

Rozwiązanie problemu komiwojażera z wykorzystaniem algorytmu genetycznego

Piotr Karaś, Tomasz Kawiak, Mateusz Mazur

1 grudnia 2024

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Rozwiązanie
problemu
komivojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Przegląd projektu

Temat: Rozwiązanie problemu komiwojażera z wykorzystaniem algorytmu genetycznego

Cele:

- ▶ Opracowanie bliskiego optimum rozwiązania problemu komiwojażera
- ▶ Implementacja algorytmu w Pythonie i wizualizacja wyników
- ▶ Ocena i walidacja rozwiązania, porównanie z innymi metodami optymalizacji

Stos technologiczny: Python [12], Numpy [6], Matplotlib [7]

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Rozwiązanie
problemu
komivożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Programowanie i algorytmy genetyczne

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Programowanie genetyczne

Rozwiązanie
problemu
komiojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Programowanie genetyczne, GP (ang. *genetic programming*)

Zautomatyzowana metoda mająca na celu tworzenie programów komputerowych w oparciu o ogólną definicję problemu. Innymi słowy programowanie genetyczne pozwala, w oparciu o wysokopoziomową definicję mówiącą co ma być zrobione, automatycznie stworzyć program, który owo zagadnienie rozwiąże.

Informacje i wskazówki dotyczące programowania genetycznego zaczerpnęliśmy m.in. z [10], [4] oraz [3].

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

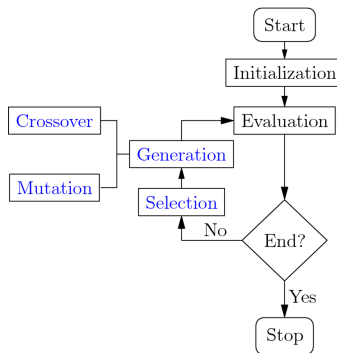
Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Algorytmy genetyczne

Algorytmy genetyczne to rodzaj algorytmów inspirowanych zasadami biologicznej ewolucji, które są wykorzystywane do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych i poszukiwania rozwiązań w dużych przestrzeniach stanów. Działają one poprzez symulowanie procesu selekcji naturalnej, krzyżowania i mutacji, co pozwala na tworzenie coraz lepszych rozwiązań.



Rysunek 1: Algorytm genetyczny.

Proces działania algorytmu genetycznego przedstawia rysunek 1 oraz może być opisany następująco:

- ▶ Inicjalizacja – na początku generuje się populację losowych rozwiązań (nazywanych osobnikami).
- ▶ Selekcja – wybiera się najlepsze osobniki na podstawie funkcji oceny, która określa ich jakość.
- ▶ Krzyżowanie (Crossover) – łączy się wybrane osobniki, tworząc nowe rozwiązania poprzez wymianę ich “genów”.
- ▶ Mutacja – wprowadza się drobne, losowe zmiany do potomków, aby zapewnić różnorodność w populacji.
- ▶ Ewolucja – proces selekcji, krzyżowania i mutacji powtarza się wielokrotnie, aż do osiągnięcia zadowalającego rozwiązania.

Algorytmy genetyczne są szeroko stosowane w różnych dziedzinach, takich jak optymalizacja logistyczna, projektowanie, uczenie maszynowe, robotyka, a nawet sztuka. Pomimo że mogą wymagać dużej mocy obliczeniowej, są w stanie znaleźć dobre przybliżenia do rozwiązań nawet dla bardzo skomplikowanych problemów.

Problem komiwojażera

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

**Problem
komiwojażera**

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Problem komiwojażera

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Problem komiwojażera (ang. Travelling Salesman Problem, TSP)

Klasyczny problem optymalizacyjny, który polega na znalezieniu najkrótszej możliwej trasy, jaką musi pokonać komiwojażer (sprzedawca), aby odwiedzić każde z zadanych miast dokładnie raz i wrócić do punktu początkowego.

Formalnie, mając dany zbiór miast oraz odległości między każdą parą miast, należy wyznaczyć najkrótszy cykl Hamiltona w grafie, który reprezentuje połączenia między miastami. Przykładowe rozwiązanie prezentuje rysunek 2. Problem komiwojażera jest zaliczany do klasy problemów NP-trudnych, co oznacza, że dla dużych zbiorów miast jego dokładne rozwiązanie staje się bardzo czasochłonne.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

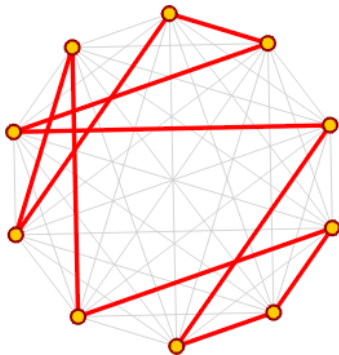
Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zastosowanie

Problem ten znajduje zastosowanie m.in. w logistyce, planowaniu tras transportowych i optymalizacji procesów produkcyjnych. Do jego rozwiązywania stosuje się różne podejścia, w tym algorytmy dokładne, przybliżone oraz heurystyczne, takie jak algorytmy genetyczne czy symulowane wyżarzanie.



Rysunek 2: Przykładowe rozwiązanie problemu komiwojażera

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Kamień milowy 1 - Pierwsza wersja projektu

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

**Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu**

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Kamień milowy 1 - Pierwsza wersja projektu

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

W ramach pierwszego kamienia milowego zaimplementowaliśmy algorytm genetyczny w Pythonie przy użyciu biblioteki PyGAD.

Algorytm genetyczny został zastosowany do rozwiązania problemu komiwojażera dla 2 zestawów miast o zadanych współrzędnych.

Dla porównania wyników zaimplementowaliśmy również algorytm zachłanny [5].

Porównanie rozwiązań prezentuje tabela 21.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw prosty - 6 miast

Rysunek 3 przedstawia dane wejściowe zestawu prostego, a rysunek 4 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 5.

Rozwiązanie

- ▶ **TSP:** easy
- ▶ **Cities:** 6
- ▶ **Edge weight type:** EUC_2D
- ▶ **Best distance:** 12.17008732545826
- ▶ **Best solution:** [0 1 2 3 4 5]
- ▶ **Execution time:** 0.0719 seconds

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

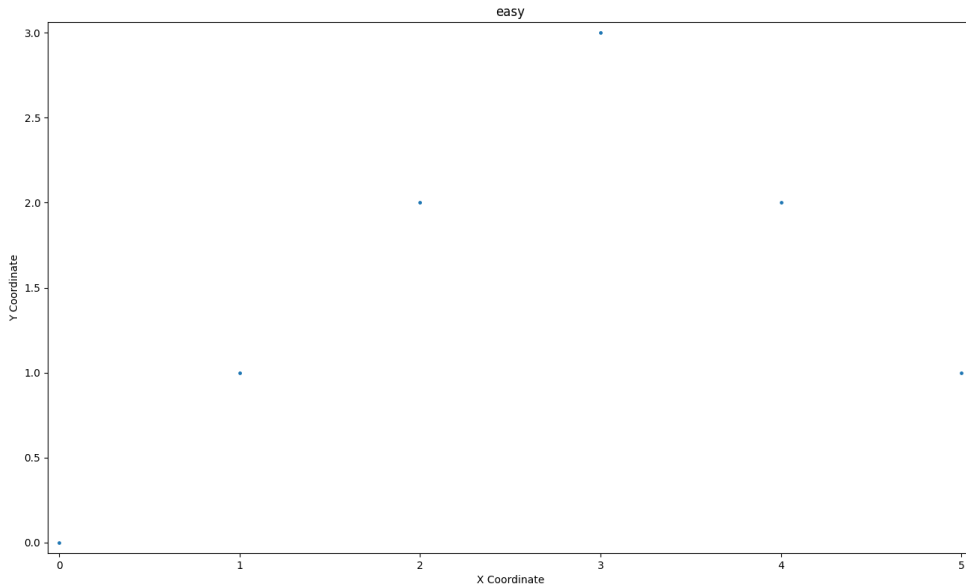
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 3: Dane wejściowe zestawu prostego.

Rozwiązanie
problemu
komiwożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwożacza

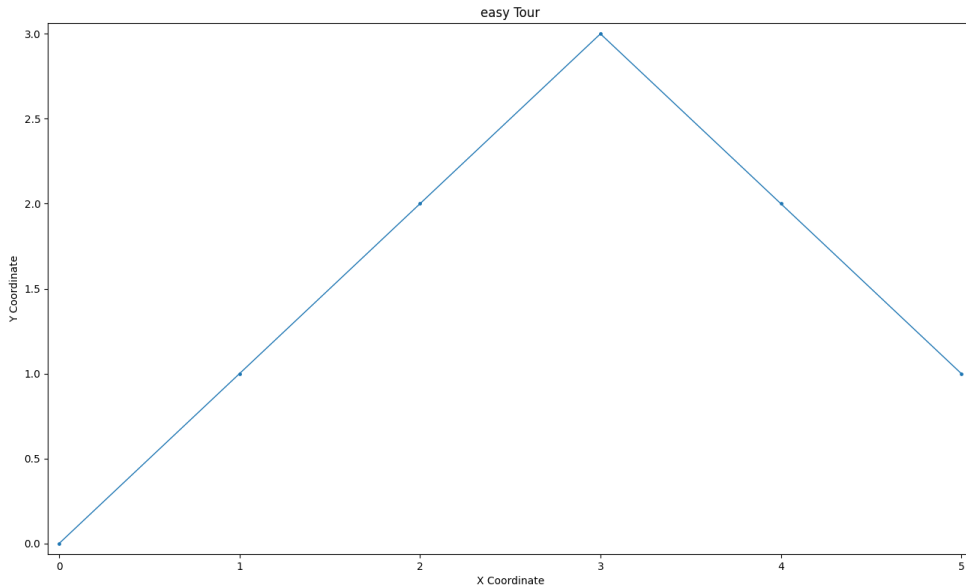
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 4: Poprawne rozwiązanie zestawu prostego.

Rozwiązanie
problemu
komivożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

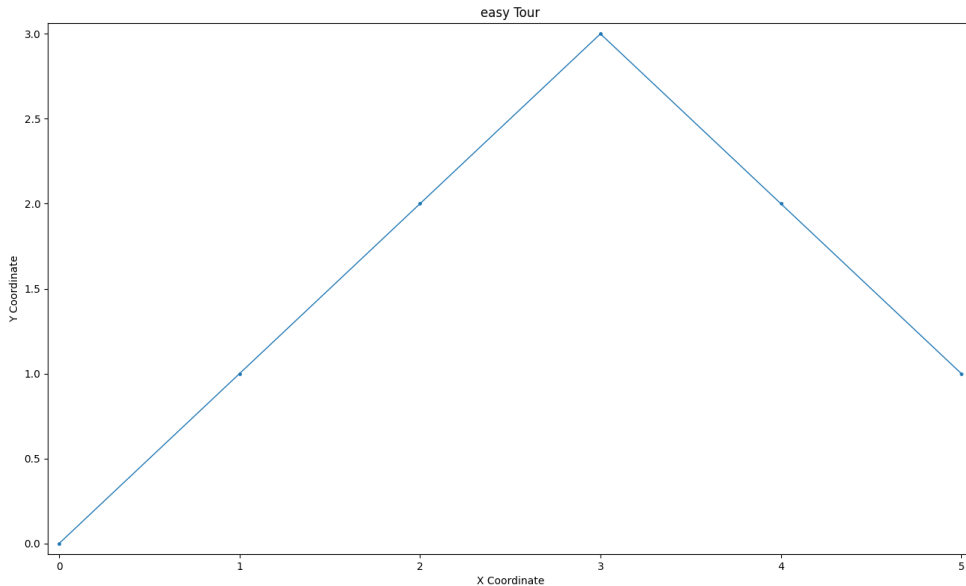
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 5: Rozwiązanie zestawu prostego.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw xqf131 - 131 miast

Rysunek 6 przedstawia dane wejściowe zestawu xqf131, a rysunek 7 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 8.

- ▶ **TSP:** xqf131
- ▶ **Cities:** 131
- ▶ **Edge weight type:** EUC_2D
- ▶ **Best distance:** 1475.3859107381754
- ▶ **Best solution:** [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 59 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46
47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 36 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 102 93 94
95 96 97 98 99 100 101 92 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113
114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130]
- ▶ **Execution time:** 1.7319 seconds

Rozwiązanie
problemu
komivojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

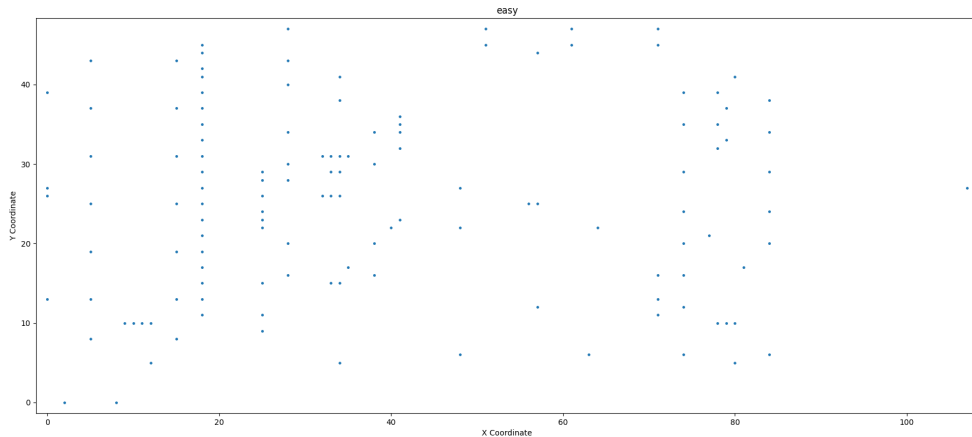
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 6: Dane wejściowe zestawu xqf131.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

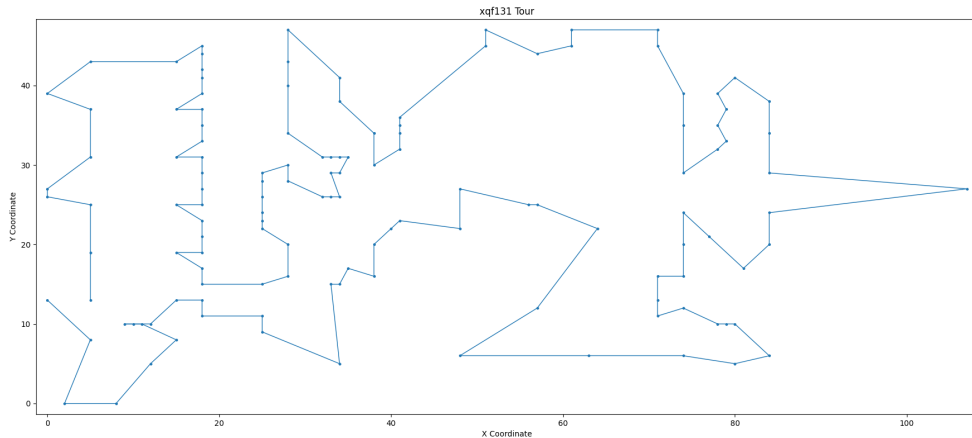
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 7: Poprawne rozwiązanie zestawu xqf131.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

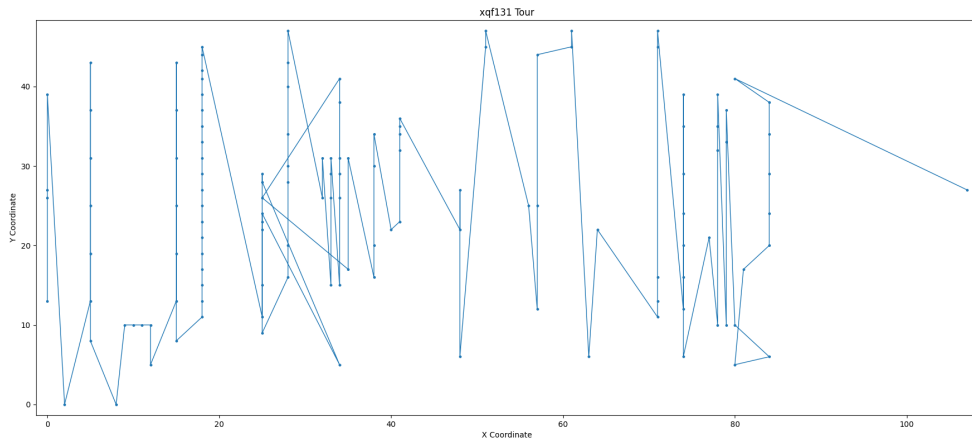
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 8: Rozwiązanie zestawu xqf131.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Porównanie wyników

Tabela 21: Porównanie wyników

| Zestaw (ilość miast) | Rozwiązanie | Odległość | Czas wykonania [s] |
|----------------------|-----------------|-----------|--------------------|
| Prosty (6) | Optymalne | 12.17 | - |
| Prosty (6) | Alg. Zachłanny | 12.17 | 0.0003 |
| Prosty (6) | Alg. Genetyczny | 12.17 | 0.0719 |
| xqf131 (131) | Optymalne | 564 | - |
| xqf131 (131) | Alg. Zachłanny | * | * |
| xqf131 (131) | Alg. Genetyczny | 1475.39 | 1.7319 |

* algorytm nie zwrócił wyniku w ciągu 10 godzin

Rozwiązanie
problemu
komivożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

- ▶ Dla zestawu prostego uzyskaliśmy wynik identyczny z algorytmem zachłannym, co oznacza, że algorytm genetyczny znalazł optymalne rozwiązanie. Stało się to jednak kosztem czasu wykonania, który był znacznie dłuższy.
- ▶ Dla zestawu xqf131 uzyskaliśmy wynik gorszy od optymalnego, ale w odróżnieniu od algorytmu zachłannego, algorytm genetyczny był w stanie znaleźć rozwiązanie w rozsądnym czasie.

Wyniki pokazują, że algorytm genetyczny jest w stanie znaleźć dobre przybliżenia dla problemów optymalizacyjnych, które są trudne do rozwiązania za pomocą innych metod.

Kamień milowy 2 - finalna wersja projektu

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

**Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu**

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Kamień milowy 2 - finalna wersja projektu

Rozwiązanie
problemu
komiojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

W ramach drugiego kamienia milowego zaimplementowaliśmy własną wersję algorytmu genetycznego w Pythonie, zamiast korzystania z biblioteki PyGAD. Nasza decyzja wynikała z chęci zrozumienia działania algorytmu genetycznego na poziomie implementacji oraz z możliwością dostosowania go do naszych potrzeb.

Własna biblioteka

- ▶ Implementacja ładowania danych z plików TSP
- ▶ Implementacja algorytmu genetycznego oraz następujących operatorów:
 - ▶ **Selekcja elitarna** (ang. *elitism*), źródło: [14]
 - ▶ **Selekcja turniejowa** (ang. *tournament*), źródło: [14]
 - ▶ **Selekcja ruletkowa** (ang. *roulette*), źródło: [9]
 - ▶ **Krzyżowanie PMX** (ang. *partially mapped crossover*), źródło: [11]
 - ▶ **Krzyżowanie rekombinacyjne** (ang. *recombination*), źródło: [13]
 - ▶ **Mutacja każdego genu z danym prawdopodobieństwem**, źródło: [11]
 - ▶ **Mutacja przez przesunięcie** (ang. *displacement*), źródło: [8]
 - ▶ **Mutacja "losowa mutacja"** - losowanie mutacji z powyższych
- ▶ Implementacja funkcji oceny jakości rozwiązania
- ▶ Implementacja mechanizmu zatrzymywania algorytmu po określonej liczbie iteracji bez poprawy wyniku
- ▶ Implementacja mechanizmu zmiany parametrów alg. w trakcie jego działania
- ▶ Implementacja dywersyfikacji populacji
- ▶ Implementacja wizualizacji wyników
- ▶ Implementacja zapisywania wyników do plików

Rozwiązanie
problemu
komivożażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Testy i walidacja

W celu oceny i walidacji rozwiązania przeprowadziliśmy testy dla zestawów miast o różnych rozmiarach:

- ▶ easy - 6 miast, źródło: własne
- ▶ bays29 - 29 miast, źródło: [1]
- ▶ berlin52 - 52 miast, źródło: [1]
- ▶ eil101 - 101 miast, źródło: [1]
- ▶ xqf131 - 131 miast, źródło: [2]

Porównanie rozwiązań prezentuje tabela 47.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw prosty - 6 miast

Rysunek 9 przedstawia dane wejściowe zestawu easy, a rysunek 10 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 11.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

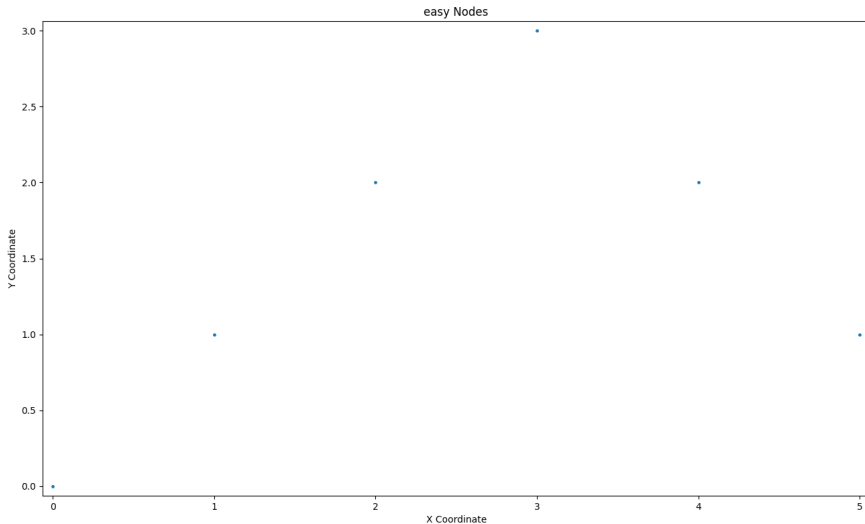
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 9: Dane wejściowe zestawu easy.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

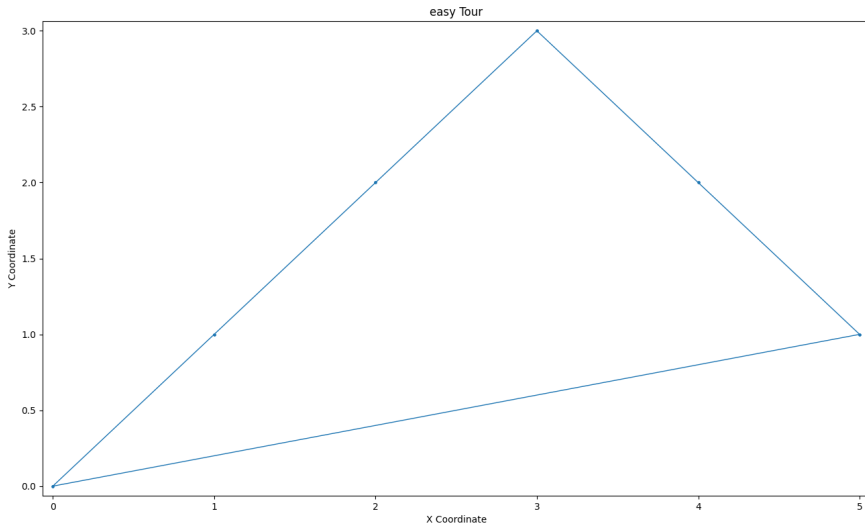
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 10: Poprawne rozwiązanie zestawu easy.

Rozwiązanie
problemu
komivojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

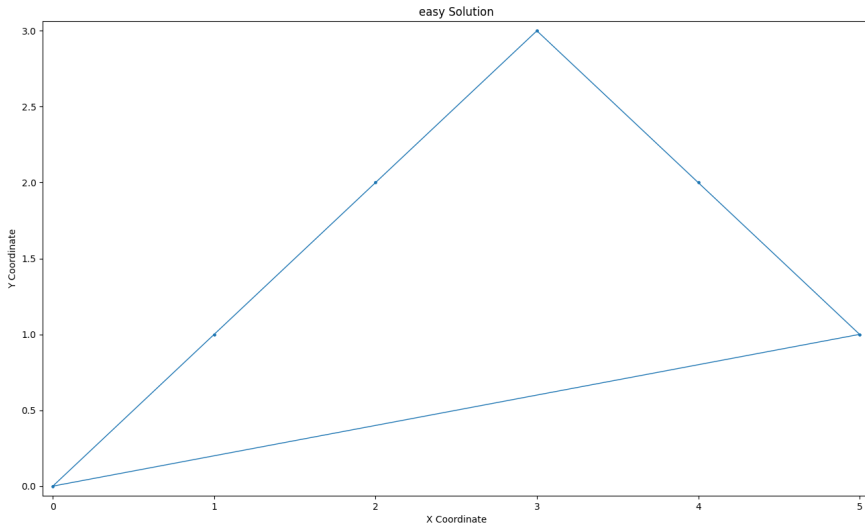
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 11: Rozwiązanie zestawu easy.

Rozwiązanie
problemu
komivożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw bays29 - 29 miast

Rysunek 12 przedstawia dane wejściowe zestawu bays29, a rysunek 13 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 14.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

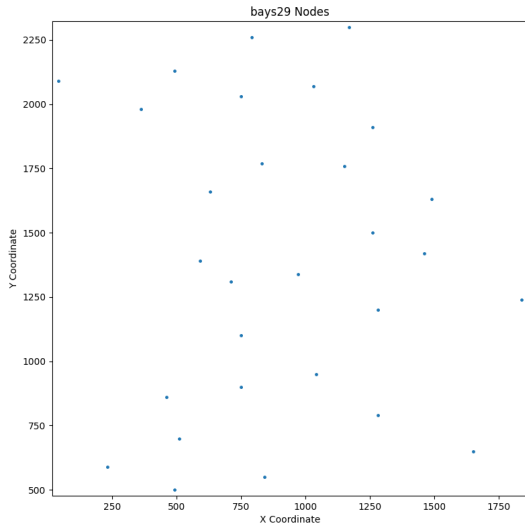
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 12: Dane wejściowe zestawu bays29.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

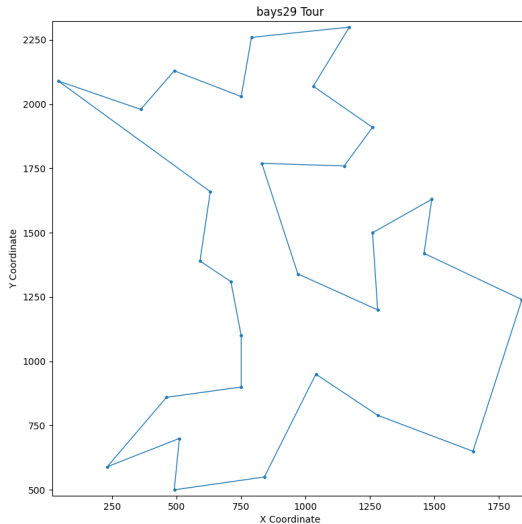
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 13: Poprawne rozwiązanie zestawu bays29.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

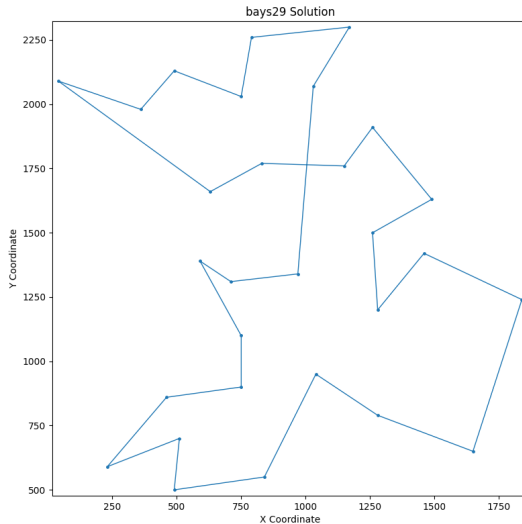
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 14: Rozwiązanie zestawu bays29.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw berlin52 - 52 miast

Rysunek 15 przedstawia dane wejściowe zestawu berlin52, a rysunek 16 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 17.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

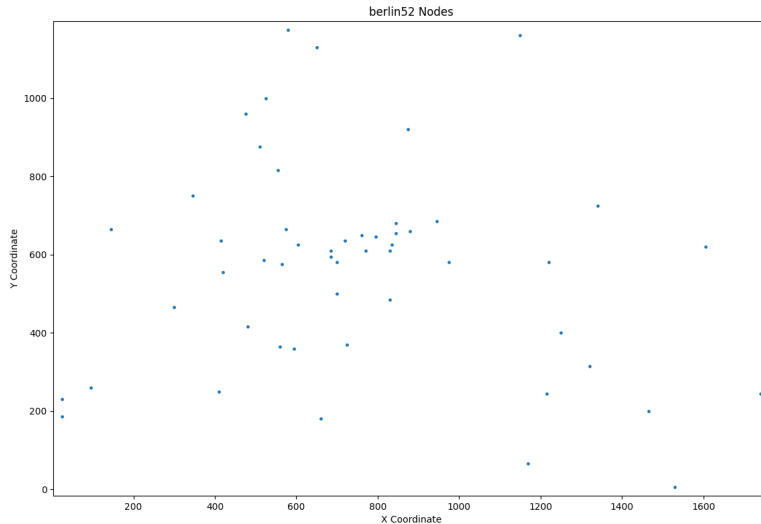
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 15: Dane wejściowe zestawu berlin52.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

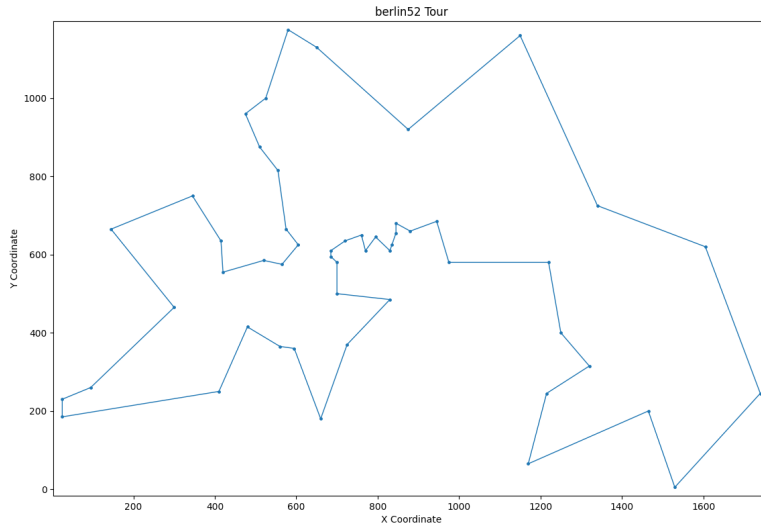
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 16: Poprawne rozwiązanie zestawu berlin52.

Rozwiązanie
problemu
komivożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

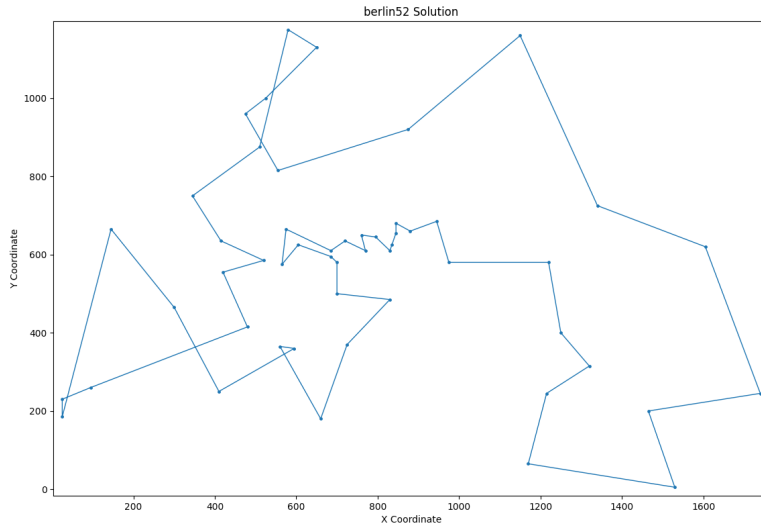
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 17: Rozwiązanie zestawu berlin52.

Rozwiązanie
problemu
komiojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw eil101 - 101 miast

Rysunek 18 przedstawia dane wejściowe zestawu eil101, a rysunek 19 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 20.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

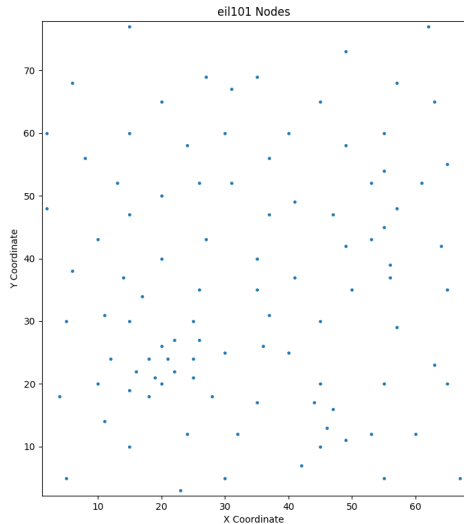
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 18: Dane wejściowe zestawu eil101.

Rozwiązanie
problemu
komivożacza
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivożacza

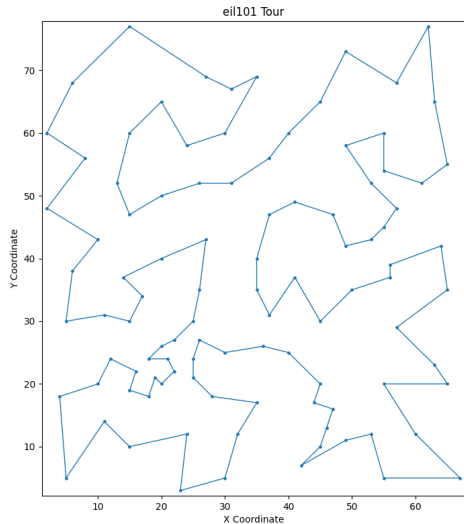
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 19: Poprawne rozwiązanie zestawu eil101.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

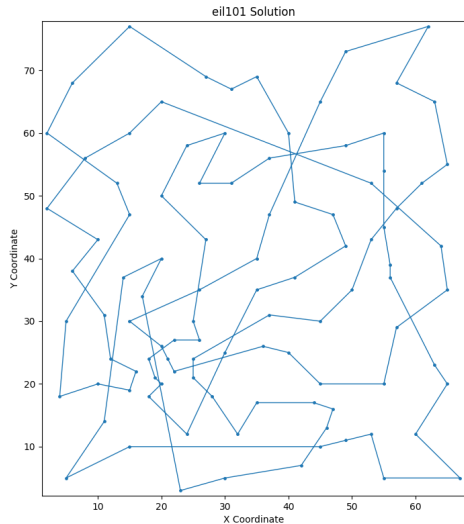
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 20: Rozwiązanie zestawu eil101.

Rozwiązanie
problemu
komivojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Zestaw xqf131 - 131 miast

Rysunek 21 przedstawia dane wejściowe zestawu xqf131, a rysunek 22 poprawne rozwiązanie tego zestawu. Rozwiązanie uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego prezentuje rysunek 23.

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

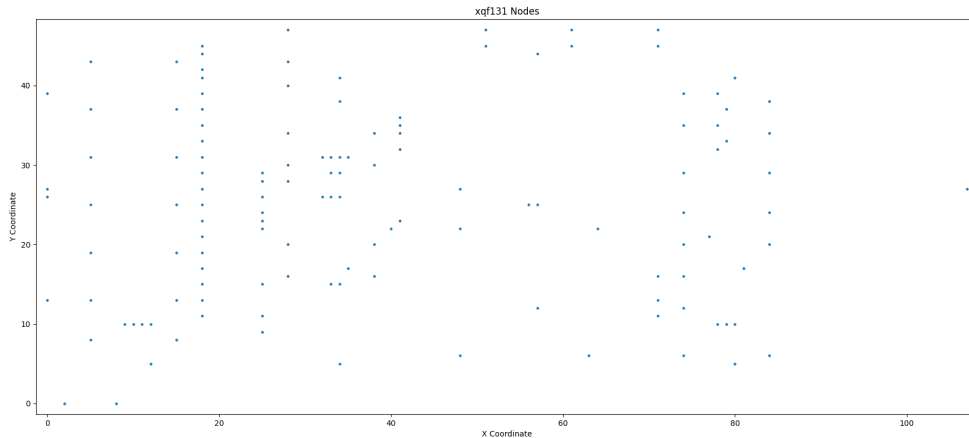
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 21: Dane wejściowe zestawu xqf131.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

[Przegląd projektu](#)

[Programowanie i
algorytmy
genetyczne](#)

[Problem
komiwojażera](#)

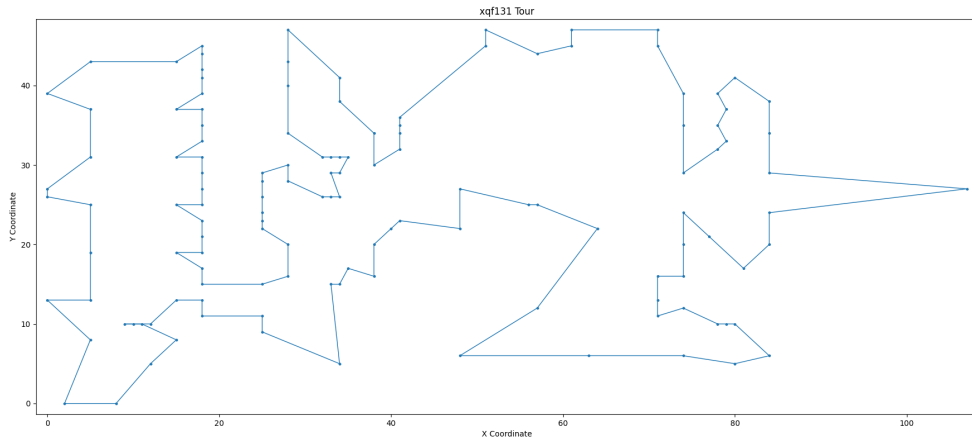
[Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu](#)

[Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu](#)

[Wnioski](#)

[Podsumowanie](#)

[Bibliografia](#)



Rysunek 22: Poprawne rozwiązanie zestawu xqf131.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

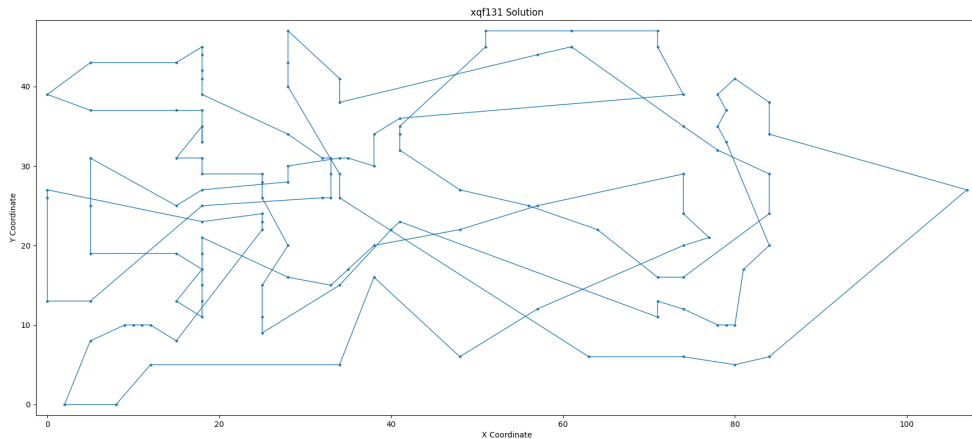
Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia



Rysunek 23: Rozwiązanie zestawu xqf131.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Porównanie wyników

Tabela 47: Porównanie wyników

| Nazwa | ilość miast | optymalna | | stosunek | | czas ob- liczeń | czas obliczeń alg. brute-force |
|----------|----------------|------------------|-------------------|----------|--------|--------------------|-----------------------------------|
| | | długość trasy | długość trasy* | długości | trasy | | |
| easy | 6 | 12.17 | 12.17 | 1 | 2.55 | | 2137 |
| bays29 | 29 | 2020 | 2103 | 1.04 | 69.74 | | 10, 24 * 3600 |
| berlin52 | 52 | 7542 | 8529.07 | 1.13 | 33.74 | | ** |
| eil101 | 101 | 629 | 900.46 | 1.43 | 403.37 | | ** |
| xqf131 | 131 | 564 | 926.53 | 1.64 | 481.95 | | ** |

* Najlepsza otrzymana długość trasy po dostrajaniu parametrów algorytmu

** Algorytm nie zwrócił wyniku w ciągu 10 godzin

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Wnioski

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

- ▶ **Skuteczność algorytmu genetycznego:** Algorytmy genetyczne potwierdziły swoją przydatność w rozwiązywaniu problemu TSP. Dzięki różnorodnym operatorom genetycznym oraz dywersyfikacji populacji uzyskano konkurencyjne wyniki.
- ▶ **Eksploracja i eksploatacja:** Zastosowanie różnych operatorów genetycznych pozwoliło na równoważenie eksploracji i eksploatacji przestrzeni rozwiązań, co miało kluczowe znaczenie dla uzyskania dobrych wyników. Dobre zrównoważenie tych dwóch aspektów jest jednak bardzo trudne i wymaga odpowiedniego dostrajania parametrów algorytmu.

Wnioski

- ▶ **Znaczenie parametrów:** Parametry algorytmu, takie jak prawdopodobieństwo mutacji czy liczba iteracji bez poprawy wyniku, miały istotny wpływ na jakość końcowego rozwiązania. Mechanizm dynamicznej zmiany parametrów był efektywnym sposobem na poprawę wydajności algorytmu. Wymagają one jednak odpowiedniego dostrajania w zależności od instancji problemu.
- ▶ **Dywersyfikacja populacji:** Mechanizmy zapewniające różnorodność genotypów w populacji znacząco wpłynęły na poprawę wyników, zwłaszcza w końcowych stadiach optymalizacji, zapobiegając przedwczesnej zbieżności algorytmu. W szczególności selekcja turniejowa okazała się skutecznym narzędziem do utrzymania różnorodności populacji.
- ▶ **Znaczenie literatury:** Analiza literatury dostarczyła wielu inspiracji dotyczących różnych podejść do implementacji algorytmu genetycznego dla TSP. Wykorzystanie tych inspiracji pomogło w zaprojektowaniu solidnej architektury algorytmu.

Rozwiązanie
problemu
komiojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

- **Możliwości rozwoju:** Implementacja innych podejść do operatorów genetycznych, m.in. Cyclic Crossover Operator wraz Subdivision Mutation Operator, mogłaby przynieść dodatkowe korzyści w postaci lepszych wyników.

Podsumowanie

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Podsumowanie

W ramach projektu zrealizowano implementację algorytmu genetycznego (AG) w celu rozwiązania problemu komiwojażera (TSP). Projekt obejmował kompleksowe podejście do problemu, w tym zaimplementowanie narzędzi do wczytywania danych, wielu operatorów genetycznych, mechanizmów sterowania parametrami oraz wizualizacji i zapisu wyników. Wyniki eksperymentów potwierdzają skuteczność zastosowanego algorytmu.

Dzięki implementacji różnorodnych operatorów genetycznych, takich jak selekcja tournament, krzyżowanie PMX i losowe mutacje, oraz mechanizmów poprawiających jakość poszukiwań (np. dywersyfikacja populacji, mechanizm zatrzymania algorytmu), udało się uzyskać satysfakcjonujące rozwiązania dla wszystkich testowanych problemów. Wprowadzenie dynamicznej zmiany parametrów algorytmu pozwoliło na lepsze dostosowanie poszukiwań w zależności od stadium optymalizacji.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Dziękujemy za uwagę

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Pytania?

Rozwiązanie
problemu
komivojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Bibliografia

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komivojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Bibliografia

- [1] TSPLIB. <http://comopt.ifl.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/tsp/>.
- [2] VLSI Data. <https://www.math.uwaterloo.ca/tsp/vlsi/xqf131.tour.html>.
- [3] AnalytixLabs, B. 2024. A Complete Guide to Genetic Algorithm — Advantages, Limitations & More. <https://medium.com/@byanalytixlabs/a-complete-guide-to-genetic-algorithm-advantages-limitations-more-738e87427dbb>.
- [4] GeeksforGeeks 2024. Genetic Algorithms. <https://www.geeksforgeeks.org/genetic-algorithms/>.
- [5] GeeksforGeeks 2023. Traveling Salesman Problem (TSP) Implementation. <https://www.geeksforgeeks.org/traveling-salesman-problem-tsp-implementation/>.
- [6] Harris, C.R. i in. 2020. Array programming with NumPy. *Nature*. 585, 7825 (wrz. 2020), 357–362. DOI:<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.

Rozwiązanie
problemu
komiojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Bibliografia

- [7] Hunter, J.D. 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*. 9, 3 (2007), 90–95. DOI:<https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>.
- [8] Larranaga, P., Kuijpers, C., Murga, R., Inza, I. i Dizdarevic, S. 1999. Genetic Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators. *Artificial Intelligence Review*. 13, (sty. 1999), 129–170. DOI:<https://doi.org/10.1023/A:1006529012972>.
- [9] Mondal, M. i Srivastava, D. 2023. A Genetic Algorithm-Based Approach to Solve a New Time-Limited Travelling Salesman Problem. *International Journal of Distributed Systems and Technologies*. 14, (sty. 2023), 1–14. DOI:<https://doi.org/10.4018/IJDST.317377>.
- [10] Rutkowski, L. 2012. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. PWN.
- [11] Üçoluk, G. 2002. Genetic Algorithm Solution of the TSP Avoiding Special Crossover and Mutation. *Intelligent Automation and Soft Computing*. 3, (sty. 2002). DOI:<https://doi.org/10.1080/10798587.2000.10642829>.

Rozwiązanie
problemu
komiwojażera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
komiwojażera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia

Bibliografia

- [12] Van Rossum, G. i Drake, F.L. 2009. *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.
- [13] Wikipedia contributors 2022. Edge recombination operator — Wikipedia, The Free Encyclopedia.
- [14] Wikipedia contributors 2024. Selection (genetic algorithm) — Wikipedia, The Free Encyclopedia.

Rozwiązanie
problemu
kominiwożera
z wykorzystaniem
algorytmu
genetycznego

Piotr Karaś,
Tomasz Kawiak,
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i
algorytmy
genetyczne

Problem
kominiwożera

Kamień milowy 1 -
Pierwsza wersja
projektu

Kamień milowy 2 -
finalna wersja
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Bibliografia