.5	Απλές εντολές . . . . .	189
7.2.3.6	Σύνθετη εντολή . . . . .	190
7.2.3.7	Εντολή if . . . . .	191
7.2.3.8	Εντολή while . . . . .	193
7.2.3.9	Χρήση υποπρογραμμάτων . . . . .	194
7.2.3.10	Δυναμική παραχώρηση μνήμης . . . . .	196
7.2.3.11	Δηλώσεις δομικών μονάδων . . . . .	198
7.2.3.12	Ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα . . . . .	199
7.3	Διερμηνείς . . . . .	199
	Ασκήσεις . . . . .	201
<b>8</b>	<b>Βελτιστοποίηση κώδικα</b>	<b>205</b>
8.1	Εισαγωγή . . . . .	205
8.1.1	Κριτήρια εφαρμογής μετασχηματισμών βελτιστοποίησης . . . . .	206
8.1.2	Επίτευξη καλύτερης απόδοσης . . . . .	207
8.1.3	Οργάνωση ενός βελτιστοποιητικού μεταγλωττιστή . . . . .	208
8.2	Ανάλυση ροής ελέγχου και ροής δεδομένων . . . . .	209
8.3	Βελτιστοποιητικοί μετασχηματισμοί . . . . .	212
8.3.1	Μετασχηματισμοί υψηλού επιπέδου . . . . .	213
8.3.1.1	Αποτίμηση σταθερών εκφράσεων . . . . .	213
8.3.1.2	Αλγεβρικοί μετασχηματισμοί . . . . .	214
8.3.1.3	Απαλοιφή κοινών υποεκφράσεων . . . . .	215
8.3.1.4	Διάδοση αντιγράφων . . . . .	216
8.3.1.5	Ενοποίηση κώδικα . . . . .	218
8.3.2	Μετασχηματισμοί βρόχων . . . . .	220
8.3.2.1	Μετακίνηση κώδικα . . . . .	220
8.3.2.2	Απαλοιφή επαγωγικών μεταβλητών και υποβιβασμός ισχύος . . . . .	221
8.3.2.3	Αναδιοργάνωση βρόχων . . . . .	224
8.3.2.4	Απαλοιφή ελέγχου ορίων πίνακα . . . . .	226
8.3.3	Μετασχηματισμοί χαμηλού επιπέδου . . . . .	228
8.3.3.1	Απαλοιφή άχρηστου κώδικα . . . . .	228
8.3.3.2	Ευθυγράμμιση . . . . .	228
8.3.3.3	Απλοποίηση συνθηκών και αλμάτων . . . . .	230
8.3.4	Μετασχηματισμοί υποπρογραμμάτων . . . . .	230
8.3.4.1	Ενσωμάτωση υποπρογράμματος . . . . .	233
8.3.4.2	Κλήσεις ουράς και συνένωση . . . . .	234
8.3.4.3	Υποπρογράμματα φύλλα . . . . .	237
8.3.5	Παράδειγμα: Η βελτιστοποίηση του quicksort . . . . .	237
	Ασκήσεις . . . . .	238

<b>9</b>	<b>Παραγωγή τελικού κώδικα</b>	<b>239</b>
9.1	Γεννήτορας τελικού κώδικα . . . . .	239
9.2	Τελικός υπολογιστής . . . . .	240
9.2.1	Καταχωρητές . . . . .	241
9.2.2	Διαχείριση μνήμης . . . . .	242
9.2.3	Εντολές . . . . .	243
9.2.3.1	Εντολές μεταφοράς . . . . .	243
9.2.3.2	Εντολές ακεραίων αριθμητικών πράξεων . . . . .	244
9.2.3.3	Εντολές λογικών πράξεων . . . . .	245
9.2.3.4	Εντολές άλματος . . . . .	245
9.2.3.5	Εντολές διαχείρισης στοίβας . . . . .	246
9.2.3.6	Εντολές υποπρογραμμάτων . . . . .	246
9.2.3.7	Εντολές αριθμητικών πράξεων κινητής υποδιαστολής . . . . .	247
9.3	Περιβάλλον εκτέλεσης . . . . .	249
9.3.1	Παράσταση δεδομένων . . . . .	249
9.3.2	Εγγραφήματα δραστηριοποίησης . . . . .	251
9.3.3	Οργάνωση της μνήμης . . . . .	252
9.3.4	Δομή ενοτήτων και μη τοπικά δεδομένα . . . . .	254
9.3.4.1	Σύνδεσμοι προσπέλασης . . . . .	255
9.3.4.2	Πίνακες δεικτών . . . . .	258
9.3.5	Πέρασμα παραμέτρων . . . . .	259
9.4	Παραγωγή αποδοτικού τελικού κώδικα . . . . .	262
9.4.1	Δέσμευση καταχωρητών . . . . .	262
9.4.2	Επιλογή εντολών . . . . .	264
9.5	Το τελικό πρόγραμμα . . . . .	270
9.5.1	Η βιβλιοθήκη χρόνου εκτέλεσης . . . . .	271
9.5.2	Σταθερές συμβολοσειρές . . . . .	272
9.5.3	Σταθερές κινητής υποδιαστολής . . . . .	272
9.6	Ένας γεννήτορας τελικού κώδικα για την ενδιάμεση γλώσσα τετράδων . . . . .	273
9.6.1	Βοηθητικές ρουτίνες . . . . .	273
9.6.1.1	Βοηθητική ρουτίνα getAR . . . . .	273
9.6.1.2	Βοηθητική ρουτίνα updateAL . . . . .	273
9.6.1.3	Βοηθητική ρουτίνα load . . . . .	274
9.6.1.4	Βοηθητική ρουτίνα loadReal . . . . .	274
9.6.1.5	Βοηθητική ρουτίνα loadAddr . . . . .	275
9.6.1.6	Βοηθητική ρουτίνα store . . . . .	275
9.6.1.7	Βοηθητική ρουτίνα storeReal . . . . .	277
9.6.1.8	Βοηθητική ρουτίνα name . . . . .	277
9.6.1.9	Βοηθητική ρουτίνα endof . . . . .	277
9.6.1.10	Βοηθητική ρουτίνα label . . . . .	278
9.6.2	Παραγωγή κώδικα . . . . .	278
9.6.2.1	Ανάθεση και στοιχεία πίνακα . . . . .	279
9.6.2.2	Αριθμητικές πράξεις και συγκρίσεις . . . . .	279
9.6.2.3	Δομικές μονάδες, κλήσεις και άλματα . . . . .	282
9.6.3	Ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα . . . . .	284

Ασκήσεις . . . . .	287
<b>10 Αντικειμενοστρεφείς γλώσσες</b>	<b>289</b>
10.1 Αντικειμενοστρεφής προγραμματισμός . . . . .	289
10.2 Αντικείμενα και μέθοδοι . . . . .	290
10.3 Κατασκευαστές και καταστροφείς . . . . .	291
10.4 Απλή κληρονομικότητα . . . . .	293
10.5 Πολυμορφισμός υποτύπων . . . . .	296
10.6 Πολλαπλή κληρονομικότητα . . . . .	299
10.7 Έλεγχος υποτύπων και μετατροπές . . . . .	303
10.8 Διαπροσωπείες . . . . .	306
Ασκήσεις . . . . .	309

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

<b>A Η γλώσσα προγραμματισμού PCL</b>	<b>311</b>
A.1 Λεκτικές μονάδες . . . . .	311
A.2 Τύποι δεδομένων . . . . .	313
A.3 Δομή του προγράμματος . . . . .	314
A.3.1 Μεταβλητές . . . . .	315
A.3.2 Υποπρογράμματα . . . . .	315
A.4 Εκφράσεις . . . . .	316
A.4.1 L-values . . . . .	316
A.4.2 Σταθερές . . . . .	317
A.4.3 Τελεστές . . . . .	317
A.4.4 Κλήση συναρτήσεων . . . . .	319
A.5 Εντολές . . . . .	319
A.6 Βιβλιοθήκη χρόνου εκτέλεσης . . . . .	321
A.6.1 Είσοδος και έξοδος . . . . .	321
A.6.2 Μαθηματικές συναρτήσεις . . . . .	322
A.6.3 Συναρτήσεις μετατροπής . . . . .	322
A.7 Πλήρης γραμματική της PCL . . . . .	322
<b>B Παραδείγματα μεταγλώττισης</b>	<b>325</b>
B.1 Πες γεια! . . . . .	325
B.2 Οι πύργοι του Hanoi . . . . .	327
B.3 Πρώτοι αριθμοί . . . . .	336
B.4 Ταξινόμηση με τη μέθοδο της φουσαλίδας . . . . .	341
B.5 Μέση τιμή τυχαίας μεταβλητής . . . . .	346
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>351</b>
<b>Ευρετήριο</b>	<b>355</b>