Politechnika Poznańska

Wydział Informatyki i Telekomunikacji

Instytut Informatyki

Zakład Inteligentnych Systemów Wspomagania Decyzji

Lokalne przeszukiwanie

Inteligentne metody optymalizacji

Paweł Chumski, 144392
pawel.chumski@student.put.poznan.pl

Michał Ciesielski, 145325
michal.p.ciesielski@student.put.poznan.pl

Prowadzący:
prof. dr hab. inż. Andrzej Jaszkiewicz
andrzej.jaszkiewicz@cs.put.poznan.pl

02-04-2023

Spis treści

Wstęp

Celem zadania była implementacja algorytmów lokalnego przeszukiwania w celu rozwiązania i poprawy zmodyfikowanego problemu komiwojażera. Algorytmy te startują z wybranego rozwiązania początkowego, a następnie przeglądają przestrzeń możliwych rozwiązań dostępnych w danym kroku, akceptując rozwiązania przynoszące poprawę.

Pod uwagę wzięto algorytmy lokalnego przeszukiwania w wersji stromej (steepest) i zachłannej (greedy). W obu wersjach wykorzystano dwa rodzaje ruchów - międzytrasowe oraz wewnątrztrasowe. Dla ruchów wewnątrztrasowych wyróżniamy dwa rodzaje zmiany aktualnego rozwiązania - poprzez wymianę dwóch wierzchołków lub dwóch krawędzi. Bazowe rozwiązania zostały wygenerowane na podstawie losowego doboru wierzchołków oraz rozwiązania najlepszą heurystyką z poprzednich zajęć (ważony 2-żal). Jako punkt odniesienia do łącznie testowanych 8 kombinacji wykorzystano algorytm losowego błądzenia, który w każdej iteracji wykonuje losowo wybrany ruch (niezależnie od jego oceny) i zwraca najlepsze znalezione w ten sposób rozwiązanie. Algorytm ten działa w takim samym czasie jak średnio najwolniejsza z wersji lokalnego przeszukiwania.

Eksperymenty zostały przeprowadzone na instancjach kroA100.tsp oraz kroB100.tsp z biblioteki TSPLib.

Algorytmy lokalnego przeszukiwania

1.1 Wykorzystanie delty funkcji celu

Do badania jakości proponowanego rozwiązania wykorzystano algorytmy obliczające deltę funkcji celu w trzech wariantach: wymiana wierzchołków między cyklami, wymiana wierzchołków wewnątrz cyklu, wymiana krawędzi wewnątrz cyklu. Każdy z nich, w zależności od badanego sąsiedztwa, liczy różnicę wyników po rozwiązaniu i przed rozwiązaniem. Implementacja delty jest dość prosta, różni się nieznacznie w poszczególnych przypadkach. Jest niezbędna do wykrywania poprawy w rozpatrywanych algorytmach lokalnego przeszukiwania.

1.2 Algorytm w wersji zachłannej

1 Opis algorytmu

Implementacja opiera się na sprawdzeniu każdej możliwej zmiany wierzchołków pomiędzy dwoma cyklami, do momentu znalezienia ruchu, dla którego delta jest dodatnia ujemna - wtedy nowe rozwiązanie posiada krótszą długość ścieżek. Proces ulepszania jest przerywany w momencie, kiedy zostanie znalezione rozwiązanie polepszające długość cykli. Przy wybieraniu rozwiązań została wykorzystana funkcja shuffle z modułu random w języku Python. Zwraca ona w naszym przypadku listę kandydatów na rozwiązanie polepszające w losowej kolejności.

2 Pseudokod

- Wymiana wierzchołków między cyklami w wersji zachłannej:

```
Znajdź wszystkie możliwe kombinacje par z obu cykli do wymiany i poprawy bieżącego
  rozwiązania;
Wymieszaj kolejność wygenerowanych kombinacji (metoda shuffle );
for (i, j) in candidates do
    while Nowe rozwiązanie jest gorsze (delta > 0) do
        sprawdź kolejną parę do wymiany i znajdź nową wartość delta;
    end
end
Popraw bieżące rozwiązanie wymieniając odpowiednie wierzchołki w parze dla obu cykli;
return delta;
```

- Wymiana wewnątrz cyklu w wersji zachłannej:

```
Wymieszaj kolejność wierzchołków dla obu cykli (metoda shuffle );
for cycle in cycles do
    Znajdź wszystkie możliwe kombinacje par z cyklu do wymiany i poprawy bieżącego
      rozwiązania;
    Wymieszaj kolejność wygenerowanych kombinacji (metoda shuffle );
    for (i, j) in candidates do
        while Nowe rozwiązanie jest gorsze (delta > 0) do
            sprawdź kolejną parę do wymiany i znajdź nową wartość delta
        end
    end
end
Popraw bieżące rozwiązanie wymieniając odpowiednie wierzchołki w parze dla cyklu;
return delta;
```

- Główna funkcja przeszukująca:

```
while True do
    wymieszaj listę dostępnych ruchów (wewnątrztrasowe i międzytrasowe);
    wywołuj funkcję wymiany wierzchołków między cyklami do momentu poprawy (delta <= 0);
    wywołuj funkcję wymiany wewnątrz cyklu (wierzchołków lub krawędzi) do momentu
      poprawy (delta <= 0);
end
return cykle z zastosowanym poprawionym rozwiązaniem;
```

1.3 Algorytm w wersji stromej

1 Opis algorytmu

Algorytm lokalnego przeszukania w wersji stromej polega na wybieraniu w każdym kroku ruchu, który maksymalnie poprawia jakość rozwiązania. Implementacja opiera się na porównywaniu długości cykli przed i po wykonaniu ruchu, a następnie wyborze najlepszego ruchu. Proces ulepszania jest kontynuowany, dopóki istnieją ruchy, które poprawiają jakość rozwiązania. Przy wyborze kolejnego ruchu, rozważane są wszystkie możliwe pary wierzchołków, a następnie wybierana jest ta para, dla której ruch maksymalnie skraca długość cykli.

2 Pseudokod

- Wymiana wierzchołków między cyklami w wersji stromej:

```
1 Znajdź wszystkie możliwe kombinacje par z obu cykli do wymiany i poprawy bieżącego
    rozwiązania;
2 Zainicjalizuj pustą listę delta_scores;
3 for (i, j) in candidates do
4 |   znajdź wartość delta dla pary (i, j) zawierającej wierzchołki z obu cykli i dodaj ją do listy
  |     delta_scores;
5 end
6 return najmniejszą wartość z listy delta_scores;
```

- Wymiana wewnątrz cyklu w wersji stromej:

```
1 Zainicjalizuj pustą listę delta_scores;
2 for cycle in cycles do
3 |   for (i, j) in inside_candidates do
4 |   |   znajdź wartość delta dla bieżącej kombinacji wierzchołków i aktualnego cyklu;
5 |   |   dodaj tę wartość do listy delta_scores;
6 |   end
7 end
8 return najmniejszą wartość z listy delta_scores;
```

- Główna funkcja przeszukująca:

```
1 while True do
2 |   Zainicjalizuj pustą listę delta_scores;
3 |   for move in moves do
4 |   |   znajdź wartość delta dla bieżącego ruchu (wewnątrztrasowy - wymiana wierzchołków lub
  |   |     krawędzi, międzytrasowy);
5 |   |   dodaj tę wartość do listy delta_scores;
6 |   end
7 |   zastosuj rozwiązanie z minimalną wartością delta z listy delta_scores;
8 end
9 return cykle z zastosowanym poprawionym rozwiązaniem;
```

1.4 Algorytm losowego błądzenia

1 Opis algorytmu

Algorytm losowego błądzenia polega na losowym wyborze początkowej permutacji wierzchołków, a następnie wykonuje określoną liczbę iteracji, w każdej zmieniając losowo wybrane pary wierzchołków. Nie ma znaczenia, czy taki ruch poprawia jakość rozwiązania, czy też nie. Jeśli podczas przeszukiwania zostanie znalezione rozwiązanie, które skraca długość cyklu, algorytm zwróci ten wynik. Ostatecznie algorytm zwróci najlepsze rozwiązanie znalezione w procesie losowego przeszukiwania. Algorytm ten działa w takim samym czasie jak średnio najwolniejsza z wersji lokalnego przeszukiwania na danej instancji.

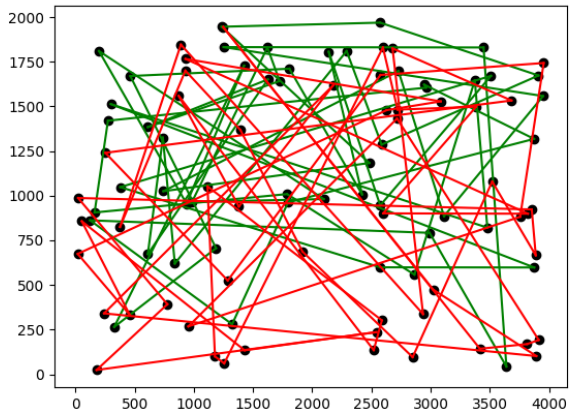
2 Pseudokod

- Algorytm losowego błądzenia:

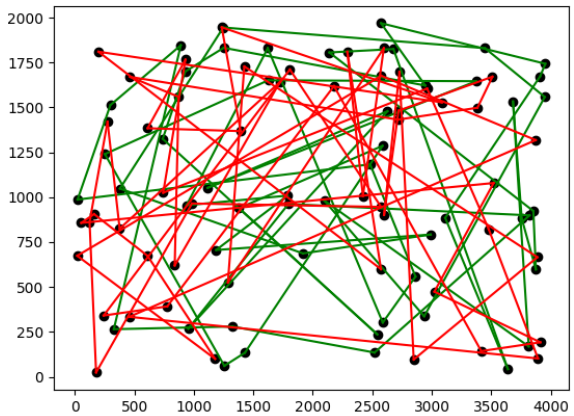
```
1  przypisz do zmiennej best_solution aktualny układ cykli, do zmiennej best_score aktualną
     długość tras;
2  while total_time < time_limit do
3  |  wybierz losowo jeden z dostępnych ruchów: międzytrasowy, wewnątrztrasowy z wymianą
   |    wierzchołków, wewnątrztrasowy z wymianą krawędzi;
4  |  wykonaj wylosowany ruch;
5  |  przypisz nową długość tras do zmiennej new_score;
6  |  if new_score < best_score then
7  |  |  przypisz aktualny układ cykli do zmiennej best_solution;
8  |  |  przypisz nową długość tras do zmiennej best_score;
9  |  end
10 end
11 return best_solution;
```

Wizualizacje najlepszych rozwiązań

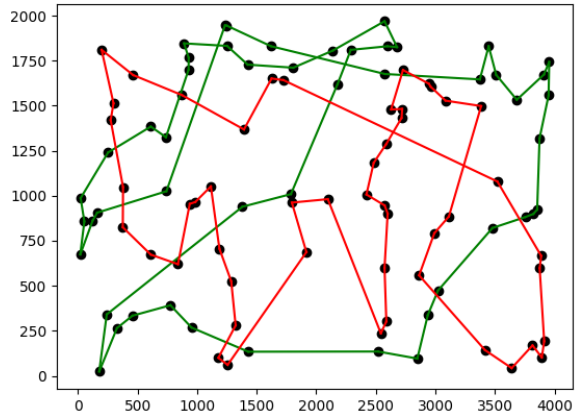
2.1 kroA100



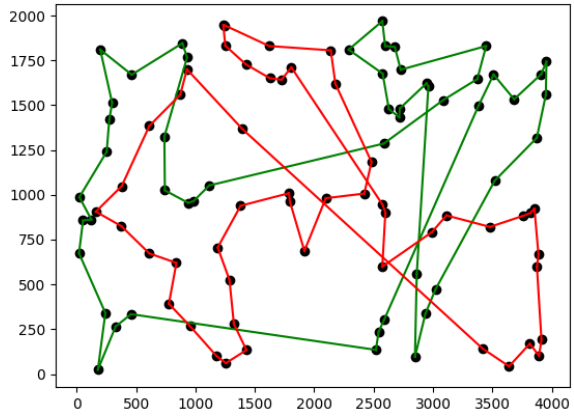
Rys. 1. Random solution, None



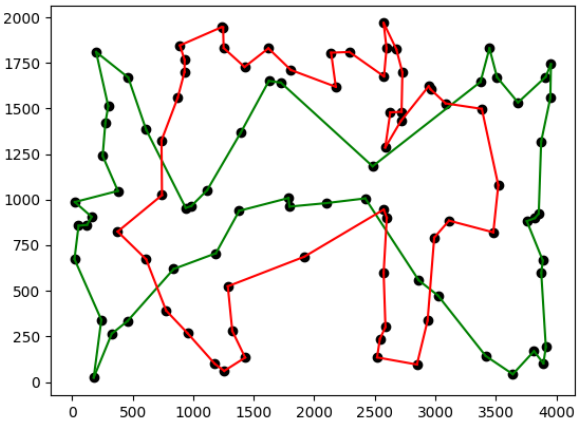
Rys. 2. Random solution, Random Search



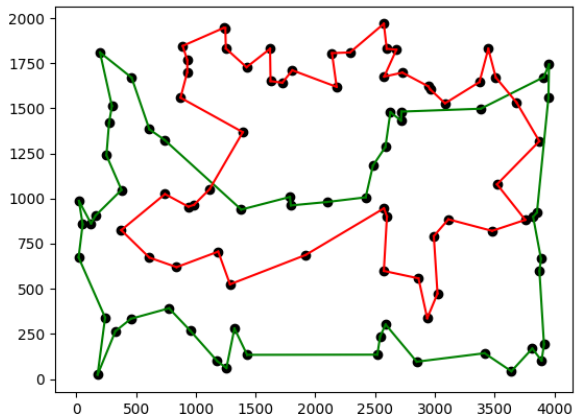
Rys. 3. Random solution, Greedy Search, Vertices



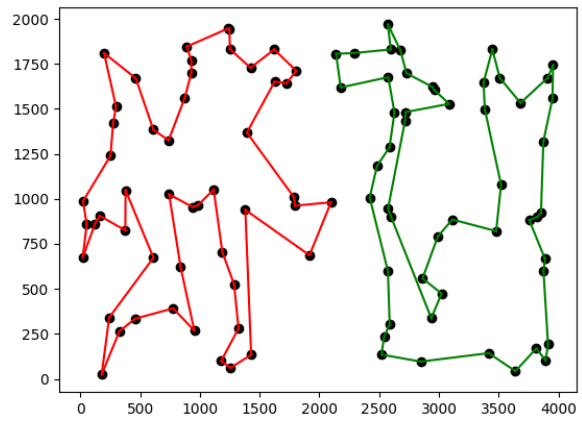
Rys. 4. Random solution, SteepestSearch, Vertices



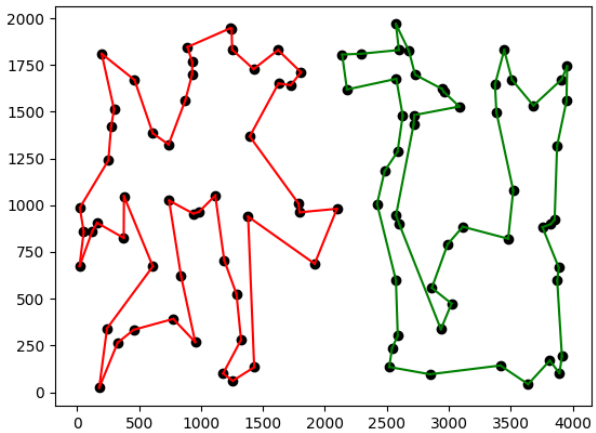
Rys. 5. Random solution, Greedy Search, Edges



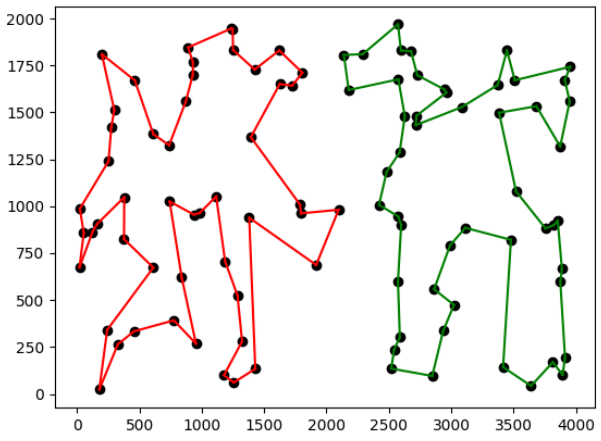
Rys. 6. Random solution, SteepestSearch, Edges



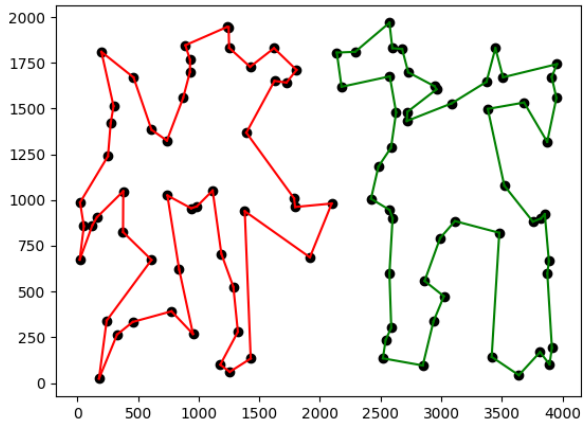
Rys. 7. Regret heuristic, None



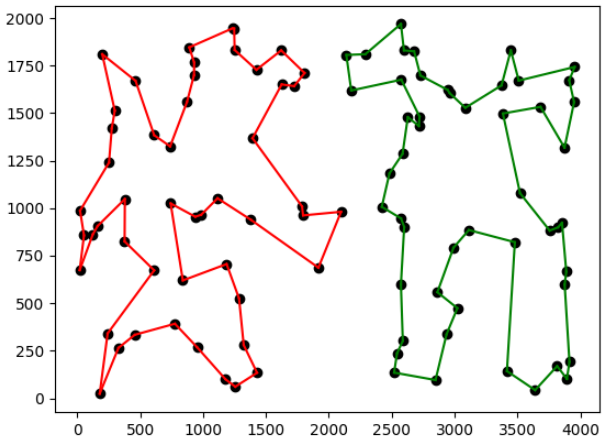
Rys. 8. Regret heuristic, Random Search



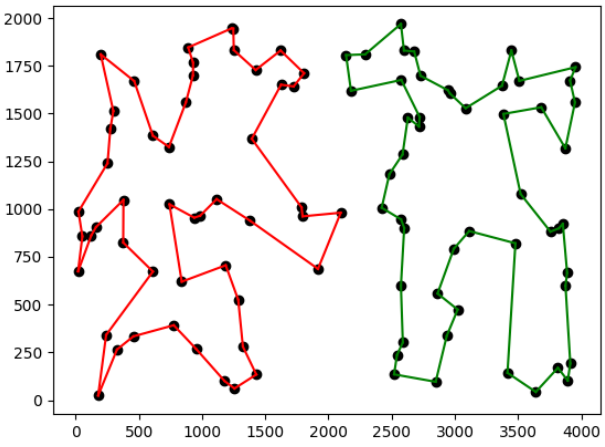
Rys. 9. Regret heuristic, Greedy Search, Vertices



Rys. 10. Regret heuristic, SteepestSearch, Vertices

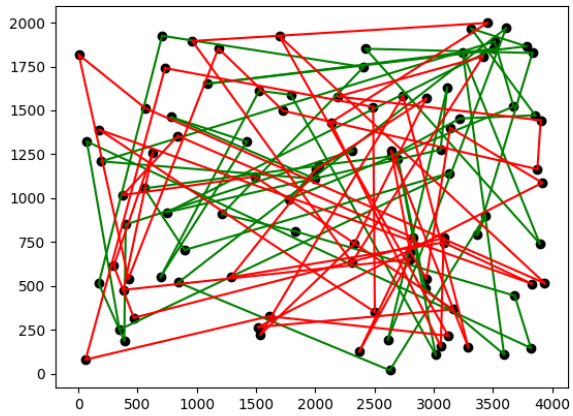


Rys. 11. Regret heuristic, Greedy Search, Edges

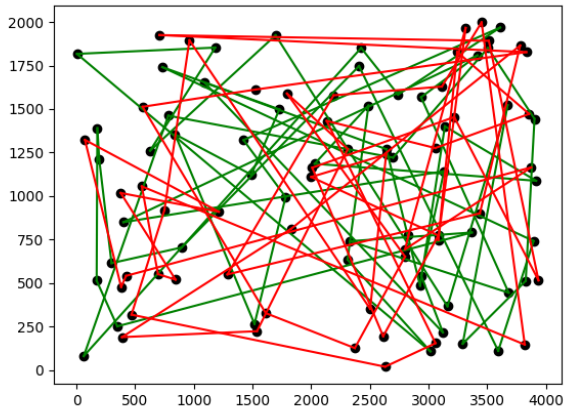


Rys. 12. Regret heuristic, SteepestSearch, Edges

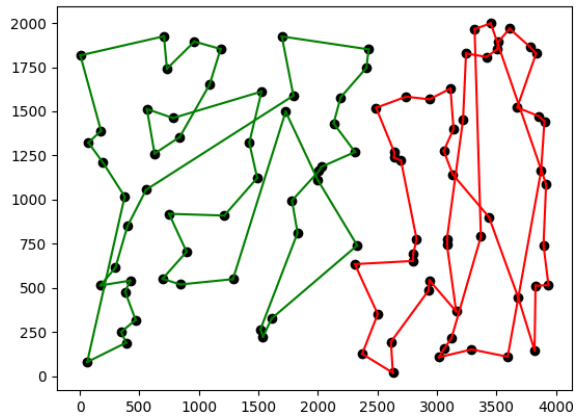
2.2 kroB100



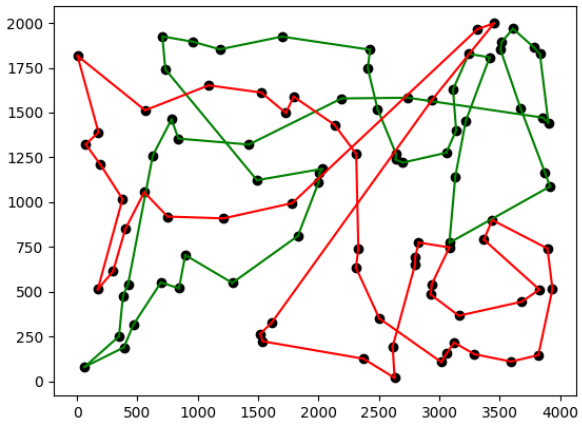
Rys. 13. Random solution, None



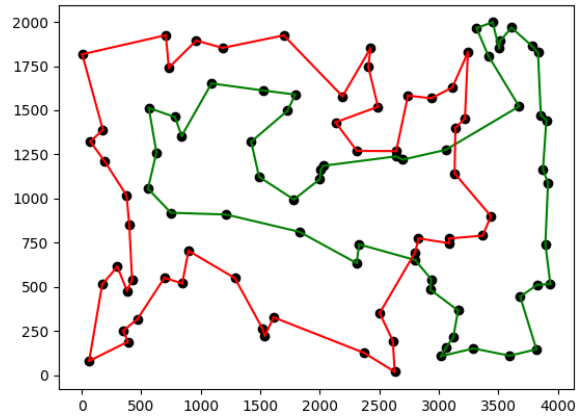
Rys. 14. Random solution, Random Search



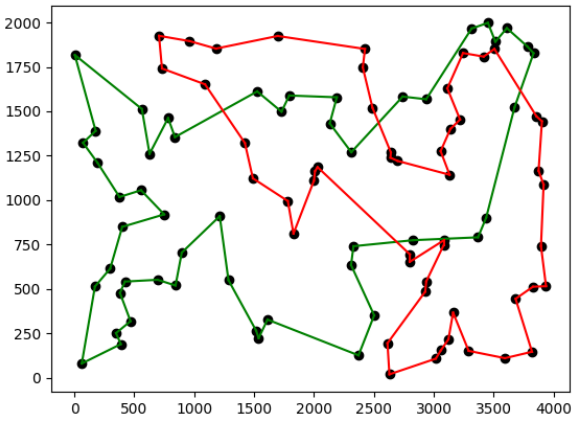
Rys. 15. Random solution, Greedy Search, Vertices



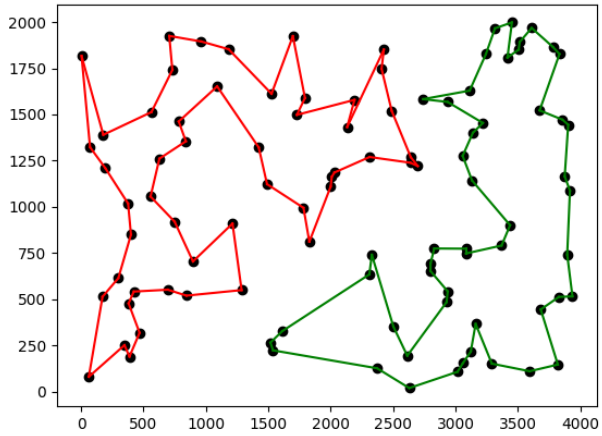
Rys. 16. Random solution, SteepestSearch, Vertices



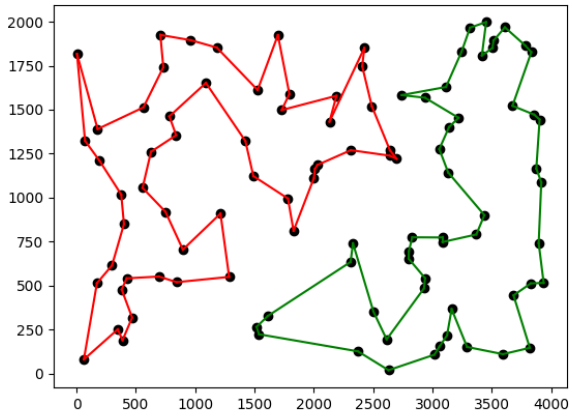
Rys. 17. Random solution, Greedy Search, Edges



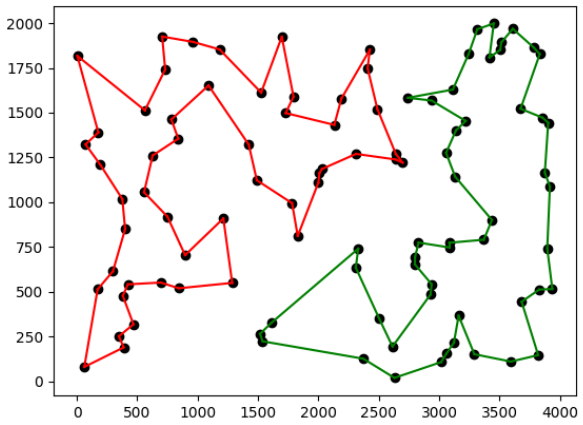
Rys. 18. Random solution, SteepestSearch, Edges



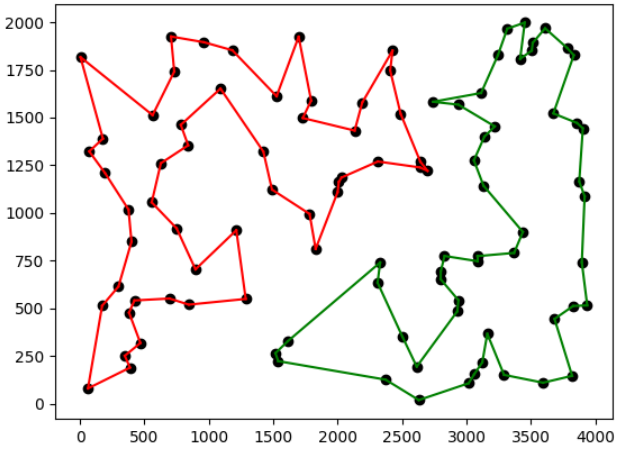
Rys. 19. Regret heuristic, None



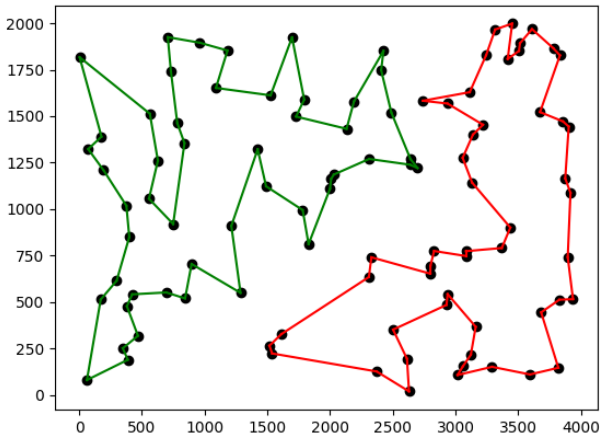
Rys. 20. Regret heuristic, Random Search



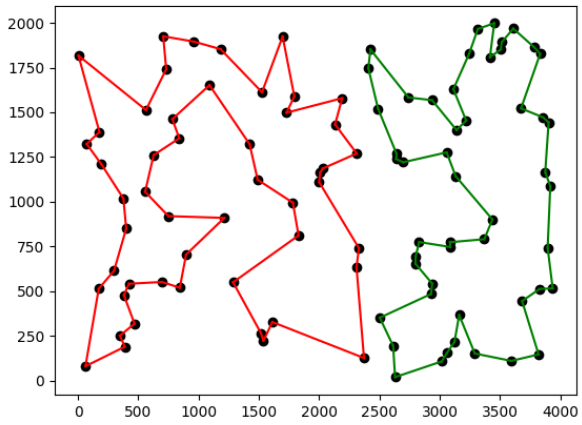
Rys. 21. Regret heuristic, Greedy Search, Vertices



Rys. 22. Regret heuristic, SteepestSearch, Vertices



Rys. 23. Regret heuristic, Greedy Search, Edges



Rys. 24. Regret heuristic, SteepestSearch, Edges

Porównanie wyników eksperymentu obliczeniowego

Każdy algorytm był testowany 100 razy dla każdej instancji. Dla rozwiązań początkowych uzyskiwanych za pomocą 2-Żalu za każdym razem był wybierany po kolei inny wierzchołek startowy. Dla rozwiązań początkowych losowych, za każdym razem losowane było inne rozwiązanie losowe.

Tab. 1. Tabela zawierająca długości ścieżek dla poszczególnych algorytmów

Instacja		kroA100.tsp			kroB100.tsp		
Rozwiązanie początkowe	Losowe przeszukiwanie	Minimum	Średnia	Maksimum	Minimum	Średnia	Maksimum
Losowe	Brak	144450	170842	186209	144764	169081	188782
	Losowe błądzenie	128924	143393	149901	128737	141674	147244
	Zachłanny-wierzchołki	32370	40465	50511	31930	40591	49689
	Stromy-wierzchołki	32499	42875	50875	34818	42405	53311
	Zachłanny-krawędzie	25584	27648	30896	25668	28225	30503
	Stromy-krawędzie	22179	24911	28116	23361	25128	27361
2-Żal	Brak	23729	26573	32441	23828	27561	29793
	Losowe błądzenie	23729	26573	32441	23828	27561	29793
	Zachłanny-wierzchołki	23199	25395	30915	23450	25870	28172
	Stromy-wierzchołki	23199	25357	30746	23450	25769	28254
	Zachłanny-krawędzie	22179	25026	28389	23327	25324	27353
	Stromy-krawędzie	22179	24911	28116	23361	25128	27361

Tab. 2. Tabela zawierająca czasy wykonania dla algorytmów przeszukiwania lokalnego

Instacja		kroA100.tsp			kroB100.tsp		
Rozwiązanie początkowe	Losowe przeszukiwanie	Minimum [s]	Średnia [s]	Maksimum [s]	Minimum [s]	Średnia [s]	Maksimum [s]
Losowe	Zachłanny-wierzchołki	0.668309	1.553914	2.388938	0.762002	1.553679	2.401998
	Stromy-wierzchołki	1.950886	3.276431	4.330033	1.648003	3.452736	5.125548
	Zachłanny-krawędzie	0.844566	1.482320	2.374819	0.801265	1.428275	2.038041
	Stromy-krawędzie	1.230108	2.446090	3.202898	1.496318	2.440500	3.308036
2-Żal	Zachłanny-wierzchołki	0.043996	0.179921	0.466757	0.045001	0.199190	0.477996
	Stromy-wierzchołki	0.071001	0.299266	0.686514	0.098024	0.320772	0.706000
	Zachłanny-krawędzie	0.052006	0.202597	0.703121	0.079001	0.246190	0.580997
	Stromy-krawędzie	0.060052	0.304799	1.071845	0.124997	0.355708	0.629158

Podsumowanie

Wnioski

- Dla wariantów wewnątrztrasowych zdecydowanie lepszy okazał się wariant wymiany krawędzi niż wierzchołków. Nie istnieje sytuacja w tabeli, w której wariant wymiany wierzchołków otrzymałby lepszy wynik końcowy.
- Dla losowego rozwiązania startowego lepsze minimum osiąga algorytm zachłanny.
- Dla dobrego rozwiązania początkowego osiągniętego heurystyką 2-żalu osiągane wyniki mają podobne wartości.
- W przypadku wielokrotnego uruchamiania danego algorytmu, lepszym algorytmem przeszukiwania lokalnego okazał się algorytm zachłanny.
- Zgodnie z założeniami, algorytm zachłanny osiąga najlepsze czasy w każdym przypadku.

Kod programu

https://github.com/imo/lab2