
Spis treści

Przedmowa	XIII
---------------------	------

Część I Podstawy

Wprowadzenie	2
1. Rola algorytmów w obliczeniach	4
1.1. Algorytmy	4
1.2. Algorytmy jako technologia	10
2. Zaczynamy	15
2.1. Sortowanie przez wstawianie	15
2.2. Analiza algorytmów	22
2.3. Projektowanie algorytmów	29
2.3.1. Metoda „dziel i zwyciężaj”	29
2.3.2. Analiza algorytmów typu „dziel i zwyciężaj”	34
3. Rzędy wielkości funkcji	43
3.1. Notacja asymptotyczna	44
3.2. Standardowe notacje i typowe funkcje	53
4. Metoda „dziel i zwyciężaj”	65
4.1. Problem maksymalnej podtablicy	68
4.2. Algorytm Strassena mnożenia macierzy	75
4.3. Metoda podstawiania	83
4.4. Metoda drzewa rekursji	87
4.5. Metoda rekurencji uniwersalnej	93

★	4.6.	Dowód twierdzenia o rekurencji uniwersalnej	96
	4.6.1.	Dowód dla dokładnych potęg	97
	4.6.2.	Podłogi i sufity	102
5.		Analiza probabilistyczna i algorytmy randomizowane	112
	5.1.	Problem zatrudnienia sekretarki	112
	5.2.	Zmienne losowe wskaźnikowe	116
	5.3.	Algorytmy randomizowane	120
★	5.4.	Analiza probabilistyczna i dalsze zastosowania zmiennych losowych wskaźnikowych	128
	5.4.1.	Paradoks dnia urodzin	129
	5.4.2.	Kule i urny	132
	5.4.3.	Ciągi „dobrej passy”, czyli sukcesów	133
	5.4.4.	Problem on-line zatrudnienia sekretarki	138

Część II Sortowanie i statystyki pozycyjne

	Wprowadzenie	146
6.	Heapsort – sortowanie przez kopcowanie	151
6.1.	Kopce	151
6.2.	Przywracanie własności kopca	154
6.3.	Budowanie kopca	156
6.4.	Algorytm sortowania przez kopcowanie (heapsort)	159
6.5.	Kolejki priorytetowe	161
7.	Quicksort – sortowanie szybkie	168
7.1.	Opis algorytmu	168
7.2.	Czas działania algorytmu quicksort	172
7.3.	Randomizowana wersja algorytmu quicksort	177
7.4.	Analiza algorytmu quicksort	178
7.4.1.	Analiza przypadku pesymistycznego	178
7.4.2.	Analiza oczekiwanego czasu działania	179
8.	Sortowanie w czasie liniowym	188
8.1.	Dolne ograniczenia dla problemu sortowania	189
8.2.	Sortowanie przez zliczanie	191
8.3.	Sortowanie pozycyjne	194
8.4.	Sortowanie kubełkowe	198
9.	Mediany i statystyki pozycyjne	210
9.1.	Minimum i maksimum	211
9.2.	Wybór w oczekiwanym czasie liniowym	212
9.3.	Wybór w pesymistycznym czasie liniowym	217

Część III Struktury danych

Wprowadzenie	226
10. Elementarne struktury danych	230
10.1. Stosy i kolejki	230
10.2. Listy (z dowiązaniem)	234
10.3. Reprezentowanie struktur wskaźnikowych za pomocą tablic	239
10.4. Reprezentowanie drzew (ukorzenionych)	244
11. Tablice z haszowaniem	251
11.1. Tablice z adresowaniem bezpośrednim	252
11.2. Tablice z haszowaniem	254
11.3. Funkcje haszujące	260
11.3.1. Haszowanie modularne	262
11.3.2. Haszowanie przez mnożenie	263
★ 11.3.3. Haszowanie uniwersalne	264
11.4. Adresowanie otwarte	269
★ 11.5. Haszowanie doskonałe	278
12. Drzewa wyszukiwań binarnych	287
12.1. Co to jest drzewo wyszukiwań binarnych?	288
12.2. Wyszukiwanie w drzewie wyszukiwań binarnych	290
12.3. Wstawianie i usuwanie	295
★ 12.4. Losowo skonstruowane drzewa wyszukiwań binarnych	300
13. Drzewa czerwono-czarne	309
13.1. Własności drzew czerwono-czarnych	309
13.2. Operacje rotacji	313
13.3. Operacja wstawiania	316
13.4. Operacja usuwania	324
14. Wzbogacanie struktur danych	341
14.1. Dynamiczne statystyki pozycyjne	342
14.2. Jak wzbogacać strukturę danych	347
14.3. Drzewa przedziałowe	351

Część IV Zaawansowane metody konstruowania i analizowania algorytmów

Wprowadzenie	360
15. Programowanie dynamiczne	362
15.1. Rozcinanie pręta	363

15.2.	Mnożenie ciągu macierzy	374
15.3.	Podstawy programowania dynamicznego	382
15.4.	Najdłuższy wspólny podciąg	394
15.5.	Optymalne drzewa wyszukiwań binarnych	401
16.	Algorytmy zachłanne	419
16.1.	Problem wyboru zajęć	420
16.2.	Podstawy strategii zachłannej	428
16.3.	Kody Huffmana	434
★ 16.4.	Matroidy a strategie zachłanne	442
★ 16.5.	Problem szeregowania zadań	449
17.	Analiza kosztu zamortyzowanego	457
17.1.	Metoda kosztu sumarycznego	458
17.2.	Metoda księgowania	462
17.3.	Metoda potencjału	465
17.4.	Tablice dynamiczne	469
17.4.1.	Powiększanie tablicy	470
17.4.2.	Powiększanie i zmniejszanie tablicy	474
Część V Złożone struktury danych		
	Wprowadzenie	488
18.	B-drzewa	491
18.1.	Definicja B-drzewa	496
18.2.	Podstawowe operacje na B-drzewach	498
18.3.	Usuwanie klucza z B-drzewa	506
19.	Kopce Fibonacciego	513
19.1.	Struktura kopców Fibonacciego	516
19.2.	Operacje kopca złączalnego	518
19.3.	Zmniejszanie wartości klucza i usuwanie węzła	527
19.4.	Oszacowanie maksymalnego stopnia	531
20.	Drzewa van Emde Boasa	540
20.1.	Wstępne koncepcje	541
20.2.	Struktura rekurencyjna	545
20.2.1.	Prototypowe struktury van Emde Boasa	547
20.2.2.	Operacje na prototypowej strukturze van Emde Boasa	549
20.3.	Drzewo van Emde Boasa	555
20.3.1.	Drzewa van Emde Boasa	555
20.3.2.	Operacje na drzewie van Emde Boasa	559
21.	Struktury danych dla zbiorów rozłącznych	571
21.1.	Operacje na zbiorach rozłącznych	571
21.2.	Listowa reprezentacja zbiorów rozłącznych	574

	21.3. Lasy zbiorów rozłącznych	579
★	21.4. Analiza metody łączenia według rangi z kompresją ścieżki	583

Część VI Algorytmy grafowe

	Wprowadzenie	598
22.	Podstawowe algorytmy grafowe	600
	22.1. Reprezentacja grafów	600
	22.2. Przeszukiwanie wszerek	604
	22.3. Przeszukiwanie w głąb	614
	22.4. Sortowanie topologiczne	624
	22.5. Silnie spójne składowe	627
23.	Minimalne drzewa rozpinające	636
	23.1. Rozrastanie się minimalnego drzewa rozpinającego	637
	23.2. Algorytmy Kruskala i Prima	643
24.	Najkrótsze ścieżki z jednym źródłem	656
	24.1. Algorytm Bellmana-Forda	664
	24.2. Najkrótsze ścieżki z jednym źródłem w acyklicznych grafach	668
	24.3. Algorytm Dijkstry	671
	24.4. Ograniczenia różnicowe i najkrótsze ścieżki	678
	24.5. Dowody własności najkrótszych ścieżek	684
25.	Najkrótsze ścieżki między wszystkimi parami wierzchołków	698
	25.1. Najkrótsze ścieżki i mnożenie macierzy	700
	25.2. Algorytm Floyda-Warshalla	707
	25.3. Algorytm Johnsona dla grafów rzadkich	714
26.	Maksymalny przepływ	723
	26.1. Sieci przepływowe	724
	26.2. Metoda Forda-Fulkersona	729
	26.3. Najliczniejsze skojarzenia w grafach dwudzielnych	747
★	26.4. Algorytmy typu „prześlij-przemianuj”	752
★	26.5. Algorytm „przemianuj i przesun na początek”	766

Część VII Wybrane zagadnienia

	Wprowadzenie	788
27.	Algorytmy wielowątkowe	791
	27.1. Podstawy dynamicznej wielowątkowości	794
	27.2. Wielowątkowe mnożenie macierzy	812
	27.3. Wielowątkowe sortowanie przez skalanie	817

28.	Operacje na macierzach	833
28.1.	Rozwiązywanie układów równań liniowych	833
28.2.	Odwracanie macierzy	847
28.3.	Symetryczne macierze dodatnio określone i metoda najmniejszych kwadratów	853
29.	Programowanie liniowe	863
29.1.	Postać standardowa i uzupełnieniowa	871
29.2.	Formułowanie problemów w postaci programów liniowych	879
29.3.	Algorytm sympleks	885
29.4.	Dualność	901
29.5.	Początkowe bazowe rozwiązanie dopuszczalne	907
30.	Wielomiany i FFT	920
30.1.	Reprezentacja wielomianów	922
30.2.	DFT i FFT	929
30.3.	Efektywne implementacje FFT	937
31.	Algorytmy teorii liczb	948
31.1.	Podstawowe pojęcia teorii liczb	950
31.2.	Największy wspólny dzielnik	956
31.3.	Arytmetyka modularna	961
31.4.	Rozwiązywanie modularnych równań liniowych	969
31.5.	Chińskie twierdzenie o resztach	973
31.6.	Potęgi elementu	976
31.7.	System kryptograficzny z kluczem publicznym RSA	981
★	31.8. Sprawdzanie, czy dana liczba jest pierwsza	988
★	31.9. Rozkład na czynniki pierwsze	999
32.	Wyszukiwanie wzorca	1009
32.1.	Algorytm „naiwny” wyszukiwania wzorca	1012
32.2.	Algorytm Rabina-Karpa	1014
32.3.	Wyszukiwanie wzorca z wykorzystaniem automatów skończonych	1019
★	32.4. Algorytm Knutha-Morrisa-Pratta	1026
33.	Geometria obliczeniowa	1038
33.1.	Własności odcinków	1039
33.2.	Sprawdzanie, czy jakkolwiek para odcinków się przecina	1046
33.3.	Znajdowanie otoczki wypukłej	1053
33.4.	Znajdowanie pary najmniej odległych punktów	1064
34.	NP-zupełność	1073
34.1.	Czas wielomianowy	1079
34.2.	Weryfikacja w czasie wielomianowym	1087
34.3.	NP-zupełność i redukowalność	1092
34.4.	Dowodzenie NP-zupełności	1103
34.5.	Problemy NP-pełne	1111
34.5.1.	Problem klikli	1112
34.5.2.	Problem pokrycia wierzchołkowego	1114

34.5.3. Problem cyklu Hamiltona	1116
34.5.4. Problem komiwojażera	1121
34.5.5. Problem sumy podzbioru	1122
35. Algorytmy aproksymacyjne	1131
35.1. Problem pokrycia wierzchołkowego	1133
35.2. Problem komiwojażera	1137
35.2.1. Problem komiwojażera z nierównością trójkąta	1138
35.2.2. Ogólny problem komiwojażera	1140
35.3. Problem pokrycia zbioru	1143
35.4. Randomizacja i programowanie liniowe	1148
35.5. Problem sumy podzbioru	1153
Część VIII Dodatek: Podstawy matematyczne	
Wprowadzenie	1168
A. Sumy	1170
A.1. Wzory i własności dotyczące sum	1170
A.2. Szacowanie sum	1174
B. Zbiory i nie tylko	1183
B.1. Zbiory	1183
B.2. Relacje	1188
B.3. Funkcje	1190
B.4. Grafy	1193
B.5. Drzewa	1197
B.5.1. Drzewa wolne	1198
B.5.2. Drzewa ukorzenione i uporządkowane	1200
B.5.3. Drzewa binarne i pozycyjne	1201
C. Zliczanie i prawdopodobieństwo	1206
C.1. Zliczanie	1206
C.2. Prawdopodobieństwo	1212
C.3. Dyskretne zmienne losowe	1219
C.4. Rozkłady: geometryczny i dwumianowy	1224
★ C.5. Krańce rozkładu dwumianowego	1230
D. Macierze	1239
D.1. Macierze i operacje na macierzach	1239
D.2. Podstawowe własności macierzy	1244
Bibliografia	1252
Skorowidz	1269