

# Rozwiązanie problemu komiwojażera z wykorzystaniem algorytmu genetycznego

Piotr Karaś, Tomasz Kawiak, Mateusz Mazur

25 listopada 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

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

# Przegląd projektu

**Temat:** Rozwiązanie problemu komiwojażera z wykorzystaniem algorytmu genetycznego

## Cele:

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

**Stos technologiczny:** Python [8], PyGAD [4]

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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 [7], [5] oraz [3].

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

Problem  
komiojażera

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

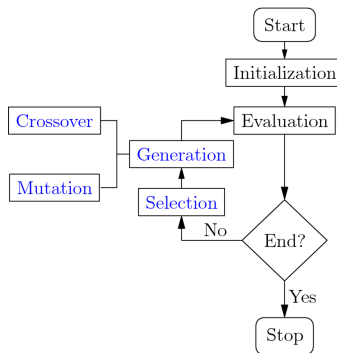
Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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.

Rozwiązanie  
problemu  
komiwojażera  
z wykorzystaniem  
algorytmu  
genetycznego

Piotr Karaś,  
Tomasz Kawiak,  
Mateusz Mazur

# Problem komiwojażera

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

**Problem  
komiwojażera**

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia



# Problem komiwojażera

## 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.

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

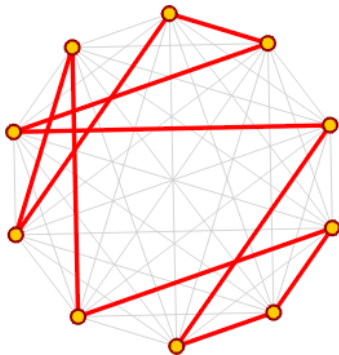
Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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 komiwożacza

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

# Kamień milowy 1 - Pierwsza wersja projektu

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 [6].

Porównanie rozwiązań prezentuje tabela 21.

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

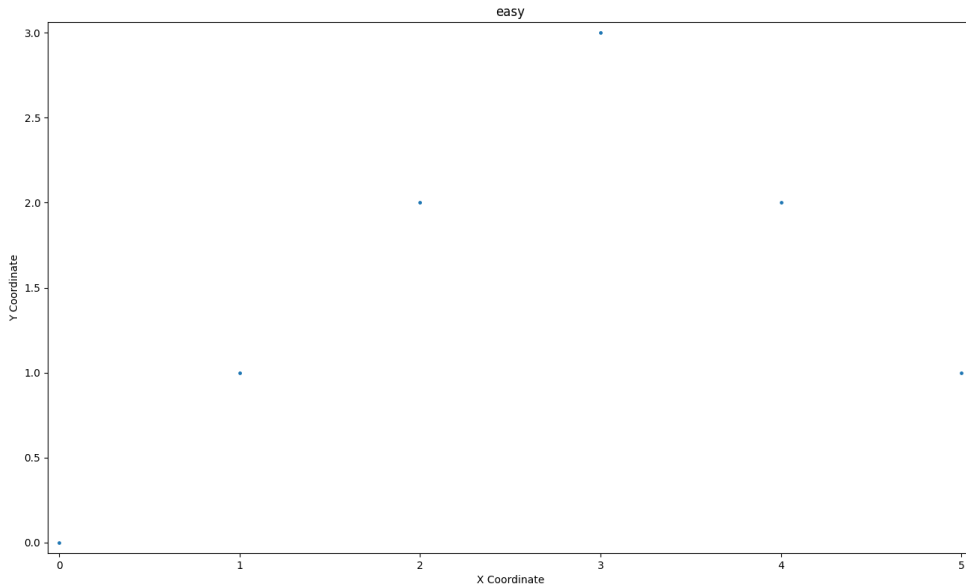
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

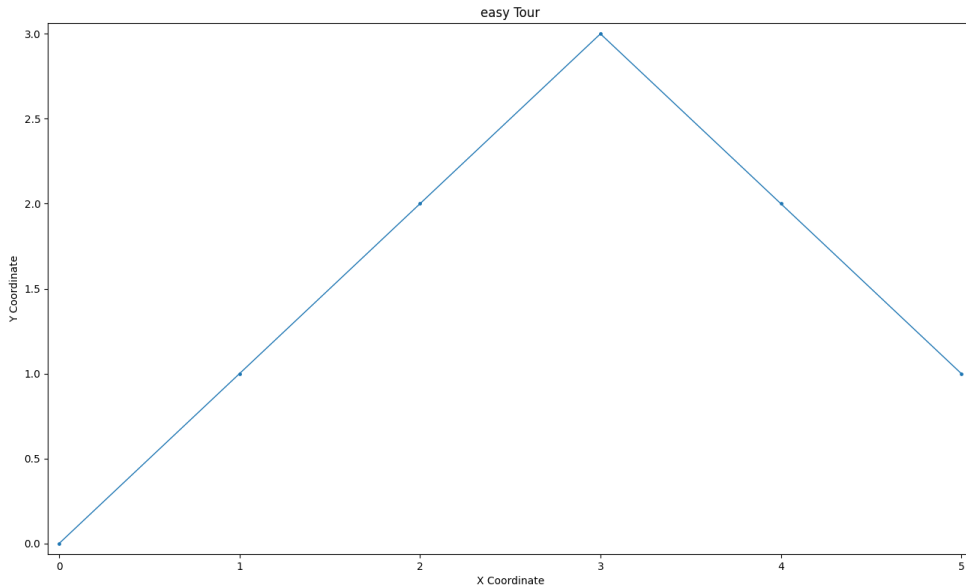
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

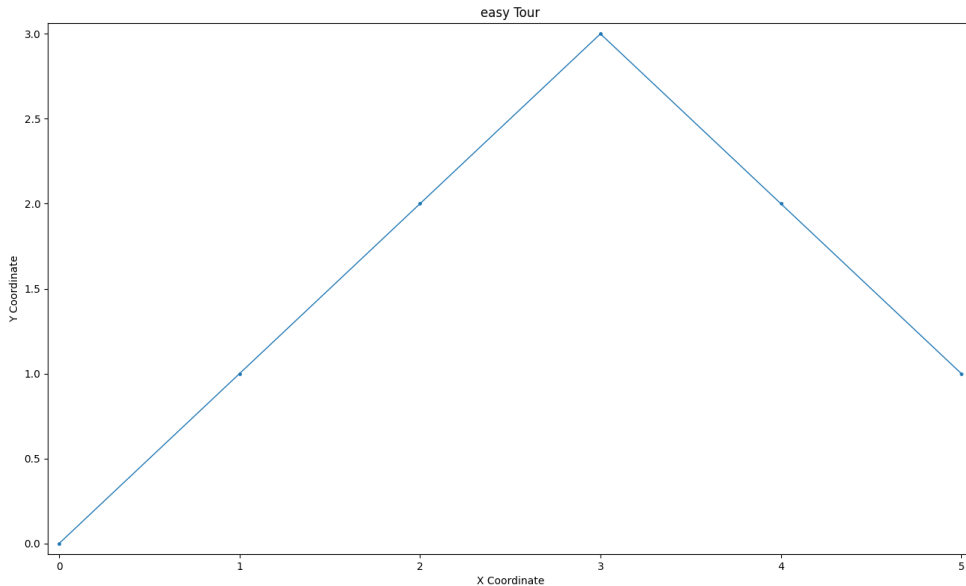
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

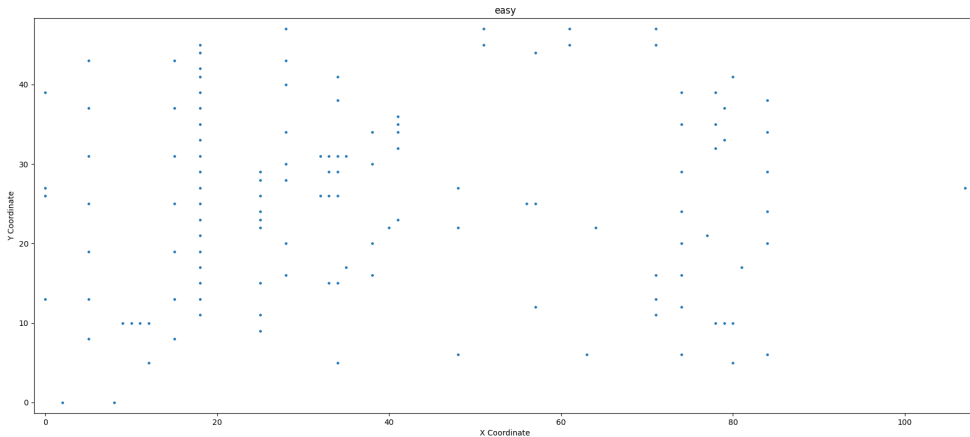
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

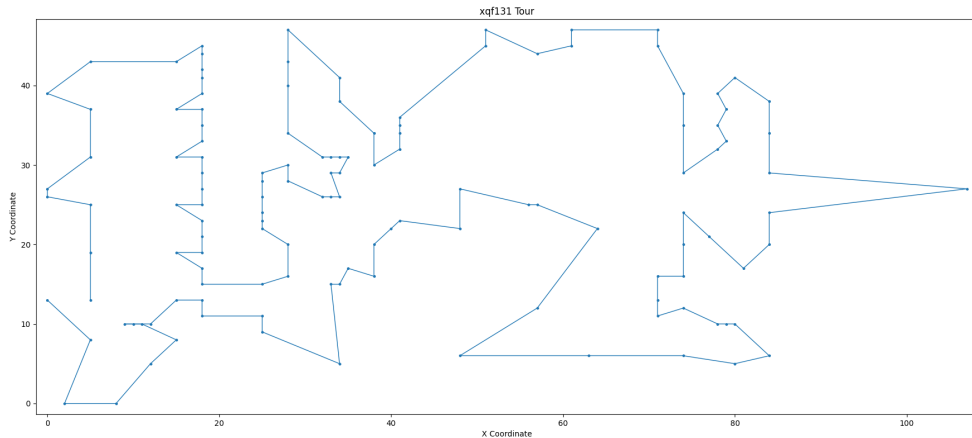
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

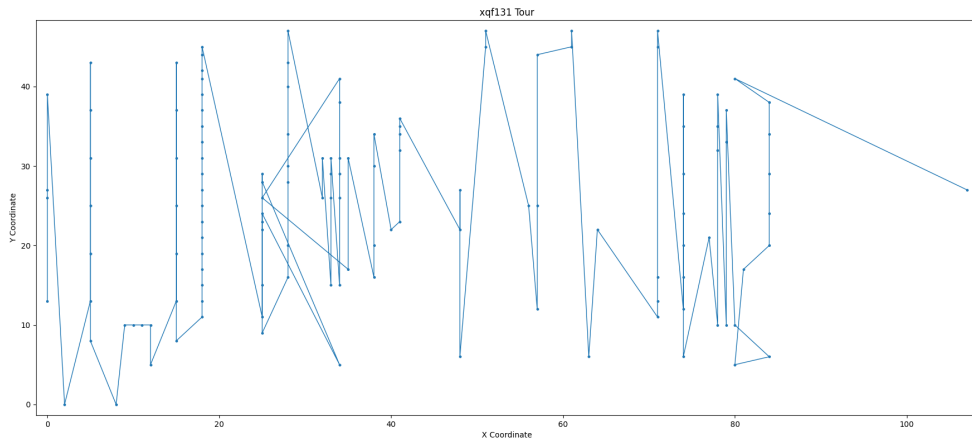
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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  
komiojażera

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

**Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu**

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

# Kamień milowy 2 - finalna wersja projektu

Rozwiązanie  
problemu  
komwojażera  
z wykorzystaniem  
algorytmu  
genetycznego

Piotr Karaś,  
Tomasz Kawiak,  
Mateusz Mazur

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

Problem  
komwojażera

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

**Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu**

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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
- ▶ Implementacja następujących operatorów genetycznych:
  - ▶ **Selekcja elitarna**
  - ▶ **Selekcja turniejowa**
  - ▶ **Selekcja ruletkowa**
  - ▶ **Krzyżowanie PMX**
  - ▶ **Krzyżowanie rekombinacyjne (ang. recombination)**
  - ▶ **Mutacja każdego genu z prawdopodobieństwem  $p_m$**
  - ▶ **Mutacja przez przesunięcie (ang. displacement)**
  - ▶ **Mutacja "losowa mutacja"**
- ▶ Implementacja funkcji oceny jakości rozwiązania
- ▶ Implementacja mechanizmu zatrzymywania algorytmu po określonej liczbie iteracji bez poprawy wyniku
- ▶ Implementacja mechanizmu zmiany parametrów algorytmu w trakcie jego działania
- ▶ Implementacja dywersyfikacji populacji
- ▶ Implementacja wizualizacji wyników

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

Dziękujemy za  
uwagę

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  
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

Dziękujemy za  
uwagę

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

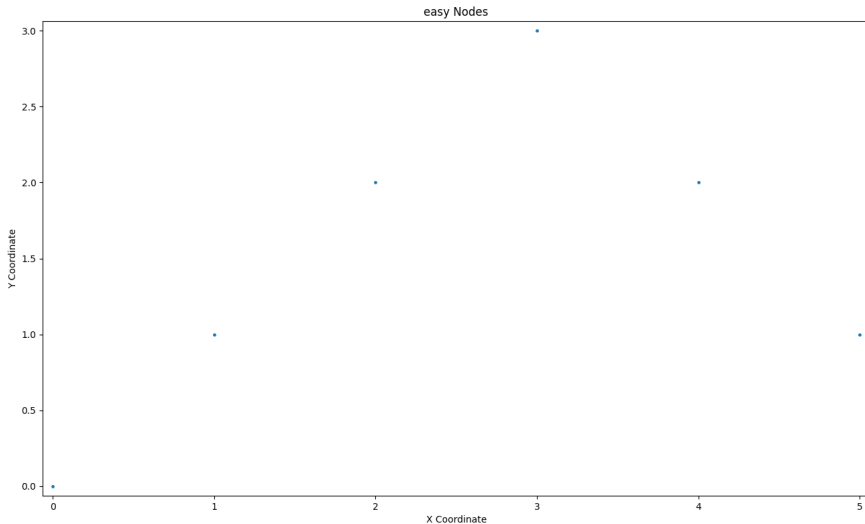
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

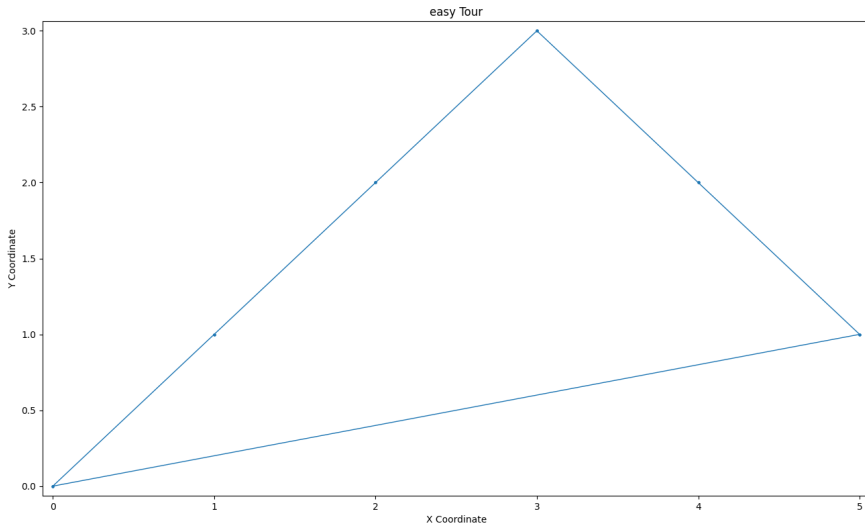
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

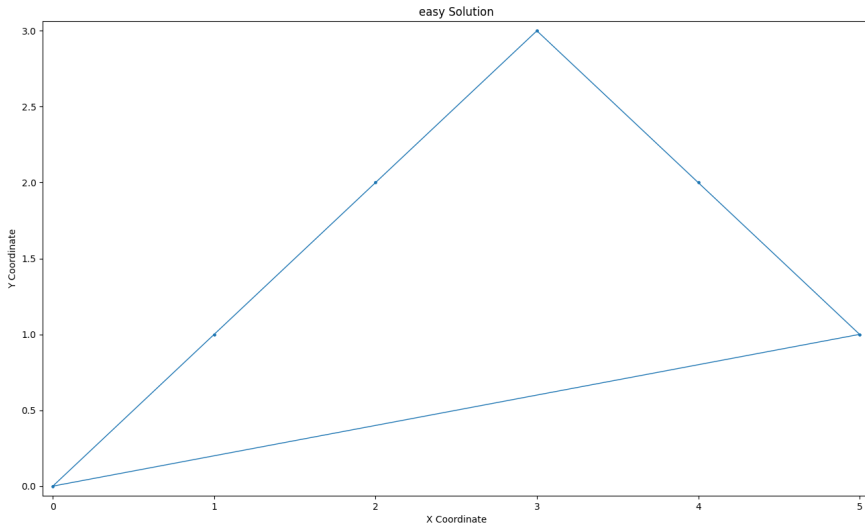
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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  
komiożażera

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

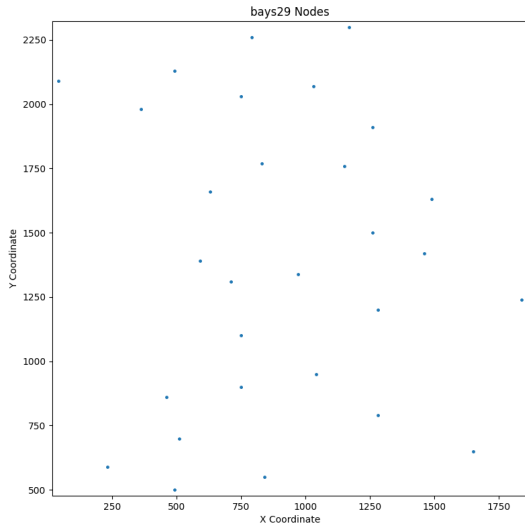
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

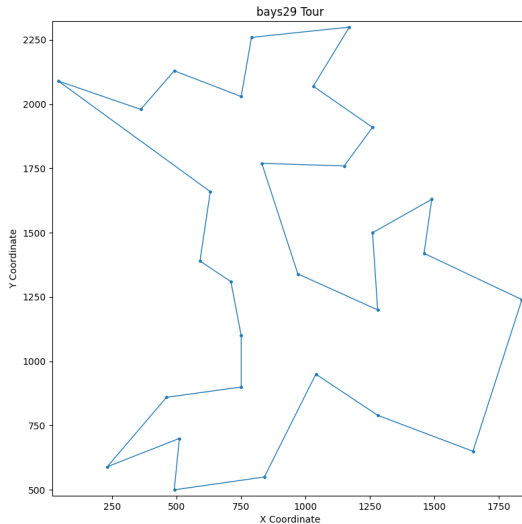
Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

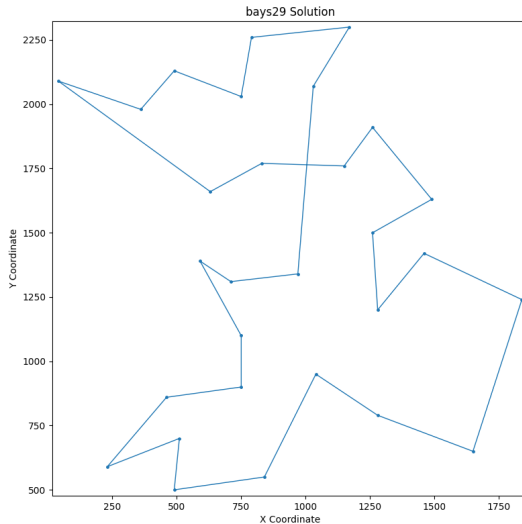
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

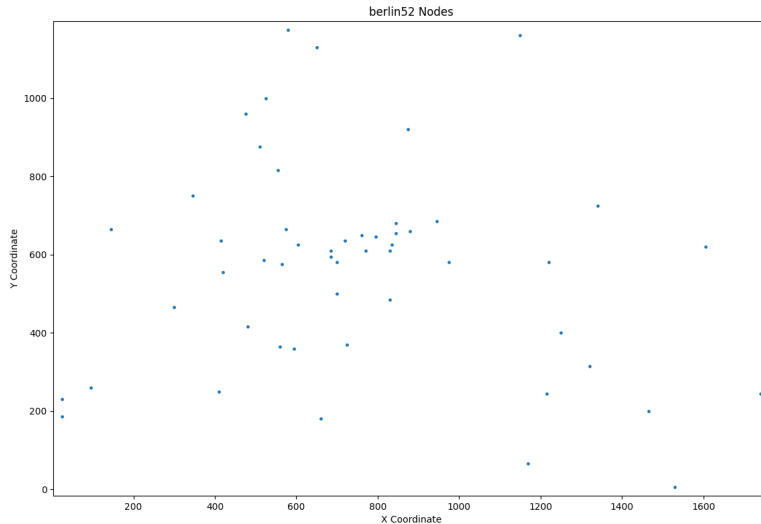
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia



Rysunek 15: Dane wejściowe zestawu berlin52.

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

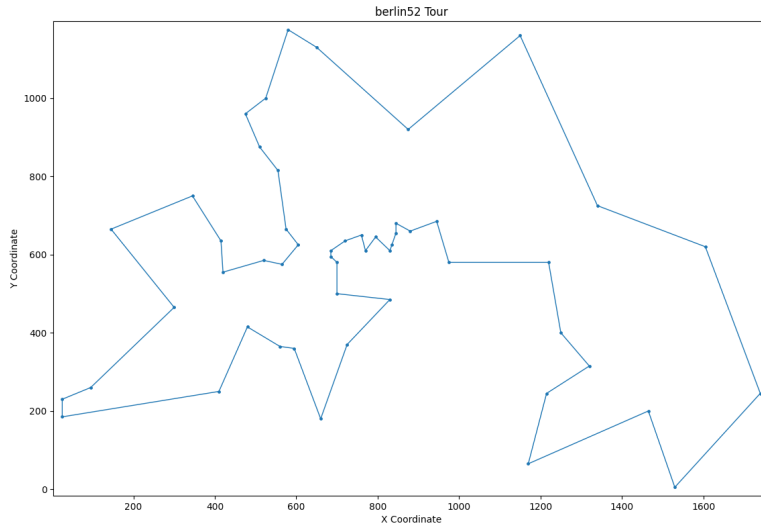
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia



Rysunek 16: Poprawne rozwiązanie 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

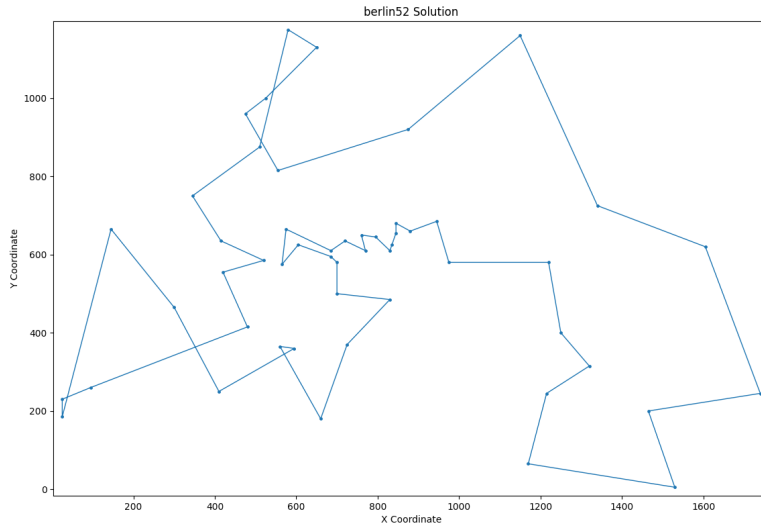
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia



Rysunek 17: Rozwiązanie 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

Dziękujemy za  
uwagę

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  
komiojażera

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

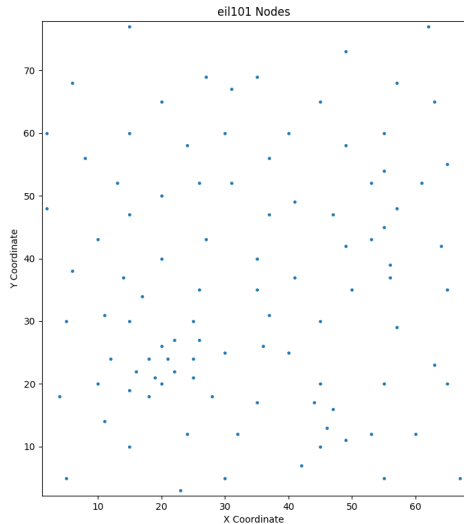
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia



Rysunek 18: Dane wejściowe zestawu eil101.

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

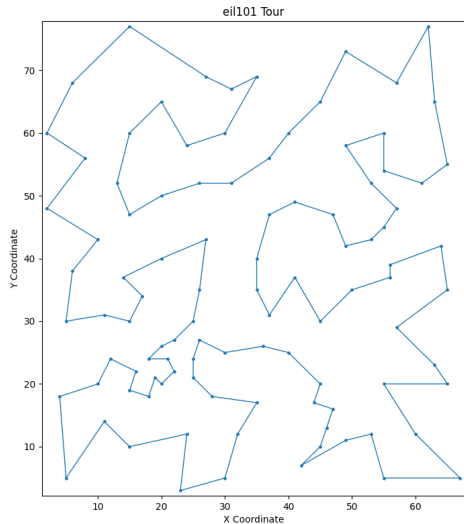
Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia





Rysunek 19: Poprawne 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

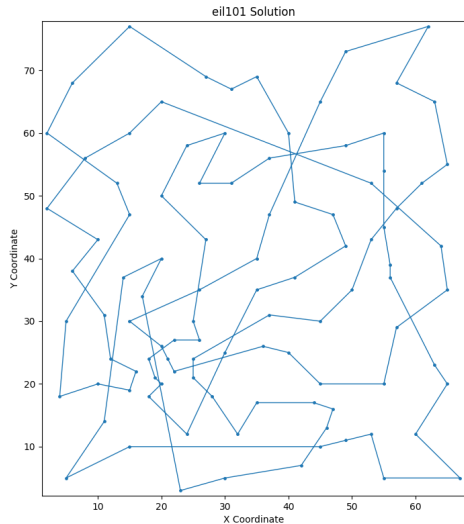
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

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

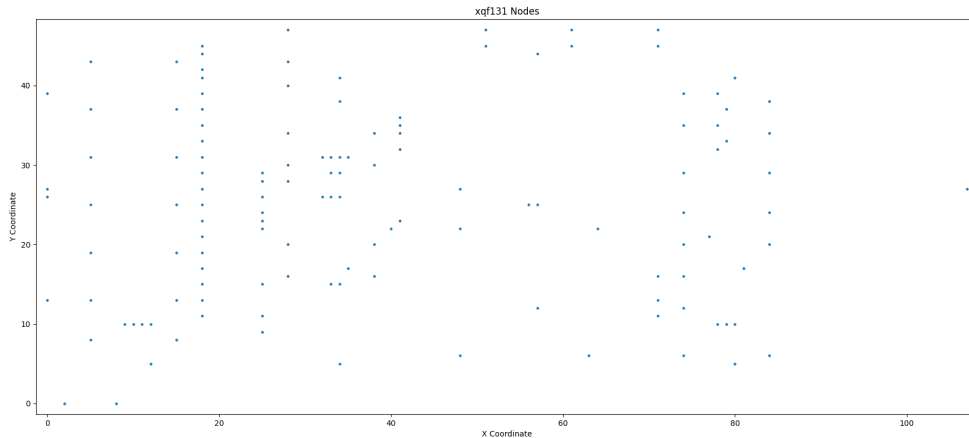
Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

Piotr Karaś,  
Tomasz Kawiak,  
Mateusz Mazur

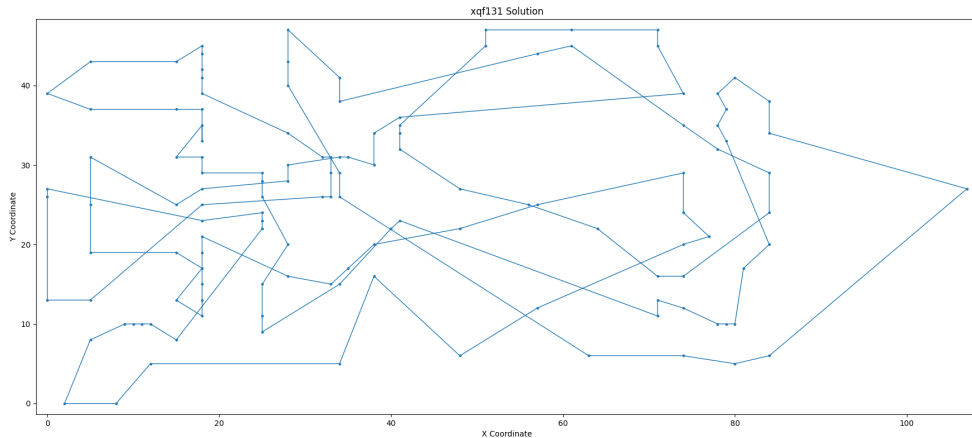
Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

## 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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

# Porównanie wyników

Tabela 47: Porównanie wyników

Nazwa	rozmiar	optymalna długość trasy	długość trasy*	stosunek długości tras	czas obliczeń
easy	6	12.17	12.17	1	2.55
bays29	29	2020	2103	1.04	69.74
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

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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

Rozwiązanie  
problemu  
komivożacza  
z wykorzystaniem  
algorytmu  
genetycznego

Piotr Karaś,  
Tomasz Kawiak,  
Mateusz Mazur

# Wnioski

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

Problem  
komivożacza

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

**Wnioski**

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

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.
- ▶ **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.
- ▶ **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.
- ▶ **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.

Rozwiązanie  
problemu  
komivożacza  
z wykorzystaniem  
algorytmu  
genetycznego

Piotr Karaś,  
Tomasz Kawiak,  
Mateusz Mazur

# Podsumowanie

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

Problem  
komivożacza

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

**Podsumowanie**

Dziękujemy za  
uwagę

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, szczególnie w przypadku mniejszych instancji problemu.

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 dobre rozwiązania dla większości testowanych instancji TSP. 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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

Dziękujemy za uwagę

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

Problem  
komivożacza

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia

# Bibliografia

Przegląd projektu

Programowanie i  
algorytmy  
genetyczne

Problem  
komivożacza

Kamień milowy 1 -  
Pierwsza wersja  
projektu

Kamień milowy 2 -  
finalna wersja  
projektu

Wnioski

Podsumowanie

Dziękujemy za  
uwagę

**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] Gad, A.F. 2023. Pygad: An intuitive genetic algorithm python library. *Multimedia Tools and Applications*. (2023), 1–14.
- [5] GeeksforGeeks 2024. Genetic algorithms. <https://www.geeksforgeeks.org/genetic-algorithms/>.
- [6] GeeksforGeeks 2023. Traveling salesman problem (TSP) implementation. <https://www.geeksforgeeks.org/traveling-salesman-problem-tsp-implementation/>.
- [7] Rutkowski, L. 2012. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. PWN.
- [8] Van Rossum, G. and Drake, F.L. 2009. *Python 3 reference manual*.

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

Dziękujemy za  
uwagę

Bibliografia