Spis treści

- Definicja i geneza algorytmu genetycznego
- Miejsce w klasyfikacji algorytmów
- Podstawowe pojęcia i zasady
- Prosty algorytm genetyczny
- Operacje w algorytmach genetycznych
- Przykład implementacji
- Zalety algorytmów genetycznych
- Przykłady zastosowań

Algorytm genetyczny – podstawy

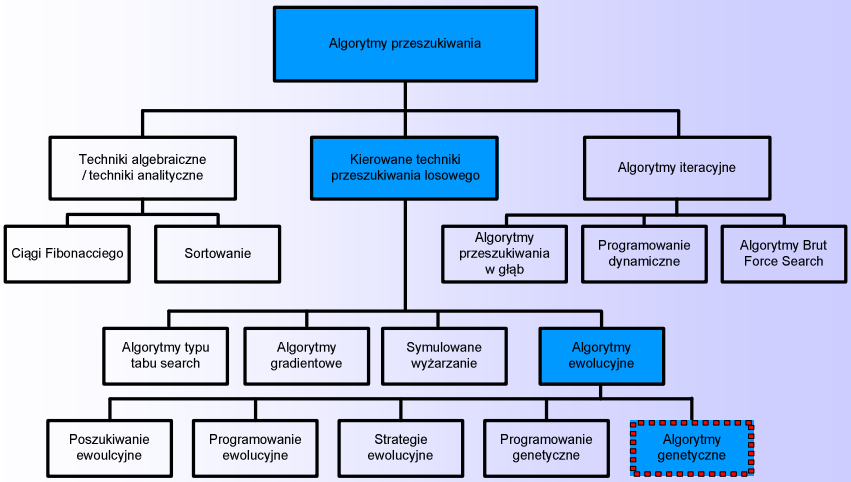
Algorytm genetyczny służy do **poszukiwania** rozwiązania spełniającego określone kryteria.

Działanie algorytmu jest oparte na mechanizmach **doboru naturalnego** oraz **dziedziczenia**

Geneza powstania:

- potrzeba opisania w sposób formalny procesów adaptacyjnych zachodzących w przyrodzie
- potrzeba opracowania oprogramowania umożliwiającego odtworzenie naturalnych procesów adaptacyjnych
- Inspiracja teorią Darwina (1859)
- Podstawy AG opracowane przez Johna Hollanda (1975)

Klasyfikacja metod przeszukiwania



Różnice pomiędzy algorytmami genetycznymi a metodami deterministycznymi

- nie są przetwarzane parametry zadania a ich zakodowana postać,
- nie jest realizowane poszukiwanie rozpoczynające się w pojedynczym punkcie startowym,
- procedura poszukiwania rozpoczyna się od pewnej populacji początkowej,
- wykorzystywana jest wyłącznie funkcja celu a nie jej pochodne ani też inne pomocnicze informacje,
- Stosowane są probabilistyczne a nie deterministyczne reguły wyboru.

Algorytm genetyczny – pojęcia podstawowe

Osobnik - podstawowa jednostka podlegająca ewolucji

Przyjmuje się pewien stopień przystosowania osobnika do określonego środowiska jego przebywania.

Celem ewolucji jest stworzenie osobnika możliwie najlepiej przystosowanego do danego środowiska.

Fenotyp – zewnętrzne cechy danego osobnika.

Genotyp - kompletny i jednoznaczny opis osobnika zawarty w jego genach.

Populacja - zespół osobników przebywających we wspólnym środowisku i konkurujących o jego zasoby.

Algorytm genetyczny – zasady

- Genotyp danego osobnika w czasie jego życia nie podlega modyfikacjom;
- Modyfikacje genotypu następują w procesie rozmnażania osobników;
- Źródłem zmian mogą być nieznaczne, losowe mutacje lub losowa operacja krzyżowania cech osobników rodzicielskich;
- Zmiany fenotypu poszczególnych osobników potomnych wynikają ze zmian ich genotypu;
- Zmianom (mutacja, krzyżowanie) podlega genotyp osobnika, podczas gdy selekcji poddawane są fenotypy.
- Fenotyp odzwierciedla stopień przystosowania osobnika do określonego środowiska (co podlega ocenie w postaci funkcji celu).

Algorytm genetyczny – zasady

- Zmiany w genotypie maja charakter przypadkowy;
- Zmiany korzystne dla osobnika zdarzają się równie często, jak niekorzystne lub obojętne;
- Osobniki są oceniane poprzez porównanie ich stopnia przystosowania do danego środowiska;
- Osobniki lepiej przystosowane maja większą szansę rozmnożyć się;
- Osobniki gorzej przystosowane przegrywają konkurencję o ograniczone zasoby środowiska i są eliminowane.

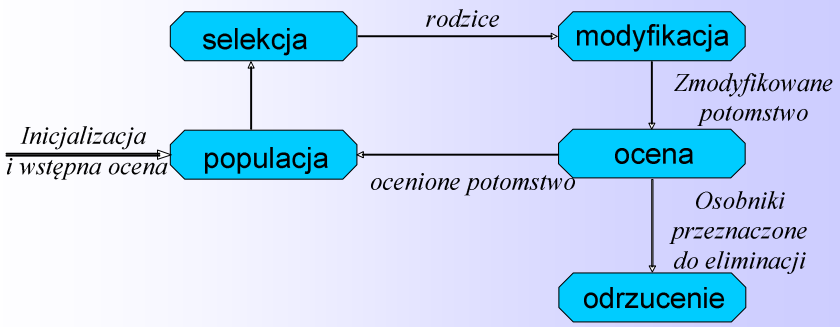
Optymalizacja przy wykorzystaniu algorytmu genetycznego analogie do przyrody

Algorytm genetyczny	Przyroda
Problem optymalizacyjny	Środowisko
Możliwe rozwiązania	Osobniki żyjące w środowisku
Jakość rozwiązań (funkcja celu)	Stopień przystosowania osobników do otaczającego je środowiska

Prosty algorytm genetyczny

wygenerowanie początkowej populacji osobników
wyznaczenie funkcji celu dla poszczególnych osobników
dopóki nie zostanie spełniony warunek zakończenia
•wybór do reprodukcji osobników o najwyższej wartości funkcji celu
•rekombinacja (krzyżowanie) pomiędzy osobnikami
•mutacja osobników
•wyznaczenie funkcji celu dla zmodyfikowanych osobników
•wygenerowanie nowej populacji
powrót do początku pętli

Algorytm genetyczny – cykl ewolucji



Elementy algorytmów genetycznych

Znalezienie rozwiązania zależy od:

Technika kodowania	(*gen, chromosom*)
Procedura inicjalizacji	*(tworzenie)*
Funkcja celu	*(środowisko)*
Selekcja rodziców	*(reprodukcja)*
Operatory genetyczne	*(mutacja, rekombinacja)*
Dobór parametrów	
Dobór warunku zakończenia	*(wiedza, doświadczenie, praktyka)*

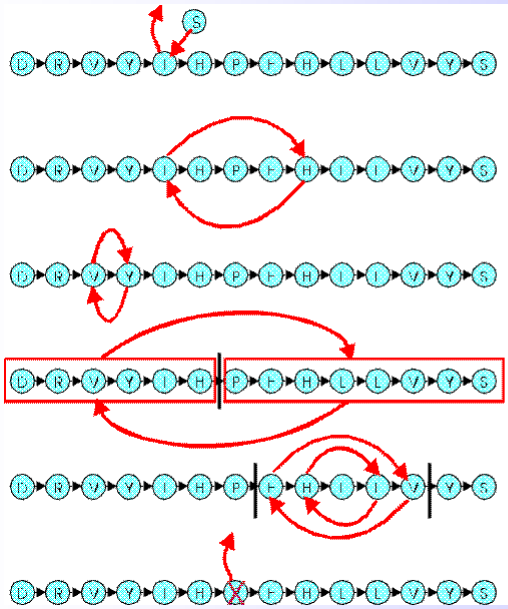
Inicjalizacja

Wykorzystanie algorytmu genetycznego rozpoczyna się od wygenerowania populacji losowych osobników.

Możliwe jest również:

- wykorzystanie uprzednio zapisanej populacji,
- wykorzystanie zestawu rozwiązań opracowanego przez eksperta,
- wykorzystanie zestawu rozwiązań uzyskanego w wyniku działania innego algorytmu heurystycznego.

Przykładowe rodzaje mutacji



zastąpienie (replacement)

Losowa zamiana (swap)

zamiana sąsiednich elementów

odwrócenie kolejności

Inwersja (rotacja)

usunięcie

Operacja mutacji

Cel:

symulowanie efektu błędów pojawiających się z niewielkim prawdopodobieństwem w procesie mnożenia osobników

Rezultaty:

- Ruch w przestrzeni poszukiwania
- Odtwarzanie informacji utraconych przez populację

Operacja mutacji - metody

Chromosomy kodowane binarnie: losuje się zazwyczaj dwa geny i zamienia się je miejscami

Genotypy kodowane liczbami całkowitymi: permutacje

Genotypy zakodowane liczbami rzeczywistymi: wprowadza się do przypadkowych genów losowe zmiany o danym rozkładzie najczęściej normalnym

Przykład – maksymalizacja liczby jedynek w ciągu binarnym

- Osobniki są naturalnie kodowane jako ciągi o długości *l* binarnych cyfr
- Funkcja celu *f* dla potencjalnego rozwiązania stanowi liczbę jedynek w kodzie genetycznym
- Początkowa populacja liczy *n* losowych ciągów
- Przyjmuje się, że $l = 10$ a $n = 6$

Przykład – inicjalizacja

Na podstawie 60 rzutów monetą otrzymuje się początkową populację:

s_1 = 1111010101 $f(s_1) = 7$

s_2 = 0111000101 $f(s_2) = 5$

s_3 = 1110110101 $f(s_3) = 7$

s_4 = 0100010011 $f(s_4) = 4$

s_5 = 1110111101 $f(s_5) = 8$

s_6 = 0100110000 $f(s_6) = 3$

Przykład – selekcja

Następnie proporcjonalnie do funkcji celu odbywa się selekcja według reguły koła ruletki

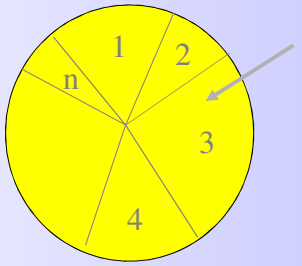
Rodzice wybierani są z prawdopodobieństwem proporcjonalnym do ich dostosowania.

Jeżeli dostosowanie i-tego osobnika oznaczymy przez f_i,

to prawdopodobieństwo jego selekcji jest równe $p_i = \frac{f(i)}{\sum_i f(i)}$,

gdzie suma w mianowniku oznacza

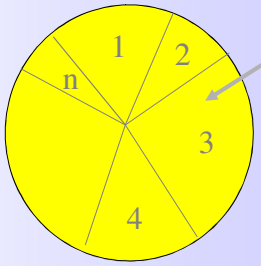
sumę dostosowań wszystkich osobników populacji



Przykład – selekcja

Ekstrakcja jest powtarzana tyle razy ile wynosi liczba osobników wymaganych aby uzyskać ten sam rozmiar populacji rodziców (w tym przypadku 6)

Osobnik *i* będzie charakteryzował się prawdopodobieństwem jego wyboru $p_i = \frac{f(i)}{\sum_i f(i)}$



Obszar jest proporcjonalny do wartości funkcji celu

Algorytm genetyczny – metody selekcji

- Ruletki,
- Rankingowa,
- Turniejowa,
- Próbkowanie deterministyczne,
- Wielokryterialna.

Przykład – selekcja (2)

Zakłada się, że po przeprowadzeniu selekcji populacja ma następującą postać:

s_1` = 1111010101 (s_1)
s_2` = 1110110101 (s_3)
s_3` = 1110111101 (s_5)
s_4` = 0111000101 (s_2)
s_5` = 0100010011 (s_4)
s_6` = 1110111101 (s_5)

Przykład - krzyżowanie (1)

Następnie ciągi są łączone w pary w celu wykonania operacji krzyżowania.

Dla każdej pary jest podejmowana decyzja o wykonaniu operacji krzyżowania na podstawie prawdopodobieństwa krzyżowania (na przykład wynoszącego 0,6).

Założono, że w bieżącym przykładzie decyzja o krzyżowaniu została podjęta tylko dla dwóch par (s_1`, $s_2$`) i (s_5`, $s_6$`).

Dla każdej pary podlegającej operacji losowo jest wyznaczany punkt krzyżowania, na przykład 2 dla pierwszej a 5 dla drugiej.

Krzyżowanie - metody

Rozcięcie dwóch chromosomów i stworzenie nowego poprzez sklejenie lewej części jednego rodzica z prawą częścią drugiego rodzica (dla chromosomów z kodowaniem binarnym i całkowitym;

Stosowanie operacji logicznych (kodowanie binarne);

Obliczenie wartości średniej genów (kodowanie w postaci liczb rzeczywistych).

Przykład - krzyżowanie (2)

Przed operacją krzyżowania

s_1` = 1111010101 $s_5$` = 0100010011

s_2` = 1110110101 $s_6$` = 1110111101

Po wykonaniu operacji krzyżowania

s_1`` = 1110110101 $s_5$`` = 0100011101

s_2`` = 1111010101 $s_6$`` = 1110110011

Przykład - mutacja (1)

Końcowym krokiem jest przeprowadzenie losowej mutacji: dla każdego bitu, który jest kopiowany do nowej populacji zezwala się na niewielkie prawdopodobieństwo pojawienia się błędu (na przykład 0,1)

Przed zastosowaniem mutacji:

$s_1'' = 1110110101$

$s_2'' = 1111010101$

$s_3'' = 1110111101$

$s_4'' = 0111000101$

$s_5'' = 0100011101$

$s_6'' = 1110110011$

Przykład - mutacja (2)

Przed zastosowaniem mutacji:

$s_1'' = 1110110101$

$s_2'' = 1111010101$

$s_3'' = 1110111101$

$s_4'' = 0111000101$

$s_5'' = 0100011101$

$s_6'' = 1110110011$

Po zastosowaniu mutacji:

$s_1''' = 1110100101 \quad f(s_1''') = 6$

$s_2''' = 1111101000 \quad f(s_2''') = 7$

$s_3''' = 1110101111 \quad f(s_3''') = 8$

$s_4''' = 0111000101 \quad f(s_4''') = 5$

$s_5''' = 0100011101 \quad f(s_5''') = 5$

$s_6''' = 1110110001 \quad f(s_6''') = 6$

Przykład - podsumowanie

W jednym pokoleniu całkowita wartość funkcji celu dla populacji wzrosła z 34 do 37, stąd nastąpiła poprawa o około 9%

Od tego punktu proces jest powtarzany aż do osiągnięcia kryterium zatrzymania

Algorytmy genetyczne przykłady kryterium zatrzymania

- Osiągnięto wstępnie określoną liczbę pokoleń lub minął ustalony czas;
- Uzyskano satysfakcjonujące rozwiązanie;
- Dla określonej liczby pokoleń wystąpił brak poprawy w jakości rozwiązania.

Algorytmy genetyczne - zalety

Istotą algorytmu genetycznego jest losowe przeszukiwanie przestrzeni możliwych rozwiązań

Szczegółowy przebieg rozwiązywania problemu przez algorytm genetyczny nie jest możliwy do przewidzenia

Zaletą algorytmów genetycznych jest to, że jeśli rozważany problem ma **kilka rozwiązań** to zostaną one wszystkie znalezione

Efekt działania algorytmu genetycznego jest taki, że jakość rozwiązania w kolejnych pokoleniach jest coraz lepsza

Generalnie rozwiązanie jest tym lepsze, im więcej „generacji" przejdzie przez proces ewolucji

Często także lepsze wyniki uzyskuje się stosując większe populacje – ale nie zawsze

Algorytmy genetyczne - przykłady zastosowań

Dziedzina	Rodzaje zastosowań
Sterowanie	Rurociągi gazowe, wyważanie, unikanie pocisków, śledzenie obiektów
Projektowanie	Topologia układów scalonych; projekty samolotów, konfiguracje klawiatur; konfiguracje sieci komunikacyjnych
Planowanie	Wytwarzanie, przydział zasobów; zarządzanie sprzętem
Robotyka	Planowanie trajektorii
Uczenie maszynowe	Projektowanie sieci neuronowych, poprawa algorytmów klasyfikacji, systemy klasyfikacji
Przetwarzanie sygnałów	Projektowanie filtrów
Rozgrywanie gier	poker, warcaby, dylemat więźnia
Optymalizacja kombinatoryczna	Pokrycie zbioru, problem komiwojażera, wybór trasy, napełnianie pojemników, kolorowanie i podział grafów

Podsumowanie

Algorytm genetyczny służy do **poszukiwania** rozwiązania spełniającego określone kryteria.

Działanie algorytmu jest oparte na mechanizmach **doboru naturalnego** oraz **dziedziczenia**

Algorytm genetyczny zalicza się do kategorii **Kierowanych technik przeszukiwania losowego**

Podstawowe kroki algorytmu genetycznego to:

- **Selekcja** - wybór do reprodukcji osobników o najwyższej wartości funkcji celu,
- **Rekombinacja** (krzyżowanie) pomiędzy osobnikami
- **Mutacja** osobników,
- **Wyznaczenie funkcji celu** dla zmodyfikowanych osobników,
- **Wygenerowanie nowej populacji**.