

Πρόλογος

Το βιβλίο «Μεταγλωττιστές: Αρχές, Τεχνικές & Εργαλεία» αποτελεί το κλασικότερο σύγγραμμα για την τεχνολογία των μεταγλωττιστών. Στόχος της συγκεκριμένης προσπάθειας είναι να δοθεί στους φοιτητές των Τμημάτων Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών και γενικότερα σε όλους όσους ασχολούνται με την ανάπτυξη προχωρημένων συστημάτων πληροφορικής, ένα εγχειρίδιο πάνω στην αυτοματοποιημένη μετάφραση, το οποίο χρησιμοποιείται σε διεθνές επίπεδο.

Το βιβλίο θα τους δώσει τη δυνατότητα να κατανοήσουν σε βάθος τις αρχές σχεδίασης μεταφραστικών σχημάτων, να αξιολογήσουν και να επιλέξουν ανάμεσα στις διαφορετικές τεχνικές και τα εργαλεία για να αναπτύξουν μεταφραστικά συστήματα.

Η μετάφραση του βιβλίου αποτέλεσε για εμάς μεγάλη πρόκληση λόγω του ιδιαίτερα πυκνογραμμένου και τεχνικά προχωρημένου κειμένου του πρωτοτύπου. Σε πολλά σημεία παραθέτουμε και το αγγλικό κείμενο μέσα σε παρένθεση, ώστε να βοηθήσουμε τον αναγνώστη να συσχετίσει ένα όρο με παράλληλα κείμενα από άλλα αγγλικά βιβλία ή το διαδίκτυο. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή για την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση των όρων και την αποφυγή συντακτικών και ορθογραφικών σφαλμάτων, αλλά όπως κάθε σύνθετη προσπάθεια μπορεί να κρύβει λάθη. Θα είναι για εμάς ιδιαίτερη χαρά αν ο αναγνώστης εντοπίσει και μας ενημερώσει για λάθη και αβλεψίες μας στον ιστότοπο: <http://esda-lab.tesyd.teimes.gr/bookerrata>.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης προσπάθειας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη των οικογενειών μας που μας στερήθηκαν σε περιόδους αργιών και διακοπών και τον εκδότη για την υπομονή του.

Πάτρα, Μάιος 2011

*Δρ. Παναγιώτης Σπ. Αλεφραγκής
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Τεχν. Η/Υ*

*Άγγελος Σπ. Βώρος, MSc
Μηχανικός Η/Υ & Πληροφορικής*

*Δρ. Νικόλαος Σπ. Βώρος
Μηχανικός Η/Υ & Πληροφορικής*

*Δρ. Κωνσταντίνος Ν. Μασσέλος
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Τεχν. Η/Υ*

Πίνακας Περιεχομένων

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Εισαγωγή | 1 |
| 1.1 | Γλωσσικοί Επεξεργαστές..... | 1 |
| 1.1.1 | Ασκήσεις Ενότητας 1.1..... | 4 |
| 1.2 | Η Δομή ενός Μεταγλωττιστή..... | 5 |
| 1.2.1 | Λεκτική Ανάλυση..... | 7 |
| 1.2.2 | Συντακτική Ανάλυση..... | 8 |
| 1.2.3 | Σημασιολογική Ανάλυση..... | 10 |
| 1.2.4 | Παραγωγή Ενδιάμεσου Κώδικα..... | 10 |
| 1.2.5 | Βελτιστοποίηση Κώδικα..... | 11 |
| 1.2.6 | Παραγωγή Κώδικα..... | 12 |
| 1.2.7 | Διαχείριση Πίνακα Συμβόλων..... | 13 |
| 1.2.8 | Η Ομαδοποίηση των Φάσεων σε Διελεύσεις..... | 13 |
| 1.2.9 | Εργαλεία Κατασκευής Μεταγλωττιστών..... | 14 |
| 1.3 | Η Εξέλιξη των Γλωσσών Προγραμματισμού..... | 15 |
| 1.3.1 | Η Μετακίνηση σε Γλώσσες Υψηλότερου Επιπέδου..... | 15 |
| 1.3.2 | Η Επίδραση στους Μεταγλωττιστές..... | 16 |
| 1.3.3 | Ασκήσεις Ενότητας 1.3..... | 17 |
| 1.4 | Η Επιστήμη της Κατασκευής ενός Μεταγλωττιστή..... | 17 |
| 1.4.1 | Η Μοντελοποίηση στη Σχεδίαση και Υλοποίηση ενός Μεταγλωττιστή..... | 18 |
| 1.4.2 | Η Επιστήμη της Βελτιστοποίησης του Κώδικα..... | 18 |
| 1.5 | Εφαρμογές της Τεχνολογίας των Μεταγλωττιστών..... | 20 |
| 1.5.1 | Υλοποίηση Γλωσσών Προγραμματισμού Υψηλού Επιπέδου..... | 20 |
| 1.5.2 | Βελτιστοποιήσεις για Αρχιτεκτονικές Υπολογιστών..... | 22 |
| 1.5.3 | Σχεδίαση Νέων Αρχιτεκτονικών Υπολογιστών..... | 24 |
| 1.5.4 | Μεταφράσεις Προγραμμάτων..... | 25 |
| 1.5.5 | Εργαλεία Ανάπτυξης Λογισμικού..... | 27 |
| 1.6 | Βασικές γνώσεις Γλωσσών Προγραμματισμού..... | 29 |
| 1.6.1 | Η Διάκριση Στατικού/Δυναμικού Μέρους..... | 29 |
| 1.6.2 | Περιβάλλοντα και Καταστάσεις..... | 30 |
| 1.6.3 | Στατική Εμβέλεια και Δομή Τμημάτων..... | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.6.4 | Αποκλειστικός Έλεγχος Προσπέλασης | 35 |
| 1.6.5 | Δυναμική Εμβέλεια | 36 |
| 1.6.6 | Μηχανισμοί Περάσματος Παραμέτρων | 38 |
| 1.6.7 | Ψευδωνυμία | 40 |
| 1.6.8 | Ασκήσεις Ενότητας 1.6 | 40 |
| 1.7 | Περίληψη Κεφαλαίου 1 | 41 |
| 1.8 | Αναφορές Κεφαλαίου 1 | 43 |
| 2 | Ένας απλός Συντακτικά Κατευθυνόμενος Μεταφραστής | 45 |
| 2.1 | Εισαγωγή | 46 |
| 2.2 | Ορισμός Συντακτικού | 48 |
| 2.2.1 | Ορισμός Γραμματικών | 48 |
| 2.2.2 | Παραγωγές | 50 |
| 2.2.3 | Συντακτικά Δέντρα | 51 |
| 2.2.4 | Ασάφεια | 53 |
| 2.2.5 | Προσεταιριστικότητα Τελεστών | 54 |
| 2.2.6 | Προτεραιότητα Τελεστών | 55 |
| 2.2.7 | Ασκήσεις Ενότητας 2.2 | 57 |
| 2.3 | Συντακτικά Κατευθυνόμενη Μετάφραση | 58 |
| 2.3.1 | Επιθεματική Σημειογραφία | 59 |
| 2.3.2 | Συνθέσιμες Ιδιότητες | 60 |
| 2.3.3 | Απλοί Συντακτικά Κατευθυνόμενοι Ορισμοί | 63 |
| 2.3.4 | Διασχίσεις Δέντρων | 63 |
| 2.3.5 | Μεταφραστικά Σχήματα | 64 |
| 2.3.6 | Ασκήσεις Ενότητας 2.3 | 67 |
| 2.4 | Συντακτική Ανάλυση | 67 |
| 2.4.1 | Καθοδική Συντακτική Ανάλυση | 68 |
| 2.4.2 | Προβλέπουσα Συντακτική Ανάλυση | 71 |
| 2.4.3 | Πότε Χρησιμοποιούμε ϵ - Παραγωγές | 73 |
| 2.4.4 | Σχεδιάζοντας ένα Προβλεπτικό Συντακτικό Αναλυτή | 73 |
| 2.4.5 | Αριστερή Αναδρομή | 74 |
| 2.4.6 | Ασκήσεις Ενότητας 2.4 | 75 |
| 2.5 | Ένας Μεταφραστής για Απλές Εκφράσεις | 76 |
| 2.5.1 | Αφηρημένο και Συγκεκριμένο Συντακτικό | 76 |
| 2.5.2 | Προσαρμογή του Μεταφραστικού Σχήματος | 77 |
| 2.5.3 | Διαδικασίες για τα Μη-Τερματικά Σύμβολα | 79 |
| 2.5.4 | Απλοποιώντας τον Μεταφραστή | 80 |
| 2.5.5 | Το Συνολικό Πρόγραμμα | 81 |
| 2.6 | Λεκτική Ανάλυση | 82 |

| | |
|---|------------|
| 2.6.1 Απομάκρυνση Κενών και Σχολίων | 84 |
| 2.6.2 Επεκταμένη Ανάγνωση | 85 |
| 2.6.3 Σταθερές | 85 |
| 2.6.4 Αναγνώριση Λέξεων Κλειδιών και Προσδιοριστών | 86 |
| 2.6.5 Ένας Λεκτικός Αναλυτής..... | 88 |
| 2.6.6 Ασκήσεις Ενότητας 2.6 | 91 |
| 2.7 Πίνακες Συμβόλων | 92 |
| 2.7.1 Πίνακας Συμβόλων ανά Εμβέλεια (Scope)..... | 93 |
| 2.7.2 Η Χρήση των Πινάκων Συμβόλων..... | 97 |
| 2.8 Παραγωγή Ενδιάμεσου Κώδικα..... | 99 |
| 2.8.1 Δύο Είδη Ενδιάμεσων Αναπαραστάσεων..... | 99 |
| 2.8.2 Κατασκευή Συντακτικών Δέντρων..... | 100 |
| 2.8.3 Στατικός Έλεγχος..... | 105 |
| 2.8.4 Κώδικας Τριών Διευθύνσεων | 106 |
| 2.8.5 Ασκήσεις Ενότητας 2.8 | 113 |
| 2.9 Περίληψη Κεφαλαίου 2 | 113 |
| 3 Λεκτική Ανάλυση | 117 |
| 3.1 Ο Ρόλος του Λεκτικού Αναλυτή..... | 117 |
| 3.1.1 Λεκτική Ανάλυση έναντι Συντακτικής Ανάλυσης..... | 119 |
| 3.1.2 Λεκτικές Μονάδες (Tokens), Πρότυπα και Ακολουθίες Χαρακτήρων .. | 119 |
| 3.1.3 Ιδιότητες Λεκτικών Μονάδων | 120 |
| 3.1.4 Λεκτικά Σφάλματα | 122 |
| 3.1.5 Ασκήσεις Ενότητας 3.1 | 123 |
| 3.2 Προσωρινή Αποθήκευση Εισόδου | 123 |
| 3.2.1 Ζεύγη Χώρων Προσωρινής Αποθήκευσης..... | 124 |
| 3.2.2 Χαρακτήρες φρουροί (Sentinels) | 125 |
| 3.3 Προδιαγραφή Λεκτικών Μονάδων | 125 |
| 3.3.1 Συμβολοσειρές και Γλώσσες | 126 |
| 3.3.2 Πράξεις σε Γλώσσες..... | 128 |
| 3.3.3 Κανονικές Εκφράσεις..... | 129 |
| 3.3.4 Κανονικοί Ορισμοί..... | 132 |
| 3.3.5 Επεκτάσεις Κανονικών Εκφράσεων..... | 133 |
| 3.3.6 Ασκήσεις Ενότητας 3.3 | 134 |
| 3.4 Αναγνώριση Λεκτικών Μονάδων..... | 138 |
| 3.4.1 Διαγράμματα Μεταβάσεων | 139 |
| 3.4.2 Αναγνώριση Δεσμευμένων Λέξεων και Προσδιοριστών..... | 141 |
| 3.4.3 Ολοκλήρωση του Εκτελούμενου Παραδείγματος..... | 142 |
| 3.4.4 Αρχιτεκτονική ενός Λεκτικού Αναλυτή βασισμένου σε Διάγραμμα Μεταβάσεων | 144 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.5 Ασκήσεις Ενότητας 3.4 | 146 |
| 3.5 Η Γεννήτρια Λεκτικών Αναλυτών Lex | 150 |
| 3.5.1 Η Χρήση του Lex..... | 150 |
| 3.5.2 Η Δομή των Προγραμμάτων Lex..... | 151 |
| 3.5.3 Επίλυση συγκρούσεων στο Lex..... | 154 |
| 3.5.4 Ο Τελεστής Προανάγνωσης..... | 154 |
| 3.5.5 Ασκήσεις Ενότητας 3.5 | 156 |
| 3.6 Πεπερασμένα Αυτόματα | 157 |
| 3.6.1 Μη-Προσδιοριστικά Πεπερασμένα Αυτόματα (NFA) | 157 |
| 3.6.2 Πίνακες Μεταβάσεων | 159 |
| 3.6.3 Αναγνώριση Συμβολοσειρών Εισόδου από Αυτόματα | 159 |
| 3.6.4 Προσδιοριστικά Πεπερασμένα Αυτόματα (DFA)..... | 160 |
| 3.6.5 Ασκήσεις Ενότητας 3.6 | 162 |
| 3.7 Μετατροπή Κανονικών Εκφράσεων σε Αυτόματα | 163 |
| 3.7.1 Μετατροπή ενός NFA σε ένα DFA..... | 163 |
| 3.7.2 Προσομοίωση ενός NFA | 167 |
| 3.7.3 Αποδοτικότητα της Προσομοίωσης ενός NFA | 167 |
| 3.7.4 Κατασκευή ενός NFA από μια Κανονική Έκφραση..... | 170 |
| 3.7.5 Αποδοτικότητα Αλγορίθμων Επεξεργασίας Συμβολοσειρών | 175 |
| 3.7.6 Ασκήσεις Ενότητας 3.7 | 177 |
| 3.8 Σχεδίαση μιας Γεννήτριας Λεκτικών Αναλυτών | 178 |
| 3.8.1 Η Δομή του Παραγόμενου Αναλυτή | 178 |
| 3.8.2 Ταυτοποίηση Προτύπων βασισμένη σε NFA's..... | 180 |
| 3.8.3 Χρήση DFA's για Λεκτικούς Αναλυτές | 182 |
| 3.8.4 Υλοποίηση του Τελεστή Προανάγνωσης..... | 183 |
| 3.8.5 Ασκήσεις Ενότητας 3.8 | 184 |
| 3.9 Βελτιστοποίηση Ταυτιστών Προτύπων βασισμένων σε DFA..... | 185 |
| 3.9.1 Σημαντικές Καταστάσεις ενός NFA..... | 185 |
| 3.9.2 Συναρτήσεις που υπολογίζονται από το Συντακτικό Δέντρο | 187 |
| 3.9.3 Υπολογισμός των συναρτήσεων nullable, firstpos και lastpos..... | 188 |
| 3.9.4 Υπολογισμός της συνάρτησης followpos | 189 |
| 3.9.5 Απευθείας Μετατροπή μιας Κανονικής Έκφρασης σε DFA..... | 191 |
| 3.9.6 Ελαχιστοποίηση του αριθμού των Καταστάσεων ενός DFA..... | 192 |
| 3.9.7 Ελαχιστοποίηση Καταστάσεων σε Λεκτικούς Αναλυτές | 196 |
| 3.9.8 Ανταλλαγή χρόνου με χώρο σε μια προσομοίωση DFA | 197 |
| 3.9.9 Ασκήσεις Ενότητας 3.9 | 199 |
| 3.10 Περίληψη Κεφαλαίου 3 | 199 |
| 3.11 Αναφορές Κεφαλαίου 3..... | 201 |

| | |
|--|------------|
| 4 Συντακτική Ανάλυση..... | 205 |
| 4.1 Εισαγωγή | 206 |
| 4.1.1 Ο Ρόλος του Συντακτικού Αναλυτή..... | 206 |
| 4.1.2 Αντιπροσωπευτικές Γραμματικές | 207 |
| 4.1.3 Διαχείριση Σφαλμάτων Συντακτικού..... | 208 |
| 4.1.4 Στρατηγικές Ανάνηψης από Σφάλματα | 210 |
| 4.2 Γραμματικές Χωρίς Συμφραζόμενα (Context-Free Grammars)..... | 211 |
| 4.2.1 Ο Τυπικός Ορισμός μιας Γραμματικής Χωρίς Συμφραζόμενα | 212 |
| 4.2.2 Συμβάσεις Σημειογραφίας | 213 |
| 4.2.3 Παραγωγές..... | 214 |
| 4.2.4 Δέντρα Συντακτικής Ανάλυσης και Σχηματισμοί Παραγώγων | 216 |
| 4.2.5 Ασάφεια | 218 |
| 4.2.6 Επαλήθευση της Γλώσσας που Παράγεται από μια Γραμματική | 219 |
| 4.2.7 Γραμματικές Χωρίς Συμφραζόμενα έναντι Κανονικών Εκφράσεων | 220 |
| 4.2.8 Ασκήσεις Ενότητας 4.2 | 221 |
| 4.3 Συγγραφή μιας Γραμματικής | 224 |
| 4.3.1 Λεκτική έναντι Συντακτικής Ανάλυσης..... | 225 |
| 4.3.2 Εξαλείφοντας την Ασάφεια | 225 |
| 4.3.3 Απαλοιφή Αριστερής Αναδρομικότητας | 227 |
| 4.3.4 Αριστερή Παραγοντοποίηση | 229 |
| 4.3.5 Γλωσσικές Κατασκευές με Συμφραζόμενα | 231 |
| 4.3.6 Ασκήσεις Ενότητας 4.3 | 232 |
| 4.4 Καθοδική Συντακτική Ανάλυση | 233 |
| 4.4.1 Συντακτική Ανάλυση Αναδρομικής Κατάβασης..... | 234 |
| 4.4.2 Σύνολα FIRST και FOLLOW | 236 |
| 4.4.3 Γραμματικές LL(1) | 238 |
| 4.4.4 Μη Αναδρομική Προβλέπουσα Συντακτική Ανάλυση..... | 242 |
| 4.4.5 Ανάνηψη από Σφάλματα στην Προβλέπουσα Συντακτική Ανάλυση | 245 |
| 4.4.6 Ασκήσεις Ενότητας 4.4 | 248 |
| 4.5 Ανοδική Συντακτική Ανάλυση..... | 250 |
| 4.5.1 Ελαττώσεις | 251 |
| 4.5.2 Περικοπή Λαβών Απλοποίησης | 252 |
| 4.5.3 Ανάλυση Ολίσθησης-Ελάττωσης..... | 253 |
| 4.5.4 Συγκρούσεις κατά τη διάρκεια Ανάλυσης Ελάττωσης-Ολίσθησης..... | 256 |

| | |
|--|------------|
| 4.5.5 Ασκήσεις Ενότητας 4.5 | 258 |
| 4.6 Εισαγωγή στην Συντακτική Ανάλυση LR: Απλή LR..... | 258 |
| 4.6.1 Για ποιο λόγο Συντακτικούς Αναλυτές LR;..... | 259 |
| 4.6.2 Αντικείμενα και το Αυτόματο LR(0) | 260 |
| 4.6.3 Ο Αλγόριθμος Συντακτικής Ανάλυσης LR | 266 |
| 4.6.4 Κατασκευή Πινάκων Συντακτικής Ανάλυσης SLR..... | 271 |
| 4.6.5 Βιώσιμα Προθήματα | 274 |
| 4.6.6 Ασκήσεις Ενότητας 4.6 | 276 |
| 4.7 Ισχυρότεροι Συντακτικοί Αναλυτές LR..... | 278 |
| 4.7.1 Κανονικά Αντικείμενα LR(1) | 278 |
| 4.7.2 Κατασκευή Συνόλων Αντικειμένων LR(1) | 280 |
| 4.7.3 Κανονικοί Πίνακες Ανάλυσης LR(1)..... | 283 |
| 4.7.4 Κατασκευή Πινάκων Ανάλυσης LALR..... | 284 |
| 4.7.5 Αποδοτική Κατασκευή Πινάκων Συντακτικής Ανάλυσης LALR..... | 289 |
| 4.7.6 Σύμπτυξη Πινάκων Συντακτικής Ανάλυσης LR | 294 |
| 4.7.7 Ασκήσεις Ενότητας 4.7 | 297 |
| 4.8 Χρήση Ασαφών Γραμματικών..... | 298 |
| 4.8.1 Προτεραιότητα και Προσεταιριστικότητα για την Επίλυση Συγκρούσεων..... | 298 |
| 4.8.2 Η Ασάφεια του “Αστήρικτου Else” (“Dangling-Else”)..... | 301 |
| 4.8.3 Ανάνηψη από Σφάλματα στην Ανάλυση LR..... | 303 |
| 4.8.4 Ασκήσεις Ενότητας 4.8 | 305 |
| 4.9 Γεννήτριες Συντακτικών Αναλυτών | 307 |
| 4.9.1 Η Γεννήτρια Συντακτικών Αναλυτών Yacc..... | 307 |
| 4.9.2 Χρήση του Yacc με Ασαφείς Γραμματικές..... | 311 |
| 4.9.3 Δημιουργία Δεκτικών Αναλυτών με το Lex για χρήση με τη Yacc | 314 |
| 4.9.4 Ανάνηψη από Σφάλματα στη Yacc..... | 315 |
| 4.9.5 Ασκήσεις Ενότητας 4.9 | 317 |
| 4.10 Περίληψη Κεφαλαίου 4 | 317 |
| 4.11 Αναφορές Κεφαλαίου 4..... | 321 |
| 5 Συντακτικά Κατευθυνόμενη Μετάφραση (SDT) | 325 |
| 5.1 Συντακτικά Κατευθυνόμενοι Ορισμοί (SDD)..... | 326 |
| 5.1.1 Κληρονομήσιμες και Συνθέσιμες Ιδιότητες..... | 326 |
| 5.1.2 Υπολογισμός μίας SDD στους Κόμβους ενός Δέντρου Συντακτικής Ανάλυσης..... | 328 |
| 5.1.3 Ασκήσεις Ενότητας 5.1 | 332 |

| | |
|--|------------|
| 5.2 Σειρά Υπολογισμού των SDD's..... | 332 |
| 5.2.1 Γραφήματα Εξάρτησης | 332 |
| 5.2.2 Σειρά εκτέλεσης των Υπολογισμών Ιδιοτήτων..... | 334 |
| 5.2.3 Ορισμοί S-Ιδιοτήτων | 335 |
| 5.2.4 Ορισμοί L-Ιδιοτήτων | 336 |
| 5.2.5 Σημσιολογικοί Κανόνες με Ελεγχόμενες Παράπλευρες Ενέργειες..... | 337 |
| 5.2.6 Ασκήσεις Ενότητας 5.2 | 339 |
| 5.3 Εφαρμογές Συντακτικά Κατευθυνόμενης Μετάφρασης..... | 340 |
| 5.3.1 Κατασκευή Συντακτικών Δέντρων..... | 341 |
| 5.3.2 Η Δομή ενός Τύπου | 345 |
| 5.3.3 Ασκήσεις Ενότητας 5.3 | 346 |
| 5.4 Σχήματα Συντακτικά Κατευθυνόμενης Μετάφρασης..... | 347 |
| 5.4.1 Σχήματα Επιθεματικής Μετάφρασης | 348 |
| 5.4.2 Υλοποίηση Επιθεματικού Αναλυτή SDT με Στοιβα | 348 |
| 5.4.3 SDT's με Ενέργειες εντός Παραγωγών Κανόνων | 350 |
| 5.4.4 Απομάκρυνση Αριστερής Αναδρομής από SDT's..... | 352 |
| 5.4.5 SDT's για L-γραμματικές Ιδιοτήτων..... | 355 |
| 5.4.6 Ασκήσεις Ενότητας 5.4 | 360 |
| 5.5 Υλοποίηση SDD's με L-γραμματικές Ιδιοτήτων..... | 362 |
| 5.5.1 Μετάφραση κατά τη Διάρκεια Ανάλυσης Αναδρομικής Κατάβασης..... | 362 |
| 5.5.2 Άμεση Παραγωγή Κώδικα | 365 |
| 5.5.3 SDD's με L-γραμματικές Ιδιοτήτων και LL Ανάλυση..... | 367 |
| 5.5.4 Ανοδική Ανάλυση SDD's με L-γραμματικές Ιδιοτήτων | 373 |
| 5.5.5 Ασκήσεις Ενότητας 5.5 | 377 |
| 5.6 Περίληψη Κεφαλαίου 5 | 378 |
| 5.7 Αναφορές Κεφαλαίου 5..... | 379 |
| 6 Παραγωγή Ενδιάμεσου Κώδικα | 381 |
| 6.1 Παραλλαγές Συντακτικών Δέντρων | 383 |
| 6.1.1 Κατευθυνόμενα Ακυκλικά Γραφήματα (DAG) για Εκφράσεις | 383 |
| 6.1.2 Η Μέθοδος Αριθμητικής Τιμής για την Κατασκευή DAG's | 385 |
| 6.1.3 Ασκήσεις Ενότητας 6.1 | 387 |
| 6.2 Κώδικας Τριών Διευθύνσεων..... | 387 |
| 6.2.1 Διευθύνσεις και Εντολές..... | 388 |
| 6.2.2 Τετράδες | 391 |
| 6.2.3 Τριάδες | 392 |
| 6.2.4 Στατική Μορφή Απλής Ανάθεσης (SSA) | 394 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.5 Ασκήσεις Ενότητας 6.2 | 394 |
| 6.3 Τύποι και Δηλώσεις..... | 395 |
| 6.3.1 Εκφράσεις Τύπων | 395 |
| 6.3.2 Ισοδυναμία Τύπων | 397 |
| 6.3.3 Δηλώσεις..... | 398 |
| 6.3.4 Διαμόρφωση μνήμης για Τοπικά Ονόματα..... | 398 |
| 6.3.5 Ακολουθίες Δηλώσεων | 401 |
| 6.3.6 Πεδία σε Εγγραφές και Κλάσεις..... | 401 |
| 6.3.7 Ασκήσεις Ενότητας 6.3 | 403 |
| 6.4 Μετάφραση Εκφράσεων | 403 |
| 6.4.1 Πράξεις εντός Εκφράσεων | 403 |
| 6.4.2 Επαυξητική Μετάφραση..... | 405 |
| 6.4.3 Διευθυνοδοτήση Στοιχείων Πίνακα | 406 |
| 6.4.4 Μετάφραση Αναφορών Πίνακα..... | 408 |
| 6.4.5 Ασκήσεις Ενότητας 6.4 | 409 |
| 6.5 Έλεγχος Τύπων | 412 |
| 6.5.1 Κανόνες για Έλεγχο Τύπων | 412 |
| 6.5.2 Μετατροπές Τύπων | 413 |
| 6.5.3 Υπερφόρτωση Συναρτήσεων και Τελεστών..... | 415 |
| 6.5.4 Εξαγωγή Συμπερασμάτων για Τύπους και Πολυμορφικές Συναρτήσεις..... | 416 |
| 6.5.5 Ένας Αλγόριθμος Ενοποίησης..... | 421 |
| 6.5.6 Ασκήσεις Ενότητας 6.5 | 424 |
| 6.6 Ροή Ελέγχου | 425 |
| 6.6.1 Λογικές Εκφράσεις | 425 |
| 6.6.2 Κώδικας Βραχυκυκλώματος | 426 |
| 6.6.3 Εντολές Μετάβασης Ελέγχου Ροής | 426 |
| 6.6.4 Μετάφραση Λογικών Εκφράσεων σε εντολές Ελέγχου Ροής | 429 |
| 6.6.5 Αποφυγή Πλεοναζόντων Gotos..... | 431 |
| 6.6.6 Λογικές Τιμές και Εντολές Μετάβασης Ροής..... | 433 |
| 6.6.7 Ασκήσεις Ενότητας 6.6 | 434 |
| 6.7 Οπισθοπαλόμενο (Backpatching)..... | 436 |
| 6.7.1 Παραγωγή Κώδικα με ένα Πέρασμα με Χρήση Οπισθοπαλώματος..... | 436 |
| 6.7.2 Οπισθοπαλόμενο για Λογικές Εκφράσεις | 437 |
| 6.7.3 Εντολές Ροής Ελέγχου | 440 |
| 6.7.4 Εντολές Break, Continue, και Goto..... | 442 |
| 6.7.5 Ασκήσεις Ενότητας 6.7 | 443 |
| 6.8 Εντολές Πολλαπλής Διακλάδωσης (Switch)..... | 444 |

| | |
|--|------------|
| 6.8.1 Μετάφραση Προτάσεων Switch..... | 445 |
| 6.8.2 Συντακτικά Κατευθυνόμενη Μετάφραση Προτάσεων Switch | 446 |
| 6.8.3 Ασκήσεις Ενότητας 6.8 | 448 |
| 6.9 Ενδιάμεσος Κώδικας για Διαδικασίες | 448 |
| 6.10 Περίληψη Κεφαλαίου 6 | 450 |
| 6.11 Αναφορές Κεφαλαίου 6..... | 452 |
| 7 Περιβάλλοντα Εκτέλεσης | 455 |
| 7.1 Οργάνωση Μνήμης..... | 455 |
| 7.1.1 Στατική Έναντι Δυναμικής Κατανομής Μνήμης..... | 458 |
| 7.2 Κατανομή Μνήμης ως Στοιβα..... | 458 |
| 7.2.1 Δέντρα Ενεργοποίησης..... | 459 |
| 7.2.2 Εγγραφές Ενεργοποίησης | 462 |
| 7.2.3 Ακολουθίες Κλήσεων | 464 |
| 7.2.4 Δεδομένα Μεταβλητού Μήκους στη Στοιβα..... | 467 |
| 7.2.5 Ασκήσεις Ενότητας 7.2 | 469 |
| 7.3 Προσπέλαση Μη Τοπικών Δεδομένων στη Στοιβα | 471 |
| 7.3.1 Προσπέλαση Δεδομένων Χωρίς Εμφωλευμένες Διαδικασίες | 471 |
| 7.3.2 Θέματα Εμφωλευμένων Διαδικασιών | 472 |
| 7.3.3 Μια Γλώσσα με Εμφωλευμένες Δηλώσεις Διαδικασιών | 472 |
| 7.3.4 Βάθος Εμφώλευσης | 473 |
| 7.3.5 Σύνδεσμοι Προσπέλασης | 474 |
| 7.3.6 Χειρισμός Συνδέσμων Προσπέλασης..... | 476 |
| 7.3.7 Σύνδεσμοι Προσπέλασης για Παραμέτρους Διαδικασιών | 477 |
| 7.3.8 Προβολές | 479 |
| 7.3.9 Ασκήσεις Ενότητας 7.3 | 481 |
| 7.4 Διαχείριση Σωρού (Heap)..... | 482 |
| 7.4.1 Ο Διαχειριστής Μνήμης..... | 483 |
| 7.4.2 Η Ιεραρχία Μνήμης ενός Υπολογιστή | 484 |
| 7.4.3 Τοπικότητα Προγραμμάτων | 486 |
| 7.4.4 Μείωση του Κατακερματισμού | 488 |
| 7.4.5 Χειροκίνητες Αιτήσεις Αποκατανομής Μνήμης..... | 492 |
| 7.4.6 Ασκήσεις Ενότητας 7.4 | 495 |
| 7.5 Εισαγωγή στην Περιουλλογή Σκουπιδιών (Garbage Collection)..... | 495 |
| 7.5.1 Στόχοι Σχεδίασης για Συλλέκτες Σκουπιδιών | 496 |
| 7.5.2 Προσπελασιμότητα | 498 |
| 7.5.3 Συλλέκτες Σκουπιδιών με χρήση Καταμέτρησης Αναφορών..... | 501 |
| 7.5.4 Ασκήσεις Ενότητας 7.5 | 503 |
| 7.6 Εισαγωγή στην Περιουλλογή Βασισμένη σε Ιχνηλάτηση | 503 |
| 7.6.1 Ένας βασικός Συλλέκτης Σημαδιού και Σάρωσης..... | 504 |

| | |
|---|------------|
| 7.6.2 Βασικές αφαιρετικές έννοιες | 506 |
| 7.6.3 Βελτιστοποίηση του Συλλέκτη Σημαδιού και Σάρωσης | 509 |
| 7.6.4 Συλλέκτες Σημαδιού και Σύμπτυξης | 510 |
| 7.6.5 Συλλέκτες Αντιγραφής..... | 513 |
| 7.6.6 Σύγκριση Κόστους..... | 516 |
| 7.6.7 Ασκήσεις Ενότητας 7.6 | 516 |
| 7.7 Περιουλλογή Σκουπιδιών με Σύντομες Παύσεις..... | 517 |
| 7.7.1 Επαυξητική Περιουλλογή Σκουπιδιών | 518 |
| 7.7.2 Ανάλυση της Επαυξητικής Προσπελασιμότητας..... | 519 |
| 7.7.3 Τα Βασικά της Μερικής Περιουλλογής..... | 522 |
| 7.7.4 Γενεαλογική Περιουλλογή Σκουπιδιών | 523 |
| 7.7.5 Ο Αλγόριθμος Συρμού..... | 525 |
| 7.7.6 Ασκήσεις Ενότητας 7.7 | 529 |
| 7.8 Προχωρημένα Θέματα Περιουλλογής Σκουπιδιών..... | 530 |
| 7.8.1 Παράλληλη και Ταυτόχρονη Περιουλλογή Σκουπιδιών..... | 530 |
| 7.8.2 Μερική Επανατοποθέτηση Αντικειμένων | 533 |
| 7.8.3 Συντηρητική Περιουλλογή για Ανασφαλείς Γλώσσες | 534 |
| 7.8.4 Ασθενείς Αναφορές..... | 535 |
| 7.8.5 Ασκήσεις Ενότητας 7.8 | 536 |
| 7.9 Περίληψη Κεφαλαίου 7 | 536 |
| 7.10 Αναφορές Κεφαλαίου 7..... | 539 |
| 8 Παραγωγή Κώδικα | 541 |
| 8.1 Θέματα στη Σχεδίαση ενός Παραγωγού Κώδικα..... | 545 |
| 8.1.1 Είσοδοι του Παραγωγού Κώδικα..... | 545 |
| 8.1.2 Το Τελικό Πρόγραμμα..... | 545 |
| 8.1.3 Επιλογή Εντολών..... | 547 |
| 8.1.4 Κατανομή Καταχωρητών..... | 549 |
| 8.1.5 Σειρά Υπολογισμών | 550 |
| 8.2 Η Τελική Γλώσσα | 551 |
| 8.2.1 Ένα Απλό Μοντέλο Τελικής Μηχανής..... | 551 |
| 8.2.2 Κόστος Προγράμματος και Εντολών | 554 |
| 8.2.3 Ασκήσεις Ενότητας 8.2 | 555 |
| 8.3 Διευθύνσεις στον Τελικό Κώδικα Στόχο | 557 |
| 8.3.1 Στατική Κατανομή | 557 |
| 8.3.2 Κατανομή Στοίβας..... | 560 |
| 8.3.3 Διευθύνσεις κατά την διάρκεια την Εκτέλεσης για τα Ονόματα | 563 |
| 8.3.4 Ασκήσεις Ενότητας 8.3 | 563 |
| 8.4 Βασικά Τμήματα Κώδικα και Γραφήματα Ροής..... | 564 |

| | |
|---|-----|
| 8.4.1 Βασικά Τμήματα Κώδικα | 566 |
| 8.4.2 Πληροφορία Επόμενης Χρήσης Μεταβλητών | 567 |
| 8.4.3 Γραφήματα Ροής..... | 568 |
| 8.4.4 Αναπαράσταση Γραφημάτων Ροής | 569 |
| 8.4.5 Βρόχοι..... | 570 |
| 8.4.6 Ασκήσεις Ενότητας 8.4 | 571 |
| 8.5 Βελτιστοποίηση Βασικών Τμημάτων Κώδικα | 572 |
| 8.5.1 Η Αναπαράσταση Βασικών Τμημάτων κώδικα ως DAG | 572 |
| 8.5.2 Εύρεση Τοπικών Κοινών Υποεκφράσεων | 573 |
| 8.5.3 Απομάκρυνση Άχρηστου Κώδικα..... | 575 |
| 8.5.4 Η Χρήση Αλγεβρικών Ταυτοτήτων | 575 |
| 8.5.5 Αναπαράσταση Αναφορών Πινάκων..... | 577 |
| 8.5.6 Αναθέσεις Δεικτών και Κλήσεις Διαδικασιών | 579 |
| 8.5.7 Επανασυναρμολόγηση Βασικών Τμημάτων Κώδικα από DAG's..... | 579 |
| 8.5.8 Ασκήσεις Ενότητας 8.5 | 581 |
| 8.6 Ένα απλός παραγωγός Κώδικα | 582 |
| 8.6.1 Περιγραφείς Καταχωρητών και Διευθύνσεων | 583 |
| 8.6.2 Ο Αλγόριθμος Παραγωγής Κώδικα | 584 |
| 8.6.3 Σχεδίαση της Συνάρτησης getReg..... | 588 |
| 8.6.4 Ασκήσεις Ενότητας 8.6 | 589 |
| 8.7 Βελτιστοποίηση Κλειδαρότυπας | 590 |
| 8.7.1 Απομάκρυνση Περιττών Φορτώσεων και Αποθηκεύσεων | 590 |
| 8.7.2 Απομάκρυνση Μη-Προσπελάσιμου Κώδικα | 591 |
| 8.7.3 Βελτιστοποιήσεις Ροής Ελέγχου | 591 |
| 8.7.4 Αλγεβρική Απλοποίηση και Υποβιβασμός Ισχύος..... | 593 |
| 8.7.5 Χρήση Ιδιωματισμών Τελικής Μηχανής..... | 593 |
| 8.7.6 Ασκήσεις Ενότητας 8.7 | 593 |
| 8.8 Κατανομή και Ανάθεση Καταχωρητών | 594 |
| 8.8.1 Καθολική Κατανομή Καταχωρητών..... | 594 |
| 8.8.2 Μετρήσεις Χρήσης Μεταβλητών | 595 |
| 8.8.3 Ανάθεση Καταχωρητών για τους Εξωτερικούς Βρόχους | 598 |
| 8.8.4 Κατανομή Καταχωρητών με Χρωματισμό Γράφου..... | 598 |
| 8.8.5 Ασκήσεις Ενότητας 8.8 | 599 |
| 8.9 Επιλογή Εντολών με Αναδιάρθρωση Δέντρου | 599 |
| 8.9.1 Σχήματα Μετάφρασης Δέντρων..... | 600 |
| 8.9.2 Παραγωγή Κώδικα με Επίστροφή ενός Δέντρου Εισόδου | 602 |
| 8.9.3 Συντακτική Ανάλυση για Ταύτιση Προτύπων | 606 |
| 8.9.4 Ρουτίνες για Σημασιολογικό Έλεγχο..... | 607 |
| 8.9.5 Γενική Ταύτιση Δέντρου..... | 608 |

| | |
|---|------------|
| 8.9.6 Ασκήσεις Ενότητας 8.9 | 610 |
| 8.10 Βέλτιστη Παραγωγή Κώδικα για Εκφράσεις | 610 |
| 8.10.1 Αριθμοί Ershov | 610 |
| 8.10.2 Παραγωγή Κώδικα από Δέντρα Εκφράσεων με Ετικέτες | 611 |
| 8.10.3 Υπολογισμός Εκφράσεων με Ανεπαρκή Διαθεσιμότητα Καταχωρητών | 614 |
| 8.10.4 Ασκήσεις Ενότητας 8.10 | 616 |
| 8.11 Παραγωγή Κώδικα με χρήση Δυναμικού Προγραμματισμού | 616 |
| 8.11.1 Συνεχόμενος Υπολογισμός | 617 |
| 8.11.2 Ο Αλγόριθμος Δυναμικού Προγραμματισμού..... | 618 |
| 8.11.3 Ασκήσεις Ενότητας 8.11 | 621 |
| 8.12 Περίληψη Κεφαλαίου 8 | 621 |
| 8.13 Αναφορές Κεφαλαίου 8..... | 623 |
| 9 Βελτιστοποιήσεις Ανεξάρτητες από τη Τελική Μηχανή | 625 |
| 9.1 Οι Κύριες Πηγές Βελτιστοποίησης..... | 626 |
| 9.1.1 Αιτίες Πλεονασμού..... | 626 |
| 9.1.2 Ένα Εκτελούμενο Παράδειγμα: Quicksort..... | 627 |
| 9.1.3 Μετασχηματισμοί Διατήρησης Σημασιολογίας..... | 630 |
| 9.1.4 Καθολικές Κοινές Υποεκφράσεις..... | 630 |
| 9.1.5 Προώθηση Αντιγράφων | 632 |
| 9.1.6 Απομάκρυνση Άχρηστου Κώδικα..... | 633 |
| 9.1.7 Μετακίνηση Κώδικα | 634 |
| 9.1.8 Επαγωγικές Μεταβλητές και υποβιβασμός ισχύος..... | 635 |
| 9.1.9 Ασκήσεις Ενότητας 9.1 | 639 |
| 9.2 Εισαγωγή στην Ανάλυση Ροής Δεδομένων..... | 640 |
| 9.2.1 Η Αφαίρεση της Ροής Δεδομένων | 640 |
| 9.2.2 Το Σχήμα Ανάλυσης Ροής Δεδομένων..... | 642 |
| 9.2.3 Σχήματα Ροής Δεδομένων σε Βασικά Τμήματα Κώδικα..... | 644 |
| 9.2.4 Χρησιμοποιούμενοι Ορισμοί Μεταβλητών | 645 |
| 9.2.5 Ανάλυση ενεργών μεταβλητών..... | 652 |
| 9.2.6 Διαθέσιμες Εκφράσεις..... | 654 |
| 9.2.7 Περίληψη..... | 658 |
| 9.2.8 Ασκήσεις Ενότητας 9.2 | 659 |
| 9.3 Θεμελιώσεις Ανάλυσης Ροής Δεδομένων | 662 |
| 9.3.1 Υποπλέγματα (Semilattices)..... | 663 |
| 9.3.2 Συναρτήσεις Μεταφοράς | 668 |
| 9.3.3 Ο Επαναληπτικός Αλγόριθμος για Γενικευμένα Πλαίσια | 670 |
| 9.3.4 Η Σημασία μιας Λύσης Ροής Δεδομένων..... | 673 |
| 9.3.5 Ασκήσεις Ενότητας 9.3 | 676 |

| | |
|---|-----|
| 9.4 Διάδοση Σταθερών..... | 677 |
| 9.4.1 Τιμές Ροής Δεδομένων για το Πλαίσιο Διάδοσης Σταθερών | 678 |
| 9.4.2 Η Συνένωση για το Πλαίσιο Διάδοσης Σταθερών..... | 679 |
| 9.4.3 Συναρτήσεις Μεταφοράς για το Πλαίσιο Διάδοσης Σταθερών | 679 |
| 9.4.4 Μονοτονικότητα του Πλαισίου Διάδοσης Σταθερών..... | 680 |
| 9.4.5 Η Μη Επιμεριστική Φύση του Πλαισίου Διάδοσης Σταθερών..... | 681 |
| 9.4.6 Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων..... | 682 |
| 9.4.7 Ασκήσεις Ενότητας 9.4 | 683 |
| 9.5 Μερική Απομάκρυνση Πλεονασμού | 685 |
| 9.5.1 Οι Πηγές του Πλεονασμού..... | 685 |
| 9.5.2 Μπορεί να Απομακρυνθεί Όλος ο Πλεονασμός;..... | 688 |
| 9.5.3 Το Πρόβλημα της Νωχελικής Κίνησης Κώδικα | 690 |
| 9.5.4 Πρόβλεψη των Εκφράσεων | 691 |
| 9.5.5 Ο Αλγόριθμος της Νωχελικής Κίνησης Κώδικα | 692 |
| 9.5.6 Ασκήσεις Ενότητας 9.5 | 702 |
| 9.6 Βρόχοι σε Γραφήματα Ροής..... | 703 |
| 9.6.1 Επικρατούντες Κόμβοι..... | 704 |
| 9.6.2 Διάταξη σε Βάθος | 708 |
| 9.6.3 Ακμές σε Δενδροειδές Ανάπτυγμα σε Βάθος | 710 |
| 9.6.4 Αντίστροφες Ακμές και Μειωσιμότητα..... | 711 |
| 9.6.5 Βάθος Ενός Γραφήματος Ροής | 713 |
| 9.6.6 Φυσικοί Βρόχοι..... | 714 |
| 9.6.7 Ταχύτητα Σύγκλισης Επαναληπτικών Αλγορίθμων Ροής Δεδομένων .. | 716 |
| 9.6.8 Ασκήσεις Ενότητας 9.6 | 719 |
| 9.7 Ανάλυση Βασισμένη σε Περιοχές..... | 721 |
| 9.7.1 Περιοχές..... | 722 |
| 9.7.2 Ιεραρχίες Περιοχών για Ελαχιστοποιούμενα Γραφήματα Ροής | 723 |
| 9.7.3 Επισκόπηση μιας Ανάλυσης Βασισμένης στην Περιοχή..... | 727 |
| 9.7.4 Προϋποθέσεις Σχετικά με τις Συναρτήσεις Μεταφοράς..... | 728 |
| 9.7.5 Ένας Αλγόριθμος για Ανάλυση Βασισμένη σε Περιοχές..... | 730 |
| 9.7.6 Χειρισμός Μη Ελαχιστοποιούμενων Γραφημάτων Ροής..... | 734 |
| 9.7.7 Ασκήσεις Ενότητας 9.7 | 736 |
| 9.8 Συμβολική Ανάλυση..... | 737 |
| 9.8.1 Συγγενικές Εκφράσεις Αναφορικών Μεταβλητών..... | 738 |
| 9.8.2 Ορισμός του Προβλήματος Ροής Δεδομένων..... | 741 |
| 9.8.3 Συμβολική Ανάλυση Βασισμένη σε Περιοχές..... | 745 |
| 9.8.4 Ασκήσεις Ενότητας 9.8 | 751 |
| 9.9 Περίληψη Κεφαλαίου 9 | 752 |
| 9.10 Αναφορές Κεφαλαίου 9 | 756 |

| | |
|---|------------|
| 10 Παραλληλισμός Επιπέδου Εντολής | 759 |
| 10.1 Αρχιτεκτονικές Επιξεργαστών..... | 760 |
| 10.1.1 Διοχετεύσεις Εντολών και Καθυστερήσεις Διακλαδώσεων | 760 |
| 10.1.2 Διοχετευμένη Εκτέλεση..... | 761 |
| 10.1.3 Πολλαπλή Εκτέλεση Εντολών | 762 |
| 10.2 Περιορισμοί Χρονοπρογραμματισμού Εκτελέσιμου Κώδικα..... | 763 |
| 10.2.1 Εξαρτήσεις Δεδομένων | 763 |
| 10.2.2 Εύρεση Εξαρτήσεων μεταξύ Προσπελάσεων Μνήμης | 764 |
| 10.2.3 Ανταλλαγή Μεταξύ της Χρήσης Καταχωρητών και Παραλληλισμού..... | 766 |
| 10.2.4 Διάταξη Φάσεων Μεταξύ της Κατανομής των Καταχωρητών και του Χρονοπρογραμματισμού του Κώδικα | 769 |
| 10.2.5 Εξαρτήσεις Ελέγχου..... | 769 |
| 10.2.6 Υποστήριξη Υποθετικής Εκτέλεσης | 770 |
| 10.2.7 Ένα βασικό Μοντέλο Μηχανής..... | 772 |
| 10.2.8 Ασκήσεις Ενότητας 10.2 | 774 |
| 10.3 Χρονοπρογραμματισμός Βασικών Τμημάτων Κώδικα..... | 775 |
| 10.3.1 Γραφήματα Εξάρτησης Δεδομένων..... | 775 |
| 10.3.2 Χρονοπρογραμματισμός Λίστας Βασικών Τμημάτων Κώδικα | 777 |
| 10.3.3 Τοπολογικές Διατάξεις με Προτεραιότητες | 778 |
| 10.3.4 Ασκήσεις Ενότητας 10.3 | 780 |
| 10.4 Καθολικός Χρονοπρογραμματισμός Κώδικα | 781 |
| 10.4.1 Θεμελιώδης Μετακίνηση Κώδικα..... | 781 |
| 10.4.2 Ανοδική Μετακίνηση Κώδικα..... | 782 |
| 10.4.3 Καθοδική Μετακίνηση Κώδικα | 784 |
| 10.4.4 Ενημέρωση Εξαρτήσεων Δεδομένων | 786 |
| 10.4.5 Αλγόριθμοι Καθολικού Χρονοπρογραμματισμού | 786 |
| 10.4.6 Προχωρημένες Τεχνικές Μετακίνησης Κώδικα..... | 790 |
| 10.4.7 Αλληλεπίδραση με Δυναμικούς Χρονοπρογραμματιστές | 791 |
| 10.4.8 Ασκήσεις Ενότητας 10.4 | 792 |
| 10.5 Διοχέτευση Λογισμικού..... | 792 |
| 10.5.1 Εισαγωγή..... | 792 |
| 10.5.2 Διοχέτευση Λογισμικού Βρόχων | 795 |
| 10.5.3 Κατανομή Καταχωρητών και Παραγωγή Κώδικα..... | 797 |
| 10.5.4 Διοχέτευση Λογισμικού σε Βρόχους με εξαρτήσεις δεδομένων..... | 798 |
| 10.5.5 Στόχοι και Περιορισμοί της Διοχέτευσης Λογισμικού | 800 |
| 10.5.6 Ένας Αλγόριθμος Διοχέτευσης Λογισμικού | 803 |
| 10.5.7 Χρονοπρογραμματισμός Ακυκλικών Γραφημάτων Εξάρτησης Δεδομένων | 804 |

| | |
|--|------------|
| 10.5.8 Χρονοπρογραμματισμός Κυκλικών Γραφημάτων Εξάρτησης Δεδομένων | 806 |
| 10.5.9 Βελτιώσεις στους Αλγορίθμους Διοχέτευσης | 813 |
| 10.5.10 Τμηματική Επέκταση Μεταβλητής | 814 |
| 10.5.11 Εντολές υπό Συνθήκη | 817 |
| 10.5.12 Υποστήριξη Υλικού για Διοχέτευση Λογισμικού | 818 |
| 10.5.13 Ασκήσεις Ενότητας 10.5 | 819 |
| 10.6 Περίληψη Κεφαλαίου 10 | 821 |
| 10.7 Αναφορές Κεφαλαίου 10..... | 823 |
| 11 Βελτιστοποίηση για Παραλληλισμό και Τοπικότητα | 825 |
| 11.1 Βασικές Έννοιες | 828 |
| 11.1.1 Πολυεπεξεργαστές..... | 828 |
| 11.1.2 Παραλληλισμός στις Εφαρμογές..... | 831 |
| 11.1.3 Παραλληλισμός Επιπέδου Βρόχου | 833 |
| 11.1.4 Τοπικότητα Δεδομένων | 835 |
| 11.1.5 Εισαγωγή στη Θεωρία των Συγγενών Μετασχηματισμών | 836 |
| 11.2 Πολλαπλασιασμός Πινάκων: Ένα Παράδειγμα σε Βάθος | 841 |
| 11.2.1 Ο Αλγόριθμος Πολλαπλασιασμού Πινάκων..... | 841 |
| 11.2.2 Βελτιστοποιήσεις..... | 844 |
| 11.2.3 Παρεμβολή της Λανθάνουσας Μνήμης..... | 847 |
| 11.2.4 Ασκήσεις Ενότητας 11.2 | 847 |
| 11.3 Χώροι Επαναλήψεων (Iteration Spaces) | 848 |
| 11.3.1 Κατασκευή Χώρων Επαναλήψεων από Εμφωλευμένους Βρόχους..... | 848 |
| 11.3.2 Σειρά Εκτέλεσης για Εμφωλεύσεις Βρόχων | 851 |
| 11.3.3 Τυποποίηση Ανισοτήτων σε Πίνακες..... | 851 |
| 11.3.4 Ενσωμάτωση Συμβολικών Σταθερών..... | 852 |
| 11.3.5 Έλεγχος της Σειράς Εκτέλεσης..... | 853 |
| 11.3.6 Αλλαγή Αξόνων | 857 |
| 11.3.7 Ασκήσεις Ενότητας 11.3 | 858 |
| 11.4 Συγγενικοί Αριθμοδείκτες Πινάκων..... | 860 |
| 11.4.1 Συγγενικές Προσπελάσεις..... | 861 |
| 11.4.2 Συγγενικές και Μη-Συγγενικές Προσπελάσεις στην Πράξη | 862 |
| 11.4.3 Ασκήσεις Ενότητας 11.4 | 863 |
| 11.5 Επαναχρησιμοποίηση Δεδομένων | 863 |
| 11.5.1 Τύποι Επαναχρησιμοποίησης..... | 865 |
| 11.5.2 Ίδια επαναχρησιμοποίηση | 866 |
| 11.5.3 Ίδια Χωρική επαναχρησιμοποίηση..... | 869 |

| | |
|--|-----|
| 11.5.4 Ομαδική Επαναχρησιμοποίηση | 871 |
| 11.5.5 Ασκήσεις Ενότητας 11.5 | 874 |
| 11.6 Ανάλυση Εξαρτήσεων Δεδομένων Πίνακα | 876 |
| 11.6.1 Ορισμός των Εξαρτήσεων Δεδομένων Προσπελάσεων Πινάκων | 877 |
| 11.6.2 Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός | 878 |
| 11.6.3 Η Δοκιμή GCD | 879 |
| 11.6.4 Ευρετική Επίλυση Ακέραιων Γραμμικών Προγραμμάτων | 880 |
| 11.6.5 Επίλυση Γενικευμένων Ακέραιων Γραμμικών Προγραμμάτων | 884 |
| 11.6.6 Περίληψη | 886 |
| 11.6.7 Ασκήσεις Ενότητας 11.6 | 887 |
| 11.7 Εύρεση Παραλληλισμού Χωρίς Απαιτήση Συγχρονισμού | 889 |
| 11.7.1 Εισαγωγικό Παράδειγμα | 889 |
| 11.7.2 Διαμερίσεις Συγγενικού Χώρου | 891 |
| 11.7.3 Περιορισμοί Διαμέρισης Χώρου | 893 |
| 11.7.4 Επίλυση Περιορισμών Διαμέρισης Χώρου | 897 |
| 11.7.5 Ένας Απλός Αλγόριθμος Παραγωγής Κώδικα | 900 |
| 11.7.6 Απομάκρυνση Κενών Επαναλήψεων | 903 |
| 11.7.7 Απομάκρυνση Δοκιμών από τους Εσώτατους Βρόχους..... | 906 |
| 11.7.8 Μετασχηματισμοί Πηγαίου Κώδικα | 907 |
| 11.7.9 Ασκήσεις Ενότητας 11.7 | 912 |
| 11.8 Συγχρονισμός Μεταξύ Παράλληλων Βρόχων..... | 914 |
| 11.8.1 Ένας Σταθερός Αριθμός Συγχρονισμών | 914 |
| 11.8.2 Γραφήματα Εξάρτησης Προγράμματος | 916 |
| 11.8.3 Ιεραρχικός Χρόνος..... | 918 |
| 11.8.4 Ο Αλγόριθμος Παραλληλισμού | 921 |
| 11.8.5 Ασκήσεις Ενότητας 11.8 | 921 |
| 11.9 Διοχέτευση..... | 922 |
| 11.9.1 Τι είναι η Διοχέτευση; | 922 |
| 11.9.2 Διαδοχική Υπερχαλάρωση (SOR): Ένα Παράδειγμα | 924 |
| 11.9.3 Πλήρως Μετατιθέμενοι Βρόχοι | 925 |
| 11.9.4 Διοχέτευση Πλήρως Μετατιθέμενων Βρόχων..... | 926 |
| 11.9.5 Γενική Θεωρία..... | 929 |
| 11.9.6 Περιορισμοί Διαμέρισης Χρόνου..... | 930 |
| 11.9.7 Επίλυση των Περιορισμών Διαμέρισης Χρόνου με το Λήμα του Farkas..... | 934 |
| 11.9.8 Μετασχηματισμοί Κώδικα..... | 937 |
| 11.9.9 Παραλληλισμός με Ελαχιστοποίηση Συγχρονισμού | 940 |
| 11.9.10 Ασκήσεις Ενότητας 11.9 | 945 |
| 11.10 Βελτιστοποιήσεις Τοπικότητας | 946 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 11.10.1 | Χρονική Τοπικότητα των Υπολογισμένων Δεδομένων | 947 |
| 11.10.2 | Σύμπτυξη Πίνακα | 948 |
| 11.10.3 | Παρεμβολή Διαμέρισης | 950 |
| 11.10.4 | Τοποθετώντας τα Πάντα Μαζί | 953 |
| 11.10.5 | Ασκήσεις Ενότητας 11.10 | 955 |
| 11.11 | Άλλες Χρήσεις των Συγγενών Μετασχηματισμών | 956 |
| 11.11.1 | Μηχανές Κατανεμημένης Μνήμης..... | 957 |
| 11.11.2 | Επεξεργαστές Εκτέλεσης Πολλαπλών Εντολών..... | 958 |
| 11.11.3 | Διανυσματικές και SIMD Εντολές | 958 |
| 11.11.4 | Προφόρτωση | 959 |
| 11.12 | Περίληψη Κεφαλαίου 11 | 961 |
| 11.13 | Αναφορές Κεφαλαίου 11 | 963 |
| 12 | Δια-Διαδικασιακή Ανάλυση | 967 |
| 12.1 | Βασικές Έννοιες | 968 |
| 12.1.1 | Γράφημα Κλήσης Διαδικασιών..... | 968 |
| 12.1.2 | Ευαισθησία Πλαισίου Εκτέλεσης Διαδικασιών | 970 |
| 12.1.3 | Συμβολοσειρές Κλήσης..... | 972 |
| 12.1.4 | Ανάλυση Ευαισθησίας Πλαισίου Εκτέλεσης Βασισμένη σε Κλωνοποίηση..... | 974 |
| 12.1.5 | Ανάλυση Ευαισθησίας Πλαισίου Εκτέλεσης Βασισμένη σε Περίληψη..... | 976 |
| 12.1.6 | Ασκήσεις Ενότητας 12.1 | 979 |
| 12.2 | Για Ποιο Λόγο Χρειαζόμαστε Δια-Διαδικασιακή Ανάλυση;..... | 980 |
| 12.2.1 | Κλήση Εικονικών Μεθόδων..... | 980 |
| 12.2.2 | Ανάλυση Ψευδώνυμου Δείκτη..... | 981 |
| 12.2.3 | Παραλληλισμός | 981 |
| 12.2.4 | Ανίχνευση Σφαλμάτων και Ευπάθειας Λογισμικού..... | 982 |
| 12.2.5 | Ένθεση SQL | 983 |
| 12.2.6 | Υπερχείλιση Προσωρινής Περιοχής Αποθήκευσης..... | 984 |
| 12.3 | Μια Λογική Αναπαράσταση της Ροής Δεδομένων..... | 986 |
| 12.3.1 | Εισαγωγή στη Datalog | 986 |
| 12.3.2 | Κανόνες Datalog | 987 |
| 12.3.3 | Παραγόμενα και Δηλούμενα Κατηγορήματα | 989 |
| 12.3.4 | Εκτέλεση Προγραμμάτων Datalog | 992 |
| 12.3.5 | Αυξητικός Υπολογισμός Προγραμμάτων Datalog | 993 |
| 12.3.6 | Προβληματικοί Κανόνες Datalog | 995 |
| 12.3.7 | Ασκήσεις Ενότητας 12.3 | 997 |
| 12.4 | Ένας Απλός Αλγόριθμος Ανάλυσης Δεικτών | 999 |
| 12.4.1 | Για Ποιο Λόγο Είναι Δύσκολη η Ανάλυση Δεικτών | 999 |

| | |
|---|-------------|
| 12.4.2 Ένα Μοντέλο για Δείκτες και Αναφορές | 1000 |
| 12.4.3 Αναισθησία Ροής | 1001 |
| 12.4.4 Ορισμός στη Datalog | 1002 |
| 12.4.5 Χρήση Πληροφορίας Τύπων | 1004 |
| 12.4.6 Ασκήσεις Ενότητας 12.4 | 1006 |
| 12.5 Δια-Διαδικασιακή Ανάλυση χωρίς Ευαισθησία Πλαισίου | |
| Εκτέλεσης | 1007 |
| 12.5.1 Αποτελέσματα της Κλήσης μιας Μεθόδου | 1007 |
| 12.5.2 Ανακάλυψη του Γράφου Κλήσης στη Datalog | 1008 |
| 12.5.3 Δυναμική Φόρτωση και Αντανάκλαση..... | 1010 |
| 12.5.4 Ασκήσεις Ενότητας 12.5 | 1011 |
| 12.6 Ανάλυση Δεικτών με Ευαισθησίας Πλαισίου Εκτέλεσης | 1011 |
| 12.6.1 Πλαίσια εκτέλεσης και Συμβολοσειρές Κλήσεις | 1012 |
| 12.6.2 Προσθήκη Πληροφοριών Πλαισίων Εκτέλεσης σε | |
| Κανόνες Datalog | 1015 |
| 12.6.3 Επιπλέον Παρατηρήσεις Σχετικά με την Ευαισθησία | 1016 |
| 12.6.4 Ασκήσεις Ενότητας 12.6 | 1017 |
| 12.7 Υλοποίηση της Datalog Δυαδικά Δέντρα Αποφάσεων (BDD's) | 1017 |
| 12.7.1 Διαγράμματα Δυαδικών Αποφάσεων | 1018 |
| 12.7.2 Μετασχηματισμοί σε BDD's..... | 1019 |
| 12.7.3 Αναπαράσταση Σχέσεων με BDD's..... | 1020 |
| 12.7.4 Σχεσιακές Λειτουργίες ως Λειτουργίες BDD's..... | 1021 |
| 12.7.5 Χρήση BDD's για Ανάλυση Αναφορών (Points-to Analysis)..... | 1024 |
| 12.7.6 Ασκήσεις Ενότητας 12.7 | 1025 |
| 12.8 Περίληψη Κεφαλαίου 12 | 1025 |
| 12.9 Αναφορές Κεφαλαίου12..... | 1028 |
| A Ένα Πλήρες Εμπρόσθιο Τμήμα Μεταγλωττιστή..... | 1033 |
| A.1 Η Πηγαία Γλώσσα | 1033 |
| A.2 Κυρίως Πρόγραμμα | 1035 |
| A.3 Λεκτικός Αναλυτής..... | 1035 |
| A.4 Πίνακες Συμβόλων και Τύποι | 1039 |
| A.5 Ενδιάμεσος Κώδικας για Εκφράσεις | 1040 |
| A.6 Κώδικας Μεταβάσεων για Λογικές Εκφράσεις..... | 1044 |
| A.7 Ενδιάμεσος Κώδικας για Προτάσεις..... | 1049 |
| A.8 Συντακτικός Αναλυτής..... | 1053 |
| A.9 Δημιουργία του Εμπρόσθιου Τμήματος του Μεταγλωττιστή..... | 1060 |
| B Εύρεση Γραμμικά Ανεξάρτητων Λύσεων | 1063 |