

# Spis treści

<b>Podziękowania .....</b>	<b>12</b>
<b>Przedmowa .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Wprowadzenie .....</b>	<b>15</b>
1.1. Obiekty współdzielone i synchronizacja .....	18
1.2. Historyjka.....	20
1.2.1. Wzajemne wykluczenie i inne własności .....	23
1.2.2. Morał .....	24
1.3. Problem producenta-konsumenta .....	25
1.4. Problem czytelników i pisarzy.....	27
1.5. Surowe realia zrównoleglenia.....	28
1.6. Programowanie równoległe .....	30
1.7. Przypisy do rozdziału.....	31
1.8. Ćwiczenia .....	31
<b>I. Zasady .....</b>	<b>35</b>
<b>2. Wzajemne wykluczenie.....</b>	<b>37</b>
2.1. Czas.....	37
2.2. Sekcje krytyczne .....	38
2.3. Rozwiązania dwuwątkowe .....	41
2.3.1. Klasa LockOne.....	41
2.3.2. Klasa LockTwo.....	42
2.3.3. Blokada Petersona .....	43
2.4. Blokada Filter.....	45
2.5. Uczciwość.....	48
2.6. Algorytm piekarniany Lamporta .....	48
2.7. Ograniczone znaczniki czasu.....	50
2.8. Dolne ograniczenia liczby lokacji.....	54
2.9. Przypisy do rozdziału.....	59

2.10.	Ćwiczenia .....	59
<b>3.</b>	<b>Obiekty współbieżne .....</b>	<b>64</b>
3.1.	Współbieżność a poprawność .....	64
3.2.	Obiekty sekwencyjne .....	67
3.3.	Spójność spoczynkowa .....	69
3.3.1.	Uwagi .....	70
3.4.	Spójność sekwencyjna .....	71
3.4.1.	Uwagi .....	72
3.5.	Linearyzowalność .....	74
3.5.1.	Punkty linearyzacji .....	75
3.5.2.	Uwagi .....	75
3.6.	Definicje formalne .....	75
3.6.1.	Linearyzowalność .....	77
3.6.2.	Linearyzowalność kompozycyjna .....	78
3.6.3.	Własność nieblokująca .....	79
3.7.	Warunki postępu .....	80
3.7.1.	Zależne warunki postępu .....	81
3.8.	Model pamięci Javy .....	82
3.8.1.	Blokady i bloki synchronized .....	84
3.8.2.	Pola ulotne .....	84
3.8.3.	Pola finalne .....	85
3.9.	Uwagi .....	86
3.10.	Przypisy do rozdziału .....	87
3.11.	Ćwiczenia .....	87
<b>4.</b>	<b>Podstawy pamięci współdzielonej .....</b>	<b>92</b>
4.1.	Przestrzeń rejestrów .....	93
4.2.	Konstrukcje rejestrów .....	99
4.2.1.	Bezpieczne rejestry MRSW .....	100
4.2.2.	Regularny boolowski rejestr MRSW .....	101
4.2.3.	Regularny M-wartościowy rejestr MRSW .....	102
4.2.4.	Atomowy rejestr SRSW .....	104
4.2.5.	Atomowy rejestr MRSW .....	106
4.2.6.	Atomowy rejestr MRMW .....	108
4.3.	Atomowe migawki .....	110
4.3.1.	Migawka niehamowana .....	111
4.3.2.	Migawka nieczekająca .....	113
4.3.3.	Argumenty poprawności .....	116
4.4.	Przypisy do rozdziału .....	117
4.5.	Ćwiczenia .....	118
<b>5.</b>	<b>Względna moc elementarnych operacji synchronizacyjnych .....</b>	<b>123</b>
5.1.	Liczby konsensusu .....	124
5.1.1.	Stany i walencyjność .....	125
5.2.	Rejestry atomowe .....	127
5.3.	Protokoły konsensusu .....	130

5.4.	Kolejki FIFO .....	131
5.5.	Obiekty wielokrotnego przypisania .....	135
5.6.	Operacje odczytu-modyfikacji-zapisu .....	138
5.7.	Operacje RMW Common2 .....	140
5.8.	Operacja compareAndSet() .....	142
5.9.	Przypisy do rozdziału.....	143
5.10.	Ćwiczenia .....	144
<b>6.</b>	<b>Uniwersalność konsensusu .....</b>	<b>151</b>
6.1.	Wprowadzenie .....	151
6.2.	Uniwersalność.....	152
6.3.	Uniwersalna konstrukcja niewstrzymywana .....	152
6.4.	Uniwersalna konstrukcja nieczekająca .....	157
6.5.	Przypisy do rozdziału.....	163
6.6.	Ćwiczenia .....	163
<b>II.</b>	<b>Praktyka.....</b>	<b>167</b>
<b>7.</b>	<b>Blokady wirujące i rywalizacja.....</b>	<b>169</b>
7.1.	Witajcie w prawdziwym świecie .....	169
7.2.	Blokady TAS .....	172
7.3.	Powtórka z blokad wirujących typu TAS .....	175
7.4.	Wycyfywanie wykładnicze.....	176
7.5.	Blokady kolejkowe .....	178
7.5.1.	Blokady oparte na tablicach .....	179
7.5.2.	Kolejkowa blokada CLH .....	181
7.5.3.	Kolejkowa blokada MCS.....	184
7.6.	Blokada kolejkowa z czasem ważności .....	186
7.7.	Blokada złożona.....	189
7.7.1.	Blokada kompozycyjna z szybką ścieżką.....	194
7.8.	Blokady hierarchiczne .....	197
7.8.1.	Hierarchiczna blokada z wycyfywaniem.....	198
7.8.2.	Hierarchiczna blokada kolejkowa CLH .....	198
7.9.	Jedna blokada, by rządzić wszystkimi .....	204
7.10.	Przypisy do rozdziału.....	204
7.11.	Ćwiczenia .....	205
<b>8.</b>	<b>Monitory i synchronizacja blokująca.....</b>	<b>208</b>
8.1.	Wprowadzenie .....	208
8.2.	Blokady z monitorami i warunki .....	209
8.2.1.	Warunki .....	210
8.2.2.	Problem zagubionych pobudek .....	213
8.3.	Blokady odczytujący-zapisujący .....	215
8.3.1.	Prosta blokada odczytujący-zapisujący .....	215
8.3.2.	Uczciwa blokada odczytujący-zapisujący .....	217
8.4.	Nasza własna blokada wielowejsciowa .....	220
8.5.	Semafory.....	222

8.6.	Przypisy do rozdziału.....	223
8.7.	Ćwiczenia .....	223
<b>9.</b>	<b>Listy powiązane: rola blokowania .....</b>	<b>227</b>
9.1.	Wprowadzenie .....	227
9.2.	Zbiory oparte na listach .....	229
9.3.	Rozumowanie współbieżne .....	230
9.4.	Synchronizacja gruboziarnista .....	232
9.5.	Synchronizacja drobnoziarnista .....	234
9.6.	Synchronizacja optymistyczna .....	238
9.7.	Synchronizacja leniwa .....	242
9.8.	Synchronizacja nieblokująca .....	247
9.9.	Omówienie.....	253
9.10.	Przypisy do rozdziału.....	254
9.11.	Ćwiczenia .....	254
<b>10.</b>	<b>Kolejki współbieżne i problem ABA .....</b>	<b>257</b>
10.1.	Wprowadzenie .....	257
10.2.	Kolejki .....	259
10.3.	Ograniczona kolejka częściowa.....	259
10.4.	Nieograniczona kolejka zupełna.....	264
10.5.	Nieograniczona kolejka bez wstrzymywania .....	265
10.6.	Odzyskiwanie pamięci i problem ABA .....	269
	10.6.1. Naiwna kolejka synchroniczna.....	273
10.7.	Dualne struktury danych.....	274
10.8.	Przypisy do rozdziału.....	277
10.9.	Ćwiczenia .....	277
<b>11.</b>	<b>Współbieżne stosy i eliminacja.....</b>	<b>280</b>
11.1.	Wprowadzenie .....	280
11.2.	Nieograniczony stos niewstrzymywany .....	280
11.3.	Eliminacja .....	283
11.4.	Eliminacyjny stos z wycofywaniem .....	284
	11.4.1. Wymiennik niewstrzymywany .....	284
	11.4.2. Tablica eliminacji .....	287
11.5.	Przypisy do rozdziału.....	290
11.6.	Ćwiczenia .....	290
<b>12.</b>	<b>Zliczanie, sortowanie i koordynacja rozproszona.....</b>	<b>295</b>
12.1.	Wprowadzenie .....	295
12.2.	Współdzielone zliczanie .....	295
12.3.	Łączenie programowe.....	296
	12.3.1. Przegląd .....	297
	12.3.2. Rozbudowany przykład .....	305
	12.3.3. Wydajność i odporność .....	306
12.4.	Pule spójne spoczynkowo i liczniki.....	307
12.5.	Sieci zliczające.....	307

12.5.1.	Sieci, które liczą .....	308
12.5.2.	Bitoniczna sieć zliczająca .....	311
12.5.3.	Wydajność i przetwarzanie potokowe .....	320
12.6.	Drzewa dyfrakcyjne .....	320
12.7.	Sortowanie równoległe .....	325
12.8.	Sieci sortujące .....	325
12.8.1.	Projektowanie sieci sortującej .....	326
12.9.	Sortowanie próbkowe .....	329
12.10.	Koordinacja rozproszona .....	331
12.11.	Przypisy do rozdziału .....	332
12.12.	Ćwiczenia .....	333
<b>13.</b>	<b>Współbieżne mieszanie i naturalny paralelizm .....</b>	<b>338</b>
13.1.	Wprowadzenie .....	338
13.2.	Tablice mieszające z adresowaniem zamkniętym .....	340
13.2.1.	Gruboziarnisty zbiór wymieszany .....	342
13.2.2.	Zbiór wymieszany z przeplataniem blokad .....	343
13.2.3.	Adaptowalny zbiór wymieszany .....	346
13.3.	Niewstrzymywany zbiór wymieszany .....	349
13.3.1.	Rekurencyjny porządek dzielony .....	349
13.3.2.	Klasa BucketList .....	353
13.3.3.	Klasa LockFreeHashSet<T> .....	355
13.4.	Zbiór wymieszany z adresowaniem otwartym .....	357
13.4.1.	Mieszanie dynamiczne .....	358
13.4.2.	Współbieżne mieszanie dynamiczne .....	359
13.4.3.	Współbieżne mieszanie dynamiczne z przeplataniem .....	364
13.4.4.	Adaptowalny, współbieżny, dynamiczny zbiór wymieszany .....	366
13.5.	Przypisy do rozdziału .....	367
13.6.	Ćwiczenia .....	369
<b>14.</b>	<b>Listy z przeskokami i wyszukiwanie wyważone .....</b>	<b>370</b>
14.1.	Wprowadzenie .....	370
14.2.	Sekwencyjne listy z przeskokami .....	370
14.3.	Współbieżna lista z przeskokami i z blokadą .....	373
14.3.1.	Ogólne ujęcie .....	373
14.3.2.	Algorytm .....	375
14.4.	Niewstrzymywana, współbieżna lista z przeskokami .....	381
14.4.1.	Ujęcie ogólne .....	381
14.4.2.	Szczegółowe omówienie algorytmu .....	384
14.5.	Współbieżne listy z przeskokami .....	392
14.6.	Przypisy do rozdziału .....	392
14.7.	Ćwiczenia .....	393
<b>15.</b>	<b>Kolejki priorytetowe .....</b>	<b>395</b>
15.1.	Wprowadzenie .....	395
15.1.1.	Współbieżne kolejki priorytetowe .....	395
15.2.	Ograniczona kolejka priorytetowa na bazie tablicy .....	396

15.3.	Ograniczona kolejka priorytetowa na bazie drzewa .....	397
15.4.	Nieograniczona kolejka priorytetowa na bazie kopca .....	400
15.4.1.	Kopiec sekwencyjny .....	401
15.4.2.	Kopiec współbieżny .....	403
15.5.	Nieograniczona kolejka priorytetowa na podstawie listy z przeskokami .....	409
15.6.	Przypisy do rozdziału .....	412
15.7.	Ćwiczenia .....	412
<b>16.</b>	<b>Zobowiązania, szeregowanie i rozkład pracy .....</b>	<b>415</b>
16.1.	Wprowadzenie .....	415
16.2.	Analiza zrównoleglenia .....	422
16.3.	Szeregowanie w realistycznym systemie wieloprocessorowym .....	425
16.4.	Podział pracy .....	428
16.4.1.	Kradzież pracy .....	429
16.4.2.	Zwalnianie procesorów i programowanie wieloprocessorowe .....	430
16.5.	Kolejki dwukierunkowe z kradzieżą pracy .....	430
16.5.1.	Ograniczona dwukierunkowa kolejka kradnąca pracę .....	431
16.5.2.	Nieograniczona dwukierunkowa kolejka kradnąca pracę .....	435
16.5.3.	Równoważenie pracy .....	439
16.6.	Przypisy do rozdziału .....	440
16.7.	Ćwiczenia .....	441
<b>17.</b>	<b>Bariery .....</b>	<b>446</b>
17.1.	Wprowadzenie .....	446
17.2.	Implementacje bariery .....	448
17.3.	Bariera zmieniająca fazy .....	449
17.4.	Bariera z drzewem łączącym .....	450
17.5.	Bariera z drzewem statycznym .....	453
17.6.	Bariery z wykrywaniem zakończenia .....	453
17.7.	Przypisy do rozdziału .....	458
17.8.	Ćwiczenia .....	459
<b>18.</b>	<b>Pamięć transakcyjna .....</b>	<b>466</b>
18.1.	Wprowadzenie .....	466
18.1.1.	Co jest nie tak z blokowaniem? .....	466
18.1.2.	Co jest nie tak z metodą compareAndSet()? .....	467
18.1.3.	Co jest nie tak z kompozycyjnością? .....	469
18.1.4.	Co można z tym zrobić? .....	470
18.2.	Transakcje i atomowość .....	470
18.3.	Programowa pamięć transakcyjna .....	473
18.3.1.	Transakcje i transakcyjne wątki .....	476
18.3.2.	Zombie i spójność .....	478
18.3.3.	Obiekty atomowe .....	479
18.3.4.	Postęp zależny czy niezależny? .....	481
18.3.5.	Menedżery rywalizacji .....	481
18.3.6.	Implementowanie obiektów atomowych .....	483
18.3.7.	Niehamowany obiekt atomowy .....	485

18.3.8. Obiekt atomowy z blokadą.....	489
18.4. Sprzętowa pamięć transakcyjna.....	497
18.4.1. Spójność pamięci podręcznej.....	498
18.4.2. Transakcyjna spójność pamięci podręcznej.....	499
18.4.3. Udoskonalenia.....	500
18.5. Przypisy do rozdziału.....	501
18.6. Ćwiczenia.....	501
<b>A. Podstawy programowania.....</b>	<b>503</b>
A.1. Wprowadzenie.....	503
A.2. Java.....	503
A.2.1. Wątki.....	503
A.2.2. Monitory.....	505
A.2.3. Ustępowanie i usypianie.....	508
A.2.4. Lokalne obiekty wątków.....	508
A.3. C#.....	510
A.3.1. Wątki.....	510
A.3.2. Monitory.....	512
A.3.3. Lokalne obiekty wątków.....	513
A.4. Pthreads.....	514
A.4.1. Lokalna pamięć wątków.....	517
A.5. Przypisy do rozdziału.....	518
<b>B. Podstawowe informacje o urządzeniach.....</b>	<b>519</b>
B.1. Wprowadzenie (i zagadka).....	519
B.2. Procesory i wątki.....	522
B.3. Połączenie.....	522
B.4. Pamięć.....	523
B.5. Pamięci podręczne.....	524
B.5.1. Spójność.....	525
B.5.2. Aktywne czekanie.....	527
B.6. Programowanie pod kątem pamięci podręcznej, czyli rozwiązanie zagadki.....	527
B.7. Architektury wielordzeniowe i wielowątkowe.....	529
B.7.1. Rozluźniona spójność pamięci.....	530
B.8. Sprzętowe instrukcje synchronizacyjne.....	531
B.9. Przypisy do rozdziału.....	533
B.10. Ćwiczenia.....	533
<b>Bibliografia.....</b>	<b>536</b>
<b>Indeks.....</b>	<b>548</b>