



**AGH**

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA  
W KRAKOWIE**

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

Praca dyplomowa inżynierska

Optymalizacja trasy z wykorzystaniem algorytmu przybliżonego

Autor: Rafał Siniewicz

Kierunek studiów: Automatyka i automatyka

Opiekun: dr inż. Joanna Kwiecień

Kraków, 2019/2020r.

# **Spis treści**

## **1. Wstęp**

- 1.1. Cel pracy
- 1.2. Zakres pracy

## **2. Zagadnienie poszukiwania najlepszej trasy**

- 2.1. TSP
- 2.2. VRP
- 2.3. CVRP

## **3. Algorytmy przybliżone w problemie optymalizacji trasy**

- 3.1. Algorytm mrówkowy
- 3.2. Algorytm pszczele
- 3.3. Algorytm genetyczny

## **4. Opis projektu**

- 4.1. Użyte technologie
- 4.2. Opis aplikacji
- 4.3. Implementacja AG

## **5. Aplikacja**

## **6. Testy**

- 6.1. Sprawdzenie poprawności wczytywanych danych
- 6.2. Działanie dla różnych danych i sprawdzenie optymalności otrzymanego rozwiązania

## **7. Podsumowanie**

# 1. Wstęp

Transport od zawsze pełnił bardzo ważną rolę w życiu społeczeństw. W przeciągu wieków zmieniały się środki transportu, jego metody, a także szybkość przemieszczania ludzi oraz towarów. Za każdym jednak razem wyzwaniem stanowiło jak najoptymalniejsze przeprowadzenie procesu transportu. Szczególnie w dzisiejszych czasach zaplanowanie tras w taki sposób, aby zminimalizować czas ich pokonania- co wiąże się z mniejszymi kosztami oraz emisjami spalin- jest bardzo cenne. Również zwyklesze sytuacje, jak np. zaplanowanie dojazdu do pracy (komunikacją miejską lub samochodem) wymagają od wielu osób skorzystania z odpowiednich narzędzi (świadczą o tym chociażby popularność google maps czy aplikacji jakdojade) przeszukujących wiele możliwych tras i wybierających tą najlepszą. Widać zatem jak dużą rolę odgrywa w życiu niemalże każdego dobranie odpowiedniej trasy dla danej podróży.

Problem optymalizacji trasy jest bardzo powszechny i wielokrotnie studiowany, zwłaszcza w badaniach operacyjnych, teorii grafów czy logistyce i dziedzinach pokrewnych. W teorii najczęściej dąży się do uzyskania jak najkrótszej trasy, choć problem można rozwinąć o wiele różnych czynników, które wpływają na przebieg trasy, np. jakość nawierzchni czy określona pojemność pojazdów.

Problemy optymalizacyjne rozwiązuje się przy pomocy algorytmów. Jest to kolejne ważne zagadnienie w tej pracy. Istnieje wiele różnych typów i rodzajów algorytmów, jednak z perspektywy rozwiązywania zadań optymalizacyjnych szczególnie istotna wydaje się podgrupa algorytmów zwana algorytmami przybliżonymi. Pozwalają one na bardziej praktyczne podejście do rzeczywistego problemu, tak by osiągnąć rozwiązanie zadowalające, ale niekoniecznie optymalne. Ze względu na bardzo dużą ilość obliczeń potrzebnych do wykonania większości algorytmów, a w szczególności tych mających za zadanie rozwiązanie problemów optymalizacyjnych, do ich wykonania używa się specjalnie utworzonych programów komputerowych. Podobnie i w tej pracy, w celu rozwiązania problemu i znalezienia zadowalającej trasy napisano program komputerowy, który automatyzuje cały proces oraz pozwala na jego wielokrotne użycie, a także możliwość wizualizacji.

Spora część wiedzy wykorzystanej w tej pracy pochodzi ze źródeł internetowych, książek, a także materiałów pochodzących z zajęć dotyczących matematycznych metod wspomagania decyzji oraz badań operacyjnych. Jest to wiedza ogólnie dostępna, a jej zakres został szczegółowo zbadany na przestrzeni lat w wielu pozycjach literatury naukowej.

Praca została podzielona na 7 rozdziałów- każdy zawierający kilka podrozdziałów i szerzej omówionych zagadnień. Na początku jest wstęp zawierający ogólne omówienie pracy, jej cel i zakres. Kolejny rozdział dotyczy poszukiwania optymalnej trasy w sensie ogólnym oraz przybliża najbardziej znane problemy z tej dziedziny badań naukowych. Następnie opisano metody wykorzystane przy rozwiązywaniu problemu, który porusza praca, tj. algorytmy ewolucyjne, a w szczególności ewolucyjne. W następnej kolejności omówiono wykonany projekt. Kolejny rozdział opisuje działanie aplikacji. W następnym zawarto opis przeprowadzonych testów. Na końcu pracy znajduje się rozdział podsumowujący, w którym zostały wyciągnięte wnioski dotyczące napisanej pracy oraz działania samej aplikacji.

## 1.1. Cel pracy

Praca ma na celu stworzenie aplikacji komputerowej oraz interfejsu graficznego napisanych przy użyciu języka programowania python. Aplikacja służy do obliczania optymalnej trasy na podstawie odpowiednich danych. Optymalna trasa jest obliczona przy pomocy odpowiednich algorytmów opisanych w poniższym wstępie teoretycznym. Program wyświetla również przebiegi tras w formie graficznej wraz z zaznaczeniem poszczególnych punktów na mapie. Całość stanowi ujednolicony i łatwy w użyciu system, w którym można ustalać parametry, takie jak, np. ilość pojazdów i ich pojemności, współrzędne geograficzne punktów, a także daje możliwość uzyskania informacji o długości trasy, jej przebiegu i innych statystykach dotyczących rozwiązywanego problemu.

## 1.2. Zakres pracy

W pracy zagadnienie optymalizacji trasy rozważono dla problemu marszrutyzacji, czyli VRP (Vehicle Routing Problem) oraz CVRP (Capacity Vehicle Routing Problem), a także problemu komiwojażera jako szczególny przypadek problemu marszrutyzacji z jednym pojazdem. Projekt skupia się głównie na dwóch czynnikach decydujących o optymalności: długości trasy oraz (opcjonalnie) zapełnieniu pojazdów ładunkiem.

Przy rozwiązywaniu problemu marszrutyzacji/ komiwojażera korzystano z algorytmów przybliżonych, a konkretniej algorytmu genetycznego, ze względu na fakt, że są to problemy N-P trudne. Przy rozwiązywaniu takich problemów dobrze sprawdzają się właśnie algorytmy przybliżone, gdyż znalezienie optymalnego rozwiązania metodami analitycznymi byłoby bardzo czasochłonne i wymagało dużej ilości skomplikowanych obliczeń. Spośród algorytmów przybliżonych wybrano algorytm genetyczny ze względu na sporą ilość opracowań na jego temat, a także z uwagi na jego uniwersalność, możliwość uzyskania stosunkowo dobrych wyników w krótkim czasie oraz prostą koncepcję podejścia do rozwiązania.

## 2. Zagadnienie poszukiwania najlepszej trasy

Optymalizacja trasy polega na znajdowaniu przy pomocy metod matematycznych najlepszego (biorąc pod uwagę wybrane kryteria) rozwiązania z uwzględnieniem ściśle określonych ograniczeń. Problem poszukiwania optymalnej trasy należy do ważnych zagadnień z zakresu planowania transportu. Historycznie wywodzi się od problemu komiwojażera (Travelling Salesman Problem). Optymalizacja trasy może skupiać się na różnych czynnikach, takich jak: długość trasy, koszty, czas podróży, itp. Zazwyczaj jednak optymalizacja ma na celu znalezienie najkrótszej trasy.

Problem poszukiwania najkrótszej trasy najczęściej dotyczy wspomnianego wyżej problemu komiwojażera, ale także problemu marszrutyzacji czy innych, np. znajdowania najkrótszej ścieżki w grafie. Ze względu na to, że większość problemów z zakresu optymalizacji trasy jest NP-trudnych (w tym także problem komiwojażera oraz marszrutyzacji, które zostały opisane poniżej) rozwiązuje się je najczęściej przy pomocy algorytmów przybliżonych, tzn. takich, które nie dostarczają rozwiązania optymalnego, a jedynie zadowalające względem pewnych ustalonych kryteriów.

### 2.1. TSP

Na podstawie [1]:

Problem komiwojażera (Travelling Salesman Problem- TSP) – jeden z najstarszych problemów optymalizacyjnych mający na celu znalezienie minimalnego cyklu Hamiltona w n-wierzchołkowej sieci pełnej, tzn. takiej, w której każda para wierzchołków jest połączona łukiem. Jest to problem z kategorii NP- trudnych. Słowne przedstawienie problemu:

Komiwojażer ma za zadanie odwiedzić n lokalizacji. Znane są odległości (czasem także cena i czas podróży ) między każdą parą lokalizacji. Celem komiwojażera jest odwiedzenie wszystkich punktów (tylko raz) w jak najkrótszym czasie/ najkrótszą drogą/ najmniejszym kosztem, zaczynając w ustalonym punkcie i do niego wracając.

Matematyczne ujęcie problemu zgodnie z [1]:

Rozpatrujemy graf nieskierowany  $G = (V, E)$ , gdzie:

$V$  - zbiór wierzchołków grafu,

$E$  - zbiór krawędzi grafu

Oznaczmy punkty do odwiedzenia numerami od 1 do n. Dalej oznaczmy:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli trasa idzie z punktu } i \text{ do } j \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

Przyjmijmy  $d_{ij}$  jako odległość (koszt) z punktu  $i$  do  $j$ . Wtedy problem komiwojażera może być zapisany jako problem programowania liniowego:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Przy ograniczeniach:

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 2, \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i,j \in S, i \neq j} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset V, S \neq \emptyset \quad (3)$$

Problem komiwożera można rozpatrywać jako:

- 1) symetryczny- gdzie dla dowolnych punktów X i Y odległość z X do Y jest taka sama jak z Y do X
- 2) asymetryczny- gdzie powyższe odległości mogą się różnić

Na podstawie notatek z wykładu nt. badań operacyjnych:

Metody rozwiązywania problemu komiwożera:

- 1) metody dokładne:
  - programowanie dynamiczne
  - algorytm podziału i ograniczeń
- 2) metody przybliżone:
  - algorytm najbliższego sąsiada
  - algorytm wstawiania
  - algorytm MTS (minimalne drzewo rozpinające)
  - algorytm Lin-Kernigan
  - algorytmy genetyczne

Trudność w rozwiązaniu problemu komiwożera polega na dużej ilości danych- wszystkich możliwych kombinacji dla n punktów jest  $(n-1)!/2$ . Zatem już przy 15 punktach otrzymujemy ponad  $43 \cdot 10^9$  (czterdzieści trzy miliardy) możliwych tras do rozpatrzenia. Rozwinięciem problemu komiwożera jest problem marszrutyzacji opisany poniżej.

## 2.2. VRP

Na podstawie [1]:

Problem marszrutyzacji (Vehicle Routing Problem- VRP) polega na wyznaczeniu optymalnych tras dla określonej liczby środków transportu. Jest on rozszerzeniem problemu komiwożera czy problemu chińskiego listonosza. Jest to problem z kategorii NP- trudnych. Flota pojazdów ma za zadanie odwiedzenie zadanych punktów, z uwzględnieniem przyjętych ograniczeń. W ramach optymalizacji bierze się pod uwagę sumaryczny koszt pokonanych tras.

Matematyczne sformułowanie podstawowego problemu marszrutyzacji (VRP):

Rozpatrywany jest graf nieskierowany  $G = (V, E)$ , gdzie:

- V oznacza zbiór wierzchołków
- E oznacza zbiór krawędzi, do których przypisane są koszty przejazdu (również inne parametry, np. czas)

Zadanie polega na zminimalizowaniu funkcji celu:

$$\min = \sum_{i \neq j} d_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

Przy ograniczeniach:

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad \forall i \in V \quad (5)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \quad (6)$$

$$\sum_i x_{ij} \geq |S| - v(S), \quad \{S : S \subseteq V \setminus \{1\}, |S| \geq 2\} \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall \{i, j\} \in E; \quad i \neq j \quad (8)$$

gdzie:

$i, j$  - wierzchołki grafu między, którymi porusza się pojazd

$d_{ij}$  - koszt przejazdu między wierzchołkami  $i$  oraz  $j$

$x_{ij}$  - zmienna przyjmująca wartości 0 lub 1 w zależności od tego czy pojazd wykonuje przejazd między wierzchołkami  $i$  oraz  $j$  (1 oznacza, że wykonuje)

$v(S)$  - odpowiednia dolna granica liczby pojazdów wymaganych do odwiedzenia wszystkich wierzchołków  $S$  dla rozwiązania optymalnego

### 2.3. CVRP

Na podstawie [7]:

CVRP (Capacity Vehicle Routing Problem), czyli problem marszrutyzacji z uwzględnieniem ograniczeń ładowności pojazdów jest rozwinięciem problemu komiwojażera poprzez dodanie ograniczenia w postaci określonej pojemności pojazdów. Jest najbardziej studiowanym wariantem z rodziny problemów VRP. Matematyczny model dla CVRP:

Funkcja celu:

$$\min = c^T x \quad (9)$$

Przy ograniczeniach:

$$x(\delta(i)) = 2 \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$x(\delta(0)) = 2|K| \quad (11)$$

$$x(\delta(S)) \geq 2r(S) \quad (12)$$

$$x(\delta(S)) \geq 2r(S) \quad \forall S \subseteq N, S \neq \emptyset \quad (13)$$

$$x_e \in \{0, 1, 2\} \quad \forall e \in \delta(0) \quad (14)$$

$$x_e \in \{0, 1\} \quad \forall e \in E \setminus \delta(0) \quad (15)$$

Dla zmiennych decyzyjnych:

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V \quad (16)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K \quad (17)$$

gdzie:

$c^T$  - macierz kosztów przejazdów

$S$  - arbitralny podzbiór zbioru wszystkich wierzchołków  $V$

$N$  - zbiór  $n$  miejsc do odwiedzenia,  $N = 1, 2, \dots, n$

$K$  - flota pojazdów,  $K = 1, 2, \dots, |K|$

$r(S)$  - minimalna liczba tras pojazdu potrzebnych do obsługi  $S$

$\delta(S) = \{\{i, j\} \in E : i \in S, j \notin S\}$  - zbiór krawędzi z dokładnie jednym (dwoma) punktem końcowym w  $S$

## Inne warianty problemu marszrutyzacji

Ponadto istnieją różne warianty problemu marszrutyzacji, na przykład:

- Vehicle Routing Problem with Time Windows- uwzględnienie okien czasowych odbioru/ wysłania towaru
- Split Delivery Vehicle Routing Problem- możliwość obsługi jednego klienta przez kilka pojazdów
- Vehicle Routing Problem with Multiple Trips (VRPMT)- możliwość pokonania więcej niż jednej trasy przez jeden pojazd
- Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD)- wiele towarów należy przetransportować z niektórych miejsc odbioru do innych miejsc dostawy
- Vehicle Routing Problem with Multiple Trips (VRPMT)- pojazdy mogą pokonywać więcej niż jedną trasę
- Open Vehicle Routing Problem (OVRP)- nie jest wymagane, aby pojazdy wracały do onego miejsca (magazynu)
- inne

Powyższy problem można również rozwinąć o wiele innych czynników, jak np. kolejność odwiedzenia miejsc czy opcjonalnego odwiedzenia niektórych punktów lub funkcja kosztu może rozpatrywać różne parametry, np. czas wykonania zleceń czy ilość przewiezionego ładunku. Widać zatem, że problem marszrutyzacji jest zagadnieniem bardzo rozległym, a przy tym elastycznym, tzn. można go dostosować do wielu różnych problemów.

## Rozwiązywanie problemu VRP

Ze względu na trudność w znalezieniu optymalnych rozwiązań dla problemów związanych z trasowaniem pojazdów w dużej skali znaczny wysiłek badawczy został poświęcony metaheurystyce, takiej jak algorytmy genetyczne, wyszukiwanie Tabu czy symulowane wyżarzanie. Niektóre z najnowszych i skutecznych metaheurystyk dotyczących problemów z trasowaniem pojazdów osiągają rozwiązania w granicach 0,5% lub 1% wartości optymalnej dla przypadków problemowych liczących setki lub tysiące punktów dostawy. Metody te są również bardziej niezawodne pod takim względem, że można je łatwiej dostosować do różnych ograniczeń bocznych. Stosowanie technik metaheurystycznych jest często uprzywilejowane w przypadku aplikacji na dużą skalę ze skomplikowanymi ograniczeniami i zestawami decyzji.

Na podstawie [1]:

**Metaheurystykę** stanowią ogólne ramy algorytmiczne, często inspirowane naturą (np. algorytm mrówkowy), które zostały utworzone w celu rozwiązywania złożonych problemów związanych z optymalizacją. Od kilku dekad stanowią coraz większy obszar badań związanych z optymalizacją. Metaheurystyka jest skuteczną alternatywą do bardziej klasycznych podejść w rozwiązywaniu



problemów optymalizacyjnych, które zawierają w swoich wzorach matematycznych informacje nieokreślone konkretnie, stochastyczne i dynamiczne.

### 3. Algorytmy przybliżone w problemie optymalizacji trasy

Na podstawie [3]:

Wiele problemów o znaczeniu praktycznym jest NP-zupełnych, czyli takich, dla których nie ma rozwiązań w czasie wielomianowym. Często są one jednak zbyt ważne, aby je porzucić. Z tego powodu szuka się rozwiązań przybliżonych. Istnieją co najmniej trzy sposoby obejścia NP-zupełności:

- jeśli rzeczywiste ilości danych wejściowych są małe, algorytm z wykładniczym czasem działania może być całkowicie zadowalający
- można wyodrębnić ważne specjalne przypadki, które można rozwiązać w czasie wielomianowym
- można zaproponować metody znalezienia prawie optymalnych rozwiązań w czasie wielomianowym (w najgorszym lub oczekiwanym przypadku)

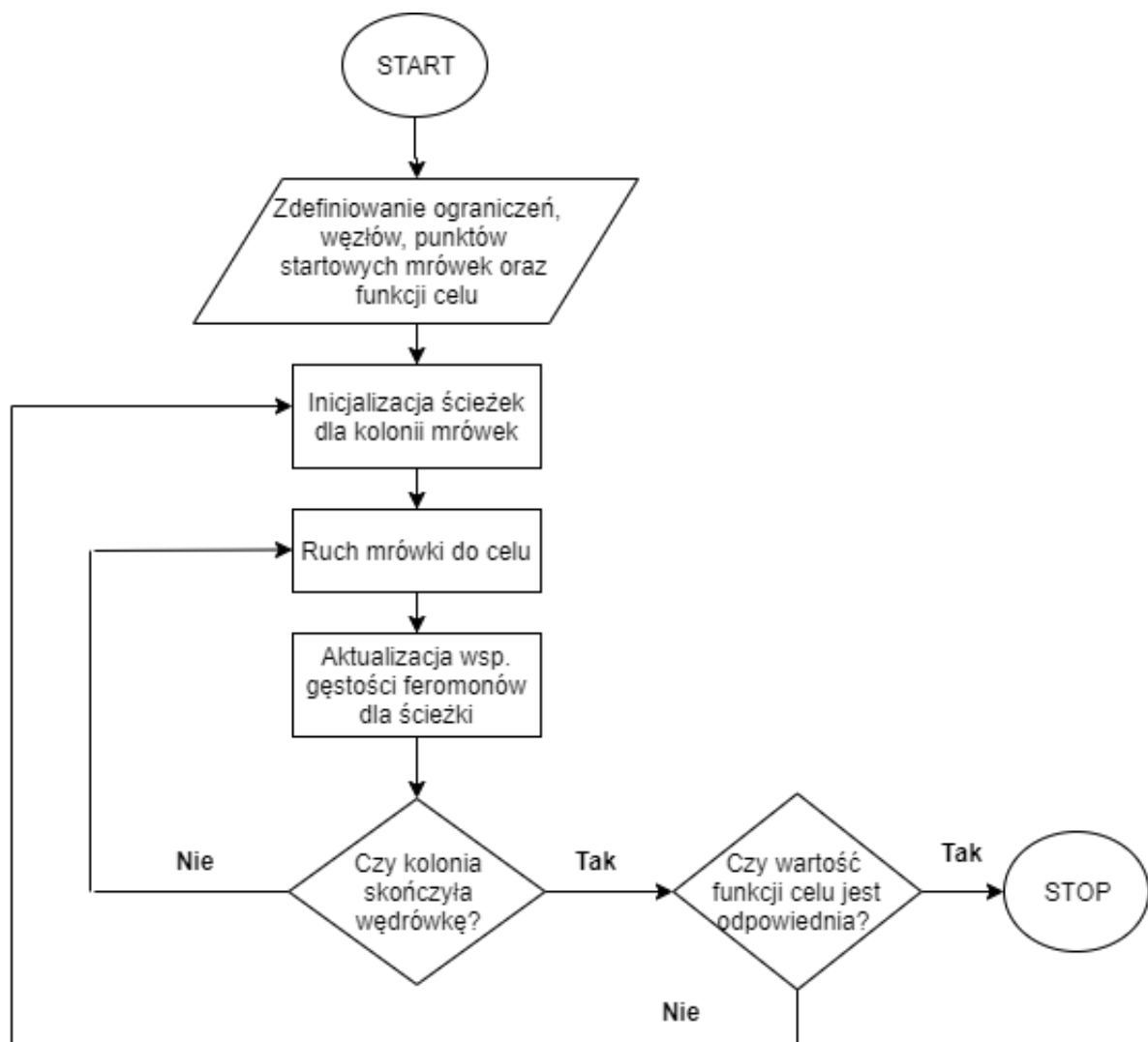
W praktyce przybliżona optymalizacja jest na ogół wystarczająca. Algorytm, który zwraca prawie optymalne rozwiązanie nazywamy **algorytmem przybliżonym (aproksymacyjnym)**. Istnieje wiele rodzajów algorytmów zaliczanych do grupy algorytmów przybliżonych, m.in. algorytm genetyczny, algorytm symulowanego wyżarzania, algorytm mrówkowy, algorytm pszczoły i inne. Niektóre z nich zostaną omówione w dalszej części tego rozdziału.

### 3.1. Algorytm mrówkowy

Na podstawie [3]:

**Algorytm mrówkowy (Ant colony optimization)**- metoda optymalizacji opierająca się na zdolnościach mrówek do znajdowania najkrótszej ścieżki z gniazda do źródła pokarmu. Naśladuje ona przeskakiwanie mrówek z jednego miejsca do innego, tak długo aż dotrą do celu. Każdej ścieżce, którą mogą się poruszać mrówki przypisuje się współczynnik określający intensywność wytworzonych feromonów. Koncepcja ta opiera się na fakcie wydzielania przez mrówki związków organicznych nazywanych feromonami podczas podążania ścieżką. Intensywność tego czynnika jest wskaźnikiem przydatności danej ścieżki do budowania coraz lepszych rozwiązań. W opisie matematycznym zbiór tras przedstawia się za pomocą węzłów i krawędzi w grafie. Wtedy mrówka w każdym węźle podejmuje decyzje do którego węzła się uda się następnie. Początkowo stała ilość feromonu przydzielana jest wszystkim łukom. Im więcej mrówek wybierze daną ścieżkę tym większy jest jest współczynnik feromonów.

Algorytm mrówkowy przedstawiony za pomocą schematu blokowego:



Schemat1. Algorytm mrówkowy [3]

### 3.2. Algorytm pszczeli

Na podstawie [3]:

**Algorytm pszczeli (bees algorithm)**- algorytm przybliżony inspirowany zachowaniem roju pszczoł. W naturze pszczoły miodne zbierają nektar ze stosunkowo dużego obszaru wokół ula (ok. 10km). Zaobserwowano, że kolonie pszczoł wysyłają odpowiednio pszczoły do zebrania nektaru z kwiatów z uwzględnieniem ilości nektaru znajdującego się na płatkach roślin. Pszczoły komunikują się ze sobą w ulu za pośrednictwem "tańca", informując inne osobniki o kierunku, odległości, a także ocenie jakości źródeł pokarmu. Proces ten odbywa się w ten sposób: ul wysyła zwiadowców, których zadaniem jest zlokalizowanie kwiatów z jak największą ilością nektaru. Zwiadowcy po powrocie informują inne pszczoły gdzie jest pokarm oraz jaka jest jakość jego źródła. Niewielka ilość zwiadowców nadal szuka nowych roślin, a pszczoły wracające z nektarem na bieżąco informują o jakości źródła. Algorytm wykorzystuje tego typu zachowanie w celu zlokalizowania i eksploracji dobrych rozwiązań. "Zwiadowcy" są wysyłani aby losowo sprawdzać miejsca potencjalnych rozwiązań i znajdować te najlepsze. Następnie w tych miejscach dokonuje się przeszukiwań lokalnych, a jednocześnie wciąż zwiadowcy są wysyłani w poszukiwaniu innych dobrych rozwiązań. Algorytm pszczeli jest terminem ściśle związanym z inteligencją obliczeniową oraz metaheurystyką.

Pseudokod algorytmu pszczelego na podstawie [3]:

```
1   $i = 0$ 
2  Generacja populacji początkowej
3  Obliczenie funkcji celu dla początkowej populacji
4  Sortowanie początkowej populacji na podstawie wartości obliczonych w funkcji celu
5  While  $i \leq \text{MaxIter}$ :
6       $i = i + 1$ 
7      Wybierz kwiaty z najlepszymi rozwiązaniami
8      Wybierz pszczoły zwiadowcze do przeszukiwania najlepszych miejsc
9      Oblicz wartość f.celu dla każdego kwiatu
10     Sortuj wyniki na podstawie wartości f.celu
11     Wyznacz resztę pszczoł do globalnego przeszukiwania kwiatów
12     Oblicz f.celu dla pozostałych kwiatów
13     Sortuj wszystkie wyniki na podstawie wartości f.celu
14     Wykonuj algorytm dopóki warunek jest spełniony
15  Koniec
```

### 3.3. Algorytm genetyczny

Na podstawie [3]:

Termin algorytm genetyczny po raz pierwszy wprowadził John Holland, bazując na koncepcji Darwina- teorii ewolucji. Jest to metaheurystyka (metoda poszukiwania rozwiązań, która nie gwarantuje znalezienia optymalnego rozwiązania) bazująca na zjawisku naturalnej selekcji (teorii ewolucji gatunków), a także dziedziczności. Należy do szerszej grupy- algorytmów ewolucyjnych. Algorytm ten polega na znajdowaniu rozwiązania naśladując zjawiska występujące w środowisku naturalnym, takie jak: mutacje, krzyżowania gatunków, a także selekcja. Z założenia w algorytmach genetycznych występuje element losowości, jednak fakt umiejętnego wykorzystania przeszłego doświadczenia w celu stworzenia nowych rozwiązań sprawia, że algorytm ten jest daleki od przypadkowego błędzenia. Taka metoda zyskuje na popularności ze względu na ograniczenia metod analitycznych.

#### Metodologia i sposób działania

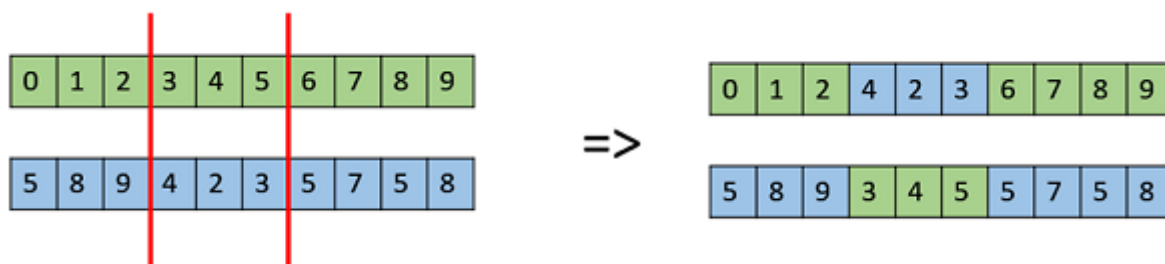
Ogólną koncepcją algorytmu genetycznego jest ewolucja populacji rozwiązań danego problemu optymalizacyjnego w kierunku coraz lepszych wartości funkcji celu. Każda jednostka w populacji posiada zbiór właściwości (swoje chromosomy lub genotyp), który w ramach algorytmu zostaje zmieniony. Algorytm zazwyczaj rozpoczyna ewolucję bazując na losowo wygenerowanej populacji rozwiązań. Każdy cykl ewolucyjny tworzy nowe pokolenie. W każdym pokoleniu jest obliczana wartość funkcji celu dla każdego rozwiązania. Standardowo rozwiązanie prezentuje się jako tablica bitów. Poniżej opisano poszczególne kroki w AG:

#### Inicjalizacja populacji

Rozmiar populacji początkowej może być różny- zazwyczaj zawiera kilkaset lub kilka tysięcy osobników. Populacja początkowa jest generowana losowo, co powoduje, że rozwiązania nie są z góry "nakierowane" na pewien obszar.

#### Operatory genetyczne

Najczęściej operatorami genetycznymi są mutacja oraz krzyżowanie. Dla każdego nowego rozwiązania są wybierane dwa z poprzedniej populacji (rodzice). Dzięki operatorowi krzyżowania "produkują" oni nowe rozwiązanie (dziecko), które posiada zestaw cech odziedziczonych po rodzicach. Proces jest powtarzany w każdej iteracji. Dla jednej populacji ilość krzyżowań może być różna, zazwyczaj wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset.



Rysunek1. Przykład krzyżowania [3]

### Before Mutation

A5	1	1	1	0	0	0
----	---	---	---	---	---	---

### After Mutation

A5	1	1	0	1	1	0
----	---	---	---	---	---	---

Rysunek1. Przykład mutacji [3]

### Selekcja

Proces selekcji jest dokonywany na podstawie funkcji celu: osobniki, które są najlepiej dostosowane, tzn. mają najwyższą/ najniższą wartość funkcji celu (w zależności od problemu) zostają dopuszczone do kolejnej iteracji- w ten sposób całość ewoluuje do coraz lepszych rozwiązań- dziecko, które otrzymało od rodziców najlepsze geny ma największą szansę "przetrwania".

### Zakończenie

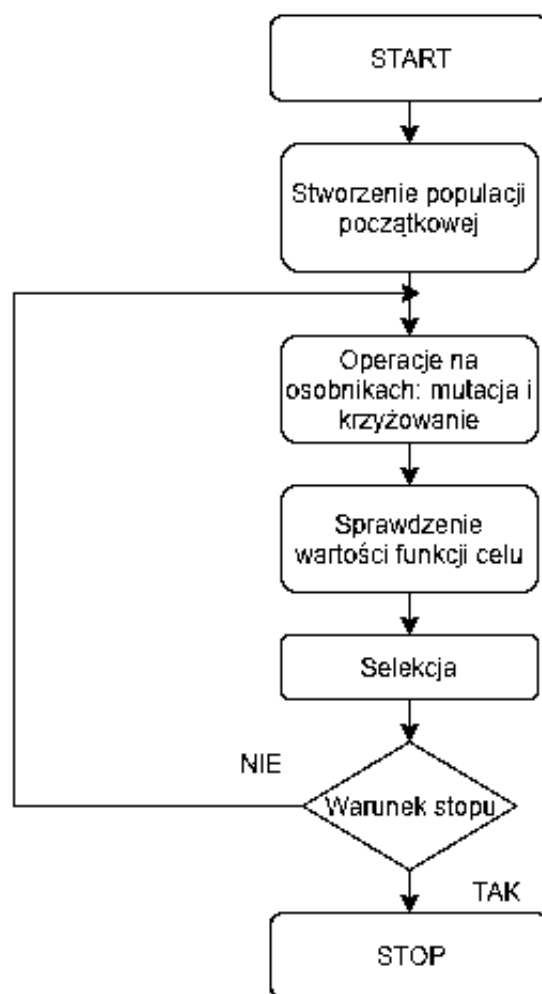
Przerwanie działania algorytmu może nastąpić w różnych sytuacjach, w zależności od sformułowania algorytmu:

- uzyskano rozwiązanie, które spełnia minimalne kryteria
- wykonana się ustalona ilość iteracji
- manualne przerwanie algorytmu
- inne, np. kombinacja powyższych

### Przedstawienie algorytmu

Algorytm genetyczny w krokach:

1. Utworzenie początkowej populacji
2. Przeprowadzanie mutacji i krzyżowania
3. Sprawdzenie funkcji celu dla osobników
4. Wybór najlepszych osobników poprzez selekcję
5. Powtarzanie kroków 2-4 aż do spełnienia warunku stopu
6. Koniec algorytmu i wybór najlepszego osobnika



Rysunek1. Schemat algorytmu genetycznego

### **Różnice między algorytmem genetycznym (AG), a "tradycyjnymi" metodami**

1. AG nie działają na dokładnych parametrach problemu, a na ich zakodowanej formie.
2. AG poszukują rozwiązań rozpoczynając nie od pojedynczego punktu, ale od pewnej grupy (populacji) rozwiązań.
3. W AG korzysta się jedynie z funkcji celu, a nie na jej pochodnych.
4. W AG wyboru dokonuje się na podstawie probabilistycznych reguł, a nie deterministycznych.

### **Zastosowania algorytmów genetycznych**

Algorytmy genetyczne mają spore zastosowanie w wielu dziedzinach, m.in. matematyce, technice, medycynie. Poniżej zostały przedstawione niektóre z nich:

#### **Problemy NP-trudne**

Oczywistym zastosowaniem algorytmów genetycznych (bazujących na metaheurystyce) jest rozwiązywanie problemów, dla których nie da się znaleźć optymalnego wyniku w czasie wielomianowym. Przykładowym zagadnieniem z tej kategorii może być, np. problem komiwojażera. Zastosowanie AG pozwala otrzymać całkiem dobre rozwiązania w niedługim czasie- nie gwarantuje nam jednak znalezienia rozwiązania optymalnego. AG dobrze nadają się również do wyszukiwania przybliżeń ekstremów funkcji, których nie można znaleźć analitycznie.

## **Harmonogramy**

Algorytmy genetyczne dobrze nadają się do ustalania różnego rodzaju harmonogramów, jak np. plany zajęć, godziny pracy, procesy produkcyjne. Pozwala to na optymalne rozplanowanie czasu z uwzględnieniem odpowiednich parametrów, np. odpoczynek i sen dla zawodowych kierowców.

## **Obwody elektryczne**

AG są wykorzystywane także do projektowania obwodów elektrycznych. Jest to problem bardzo praktyczny, a inżynierowie do zaprojektowania odpowiedniego obwodu nie koniecznie potrzebują najlepszego możliwego rozwiązania- w takich sytuacjach AG jest bardzo wydajny. Ze względu na fakt, że AG nie bazuje na wcześniejszych rozwiązaniach i schematach może okazać się źródłem nowych pomysłów w budowaniu obwodu elektrycznego.



## 4. Opis projektu

### 4.1. Użyte technologie

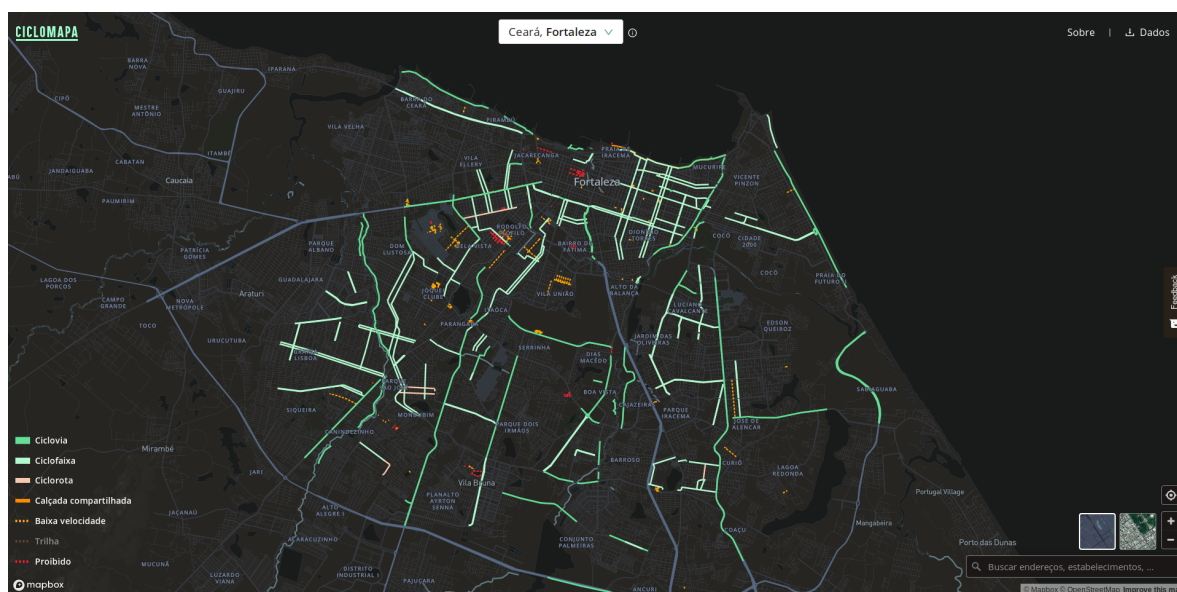
Na podstawie [4]:

**Python**- jest językiem programowania ogólnego przeznaczenia. Jest to język wysokiego poziomu. Może być skutecznie wykorzystywany przy budowie w zasadzie każdego programu. Nie potrzebuje bezpośredniego dostępu do sprzętu komputerowego. Python nie jest optymalny dla programów, które mają duże ograniczenia niezawodności lub są zbudowane i utrzymywane przez wiele osób lub przez długi czas. Ma on jednak kilka zalet w porównaniu z innymi językami programowania, m.in.:

- jest łatwy w nauce
- posiada bardzo dużą liczbę darmowych i powszechnie dostępnych bibliotek, zapewniających rozszerzoną funkcjonalność

Na podstawie [5]:

**OSM (OpenStreetMap)**- jest to darmowa, edytowalna mapa całego świata, tworzona przez wolontariuszy, wydawana na licencji open-content. Licencja OpenStreetMap pozwala na bezpłatny dostęp do obrazów i podstawowych danych map. Projekt ma na celu promowanie nowych zastosowań tych danych. W pracy OSM zostało wykorzystane do zwizualizowania przebiegów tras i pokazania ich na rzeczywistej mapie. Przykład obrazu uzyskanego dzięki OSM [6]:



Rysunek2. Przykładowy screen z osm

Poniżej przedstawiono krótki opis najważniejszych bibliotek użytych do stworzenia programu w języku python:

Na podstawie [5]:

**PyQt**- jest to zbiór bibliotek pythona stworzonych przez Riverbank Computing. Służą do tworzenia interfejsów graficznych aplikacji w ramach międzyplatformowego frameworka Qt,

który jest open-sourcowy. Możliwa w użyciu na wielu systemach operacyjnych i platformach. W programie została użyta w celu zrobienia GUI oraz wyświetlania w nim mapy.

Na podstawie [5]:

Folium- w znacznym stopniu opiera się na bibliotece leaflet.js służącej do mapowania, tworzenia interaktywnych map w javascript. Folium pozwala na przetwarzanie danych geograficznych oraz ich wizualizację w pythonie. W aplikacji za pomocą tej biblioteki tworzone są mapy w formacie html, które następnie są wyświetlane w gui stworzonym przy pomocy PyQt.

Na podstawie [5]:

Geopy- biblioteka pozwalająca na łatwą lokalizację współrzędnych geograficznych na podstawie adresów oraz obliczania odległości na globie między dwoma zbiorami współrzędnych (długość i szerokość geograficzna). W pracy użyta w celu obliczenia odległości na globie dla zestawu danych.

## Źródła

- [1] Sysło M.M., Deo N., Kowalik J.S., Algorytmy optymalizacji dyskretnej, wyd. drugie, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1995, ISBN 83-01-11818-0
- [2] <http://examples.gurobi.com/traveling-salesman-problem/>
- [3] [https://www.researchgate.net/publication/313005083\\_Vehicle\\_routing\\_problem\\_Models\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/313005083_Vehicle_routing_problem_Models_and_solutions)
- [4] [https://www.researchgate.net/publication/284529903\\_Chapter\\_1\\_The\\_Family\\_of\\_Vehicle\\_Routing\\_Problems](https://www.researchgate.net/publication/284529903_Chapter_1_The_Family_of_Vehicle_Routing_Problems)
- [5] Bianchi, Leonora; Marco Dorigo; Luca Maria Gambardella; Walter J. Gutjahr (2009). "A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization"
- [6] Thomas H. Cormen; Charles E. Leiserson; Ronald L. Rivest; Clifford Stein (2009). Introduction To Algorithms (3rd ed.). MIT Press. ISBN 978-0-262-03384-8.
- [7] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ant-colony-optimization>
- [8] [http://www.cleveralgorithms.com/nature-inspired/swarm/bees\\_algorithm.html](http://www.cleveralgorithms.com/nature-inspired/swarm/bees_algorithm.html)
- [9] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4553508/>
- [10] D. E. Goldberg: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Warszawa: WNT, 1998. (pol.)
- [11] [https://www.tutorialspoint.com/genetic\\_algorithms/genetic\\_algorithms\\_crossover.htm](https://www.tutorialspoint.com/genetic_algorithms/genetic_algorithms_crossover.htm)
- [12] <https://towardsdatascience.com/introduction-to-genetic-algorithms-including-example-code-e396e98d8bf3>
- [13] Gutttag, John V. (12.08.2016). Introduction to Computation and Programming Using Python: With Application to Understanding Data. MIT Press. ISBN 978-0-262-52962-4.
- [14] [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/About\\_OpenStreetMap](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/About_OpenStreetMap)
- [15] [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/File:Screenshot\\_2019-10-23\\_CicloMapa.png](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/File:Screenshot_2019-10-23_CicloMapa.png)
- [16] <https://python101.readthedocs.io/pl/latest/pyqt/>
- [17] <https://python-visualization.github.io/folium/>
- [18] <https://geopy.readthedocs.io/en/stable/>