

Projektowanie efektywnych algorytmów

Projekt – zadanie 3

Algorytm genetyczny

Problem komiwojażera

Autor: Filip Przygoński, 248892

Prowadzący: mgr inż. Antoni Sterna

Grupa zajęciowa: śr. 13:15

Wstęp teoretyczny

Problem komiwojażera (Travelling Salesman Problem - TSP)

W problemie komiwojażera dane jest n miast. Komiwojażer zaczyna w pierwszym mieście, odwiedza każde inne miasto jeden raz i wraca do pierwszego miasta. Rozwiązaniem problemu jest najkrótsza droga spełniająca powyższy warunek.

Patrząc informatycznie, problem można zobrazować jako ważony, skierowany (jeśli 'koszt' przejazdu z miasta 1 do miasta 2 jest różny od przejazdu z miasta 2 do miasta 1), graf pełny, gdzie wierzchołkami grafu są miasta.

Algorytm genetyczny

1. Na początku generowana jest losowa populacja n osobników. Pojedynczy osobnik zakodowany jest permutacją miast (np. {0,5,1,2,4,3}).
2. Ocena osobników – obliczenie ich kosztu trasy.
3. Selekcja rodziców.
4. Tworzenie nowej populacji.
5. Zastąpienie starej populacji nową.
6. Jeśli nie przekroczono zadanego czasu -> przejdź do 2.
7. Zwróć najlepsze rozwiązanie.

Selekcja: Z populacji wybieramy losowe 2 osobniki, wybieramy z nich lepszego i dodajemy go do populacji rodziców. Taki „turniej” powtarzamy, aż otrzymamy tyle rodziców, ile jest osobników w populacji.

Tworzenie nowej populacji: Bierzymy z kandydatów na rodziców dwa osobniki, i krzyżujemy je zadaną szansą krzyżowania. Jeśli krzyżowanie się powiodło, potomkami są skrzyżowane osobniki, jeśli się nie powiodło, potomkami są niezmienione osobniki. Następnie potomki ulegają mutacji z również zadaną szansą. Tak stworzonych potomków dodajemy do nowej populacji. Powtarzamy, dopóki nowa populacja nie osiągnęła liczebności starej populacji.

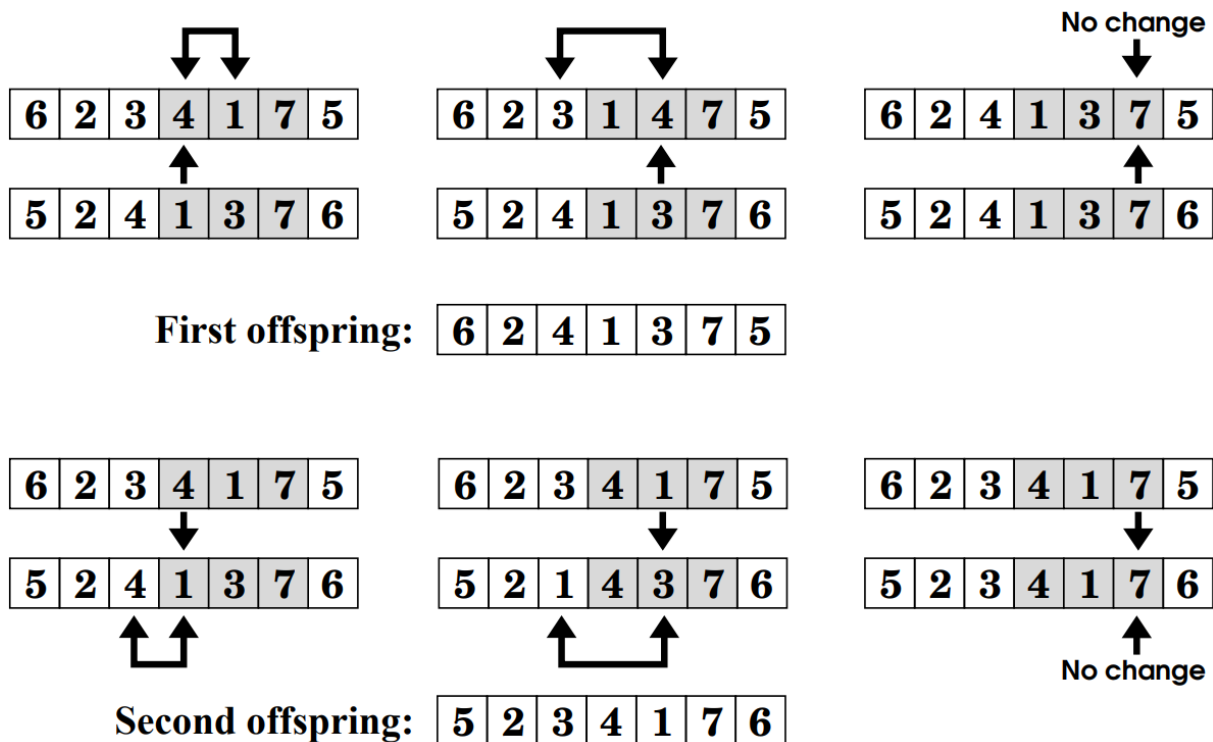
Operatory krzyżowania

Partially Matched Crossover (PMX)

Mając dwóch rodziców – p1 i p2, tworzymy dziecko w następujący sposób:

1. Dziecko jest kopią p1.
2. Wybieramy losowo dwa punkty krzyżowań, np. x i y, gdzie $x < y$.
3. Między x i y wstawiamy do dziecka miasta z rodzica p2. Aby permutacja była prawidłowa, wstawiając miasto np. 4 za miasto np. 1, musimy w dziecku zamienić miasta 1 i 4.

Aby stworzyć drugie dziecko, należy zamienić rodziców (tj. $p1=p2$, $p2=p1$).



Order Crossover (OX)

Mając dwóch rodziców – $p1$ i $p2$, tworzymy dziecko w następujący sposób:

1. Wybieramy losowo dwa punkty krzyżowań, np. x i y , gdzie $x < y$.
2. Między x i y wstawiamy do dziecka miasta z rodzica $p1$.
3. Zaczynając za punktem y , do dziecka kopiuj wierzchołki z rodzica $p2$, pomijając wierzchołki już skopiowane.

Przykład:

$p1 = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$

$p2 = \{9,3,7,8,2,6,5,1,4\}$

krok 1: $x=4, y=7$

krok 2: dziecko = $\{0,0,0,4,5,6,7,0,0\}$ – tutaj 0 oznacza jeszcze nieprzypisane miasto

krok 3:

- $p2 = \{9,3,7,8,2,6,5, \mathbf{1}, 4\}$, dziecko = $\{0,0,0,4,5,6,7, \mathbf{1}, 0\}$
- $p2 = \{9,3,7,8,2,6,5,1, \mathbf{4}\}$, dziecko = $\{0,0,0,4,5,6,7,1, \mathbf{0}\}$, nie dodajemy bo 4 już jest
- $p2 = \{\mathbf{9},3,7,8,2,6,5,1,4\}$, dziecko = $\{0,0,0,4,5,6,7,1, \mathbf{9}\}$
- $p2 = \{9, \mathbf{3}, 7,8,2,6,5,1,4\}$, dziecko = $\{\mathbf{3}, 0,0,4,5,6,7,1,9\}$
- $p2 = \{9,3, \mathbf{7}, 8,2,6,5,1,4\}$, dziecko = $\{3, \mathbf{0}, 0,4,5,6,7,1,9\}$, nie dodajemy bo 7 już jest
- $p2 = \{9,3,7, \mathbf{8}, 2,6,5,1,4\}$, dziecko = $\{3, \mathbf{8}, 0,4,5,6,7,1,9\}$
- $p2 = \{9,3,7,8, \mathbf{2}, 6,5,1,4\}$, dziecko = $\{3,8, \mathbf{2}, 4,5,6,7,1,9\}$
- dziecko ma wszystkie miasta, koniec krzyżowania

Aby stworzyć drugie dziecko, należy zamienić rodziców (tj. $p1=p2, p2=p1$).

Operatory mutacji

Zaimplementowane zostały 2 różne operatory mutacji:

- Swap – zamiana elementów na pozycjach i, j
- Reverse – zamiana kolejności elementów między elementami na pozycjach i, j

Przykłady działania mutacji dla $\{0, 1, 2, 3, 4, 5\}, i = 1, j = 4$

- Swap: $\{0, 4, 2, 3, 1, 5\}$
- Reverse: $\{0, 4, 3, 2, 1, 5\}$

Opis klas

- `MatrixGraph` – klasa reprezentująca graf jako macierz sąsiedztwa.
- `Algorithms` – klasa statyczna – algorytm genetyczny, operatory krzyżowań, mutacji oraz metody pomocnicze dla algorytmu genetycznego.
- `Program` – klasa statyczna – metody interfejsu użytkownika.

Plan eksperymentu

Program został napisany w języku C#, w .NET Framework, w środowisku Visual Studio 2019.

Do mierzenia czasu wykorzystano klasę `Stopwatch` z przestrzeni nazw `System.Diagnostics`:

<https://docs.microsoft.com/en-gb/dotnet/api/system.diagnostics.stopwatch>

Do wyświetlania pośrednich wyników w trakcie wykonywania algorytmu wykorzystano drugi wątek.

Testowane instancje problemu to *br17*, *ft70*, *rbg323*. Takie same jak w zadaniu 2.

Wyniki eksperymentu

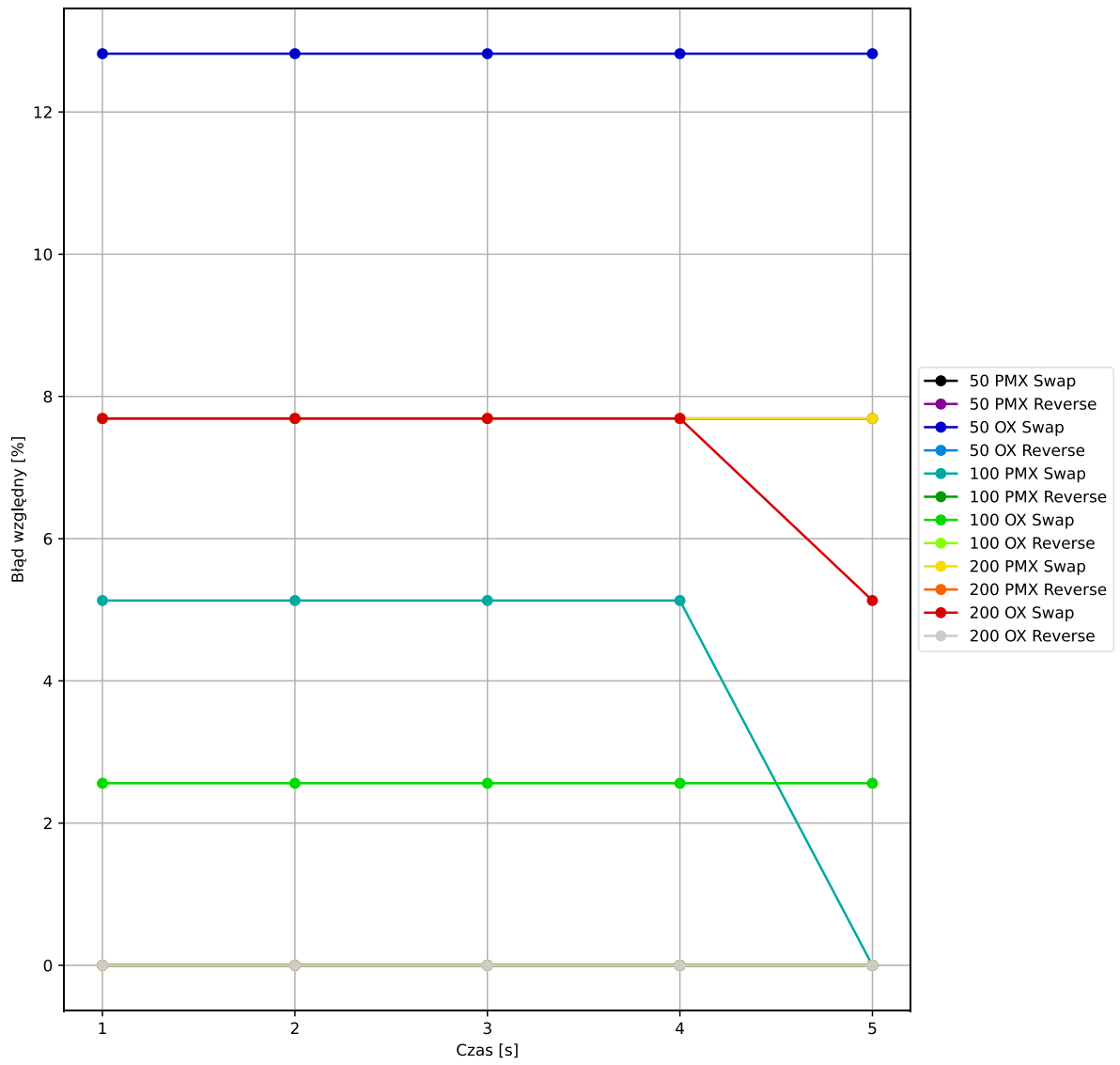
Wpływ wielkości populacji

Legenda: wielkość populacji, sposób krzyżowania, sposób mutacji

Instancja br17, optymalny wynik: 39

50 PMX Swap	42	42	42	42	42
Błąd względny [%]	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%
Czas [s]	1	2	3	4	5
50 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
50 OX Swap	44	44	44	44	44
Błąd względny [%]	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%
Czas [s]	1	2	3	4	5
50 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
100 PMX Swap	41	41	41	41	39
Błąd względny [%]	5,13%	5,13%	5,13%	5,13%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
100 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
100 OX Swap	40	40	40	40	40
Błąd względny [%]	2,56%	2,56%	2,56%	2,56%	2,56%
Czas [s]	1	2	3	4	5
100 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
200 PMX Swap	42	42	42	42	42
Błąd względny [%]	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%
Czas [s]	1	2	3	4	5
200 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
200 OX Swap	42	42	42	42	41
Błąd względny [%]	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%	5,13%
Czas [s]	1	2	3	4	5
200 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5

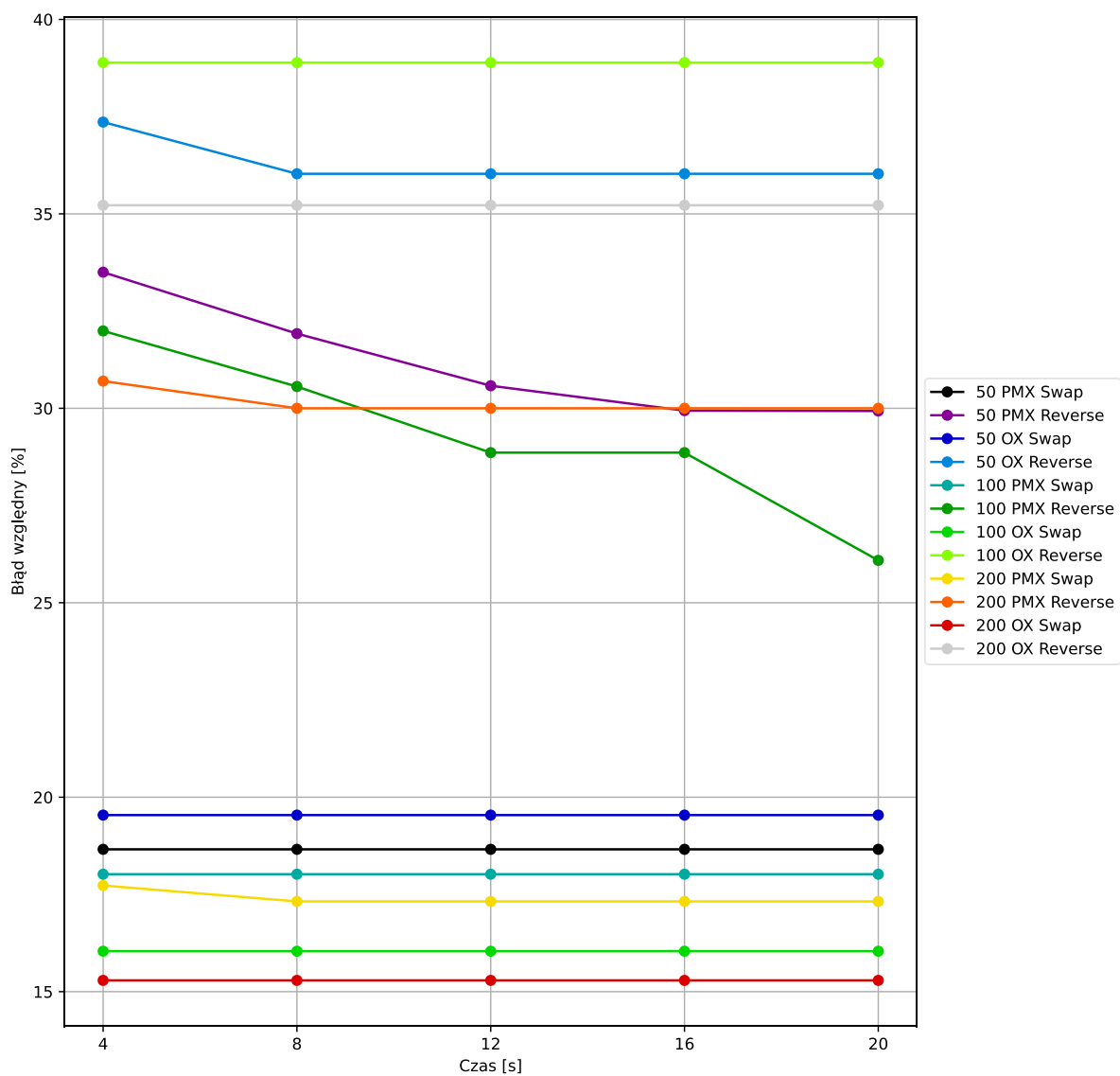
br17 - wpływ wielkości populacji



Instancja ftv70, optymalny wynik: 38673

50 PMX Swap	45888	45888	45888	45888	45888
Błąd względny [%]	18,66%	18,66%	18,66%	18,66%	18,66%
Czas [s]	4	8	12	16	20
50 PMX Reverse	51629	51019	50498	50252	50249
Błąd względny [%]	33,50%	31,92%	30,58%	29,94%	29,93%
Czas [s]	4	8	12	16	20
50 OX Swap	46231	46231	46231	46231	46231
Błąd względny [%]	19,54%	19,54%	19,54%	19,54%	19,54%
Czas [s]	4	8	12	16	20
50 OX Reverse	53121	52605	52605	52605	52605
Błąd względny [%]	37,36%	36,03%	36,03%	36,03%	36,03%
Czas [s]	4	8	12	16	20
100 PMX Swap	45643	45643	45643	45643	45643
Błąd względny [%]	18,02%	18,02%	18,02%	18,02%	18,02%
Czas [s]	4	8	12	16	20
100 PMX Reverse	51043	50493	49834	49834	48761
Błąd względny [%]	31,99%	30,56%	28,86%	28,86%	26,09%
Czas [s]	4	8	12	16	20
100 OX Swap	44878	44878	44878	44878	44878
Błąd względny [%]	16,04%	16,04%	16,04%	16,04%	16,04%
Czas [s]	4	8	12	16	20
100 OX Reverse	53711	53711	53711	53711	53711
Błąd względny [%]	38,89%	38,89%	38,89%	38,89%	38,89%
Czas [s]	4	8	12	16	20
200 PMX Swap	45530	45370	45370	45370	45370
Błąd względny [%]	17,73%	17,32%	17,32%	17,32%	17,32%
Czas [s]	4	8	12	16	20
200 PMX Reverse	50547	50273	50273	50273	50273
Błąd względny [%]	30,70%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%
Czas [s]	4	8	12	16	20
200 OX Swap	44585	44585	44585	44585	44585
Błąd względny [%]	15,29%	15,29%	15,29%	15,29%	15,29%
Czas [s]	4	8	12	16	20
200 OX Reverse	52292	52292	52292	52292	52292
Błąd względny [%]	35,22%	35,22%	35,22%	35,22%	35,22%
Czas [s]	4	8	12	16	20

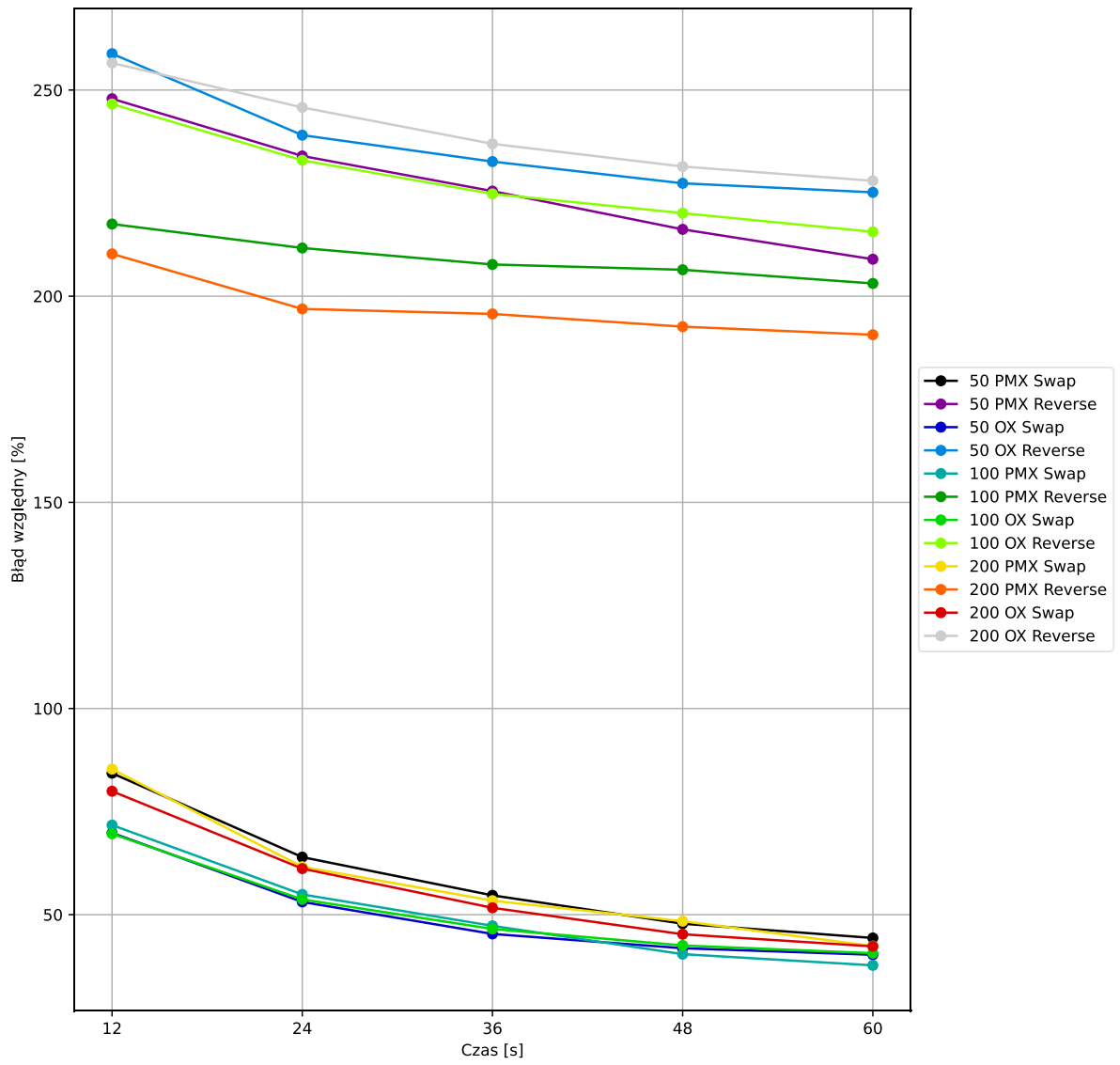
ftv70 - wpływ wielkości populacji



Instancja rbg323, optymalny wynik: 1326

50 PMX Swap	2444	2174	2051	1960	1914
Błąd względny [%]	84,31%	63,95%	54,68%	47,81%	44,34%
Czas [s]	12	24	36	48	60
50 PMX Reverse	4613	4429	4316	4193	4097
Błąd względny [%]	247,89%	234,01%	225,49%	216,21%	208,97%
Czas [s]	12	24	36	48	60
50 OX Swap	2252	2030	1927	1881	1860
Błąd względny [%]	69,83%	53,09%	45,32%	41,86%	40,27%
Czas [s]	12	24	36	48	60
50 OX Reverse	4758	4496	4411	4341	4312
Błąd względny [%]	258,82%	239,06%	232,65%	227,38%	225,19%
Czas [s]	12	24	36	48	60
100 PMX Swap	2277	2054	1953	1862	1826
Błąd względny [%]	71,72%	54,90%	47,29%	40,42%	37,71%
Czas [s]	12	24	36	48	60
100 PMX Reverse	4210	4133	4080	4063	4019
Błąd względny [%]	217,50%	211,69%	207,69%	206,41%	203,09%
Czas [s]	12	24	36	48	60
100 OX Swap	2249	2038	1943	1890	1865
Błąd względny [%]	69,61%	53,70%	46,53%	42,53%	40,65%
Czas [s]	12	24	36	48	60
100 OX Reverse	4596	4415	4307	4245	4185
Błąd względny [%]	246,61%	232,96%	224,81%	220,14%	215,61%
Czas [s]	12	24	36	48	60
200 PMX Swap	2457	2143	2034	1968	1888
Błąd względny [%]	85,29%	61,61%	53,39%	48,42%	42,38%
Czas [s]	12	24	36	48	60
200 PMX Reverse	4114	3937	3921	3880	3854
Błąd względny [%]	210,26%	196,91%	195,70%	192,61%	190,65%
Czas [s]	12	24	36	48	60
200 OX Swap	2386	2137	2011	1926	1887
Błąd względny [%]	79,94%	61,16%	51,66%	45,25%	42,31%
Czas [s]	12	24	36	48	60
200 OX Reverse	4728	4585	4468	4395	4349
Błąd względny [%]	256,56%	245,78%	236,95%	231,45%	227,98%
Czas [s]	12	24	36	48	60

rbg323 - wpływ wielkości populacji



Wpływ współczynnika mutacji

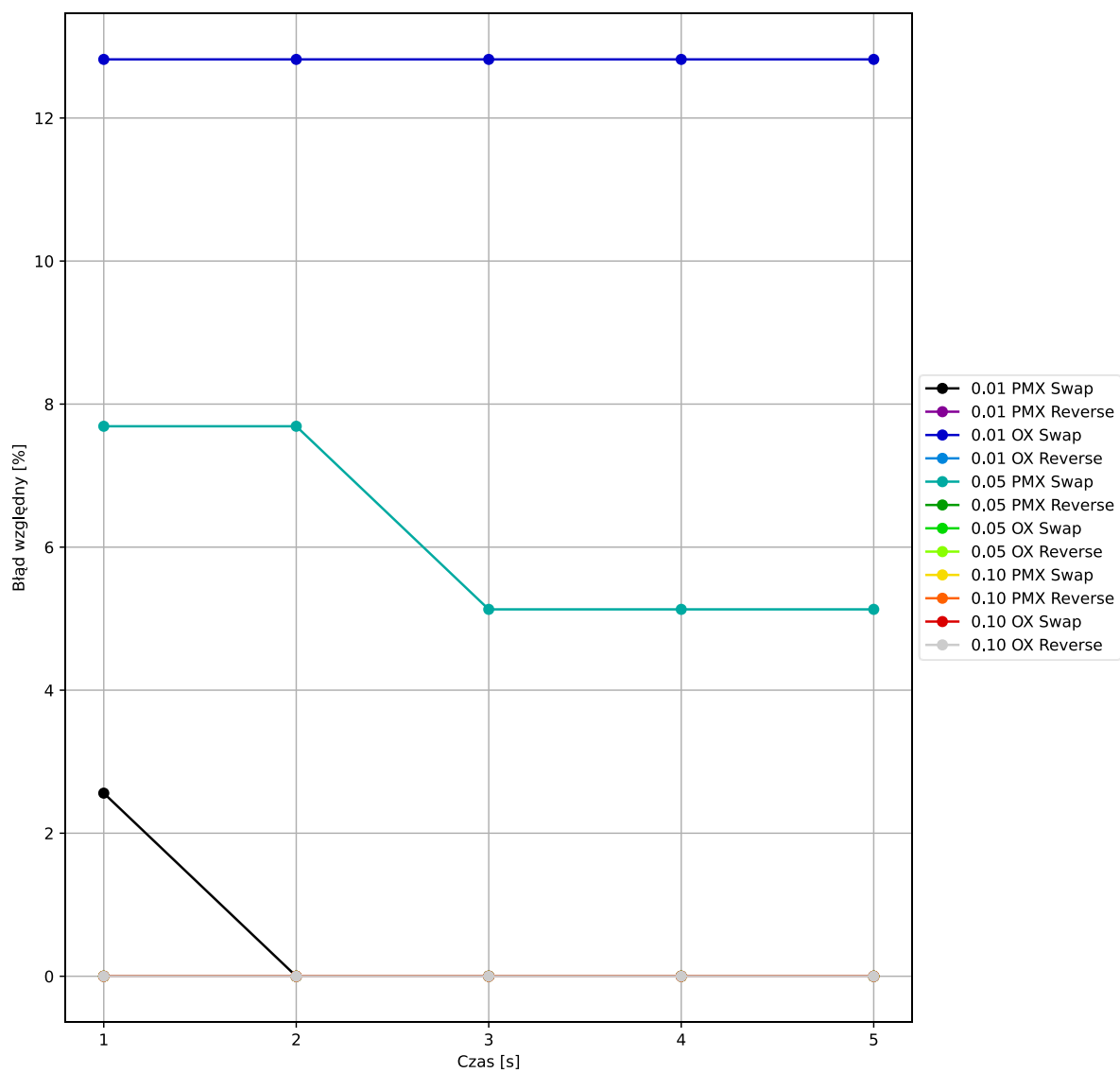
Wielkość populacji: br17 – 100, ftv70 – 200, rbg323 – 100

Legenda: współczynnik mutacji, sposób krzyżowania, sposób mutacji

Instancja br17, optymalny wynik: 39

0,01 PMX Swap	40	39	39	39	39
Błąd względny [%]	2,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,01 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,01 OX Swap	44	44	44	44	44
Błąd względny [%]	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,01 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,05 PMX Swap	42	42	41	41	41
Błąd względny [%]	7,69%	7,69%	5,13%	5,13%	5,13%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,05 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,05 OX Swap	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,05 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,10 PMX Swap	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,10 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,10 OX Swap	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,10 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5

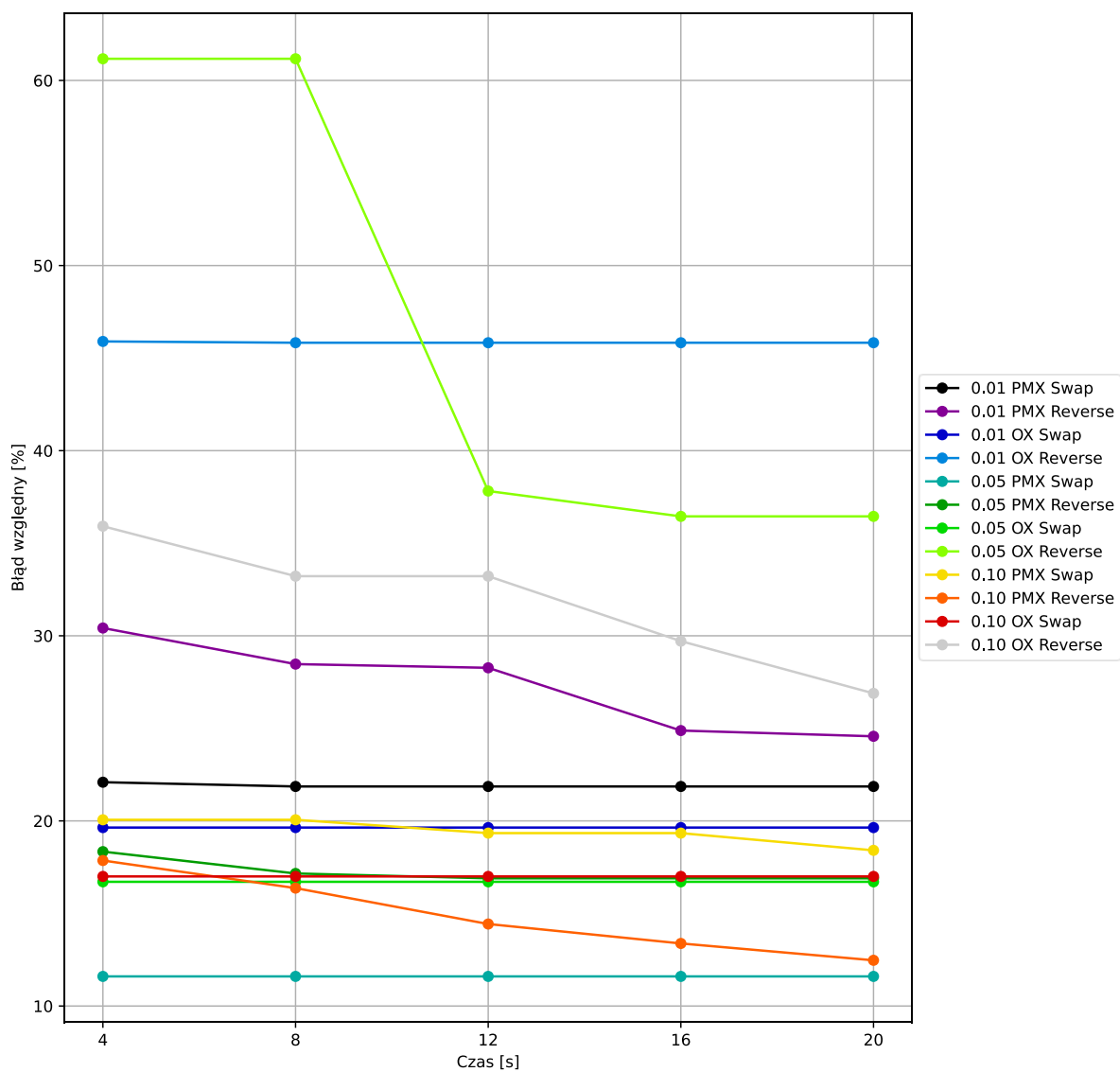
br17 - wpływ współczynnika mutacji



Instancja ftv70, optymalny wynik: 38673

0,01 PMX Swap	47214	47126	47126	47126	47126
Błąd względny [%]	22,09%	21,86%	21,86%	21,86%	21,86%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,01 PMX Reverse	50439	49683	49605	48293	48175
Błąd względny [%]	30,42%	28,47%	28,27%	24,88%	24,57%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,01 OX Swap	46267	46267	46267	46267	46267
Błąd względny [%]	19,64%	19,64%	19,64%	19,64%	19,64%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,01 OX Reverse	56424	56395	56395	56395	56395
Błąd względny [%]	45,90%	45,83%	45,83%	45,83%	45,83%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,05 PMX Swap	43158	43158	43158	43158	43158
Błąd względny [%]	11,60%	11,60%	11,60%	11,60%	11,60%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,05 PMX Reverse	45765	45311	45208	45208	45208
Błąd względny [%]	18,34%	17,16%	16,90%	16,90%	16,90%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,05 OX Swap	45136	45136	45136	45136	45136
Błąd względny [%]	16,71%	16,71%	16,71%	16,71%	16,71%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,05 OX Reverse	62330	62330	53300	52768	52768
Błąd względny [%]	61,17%	61,17%	37,82%	36,45%	36,45%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,10 PMX Swap	46430	46430	46151	46151	45794
Błąd względny [%]	20,06%	20,06%	19,34%	19,34%	18,41%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,10 PMX Reverse	45580	45003	44255	43848	43497
Błąd względny [%]	17,86%	16,37%	14,43%	13,38%	12,47%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,10 OX Swap	45247	45247	45247	45247	45247
Błąd względny [%]	17,00%	17,00%	17,00%	17,00%	17,00%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,10 OX Reverse	52566	51520	51520	50161	49072
Błąd względny [%]	35,92%	33,22%	33,22%	29,71%	26,89%
Czas [s]	4	8	12	16	20

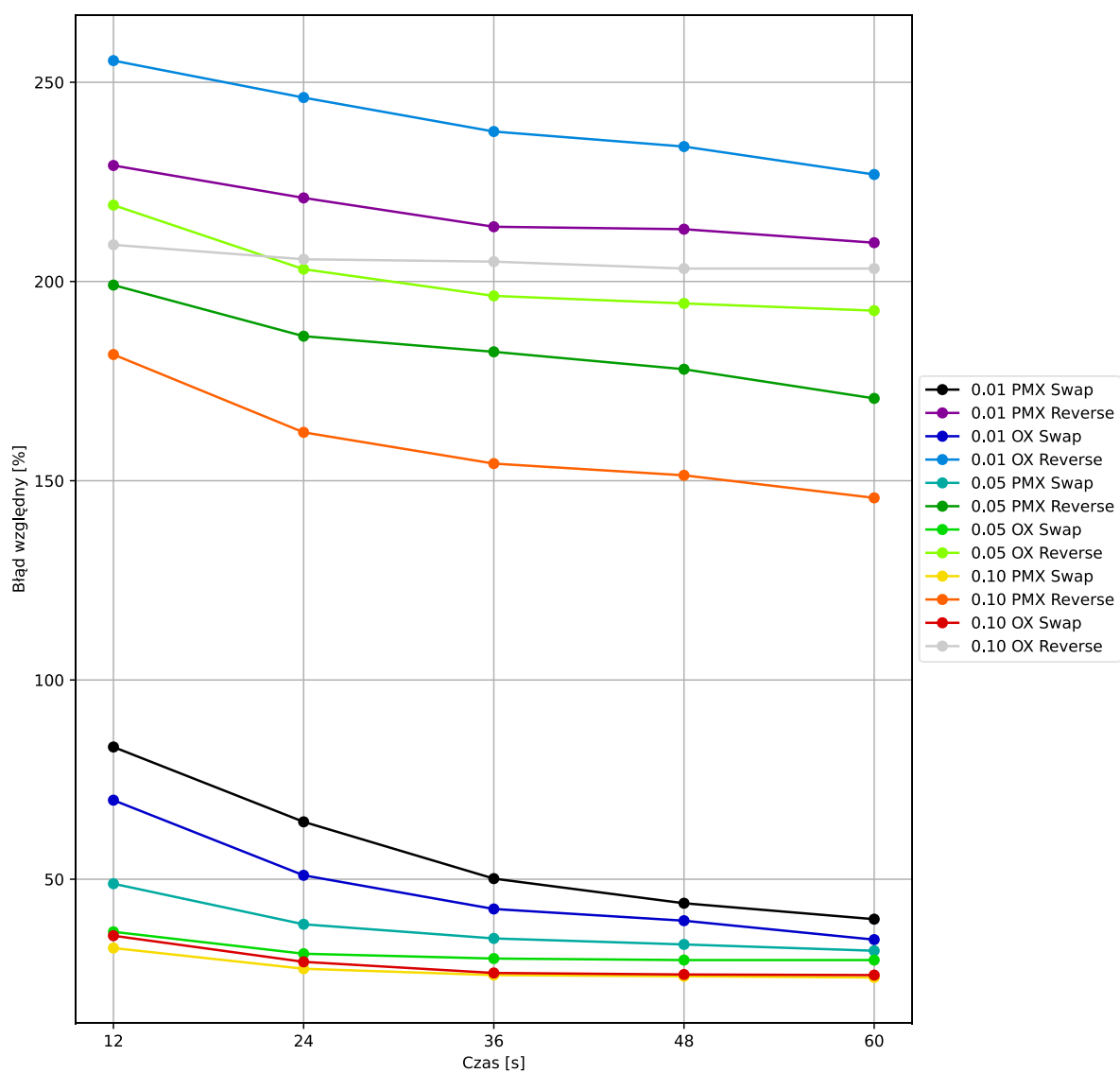
ftv70 - wpływ współczynnika mutacji



Instancja rgb323, optymalny wynik: 1326

0,01 PMX Swap	2429	2180	1991	1909	1856
Błąd względny [%]	83,18%	64,40%	50,15%	43,97%	39,97%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,01 PMX Reverse	4364	4256	4160	4152	4107
Błąd względny [%]	229,11%	220,97%	213,73%	213,12%	209,73%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,01 OX Swap	2252	2002	1890	1851	1788
Błąd względny [%]	69,83%	50,98%	42,53%	39,59%	34,84%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,01 OX Reverse	4713	4590	4477	4427	4334
Błąd względny [%]	255,43%	246,15%	237,63%	233,86%	226,85%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,05 PMX Swap	1974	1839	1792	1772	1751
Błąd względny [%]	48,87%	38,69%	35,14%	33,63%	32,05%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,05 PMX Reverse	3966	3796	3744	3686	3589
Błąd względny [%]	199,10%	186,27%	182,35%	177,98%	170,66%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,05 OX Swap	1814	1741	1725	1720	1720
Błąd względny [%]	36,80%	31,30%	30,09%	29,71%	29,71%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,05 OX Reverse	4232	4019	3930	3905	3881
Błąd względny [%]	219,16%	203,09%	196,38%	194,49%	192,68%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,10 PMX Swap	1760	1691	1670	1666	1662
Błąd względny [%]	32,73%	27,53%	25,94%	25,64%	25,34%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,10 PMX Reverse	3735	3476	3372	3333	3258
Błąd względny [%]	181,67%	162,14%	154,30%	151,36%	145,70%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,10 OX Swap	1801	1714	1677	1672	1670
Błąd względny [%]	35,82%	29,26%	26,47%	26,09%	25,94%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,10 OX Reverse	4100	4052	4044	4021	4021
Błąd względny [%]	209,20%	205,58%	204,98%	203,24%	203,24%
Czas [s]	12	24	36	48	60

rbg323 - wpływ współczynnika mutacji



Wpływ współczynnika krzyżowania

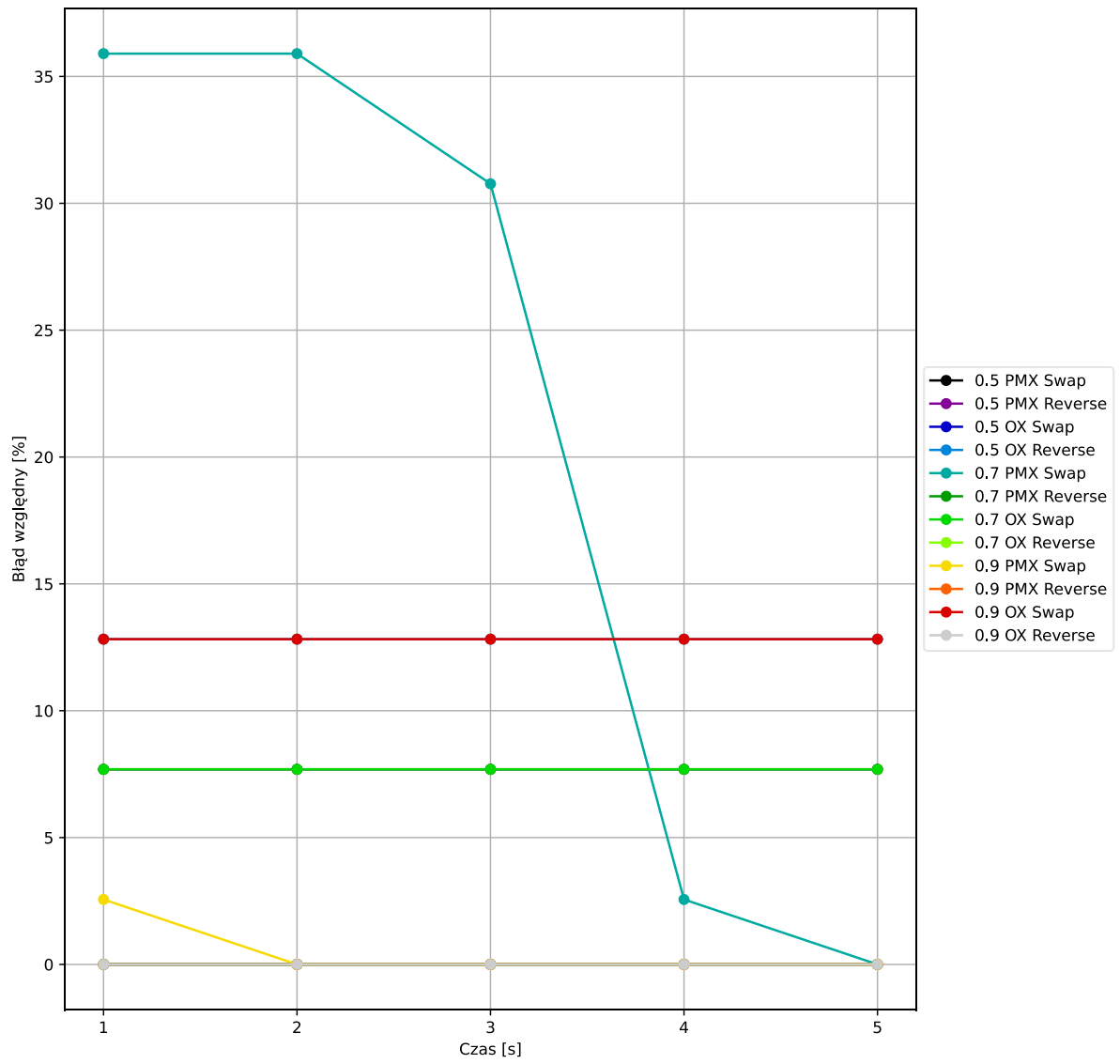
Wielkość populacji: br17 – 100, ftv70 – 200, rbg323 – 100

Legenda: współczynnik krzyżowania, sposób krzyżowania, sposób mutacji

Instancja br17, optymalny wynik: 39

0,5 PMX Swap	42	42	42	42	42
Błąd względny [%]	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,5 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,5 OX Swap	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,5 OX Reverse	44	44	44	44	44
Błąd względny [%]	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,7 PMX Swap	53	53	51	40	39
Błąd względny [%]	35,90%	35,90%	30,77%	2,56%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,7 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,7 OX Swap	42	42	42	42	42
Błąd względny [%]	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%	7,69%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,7 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,9 PMX Swap	40	39	39	39	39
Błąd względny [%]	2,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,9 PMX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,9 OX Swap	44	44	44	44	44
Błąd względny [%]	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%	12,82%
Czas [s]	1	2	3	4	5
0,9 OX Reverse	39	39	39	39	39
Błąd względny [%]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Czas [s]	1	2	3	4	5

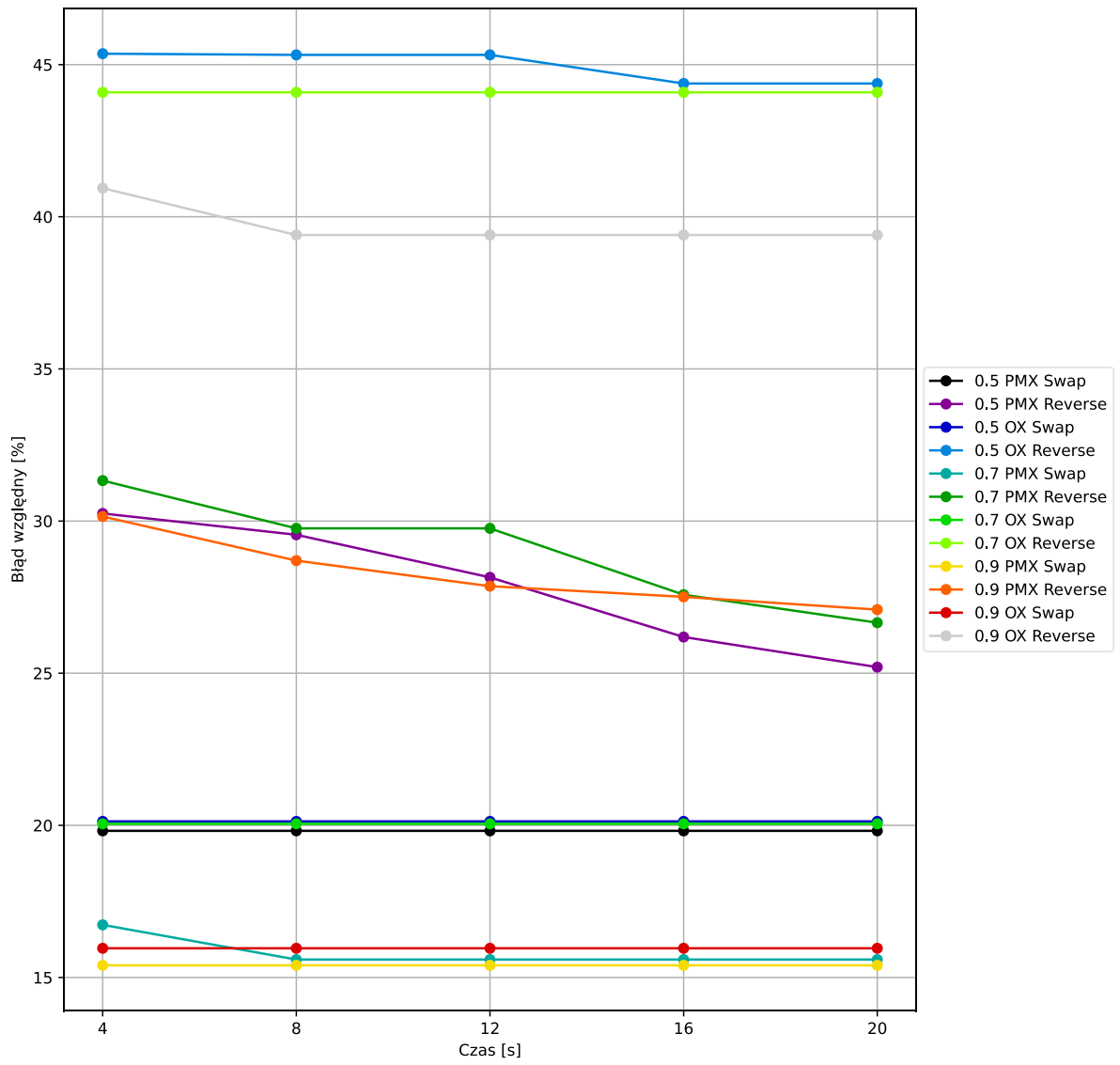
br17 - wpływ współczynnika krzyżowania



Instancja ftv70, optymalny wynik: 38673

0,5 PMX Swap	46338	46338	46338	46338	46338
Błąd względny [%]	19,82%	19,82%	19,82%	19,82%	19,82%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,5 PMX Reverse	50373	50100	49558	48801	48419
Błąd względny [%]	30,25%	29,55%	28,15%	26,19%	25,20%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,5 OX Swap	46457	46457	46457	46457	46457
Błąd względny [%]	20,13%	20,13%	20,13%	20,13%	20,13%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,5 OX Reverse	56215	56200	56200	55836	55836
Błąd względny [%]	45,36%	45,32%	45,32%	44,38%	44,38%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,7 PMX Swap	45142	44703	44703	44703	44703
Błąd względny [%]	16,73%	15,59%	15,59%	15,59%	15,59%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,7 PMX Reverse	50791	50181	50181	49340	48983
Błąd względny [%]	31,33%	29,76%	29,76%	27,58%	26,66%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,7 OX Swap	46426	46426	46426	46426	46426
Błąd względny [%]	20,05%	20,05%	20,05%	20,05%	20,05%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,7 OX Reverse	55723	55723	55723	55723	55723
Błąd względny [%]	44,09%	44,09%	44,09%	44,09%	44,09%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,9 PMX Swap	44629	44629	44629	44629	44629
Błąd względny [%]	15,40%	15,40%	15,40%	15,40%	15,40%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,9 PMX Reverse	50334	49773	49448	49313	49149
Błąd względny [%]	30,15%	28,70%	27,86%	27,51%	27,09%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,9 OX Swap	44846	44846	44846	44846	44846
Błąd względny [%]	15,96%	15,96%	15,96%	15,96%	15,96%
Czas [s]	4	8	12	16	20
0,9 OX Reverse	54505	53912	53912	53912	53912
Błąd względny [%]	40,94%	39,40%	39,40%	39,40%	39,40%
Czas [s]	4	8	12	16	20

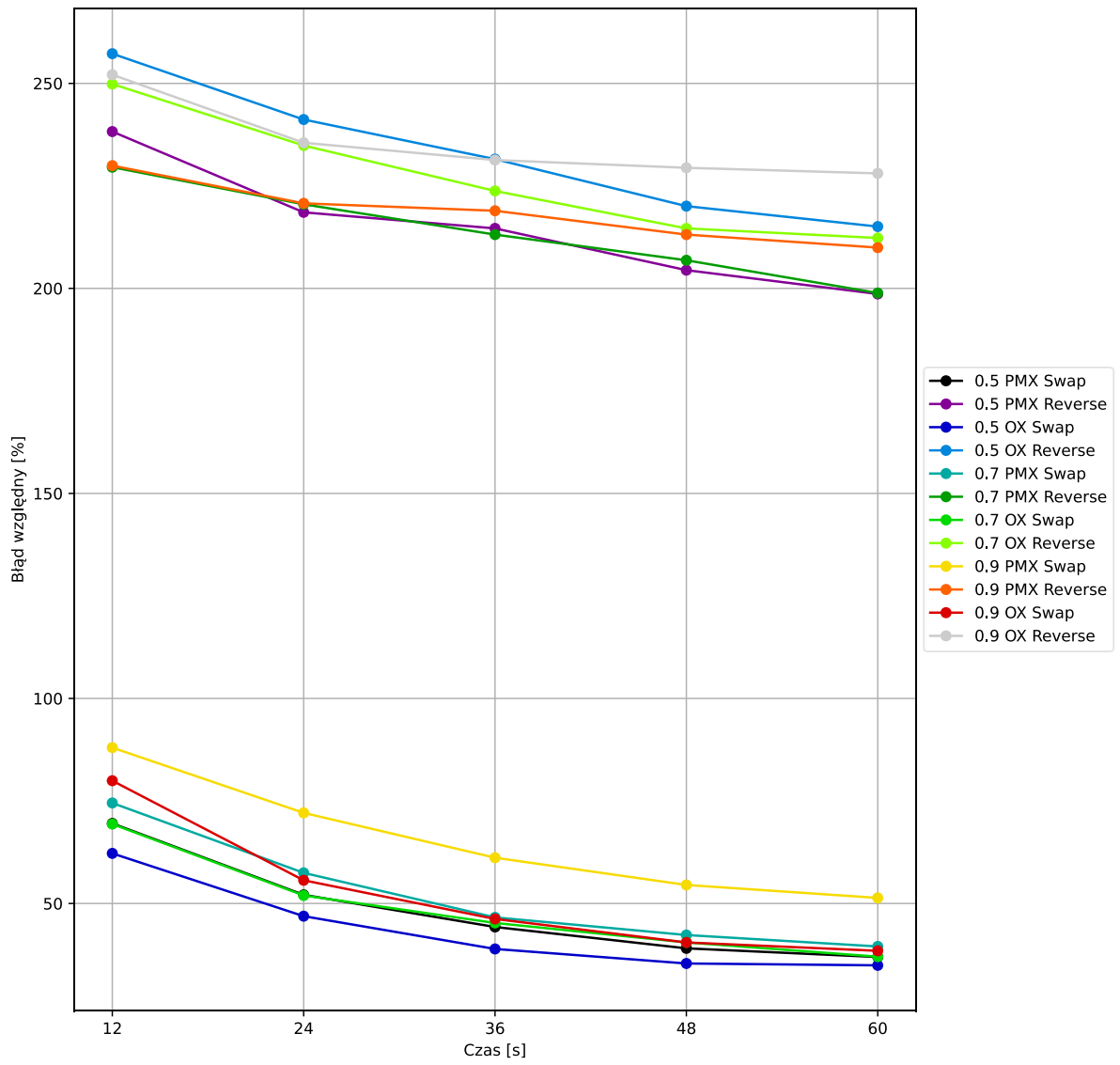
ftv70 - wpływ współczynnika krzyżowania



Instancja rgb323: optymalny wynik: 1326

0,5 PMX Swap	2248	2017	1913	1844	1816
Błąd względny [%]	69,53%	52,11%	44,27%	39,06%	36,95%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,5 PMX Reverse	4485	4224	4172	4037	3960
Błąd względny [%]	238,24%	218,55%	214,63%	204,45%	198,64%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,5 OX Swap	2151	1948	1842	1795	1789
Błąd względny [%]	62,22%	46,91%	38,91%	35,37%	34,92%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,5 OX Reverse	4737	4524	4396	4244	4178
Błąd względny [%]	257,24%	241,18%	231,52%	220,06%	215,08%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,7 PMX Swap	2314	2088	1944	1887	1850
Błąd względny [%]	74,51%	57,47%	46,61%	42,31%	39,52%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,7 PMX Reverse	4370	4250	4152	4069	3963
Błąd względny [%]	229,56%	220,51%	213,12%	206,86%	198,87%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,7 OX Swap	2246	2015	1926	1863	1817
Błąd względny [%]	69,38%	51,96%	45,25%	40,50%	37,03%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,7 OX Reverse	4639	4440	4293	4172	4141
Błąd względny [%]	249,85%	234,84%	223,76%	214,63%	212,29%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,9 PMX Swap	2493	2282	2137	2049	2007
Błąd względny [%]	88,01%	72,10%	61,16%	54,52%	51,36%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,9 PMX Reverse	4375	4253	4229	4152	4110
Błąd względny [%]	229,94%	220,74%	218,93%	213,12%	209,95%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,9 OX Swap	2386	2064	1939	1863	1836
Błąd względny [%]	79,94%	55,66%	46,23%	40,50%	38,46%
Czas [s]	12	24	36	48	60
0,9 OX Reverse	4669	4449	4393	4368	4350
Błąd względny [%]	252,11%	235,52%	231,30%	229,41%	228,05%
Czas [s]	12	24	36	48	60

rbg323 - wpływ współczynnika krzyżowania



Porównanie najlepszych wyników algorytmu genetycznego, tabu search i symulowanego wyżarzania

Instancja	Symulowane wyżarzanie (błąd)	Tabu Search (błąd)	Algorytm genetyczny (błąd)
br17	39 (0%)	39 (0%)	39 (0%)
ftv70	41544 (7%)	43575 (13%)	43158 (12%)
rbg323	1506 (14%)	3957 (198%)	1662 (25%)

Wnioski

- Zaimplementowany algorytm prawdopodobnie ma problemy z wyjściem z minimów lokalnych, co widać przede wszystkim na testach dla instancji ftv70, gdzie najlepsze znalezione rozwiązanie jest często takie samo po 4 sekundach i po 20 sekundach, mimo że rozwiązanie jest dalekie od optymalnego. Tę hipotezę może potwierdzać fakt, że gdy zwiększono współczynnik mutacji do 0,05 algorytm znajdował lepsze rozwiązania. To samo można powiedzieć dla instancji rbg323, gdzie jeszcze większy współczynnik – 0,10 dawał najlepsze wyniki.
- Dla instancji ftv70 najlepszy okazywał się wysoki współczynnik krzyżowania, natomiast dla rbg323 najlepszy okazywał się niski współczynnik. Pokazuje to, że aby algorytm genetyczny działał optymalnie, trzeba dostosowywać wszystkie jego parametry do każdej instancji problemu.
- Dla mniejszych instancji lepsza była większa liczebność populacji, dla większych zaś nieco mniejsza. Może to świadczyć o tym, że dla dużych instancji, gdzie pojedynczy osobnik to kilkaset „genów” (miast), duża wielkość populacji sprawiała że co generację trzeba było przeprowadzać selekcję, krzyżowanie i mutację na zbyt dużej ilości materiału genowego, a wysoka liczebność i zarazem różnorodność populacji mogła nie rekompensować przeznaczonego na to czasu.

Źródła

1. <http://aragorn.pb.bialystok.pl/~wkwedlo/EA5.pdf>
2. <http://user.ceng.metu.edu.tr/~ucoluk/research/publications/tsp.pdf>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=MacVqujSXWE>