

# Sztuczna Inteligencja i Inżynieria Wiedzy

## Laboratorium

### Zadanie 1

#### Algorytm Genetyczny implementacja i badanie

Wiktor Walentynowicz, Artur Zawisza, Jan Jakubik, Jakub Binkowski

---

#### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z klasą **problemów optymalizacyjnych** oraz metodami ich rozwiązywania na przykładzie Algorytmu Genetycznego. Zakres ćwiczenia obejmuje zapoznanie się z teorią, własnoręczną implementację metody optymalizacji oraz zdobycie intuicji w pracy z nią poprzez wykonanie serii badań elementów i parametrów metody.

#### Algorytm. Heurystyka. **Metaheurystyka**

*Algorytm* jest metodą spełniającą poniższe kryteria:

1. Jest to **skończona lista kroków**,
2. Wykonanie algorytmu **zawsze się zakończy**,
3. Dla zadanego, konkretnego wejścia, zwrócony **wynik** jest **zawsze taki sam**,
4. Wynik działania algorytmu jest zawsze **wynikiem optymalnym**.

*Metoda przybliżona (metoda heurystyczna, heurystyka)* w porównaniu do algorytmu **nie daje żadnych gwarancji** znalezienia rozwiązania optymalnego, ale pozwala na uzyskanie **„jakiegoś” rozwiązania w ograniczonym czasie**. Heurystyki są często pewnego rodzaju **intuicjami**, które wydają się **dawać szansę** na znalezienie dobrych rozwiązań.

Naturalnym jest, że w celu polepszenia jakości znajdujących rozwiązań zaczęto **łączyć prostsze heurystyki** w większe metody. **Sposób łączenia** prostszych heurystyk w większą metodę nazywamy **metaheurystyką**. Można na nie patrzeć jak na **szablony**, które opisują **sposób tworzenia konkretnych heurystyk**.

#### Algorytm **Genetyczny**

*Algorytm Genetyczny* (ang. *Genetic Algorithm, GA*) jest przykładem **metaheurystyki** stosowanej do rozwiązywania **problemów optymalizacyjnych**. Optymalizatory utworzone na podstawie schematu Algorytmu Genetycznego również nazywane są Algorytmami Genetycznymi (są to jednak już konkretne heurystyki).

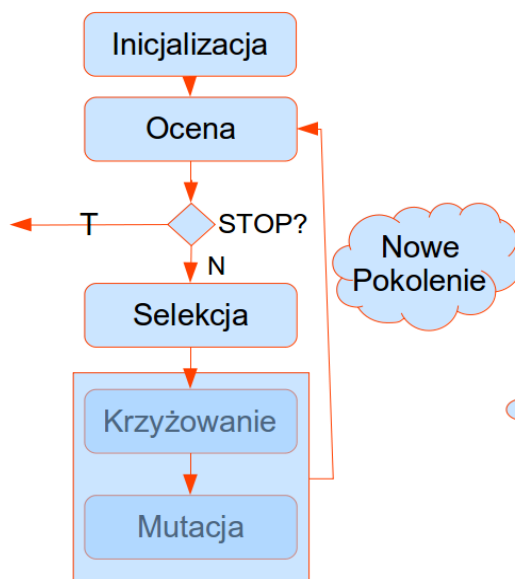
Algorytm Genetyczny zainspirowany został procesem ewolucji organizmów żywych w wyniku doboru naturalnego. Jak wiadomo, organizmy lepiej przystosowane do środowiska naturalnego mają większe szanse na wydanie potomstwa, a przez to utrwalenie swoich cech. Iteracyjny proces przetrwania najlepszych i wymierania najsłabszych osobników skutkuje uzyskaniem populacji coraz lepiej dopasowanej do warunków środowiskowych.

funkcje nieróżniczkowalne:

1

generowanie ładnych motyli - użytkownik oceniał wygenerowane motyle

Ideę tę zaadaptowano na potrzeby problemów optymalizacyjnych w sposób przedstawiony na Rysunku 1.



Rysunek 1. Ogólny schemat działania Algorytmu Genetycznego, Autor: Paweł Myszkowski

Pierwszy krok GA stanowi wygenerowanie początkowej, zazwyczaj **losowej populacji rozwiązań**. Nie jest to jednak reguła i możliwe jest wykorzystanie np. wyników działania innych, prostych metod jako źródła populacji początkowej. Rozwiązania w GA, przez analogię do natury, nazywamy **osobnikami**.

W kolejnym kroku, każdy osobnik jest oceniany. **Ocena** polega na określeniu „jak dobrze osobnik jest dopasowany do środowiska”, czyli jak dobrze rozwiązuje on problem optymalizacyjny. Sprowadza się to do wyznaczenia wartości funkcji celu, nazywanej tutaj **funkcją przystosowania**, dla każdego z osobników w populacji.

Znając **wartość przystosowania** każdego z osobników można sprawdzić, czy osiągnięto założoną jakość rozwiązania i czy można przerwać proces optymalizacji – **sprawdzenie warunków stopu**.

Jeżeli warunki zatrzymania **nie** zostały spełnione, Algorytm Genetyczny generuje kolejne pokolenie osobników – nową populację. Wykorzystywane są tutaj składowe heurystyki nazywane **operatorami genetycznymi**. W najprostszej, podstawowej wersji, GA zawiera następujące operatory:

- **Operator selekcji**, wybierający osobniki - rodziców generujących potomstwo,
- **Operator krzyżowania**, tworzący osobniki/a – dzieci na podstawie wybranych rodziców,
- **Operator mutacji**, wprowadzający losowe zmiany w kodzie genetycznym dzieci.

Po wykonaniu powyższych operatorów i utworzeniu nowej populacji o rozmiarze identycznym do rozmiaru poprzedniej, proces ewolucji jest powtarzany.

Kolejne kroki Algorytmu Genetycznego przedstawia Pseudokod 1. Warto zaznaczyć, że operatory genetyczne w tym pseudokodzie tworzą od razu całe populacje tymczasowe.

Populacje można też generować w inny sposób – „krokowo”, czyli po jednym osobniku. Schemat takiego postępowania przedstawiono na Pseudokodzie 2. Warto zwrócić uwagę, że w tym przykładzie operator krzyżowania *crossover* generuje tu tylko jedno dziecko, nie ma jednak najmniejszego problemu z zaadaptowaniem tego sposobu postępowania na operatory generujące większą liczbę dzieci.

```

begin
t:=0;
initialise( pop(t0) );
evaluate( pop(t0) );
    while (not stop_condition) do
    begin
        pop(t+1) := selection( pop(t) );
        pop(t+1) := crossover( pop(t+1) );
        pop(t+1) := mutation( pop(t+1) );
        evaluate( pop(t+1) );
        t:=t+1;
    end
return the_best_solution
end

```

Pseudokod 1. Ogólny pseudokod Algorytmu Genetycznego, Autor: Paweł Myszkowski

Z aktualnej populacji  $pop(t)$  wybierane są dwa osobniki  $P1$  i  $P2$  na rodziców osobnika  $O1$ . Następnie, z prawdopodobieństwem  $P_x$  dokonywane jest krzyżowanie generujące dziecko  $O1$ . Jeśli do krzyżowania nie dojdzie, aby nie marnować przebiegu algorytmu, wykonywana jest kopia jednego z rodziców np.  $P1$ . Następnie dziecko  $O1$  jest poddawane mutacji z prawdopodobieństwem  $P_m$ . Kroki powtarza się do czasu uzyskania populacji  $pop(t+1)$  o rozmiarze równym rozmiarowi  $pop(t)$ .

Taki schemat działania pozwala ograniczyć zużycie pamięci i zapisać algorytm w sposób ułatwiający jego modyfikację i rozszerzanie.

```

begin
t:=0;
initialise( pop(t) );
evaluate( pop(t) );
    while (not stop_condition) do
    begin
        while ( pop(t+1).size()!=pop_size )
            P1 := selection( pop(t) );
            P2 := selection( pop(t) );
            if ( rand[0,0..1,0] < P_x)
                O1:= crossover( P1, P2 );
            else O1 := copy(P1);
            O1 := mutation( O1, P_m );
            evaluate( O1 );
            pop(t+1).add( O1 );
            if ( the_best_solution > O1 )
                the_best_solution:=O1
        end
        t:=t+1;
    end
return the_best_solution
end

```

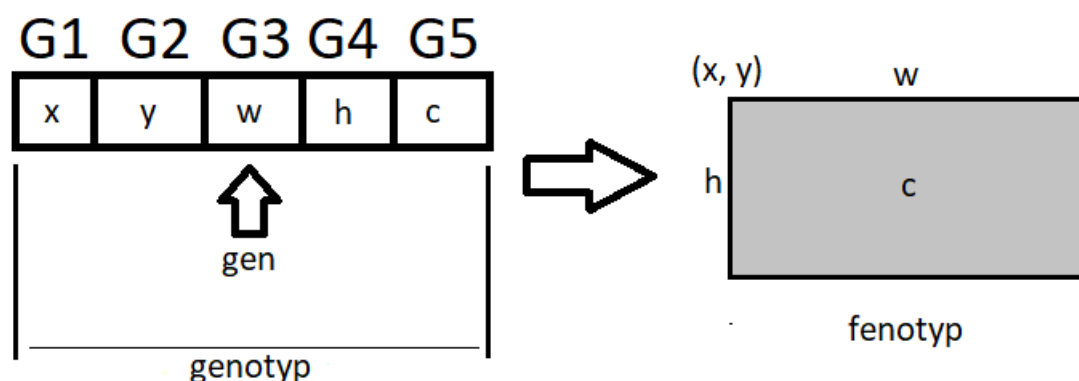
Pseudokod 2. Algorytm Genetyczny w podejściu „krokowym”, Autor: Paweł Myszkowski

## Genotyp. Fenotyp. Kodowanie osobnika

Projektując własny Algorytm Genetyczny pierwszym krokiem jest **zdefiniowanie osobnika**.

Klasycznie, w GA **osobnik** jest reprezentowany przez **listę/tablicę o stałym rozmiarze**. Ze względu na inspirację biologiczną, każda **wartość** w osobniku nazywana jest **genem**, a cała **lista genów** – **genotypem**.

Należy przy tym zaznaczyć, że **genotyp** osobnika **nie musi** być równoznaczny z rozwiązaniem. Najczęściej jedynie koduje rozwiązanie. Właściwe, odkodowane rozwiązanie nazywamy **fenotypem**. Porównanie genotypu i fenotypu przedstawiono na Rysunku 2.



Rysunek 2. Przykład genotypu i odpowiadającego mu fenotypu (reprezentacja kolorowego prostokąta)

Istnieje wiele **rodzajów kodowań**, które można wykorzystać projektując osobnika:

- **Kodowanie binarne** – gen przyjmuje wartość 0 lub 1,
- **Kodowanie całkowitoliczbowe** – gen przyjmuje wartość całkowitą z pewnego zbioru,
- **Kodowanie rzeczywistoliczbowe** – gen przyjmuje wartości rzeczywistoliczbowe,

**Wybór kodowania** jest bardzo istotnym etapem projektu algorytmu, gdyż **determinuje** ono jakie **operatory** mogą być użyte dalej. Osobnik może korzystać z jednego rodzaju kodowania lub mieszać wiele rodzajów.

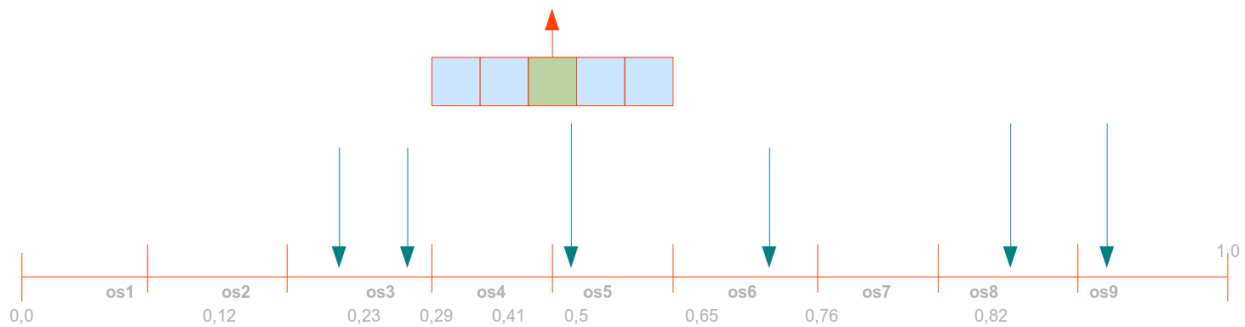
## Operator selekcji. Turniej. Ruletka

Pierwszym operatorem używanym w GA jest **operator selekcji** (*ang. selection*). Służy on do **wyboru kandydatów** na rodziców na podstawie **wartości przystosowania** osobników w populacji.

Operator selekcji jest bardzo istotny, gdyż jego zły wybór może doprowadzić do zatrzymania dalszego rozwoju populacji z powodu problemów z tzw. **presją/ciśnieniem selekcyjnym**. Ciśnienie selekcyjne jest generowane przez operator selekcji w wyniku „podbijania” nawet niewielkich różnic w wartości przystosowania. Jeśli ciśnienie jest zbyt wielkie, najlepszy osobnik szybko zdominuje populację, jeśli ciśnienie jest zbyt małe – proces ewolucji przestaje być zbieżny.

Dwa najprostsze, ale i popularne operatory selekcji to **selekcja turniejowa** i **selekcja ruletkowa**.

**Operator selekcji turniejowej** dokonuje **losowania bez powtórzeń** N osobników z populacji, spośród których wybierany jest osobnik najlepiej przystosowany. Parametr N nazywany **rozmiarem turnieju** może być zarówno pewną **wartością stałą** lub być określony jako pewien **procent rozmiaru populacji**. Dla N = 1 wybierany jest osobnik losowy (brak ciśnienia selekcyjnego), dla N równego rozmiarowi populacji wybierany jest najlepszy osobnik z populacji (szybka zbieżność). Rysunek 3 przedstawia schemat selekcji turniejowej.



Rysunek 3. Schemat działania operatora selekcji turniejowej dla  $N=5$  (warto zwrócić uwagę, że os3 został wylosowany dwukrotnie – losowanie powtórzone), Autor: Paweł Myszkowski

**Operator selekcji ruletkowej** przypisuje każdemu osobnikowi z populacji **prawdopodobieństwo** bycia wylosowanym zależne od tego jak **dobrze przystosowany** jest dany osobnik. Dla metody ruletki definiuje się często tzw. **funkcję wagową**, której celem jest przeliczanie **przystosowania na wagi** oraz dbanie o odpowiednie **ciśnienie selekcyjne**. Najczęściej stosuje się funkcje liniowe lub wykładnicze.

Wybór osobnika polega na wylosowaniu liczby z przedziału  $<0, 1>$  i na jej podstawie wskazaniu osobnika, na którego „pole koła ruletki” wypada ta wartość. Metoda daje szansę każdemu z osobników na zostanie rodzicem. Przykład działania metody ruletkowej przedstawiono na Rysunku 4.



Rysunek 3. Schemat działania selekcji ruletki, Autor: Paweł Myszkowski

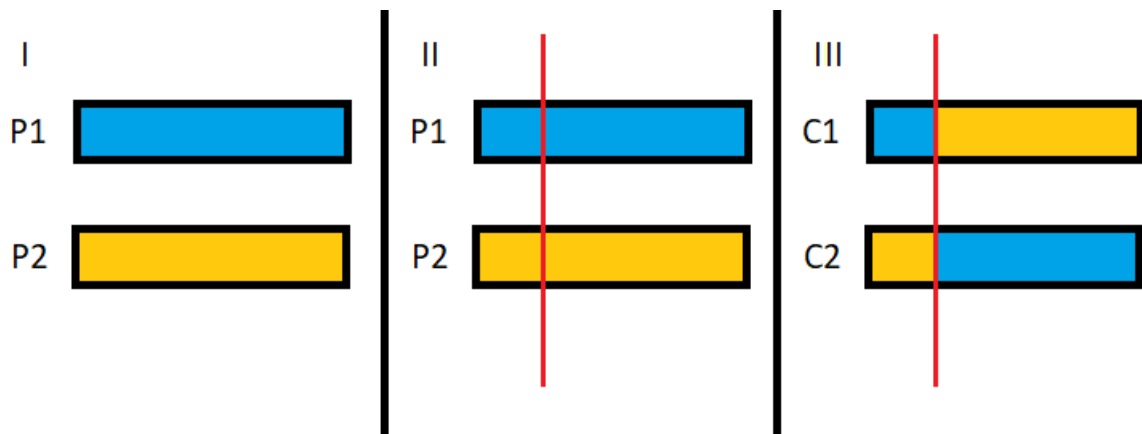
## Operator krzyżowania

Drugim w kolejności operatorem genetycznym pojawiającym się w podstawowym Algorytmie Genetycznym jest **operator krzyżowania** (*ang. crossover*) służący do **tworzenia osobników potomnych** na podstawie rodziców. Operatory krzyżowania mogą generować jedno lub więcej dzieci. Krzyżowanie odbywa się zazwyczaj z pewnym prawdopodobieństwem  $P_x$ .

Tego typu operatory są **silnie zależne od kodowania** osobnika, gdyż dla pewnych problemów wartości jednych genów są zależne od innych i **naïwne krzyżowanie** może tworzyć **niepoprawne osobniki**. Dla tego typu problemów albo stosuje się **dedykowane kodowania i operatory krzyżowania**, albo rozszerza Algorytm Genetyczny o dodatkowy **operator naprawczy**, który poprawia uszkodzone genotypy.

Do najprostszych operatorów krzyżowania można zaliczyć **krzyżowanie jednopunktowe**, **krzyżowanie wielopunktowe** oraz **krzyżowanie równomierne**.

**Operator krzyżowania jednopunktowego** wybiera **losowy punkt** między genami, rozcina oboje rodziców w tym punkcie i tworzy dzieci poprzez wzięcie **jednej części z jednego** rodzica, a **drugiej z drugiego**. Schemat krzyżowania jednopunktowego przedstawiono na Rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat działania operatora krzyżowania jednopunktowego

**Operator krzyżowania wielopunktowego** uzyskujemy z operatora krzyżowania jednopunktowego wybierając więcej punktów przecięcia.

**Operator krzyżowania równomiernego** przechodzi po obojgu rodziców gen po genie i z prawdopodobieństwem  $P_x$  zamienia geny. Można go traktować jako graniczny przypadek krzyżowania wielopunktowego.

### Operator mutacji

Ostatnim z operatorów pojawiającym się w podstawowym GA jest **operator mutacji** (*ang. mutation*). Ma on za zadanie wprowadzać do genotypu rzadkie, **niewielkie, losowe zmiany**. Celem tych zmian jest umożliwienie populacji **ucieczkę z obszaru ekstremum lokalnego**, w którym proces ewolucji mógł utknąć.

Operatory mutacji **bardzo silnie** zależą od przyjętego sposobu kodowania rozwiązań.

Najczęściej polegają one, lecz nie są ograniczone, do:

- negacji bitu (kodowanie binarne),
- dodania wartości  $\pm 1$  do genu (kodowanie całkowitoliczbowe),
- dodania wartości  $\pm \epsilon$  do genu (kodowanie rzeczywistoliczbowe).

Dla specjalizowanych, dedykowanych sposobów kodowań stosowane są dedykowane metody mutacji. Możliwe jest także wykonywanie naiwnej mutacji i późniejsza naprawa genotypu.

Mutacja odbywa się z pewnym prawdopodobieństwem  $P_m$ . **Prawdopodobieństwo mutacji** najczęściej oznacza prawdopodobieństwo zmiany **pojedynczego genu** (mutacja „po genie”), ale zdarzają się też operatory, dla których prawdopodobieństwo to oznacza szansę **zmiany osobnika** (mutacja „po osobniku”).

### Rozszerzenia Algorytmu Genetycznego

Przedstawiony dotychczas schemat Algorytmu Genetycznego **nie jest** schematem sztywnym i pozwala na wprowadzanie wielu zmian. Najprostszym rozszerzeniem jest definiowanie dodatkowych operatorów genetycznych np. operatora naprawczego, wielostopniowej selekcji, krzyżowania i mutacji, podział populacji na izolowane grupy (tzw. model wyspowy) itd.

Jedną z takich modyfikacji jest wprowadzenie tzw. elityzmu. **Elityzm** oznacza, że część populacji złożona z pewnej liczby/procentu najlepszych osobników zostaje bez zmian przeniesiona do kolejnej populacji. Zachowanie elity pozwala ustabilizować przebieg ewolucji jednak źle dobrana proporcja może skutkować przedwczesną zbieżnością.

## Ćwiczenie – projektowanie na przykładzie Facility Layout Optimization

Jednym z typowych zastosowań metaheurystyk takich jak algorytmy genetyczne są problemy projektowania. W zadaniach projektowania musimy ustalić układ przestrzenny obiektów w taki sposób, aby zminimalizować pewien koszt związany z projektem i zmaksymalizować jego użyteczność. Projektuje się w ten sposób na przykład płytki PCB, anteny, czy rozkłady przestrzenne budynków.

Zajmiemy się tutaj konkretnym problemem – Facility Layout Optimization. Chcemy w ograniczonej przestrzeni rozplanować rozłożenie np. maszyn w fabryce, biorąc pod uwagę koszt związany z odległością między każdą parą maszyn, wynikający z przenoszenia materiałów między nimi. Najprostsze, dyskretne sformułowanie problemu wygląda następująco:

1	7	3	
	2	4	5
6		9	8

Rysunek 5. FLO – siatka 4 na 3, 9 maszyn do ustawienia, oznaczone połączenie 1 do 9

Mając siatkę  $m$  na  $n$  możliwych pozycji, chcemy ustawić pewną liczbę maszyn – czyli przypisać każdemu indeksowi  $i$  ze zbioru liczb całkowitych od 1 do zadanego  $k$  koordynaty  $(x_i, y_i)$ . (Przy czym  $k \leq mn$ .)

Dla każdej pary maszyn  $(i, j)$  są zdefiniowane: przepływ materiału między nimi oraz koszt obsługi tego przepływu. Celem przy wyborze ustawienia jest minimalizacja kosztu o postaci:

$$\sum_{i,j} F_{ij} C_{ij} D_{ij}$$

Gdzie:

$F_{ij}$  – jest to przepływ materiału między  $i$  a  $j$

$C_{ij}$  – jest to koszt obsługi materiałów między  $i$  a  $j$

$D_{ij}$  – odległość pomiędzy daną parą w ocenianym ustawieniu.

Przy czym  $F$  i  $C$  są zadane z góry, natomiast odległość  $D$  wynika z ocenianego przez nas ustawienia. W dyskretnej wersji problemu koordynaty  $(x_i, y_i)$  będą wyrażone liczbami całkowitymi i muszą się mieścić w zadanej siatce  $m$  na  $n$ . Korzystamy z odległości Manhattan – sumy bezwzględnych różnic w koordynatach  $x$  i  $y$ :

$$D_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Przykładowo, połączenie na rys. 5 ma długość 4.

Przykłady problemu ze znanymi optymalnymi rozwiązaniami można znaleźć w ostatniej pozycji literaturowej [7]. Dane będą również udostępnione w osobnym pliku towarzyszącym zadaniu.

## Sposób kodowania osobnika i operatory

Kodowanie osobnika będzie przyporządkowaniem każdemu polu pewnego obiektu lub, w przypadku gdy obiektów do ustawienia jest mniej niż pól, wartości *puste*.

Należy zastosować operatory krzyżowania i mutacji które gwarantują, że każdy obiekt w chromosomie występuje dokładnie jeden raz.

## Realizacja ćwiczenia

Zadanie ma kilka celów, które mogą być sprecyzowane jako:

- Zapoznanie się z metaheurystyką – algorytmy ewolucyjne
- Określenie problemu optymalizacyjnego do rozwiązania – zaprojektowanie układu obiektu (Facility Layout Optimization)
- Implementacja metody referencyjnej: metoda losowa
- Zbudowanie algorytmu genetycznego: osobnik, funkcja oceny, zarządzanie populacją
- Zbudowanie operatorów genetycznych typu:
  - Inicjalizacja
  - selekcja
  - krzyżowanie
  - mutacja
- Implementacja modelu w dowolnym języku obiektowym. *Sugeruje się używanie języków C/C++, C#, Java, Python.*
- Zbadanie wpływu wartości dla różnych parametrów na **efektywność i skuteczność** algorytmu ewolucyjnego:
  - selekcji
  - prawd. krzyżowania
  - prawd. mutacji
  - rozmiaru populacji
  - liczby pokoleń
- Sporządzenie sprawozdania z ćwiczenia
- Pokazanie na wykresach zmianę wartości przystosowania w poszczególnych pokoleniach:
  - najlepszy osobnik
  - średnia wartość w populacji
  - najgorszy osobnik

Raport z ćwiczenia powinien zawierać wszystkie punkty wymagane w realizacji zadania.

## Implementacja – wskazówki realizatorskie

Przy realizacji ćwiczenia utworzony zostanie program komputerowy. Sugerowane właściwości:

- wczytywanie pliku z danymi, zapis problemu do pamięci komputera
- ocena rozwiązania w kontekście problemu FLO
- zarządzanie parametrami algorytmu
- sterowanie przebiegiem algorytmu ewolucyjnego
- przechowywanie rozwiązania i operatorów genetycznych
- zarządzanie populacją - selekcja, inicjalizacja
- logowanie postępów metody do pliku zewnętrznego



### Podpowiedź

Z punktu widzenia programowania sugeruje się rozważyć czy przy tworzeniu osobników potrzebujemy **kopii głębokiej** czy też wystarczy kopia płytka? Dla optymalności kodu proszę też rozważyć sposób kodowania osobnika (jakich kolekcji użyjemy). Na to samo proszę zwrócić przy realizacji turniejowego operatora selekcji.

Dla każdego wyniku/wykresu należy podać użytą konfigurację metody:

- rozmiar populacji
- liczba pokoleń
- prawd. krzyżowania
- prawd. mutacji
- typ krzyżowania, mutacji, selekcji
- *dodatkowe parametry wynikające z konfiguracji*

Dla przedstawienia wyników badań sugeruje się użycie tabeli zbiorczej, takiej jak poniższa tabela

instancja	Alg.ewolucyjny [10x] 50X300				Metoda losowa [N] 1500			
	best	worst	avg	std	best	worst	avg	std
xyz2								
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Gdzie:

Alg. Ewolucyjny [10x] oznacza 10-krotne uruchomienie algorytmu ewolucyjnego i podanie wartości statystycznych dla tych uruchomień.

Metoda losowa [N] – uruchomiona tyle razy ile rozwiązań przejrzało 10-krotne uruchomienie algorytmu ewolucyjnego.

*best\** - oznacza najlepszą znalezioną wartość

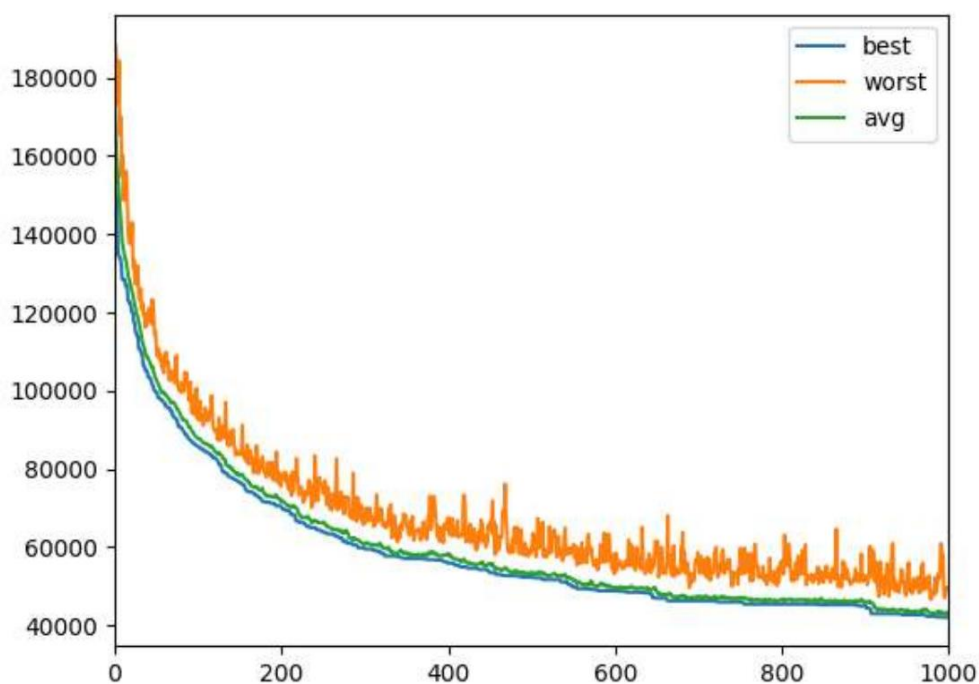
*worst* – oznacza najgorszą znalezioną wartość

*avg* – oznacza średnią znalezioną wartość

*std* – oznacza odchylenia standardowego liczonego przy średniej

### Uwaga

Wartość *best\** dla algorytmu ewolucyjnego jest pobierana jako najlepsza wartość z 10 uruchomień. Średnia oznacza wartość liczoną z najlepszego rozwiązania z każdego uruchomienia. Na tej podstawie można utworzyć wykres taki jak na Rysunku 5. Z wykresu można odczytać wiele ważnych informacji o poprawności konfiguracji metody, a w konsekwencji o jej działaniu.



Rysunek 5. Wykres przykładowego działania GA, Autor: Paweł Myszkowski

## Punktacja

### Zajęcia 1 (max 2 pkt)

- implementacja ładowania danych oraz funkcji przystosowania (1 pkt),
- implementacja metody losowej (1 pkt)

Ocena:

Ocenić będzie kod – poprawność implementacji oraz logiczne rozbięcie programu na klasy. Wymagane jest uruchomienie obu metod celem stwierdzenia poprawności wyników. Ładowanie danych może być zaimplementowane przed zajęciami – w domu.

### Zajęcia 2 (max 4 pkt)

- implementacja 2 operatorów selekcji – turniej i ruletka (2 pkt),
- implementacja wybranego operatora krzyżowania (1 pkt),
- implementacja wybranego operatora mutacji (1 pkt),

Ocena:

Ocenić będzie poprawność implementacji operatorów. Weryfikacja poprawności nastąpi poprzez uruchomienie całego algorytmu genetycznego (GA) przy oddawaniu zadania, celem pokazania, że zachowuje się on zgodnie z oczekiwaniami. Z tej przyczyny, szkielet GA zaleca się przygotować przed zajęciami. Alternatywnie, można przygotować zestaw testów, które wykażą poprawność działania poszczególnych operatorów. W tym wypadku GA może zostać skończony przez studenta już po zajęciach. W przypadku braku jakiegokolwiek możliwości weryfikacji, liczba punktów będzie obcinana o 50%.

Podczas implementacji GA należy zwrócić szczególną uwagę na sposób przekazywania osobników do operatorów. Przy nadmiernym kopiowaniu algorytm będzie działał długo, a przy nadmiernym współdzieleniu osobników można doprowadzić do niepoprawnego działania całości, np. podczas krzyżowania jest wstępnie wykonywany rzut mający stwierdzić, czy krzyżowanie nastąpi, czy też nie.

W przypadku wystąpienia krzyżowania powinny powstać nowe osobniki i być przekazane dalej – do operatora mutacji. Jeżeli jednak krzyżowanie nie nastąpi, to oryginalni rodzice są przekazywani dalej. Jeżeli na tym etapie nie zostaną wykonane kopie rodziców, to operator mutacji zmodyfikuje osobniki populacji

źródłowej! W konsekwencji kolejne osobniki do nowej populacji powstawać będą na bazie nowej, zmienionej wersji i całość zacznie działać w sposób nieprzewidywalny.

Jeżeli chodzi o testowanie operatorów osobno, to można: stworzyć małą populację (np. o rozmiarze 5, nie losową, można przekazać stałe ziarno do generatora), wyznaczyć wartości przystosowania osobników populacji i pokazać, że np. turniej faktycznie zwraca poprawnego osobnika tj. tego o największej wartości przystosowania, albo ruletka odpowiednio przydziela fragmenty koła do osobników. Jeśli populacja testowa będzie identyczna między uruchomieniami, to można pokazać, że w selekcji turniejowej działa losowanie osobników i wybór, a w ruletce wybór proporcjonalny. Analogicznie, można stworzyć przykładowych osobników i pokazać, że krzyżowanie poprawnie wymienia geny, a mutacja poprawnie zmienia wybranego osobnika. Dodatkowo warto też pokazać, że nowe osobniki są lub nie są kopiami tych wejściowych.

Operatory selekcji powinny zawsze zwracać stałe referencje (const & w C++), krzyżowanie powinno zawsze zwracać nowe osobniki, niezależne od rodziców, a mutacja powinna zawsze modyfikować zadanego osobnika.

### Zajęcia 3 (max 4 pkt)

- zbadanie wpływu parametrów: (1,25 pkt)
  - ~~- rozmiar populacji,~~
  - ~~- liczba pokoleń,~~
  - ~~- rozmiar turnieju,~~
- porównanie operatorów selekcji – ruletka i turniej, (1 pkt)
- zbadanie wpływu parametrów: (1 pkt)
  - ~~- prawdopodobieństwo krzyżowania,~~
  - ~~- prawdopodobieństwo mutacji,~~
- ~~- porównanie algorytmu genetycznego z metodami „naiwnymi” – metoda losowa (0,75 pkt)~~

Ocena:

Ocenie podlegać będzie sprawozdanie z przeprowadzonych badań. Badania powinny być przeprowadzone zgodnie z zaleceniami podanymi w treści ćwiczenia (liczba powtórzeń, stopień trudności problemu). Sprawozdanie powinno zawierać podsumowanie badań w postaci tabeli wyników oraz wykresów, a także zapisane wnioski z poszczególnych badań. Każde badanie powinno: posiadać nazwę, mieć podany cel badania oraz zestaw parametrów metod np. rozmiar populacji, liczba generacji, użyte operatory, wybrane pliki danych, etc. aby umożliwić ich ewentualne odtworzenie. Ze względu na wymagania i długotrwałość procesu, większość lub nawet całość sprawozdania należy przygotować w domu. Podczas oddawania należy spodziewać się pytań odnośnie uzyskanych wyników, teorii itp.

### Literatura

1. Arabas J. Wykłady z algorytmów ewolucyjnych (<http://staff.elka.pw.edu.pl/~jarabas/ksiazka.html>)
2. Goldberg D. Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie
3. Michalewicz Z. Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, WNT.
4. Krunoslav Puljić, Robert Manger, „Comparison of eight evolutionary crossover operators for the vehicle routing problem”, MATHEMATICAL COMMUNICATIONS Math. Commun. 18(2013), 359–375
5. Potvin, Jean-Yves. 1996. Genetic algorithms for the the traveling salesman problem, Annals of Operations Research, Volume 63, pages 339-370.
6. <http://edu.pjwstk.edu.pl/wyklady/nai/scb/wyklad10/w10.htm>
7. [image.sciencenet.cn/olddata/kexue.com.cn/upload/blog/file/2010/6/201063221223296449.pdf](http://image.sciencenet.cn/olddata/kexue.com.cn/upload/blog/file/2010/6/201063221223296449.pdf)