

Raport Metaheurystyki

Bartosz Fabisiak

Maj 2021

1 Środowisko implementacji

Algorytmy zostały zaimplementowane w języku Python, zostały uruchomione na laptopie z procesorem Intel(R) Core(TM) i7-9759H CPU @ 2.60GHz i 32 GB pamięci RAM.

2 Dane testowe

Dane testowe pochodzą ze strony <https://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/datasets/tsp/tsp.html>. W plikach "5cities.tsp", "15cities.tsp", "17cities.tsp", "26cities.tsp", "42cities.tsp", "48cities.tsp" znajdują się przekopiowane ze strony macierze wag. Liczba na początku nazwy każdego pliku wskazuje na to z ilu wierzchołków składa się zawarty w nim graf.

3 Przyjęta miara jakości

Do mierzenia jakości wykorzystuje względny błąd (w procentach) znalezionej wagi w stosunku do najlepszej możliwej wagi oraz czas jaki zajęło zaimplementowanemu algorytmowi na znalezienie tej wagi. Dla każdego pliku wykonano po 10 powtórzeń obliczeń danymi algorytmami i wyniki uśredniono.

4 Otrzymane wyniki

- Nazwa pliku: 5cities.tsp. Najlepsza możliwa waga: 19

iteracyjne przeszukiwanie lokalne			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	19	0.0	0.0850076675415039
2	19	0.0	0.08500051498413086
3	19	0.0	0.08300065994262695
4	19	0.0	0.08099222183227539
5	19	0.0	0.08299827575683594
6	19	0.0	0.08300185203552246
7	19	0.0	0.08414268493652344
8	19	0.0	0.08302497863769531
9	19	0.0	0.08101820945739746
10	19	0.0	0.07996821403503418
uśrednione:	19.0	0.0	0.08281552791595459

przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	19	0.0	0.0
2	19	0.0	0.0
3	19	0.0	0.0
4	19	0.0	0.0
5	19	0.0	0.0
6	19	0.0	0.0010001659393310547
7	19	0.0	0.0
8	19	0.0	0.0
9	19	0.0	0.0
10	19	0.0	0.0
uśrednione:	19.0	0.0	0.00010001659393310547

algorytm genetyczny			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	19	0.0	14.022570133209229
2	19	0.0	13.340013265609741
3	19	0.0	13.685519695281982
4	19	0.0	13.53851842880249
5	19	0.0	13.22182297706604
6	19	0.0	13.58345627784729
7	19	0.0	13.360291004180908
8	19	0.0	13.572029829025269
9	19	0.0	13.461535692214966
10	19	0.0	13.571859359741211
uśrednione:	19.0	0.0	13.535761666297912

- Nazwa pliku: 15cities.tsp. Najlepsza możliwa waga: 291

iteracyjne przeszukiwanie lokalne			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	291	0.0	4.179418325424194
2	291	0.0	4.112836599349976
3	291	0.0	4.17482590675354
4	291	0.0	3.8874239921569824
5	291	0.0	3.8680970668792725
6	291	0.0	4.093009948730469
7	291	0.0	3.8204846382141113
8	291	0.0	4.041025876998901
9	291	0.0	3.889338493347168
10	291	0.0	4.040024042129517
uśrednione:	291.0	0.0	4.010648488998413

przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	291	0.0	0.01599431037902832
2	291	0.0	0.01702404022216797
3	291	0.0	0.015999555587768555
4	291	0.0	0.018001317977905273
5	307	5.498281786941581	0.0169985294342041
6	291	0.0	0.02120351791381836
7	291	0.0	0.027999401092529297
8	291	0.0	0.015001773834228516
9	291	0.0	0.02099919319152832
10	291	0.0	0.014001131057739258
uśrednione:	292.6	0.5498281786941581	0.018322277069091796

algorytm genetyczny			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	331	13.745704467353953	21.104079008102417
2	365	25.42955326460481	21.35931111038208
3	353	21.305841924398624	21.362695693969727
4	330	13.402061855670103	21.354727745056152
5	359	23.367697594501717	21.298604249954224
6	340	16.83848797250859	21.266164779663086
7	361	24.054982817869416	22.497759103775024
8	360	23.711340206185564	21.70744037628174
9	349	19.93127147766323	21.726441383361816
10	353	21.305841924398624	21.162778854370117
uśrednione:	350.1	20.309278350515463	21.48400022983551

- Nazwa pliku: 17cities.tsp. Najlepsza możliwa waga: 2085

iteracyjne przeszukiwanie lokalne			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	2085	0.0	6.1236371994018555
2	2085	0.0	5.896806001663208
3	2085	0.0	5.968653678894043
4	2085	0.0	6.16100811958313
5	2085	0.0	6.101168155670166
6	2085	0.0	6.037744760513306
7	2085	0.0	6.256315469741821
8	2085	0.0	5.944601058959961
9	2085	0.0	6.209454536437988
10	2085	0.0	6.009272813796997
uśrednione:	2085.0	0.0	6.070866179466248

przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	2157	3.4532374100719423	0.014002084732055664
2	2090	0.2398081534772182	0.026998281478881836
3	2088	0.14388489208633093	0.051001548767089844
4	2090	0.2398081534772182	0.04400777816772461
5	2088	0.14388489208633093	0.020998001098632812
6	2090	0.2398081534772182	0.04900240898132324
7	2088	0.14388489208633093	0.03200483322143555
8	2088	0.14388489208633093	0.03799319267272949
9	2090	0.2398081534772182	0.03000164031982422
10	2090	0.2398081534772182	0.028998136520385742
uśrednione:	2095.9	0.5227817745803358	0.0335007905960083

algorytm genetyczny			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	2481	18.992805755395683	23.032474994659424
2	2529	21.294964028776977	23.231147050857544
3	2469	18.41726618705036	23.64718270301819
4	2573	23.4052757793765	23.59870219230652
5	2520	20.863309352517987	23.359600067138672
6	2538	21.72661870503597	23.758370399475098
7	2568	23.16546762589928	23.951366424560547
8	2501	19.952038369304557	24.305975675582886
9	2442	17.12230215827338	24.262559413909912
10	2452	17.60191846522782	23.92403745651245
uśrednione:	2507.3	20.254196642685848	23.707141637802124

- Nazwa pliku: 26cities.tsp. Najlepsza możliwa waga: 937

iteracyjne przeszukiwanie lokalne			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	956	2.0277481323372464	24.126635551452637
2	937	0.0	25.19417667388916
3	953	1.7075773745997866	24.719800233840942
4	960	2.454642475987193	24.375093698501587
5	955	1.92102454642476	24.324952840805054
6	968	3.3084311632870866	24.841898918151855
7	955	1.92102454642476	23.764042854309082
8	937	0.0	24.5346999168396
9	955	1.92102454642476	24.66496777534485
10	953	1.7075773745997866	24.157299518585205
uśrednione:	952.9	1.6969050160085382	24.470356798172

przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	996	6.296691568836713	0.2086935043334961
2	1001	6.830309498399147	0.21203207969665527
3	974	3.9487726787620065	0.1499650478363037
4	962	2.6680896478121667	0.17106199264526367
5	959	2.3479188900747063	0.19297003746032715
6	1022	9.071504802561366	0.2650327682495117
7	955	1.92102454642476	0.20700812339782715
8	1036	10.56563500533618	0.13201045989990234
9	937	0.0	0.17814350128173828
10	962	2.6680896478121667	0.21601462364196777
uśrednione:	980.4	4.63180362860192	0.19329321384429932

algorytm genetyczny			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	1659	77.05442902881536	40.707175731658936
2	1614	72.25186766275347	41.094857692718506
3	1591	69.79722518676627	41.22429084777832
4	1610	71.82497331910352	40.9527747631073
5	1660	77.16115261472785	41.21349120140076
6	1660	77.16115261472785	41.04289364814758
7	1699	81.32337246531483	41.020705223083496
8	1664	77.5880469583778	41.19641661643982
9	1676	78.86872998932765	40.72633385658264
10	1664	77.5880469583778	41.34482407569885
uśrednione:	1649.7	76.06189967982925	41.05237636566162

- Nazwa pliku: 42cities.tsp. Najlepsza możliwa waga: 699

iteracyjne przeszukiwanie lokalne			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	772	10.44349070100143	99.48355412483215
2	743	6.294706723891273	98.57465100288391
3	724	3.5765379113018603	95.33226275444031
4	761	8.869814020028613	100.24681091308594
5	780	11.587982832618025	97.42080998420715
6	772	10.44349070100143	99.34549069404602
7	782	11.874105865522175	101.11266231536865
8	791	13.161659513590845	100.58173727989197
9	777	11.158798283261802	101.21755599975586
10	732	4.721030042918455	100.77034521102905
uśrednione:	763.4	9.213161659513592	99.4085880279541

przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	715	2.28898426323319	2.310364246368408
2	713	2.0028612303290414	1.6969952583312988
3	728	4.148783977110158	2.1257197856903076
4	699	0.0	1.6623377799987793
5	699	0.0	1.760969877243042
6	766	9.585121602288984	1.86785888671875
7	714	2.1459227467811157	1.3919689655303955
8	708	1.2875536480686696	1.806046962738037
9	704	0.7153075822603719	1.903090000152588
10	729	4.291845493562231	1.8726911544799805
uśrednione:	717.5	2.6466380543633763	1.8398042917251587

algorytm genetyczny			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	2015	188.26895565092988	104.56601572036743
2	1941	177.6824034334764	104.93690943717957
3	2048	192.98998569384835	104.48289370536804
4	1939	177.39628040057224	104.02859330177307
5	1964	180.9728183118741	102.53005909919739
6	1969	181.6881258941345	101.62656927108765
7	1994	185.26466380543633	100.3417718410492
8	1884	169.52789699570815	100.46978187561035
9	1999	185.9799713876967	100.7571530342102
10	1997	185.69384835479258	100.8973286151886
uśrednione:	1975.0	182.54649499284693	102.46370759010316

- Nazwa pliku: 48cities.tsp. Najlepsza możliwa waga: 33523

iteracyjne przeszukiwanie lokalne			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	36373	8.501625749485427	148.90008282661438
2	36895	10.058765623601706	153.41458439826965
3	36900	10.07368075649554	153.658189535141
4	37419	11.621871550875518	149.40285921096802
5	37084	10.622557646988634	156.17252445220947
6	36788	9.739581779673658	165.39489722251892
7	36848	9.918563374399666	157.6600866317749
8	37736	12.567490976344601	155.68130087852478
9	37477	11.794887092443993	149.39401149749756
10	35908	7.114518390358858	153.8662931919098
uśrednione:	36942.8	10.20135429406676	154.35448298454284

przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	35053	4.564030665513229	3.463667154312134
2	34684	3.4632938579482744	2.0670015811920166
3	34201	2.022492020403902	3.4887893199920654
4	34191	1.9926617546162335	4.859116315841675
5	34830	3.8988157384482296	4.194259166717529
6	34051	1.5750380335888794	3.1759963035583496
7	34760	3.690003877934552	2.961393356323242
8	35824	6.863944157742445	3.2525522708892822
9	34601	3.2157026519106284	3.271170139312744
10	35442	5.724428004653522	3.717540740966797
uśrednione:	34763.7	3.7010410762759895	3.4451486349105833

algorytm genetyczny			
iteracja	znaleziona waga	błąd względny (%)	czas zakończenia
1	95722	185.54127017271725	137.89199447631836
2	99616	197.15717567043524	135.61297392845154
3	102922	207.0190615398383	136.85257267951965
4	97883	191.98759060943235	140.46864795684814
5	102472	205.67669957939327	138.56843662261963
6	101990	204.23888076842766	138.86781883239746
7	99937	198.11472720221937	139.21552872657776
8	96520	187.92172538257316	136.756334066391
9	99164	195.80884765683263	135.49179220199585
10	98861	194.90499060346627	137.40608072280884
uśrednione:	99508.7	196.83709691853355	137.71321802139283

5 Wnioski

Wnioski wyciągnięte z danych zawartych w powyższych tabelach:

- Najszybszy algorytm - przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa wydaje się wykonywać najszybciej ze wszystkich algorytmów dla małych zestawów danych. Algorytm genetyczny może wykonywać się szybciej wraz ze zmniejszeniem parametrów N i liczbie maksymalnych iteracji, ale może również z tego powodu nie dawać wystarczająco dobrych wyników.
- Algorytm znajdujący najlepsze wyniki - Dla nie wielkich zestawów danych (grafów o mniejszej liczbie wierzchołków) algorytm iteracyjnego przeszukiwania lokalnego zdaje się osiągać najlepsze rozwiązania. Wraz ze wzrostem liczby wierzchołków od pewnego momentu przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa zaczyna dawać lepsze wyniki.
- Zależność od parametrów - iteracyjne przeszukiwanie lokalne oraz przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa nie wymagają dużych zmian w parametrach, aby otrzymywać zadowalające wyniki w miarę przyzwoitym czasie szczególnie przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa. Algorytm genetyczny natomiast bez odpowiedniego dostosowania parametrów może bardzo łatwo osiągnąć bardzo długie wykonywanie się dla bardzo prostych testów lub nie wystarczające dla większych. Być może zwiększenie ilości iteracji przy iteracyjnym przeszukiwaniu lokalnym dawało by bardziej dokładne wyniki przy większych grafach
- Różnice między algorytmami - przy małych danych różnice pomiędzy algorytmem iteracyjnego przeszukiwania lokalnego, a przeszukiwaniem zmiennego sąsiedztwa są nie wielkie. Wraz z wzrostem danych przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa zaczyna sobie radzić lepiej zarówno przy dokładności wyniku jak i czasie wykonania. Algorytm genetyczny z drugiej strony widocznie odstaje od reszty głównie w jakości wyniku.

6 Który algorytm rekomenduję

Jeżeli zależy nam na jakości wyniku i nie przejmujemy się czasem wykonania algorytmu iteracyjne przeszukiwanie lokalne z dostosowaną odpowiednio ilością wykonanych iteracji może dawać najlepsze wyniki, ale przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa nie wydaje się złym wyborem. W kwestii czasu w jakim otrzymamy zadowalający wynik przeszukiwanie zmiennego sąsiedztwa wydaje się najlepszą opcją.