

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Πρόλογος</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>13</b>
1.1 Οι Μεγάλες Σύγχρονες Επιστημονικές Προκλήσεις .....	13
1.2 Εξέλιξη της Παράλληλης Επεξεργασίας Δεδομένων .....	15
1.3 Οι Έννοιες της Σωλήνωσης, του Παραλληλισμού Δεδομένων και του Παραλληλισμού Ελέγχου .....	18
1.4 Το Κόσκινο του Ερατοσθένη .....	23
1.5 Ο Νόμος του Amdahl .....	33
1.6 Κατηγοριοποίηση Ψηφιακών Υπολογιστικών Συστημάτων .....	35
1.6.1 Γενικά .....	35
1.6.2 Το Πρότυπο SISD .....	37
1.6.3 Το Πρότυπο SIMD .....	39
1.6.4 Το Πρότυπο MISD .....	41
1.6.5 Το Πρότυπο MIMD .....	41
<b>2. Στοιχεία Αρχιτεκτονικής Παράλληλων Υπολογιστών</b> .....	<b>47</b>
2.1 Δίκτυα Διασύνδεσης .....	48
2.1.1 Δίκτυα Μοναδικού Σταδίου (single stage networks) .....	52
2.1.2 Δίκτυα Πολλαπλών Σταδίων (multiple stage networks) .....	59
2.1.3 Αξιολόγηση Δικτύων Διασύνδεσης .....	75
2.2 Παράλληλοι Υπολογιστές Κοινής Μνήμης .....	76
2.2.1 Πολυεπεξεργαστές Ομοιόμορφης Προσπέλασης Μνήμης (UMA) ..	77
2.2.2 Πολυεπεξεργαστές Μη Ομοιόμορφης Προσπέλασης Μνήμης (NUMA) .....	83
2.3 Παράλληλοι Υπολογιστές Κατανεμημένης Μνήμης .....	83
2.3.1 Επικοινωνία Επεξεργαστών .....	85
2.4 Υβριδικές Αρχιτεκτονικές – Υπερυπολογιστές .....	90
<b>3. Πρότυπα Παράλληλου Υπολογισμού</b> .....	<b>95</b>
3.1 Θεμελιώδεις Έννοιες .....	97

3.2	Πρότυπα Πολυεπεξεργαστών .....	99
3.2.1	PRAM .....	99
3.2.2	Πρότυπο Δικτύου .....	109
3.2.3	BSP .....	113
3.3	Πρότυπα Έργου-Βάθους .....	119
3.3.1	Γλωσσικό Πρότυπο με βάση τη NESL .....	120
3.4	Προσομιώσεις μεταξύ των Προτύπων .....	125
3.5	Το Έργο-Χρόνος Πλαίσιο Παρουσίασης Παράλληλων Αλγορίθμων .....	127
3.5.1	Η έννοια του Βέλτιστου Παράλληλου Αλγορίθμου .....	133
3.6	Στοιχεία της Θεωρίας Παράλληλης Πολυπλοκότητας .....	134
3.6.1	Η Κλάση NC .....	135
3.6.2	P-Πλήρη Προβλήματα .....	136
<b>4.</b>	<b>Παράλληλοι Αλγόριθμοι Κοινής Μνήμης .....</b>	<b>139</b>
4.1	Βασικές Τεχνικές Σχεδιασμού Παράλληλων Αλγορίθμων .....	140
4.1.1	Δομή Ισοζυγισμένου Δένδρου .....	140
4.1.1.1	Αναδρομικός Υπολογισμός Αθροισμάτων Προθεμάτων .	140
4.1.1.2	Μη Αναδρομικός Υπολογισμός Αθροισμάτων Προθεμάτων .....	144
4.1.2	Η Τεχνική του Διπλασιασμού Δεικτών .....	146
4.1.2.1	Εύρεση της Τάξης Στοιχείου Λίστας .....	147
4.1.3	Η Τεχνική της Διαδρομής του Euler .....	150
4.1.3.1	Υπολογισμός της Διαδρομής του Euler .....	151
4.1.3.2	Εφαρμογές της Τεχνικής της Διαδρομής του Euler .....	157
4.1.4	Η Τεχνική της Διαμέρισης .....	161
4.1.4.1	Συγχώνευση Διατεταγμένων Ακολουθιών .....	162
4.2	Αλγόριθμοι Ταξινόμησης .....	167
4.2.1	Αλγόριθμος Ταξινόμησης Συγχώνευσης .....	168
4.2.2	Πιθανοτικός Αλγόριθμος Γρήγορης Ταξινόμησης .....	171
4.3	Αλγόριθμοι Γράφων .....	179
4.3.1	Εύρεση Συνεκτικών Συνιστωσών .....	179
4.3.2	Τεχνικές Ανάπτυξης Αλγορίθμων σε Γράφους .....	181
<b>5.</b>	<b>Παράλληλοι Αλγόριθμοι Κατανεμημένης Μνήμης .....</b>	<b>185</b>
5.1	Τεχνικές Παραλληλοποίησης σε Περιβάλλον Κατανεμημένης Μνήμης ...	185

5.2	Αλγόριθμοι Ταξινόμησης .....	188
5.2.1	Παράλληλη Ταξινόμηση με την Τεχνική της Σωλήνωσης .....	193
5.2.2	Ο Αλγόριθμος της Περιττής-Άρτιας Μετάθεσης σε Γραμμικό Δίκτυο .....	199
5.2.2.1	Επέκταση σε Τοπολογία Δισδιάστατου Πλέγματος .....	205
5.2.3	Ο Αλγόριθμος της Γρήγορης Ταξινόμησης σε Κατανεμημένη Μνήμη .....	209
5.2.4	Παράλληλη Ταξινόμηση με Κανονική Δειγματοληψία .....	219
5.2.5	Ο Αλγόριθμος της Διτονικής Ταξινόμησης .....	225
5.3	Αλγόριθμοι Πολλαπλασιασμού Πινάκων .....	233
5.3.1	Πολλαπλασιασμός Πινάκων σε Τοπολογία Δακτυλίου .....	236
5.3.2	Πολλαπλασιασμός Πινάκων σε Τοπολογία Δισδιάστατου Πλέγματος .....	240
5.3.2.1	Ο Αλγόριθμος του Cannon .....	240
5.3.2.2	Ο Αλγόριθμος του Fox .....	245
5.3.3	Πολλαπλασιασμός Πινάκων με την Τεχνική της Σωλήνωσης .....	250
5.4	Αλγόριθμοι Επίλυσης Γραμμικών Συστημάτων .....	255
5.4.1	Παραλληλοποίηση της Μεθόδου Απαλοιφής του Gauss .....	256
5.4.2	Παραλληλοποίηση της Επαναληπτικής Μεθόδου Jacobi .....	263
5.4.2.1	Η Μέθοδος Jacobi για την Επίλυση Διαφορικών Εξισώσεων .....	269
5.4.3	Ανάδρομη Αντικατάσταση με την Τεχνική της Σωλήνωσης .....	274
<b>6.</b>	<b>Παράλληλος Υπολογισμός για Μεγάλα Δεδομένα .....</b>	<b>283</b>
6.1	Απαιτήσεις Επεξεργασίας Μεγάλων Δεδομένων .....	284
6.2	Συστοιχίες Υπολογιστών – Κέντρα Δεδομένων .....	286
6.3	Κατανεμημένα Συστήματα Αρχείων .....	289
6.3.1	Οργάνωση Κόμβων σε Μεγάλες Συστοιχίες Υπολογιστών .....	289
6.3.2	Απαιτήσεις Συστημάτων Αρχείων Μεγάλης Κλίμακας .....	291
6.4	Το Μοντέλο του MapReduce .....	293
6.4.1	Η Γενική Ιδέα .....	293
6.4.2	Οι εργασίες Map .....	295
6.4.3	Ομαδοποίηση – Ταξινόμηση με βάση το Κλειδί .....	298
6.4.4	Οι εργασίες Reduce και Combine .....	301
6.4.5	Αντιμετώπιση Αποτυχιών .....	305

6.5	Ενδεικτικοί Αλγόριθμοι με χρήση του MapReduce .....	306
6.5.1	Αυτόματη Δεικτοδότηση και Ομαδοποίηση Κειμένων .....	307
6.5.2	Πολλαπλασιασμοί Διανυσμάτων και Πινάκων .....	315
6.5.3	Πράξεις Σχεσιακής Άλγεβρας – SQL .....	325
6.5.4	Άλλοι Αλγόριθμοι – Απόδοση .....	335
6.6	Υλοποιήσεις – Επεκτάσεις του MapReduce .....	343
6.6.1	Apache Hadoop .....	344
6.6.2	Apache Spark .....	249
6.6.3	Άλλες Επεκτάσεις .....	356
<b>7.</b>	<b>Προγραμματισμός Παράλληλων Μηχανών .....</b>	<b>359</b>
7.1	Πρότυπα Παράλληλου Προγραμματισμού .....	359
7.1.1	Το Πρότυπο Κοινής Μνήμης .....	360
7.1.2	Το Πολυνηματικό Πρότυπο .....	360
7.1.3	Το Πρότυπο Ανταλλαγής Μηνυμάτων .....	361
7.1.4	Το Πρότυπο Παραλληλισμού Δεδομένων .....	362
7.1.5	Πρότυπα Προγραμματισμού σε Υψηλό Επίπεδο .....	362
	7.1.5.1 Το Πρότυπο SPMD (Single Program Multiple Data) .....	363
	7.1.5.2 Το Πρότυπο MPMD (Multiple Program Multiple Data) ..	363
7.2	Προγραμματισμός Κοινής Μνήμης με Χρήση του OpenMP .....	364
7.2.1	Εισαγωγή .....	364
7.2.2	Το Πρότυπο Προγραμματισμού του OpenMP .....	365
7.2.3	Βασικές Δομές και Διαταγές Παραλληλισμού .....	367
	7.2.3.1 Η βασική διαταγή παραλληλισμού .....	367
	7.2.3.2 Οι βασικές διαταγές διαμοιρασμού εργασίας .....	371
7.2.4	Διαταγές Υποστήριξης Συγχρονισμού .....	381
	7.2.4.1 Η διαταγή <i>critical</i> .....	382
	7.2.4.2 Η διαταγή <i>atomic</i> .....	385
	7.2.4.3 Μηχανισμοί κλειδώματος .....	387
	7.2.4.4 Η διαταγή <i>barrier</i> .....	389
	7.2.4.5 Η διαταγή <i>master</i> .....	391
	7.2.4.6 Η διαταγή <i>flush</i> .....	392
7.2.5	Ορισμός Διακριτών Εργασιών (Tasks) .....	392
7.2.6	Άλλες Δυνατότητες και Παραδείγματα .....	397
	7.2.6.1 Η δήλωση <i>reduction</i> .....	397

7.2.6.2	Η δήλωση collapse .....	401
7.2.6.3	Άλλες δυνατότητες εμφωλιασμού .....	406
7.2.6.4	Άλλα χρήσιμα παραδείγματα .....	410
7.2.6.5	Άλλες συναρτήσεις βιβλιοθήκης του OpenMP .....	418
7.2.6.6	Μετάφραση προγραμμάτων OpenMP σε C/C++.....	420
7.3	Προγραμματισμός Κατανεμημένης Μνήμης με Χρήση MPI .....	421
7.3.1	Εισαγωγή.....	421
7.3.2	Το Πρότυπο Προγραμματισμού του MPI.....	422
7.3.3	Η Δομή ενός Προγράμματος MPI.....	424
7.3.4	Βασικές Συναρτήσεις Ανταλλαγής Μηνυμάτων .....	432
7.3.4.1	Συναρτήσεις Αναστέλλουσας Επικοινωνίας.....	434
7.3.4.2	Συναρτήσεις Μη-Αναστέλλουσας Επικοινωνίας .....	444
7.3.5	Συναρτήσεις Συλλογικής Επικοινωνίας.....	456
7.3.5.1	Η συνάρτηση MPI_Barrier .....	457
7.3.5.2	Η συνάρτηση MPI_Bcast.....	458
7.3.5.3	Η συνάρτηση MPI_Scatter .....	459
7.3.5.4	Η συνάρτηση MPI_Gather .....	463
7.3.5.5	Η συνάρτηση MPI_Reduce .....	465
7.3.6	Διαχείριση Εικονικών Τοπολογιών .....	470
7.3.6.1	Η συνάρτηση MPI_Cart_create .....	471
7.3.6.2	Άλλες συναρτήσεις διαχείρισης καρτεσιανών τοπολογιών .....	473
7.3.7	Άλλες Συναρτήσεις και Παραδείγματα .....	476
7.3.7.1	Ορισμός Ομάδων Διεργασιών (Groups) .....	476
7.3.7.2	Ομαδοποίηση Δεδομένων (pack/unpack).....	483
7.3.7.3	Παραγόμενοι Τύποι (structs).....	488
7.3.7.4	Οι συναρτήσεις MPI_Scatterv & MPI_Gatherv .....	494
7.3.7.5	Άλλα Χρήσιμα Παραδείγματα .....	499
7.3.7.6	Άλλες συναρτήσεις βιβλιοθήκης .....	512
7.3.7.7	Μετάφραση προγραμμάτων MPI σε C/C++ .....	516
<b>8.</b>	<b>Προγραμματισμός Καρτών Γραφικών.....</b>	<b>519</b>
8.1	Στοιχεία Αρχιτεκτονικής μιας Σύγχρονης Κάρτας Γραφικών .....	520
8.1.1	Εισαγωγή.....	520
8.1.2	Επεξεργαστές και Πολυεπεξεργαστές Ροής .....	521

8.1.3	Ιεραρχία Μνήμης .....	523
8.1.4	Το Μοντέλο Εκτέλεσης SIMT .....	525
8.1.5	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα έναντι της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας .....	527
8.2	Το Μοντέλο Προγραμματισμού της CUDA.....	529
8.2.1	Εισαγωγή .....	529
8.2.2	Πλατφόρμα και Μοντέλο Προγραμματισμού .....	530
8.2.3	Αξιοποίηση Ιεραρχίας Μνήμης .....	536
8.2.3.1	Βασική Χρήση Καθολικής Μνήμης .....	537
8.2.3.2	Χρήση Κοινής Μνήμης – Ιδιωτικοποίηση .....	542
8.2.4.3	Παράδειγμα: Πολλαπλασιασμός Πινάκων .....	547
8.2.4	Συγχρονισμός – Ατομικές Εντολές.....	558
8.2.4.1	Υποστήριξη Συγχρονισμού.....	559
8.2.4.2	Παρεχόμενες Ατομικές Εντολές.....	561
8.2.4.3	Υλοποίηση Επιπλέον Ατομικών Εντολών με χρήση Υπάρχουσας (atomicCAS) .....	566
8.2.4.4	Υλοποίηση Κρίσιμης Περιοχής.....	569
8.2.4.5	Παράδειγμα: Εξαγωγή Ιστογράμματος .....	572
8.2.5	Άλλες Δυνατότητες και Παραδείγματα.....	579
8.2.5.1	Σειριακή Κλήση Πολλαπλών Πυρήνων .....	579
8.2.5.2	Εκτέλεση Πολλαπλών Πυρήνων Ταυτόχρονα .....	581
8.2.5.3	Υλοποίηση Εργασιών Απομείωσης (reduction) .....	583
8.2.5.4	Άλλα Παραδείγματα .....	591
8.3	Το πρότυπο της OpenCL .....	599
8.3.1	Εισαγωγή.....	599
8.3.2	Υποστήριξη Συσκευών.....	601
8.3.3	Μοντέλο Υπολογισμού και Μνήμης .....	603
8.3.4	Δομή και Σύνταξη Προγραμμάτων.....	609
8.3.5	Ομοιότητες και Διαφορές με την CUDA.....	626
8.3.6	Άλλες Δυνατότητες – Παραδείγματα .....	628