

# Metody Rozmyte i Algorytmy Ewolucyjne

mgr inż. Piotr Kaczyński

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy  
Szkoła Nauk Ścisłych  
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego

Zagadnienia zaawansowane



# Plan wykładu

- 1 Wykorzystanie algorytmów optymalizacji lokalnej
  - Efekt Baldwina
  - Ewolucja lamarkowska
- 2 Równoległość w algorytmach ewolucyjnych
  - Implementacje równoległe
  - Algorytmy koewolucyjne
- 3 Wpływanie na czas życia osobników
  - Limitowanie czasu życia
  - Zmodyfikowana selekcja

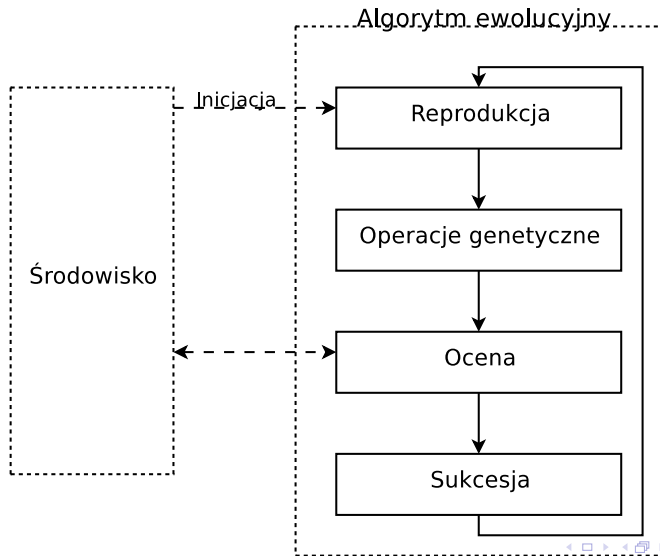


# Ogólny schemat algorytmu ewolucyjnego

- $t = 0$
- Inicjacja  $P^t$
- Ocena  $P^t$
- while not warunek stopu do
  - $T^t =$  reprodukcja  $P^t$
  - $O^t =$  operacje genetyczne  $T^t$
  - ocena  $O^t$
  - $P^{t+1} =$  sukcesja( $P^t, O^t$ )
  - $t = t + 1$



# Schemat algorytmu ewolucyjnego - przypomnienie



# Przypomnienie

- Kodowanie osobników
  - Fenotyp i genotyp,
  - Pożądane cechy kodowania,
- Operatory genetyczne
  - Pożądane cechy: spójność i nieobciążoność,
  - Operatory krzyżowania,
  - Operatory mutacji,
- Eksploracja i eksploatacja a operatory genetyczne,
  - Modyfikacja zasięgu mutacji,
  - Modyfikacja zasięgu krzyżowania,

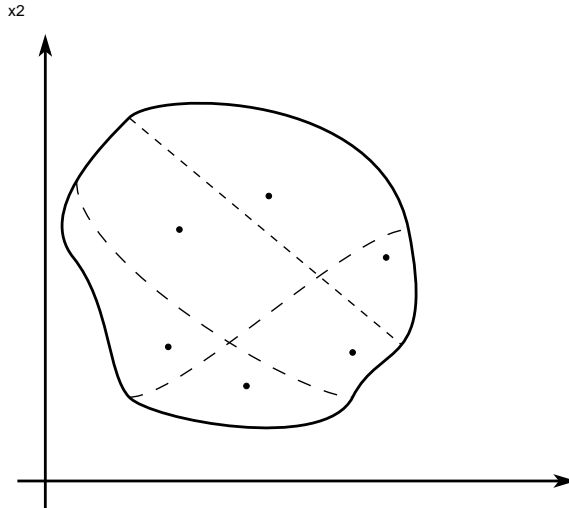


# Optymalizacja lokalna

- Przyporządkowanie punktowi startowemu optimum lokalnego,
- Najczęściej deterministyczna,
- Algorytmy optymalizacji lokalnej
  - Bezgradientowe — Nelder-Mead,
  - Gradientowe I rzędu (najszybszy spadek),
  - Gradientowe II rzędu (Newton i quasi-Newton),
- Przestrzeń można podzielić na rozłączne obszary przyciągania minimów lokalnych,



# Obszary przyciągania minimów lokalnych



# Geneza

- Algorytmy optymalizacji lokalnej
  - Dość szybkie i deterministyczne,
  - Nieprecyzyjne,
  - Do znalezienia optimum globalnego wymagają metody **wielostartowej**,
- Algorytmy ewolucyjne
  - Metody niedeterministyczne,
  - Mogą być czasochłonne,
  - Niekiedy trudne znalezienie dokładnego optimum,
  - Metoda jednostartowa, wyszukuje optimum globalne





# Geneza

- Algorytmy optymalizacji lokalnej
  - Dość szybkie i deterministyczne,
  - Nieprecyzyjne,
  - Do znalezienia optimum globalnego wymagają metody **wielostartowej**,
- Algorytmy ewolucyjne
  - Metody niedeterministyczne,
  - Mogą być czasochłonne,
  - Niekiedy trudne znalezienie dokładnego optimum,
  - Metoda jednostartowa, wyszukuje optimum globalne
- **Metody hybrydowe**
  - Punkty startowe algorytmu optymalizacji lokalnej generowane ewolucyjnie,
  - Dwa podejścia: jako dodatkowy operator lub kodowanie,



# Przeszukiwanie lokalne jako operator

- Operator mutacji
  - Chromosom jest punktem startowym,
  - Chromosom po mutacji to znalezione optimum lokalne,
  - Zalety
    - Można wykorzystać gradient,
    - Optymalizacja lokalna nie musi być dokładna,
- Operator krzyżowania
  - Krzyżowanie wieloosobnicze,
  - Pojedynczy krok metody sympleksu Neldera-Meada,
- Wady podejścia
  - Przeszukiwanie lokalne wprowadza **obciążenie**,
  - Jest dodatkowym źródłem nacisku selektywnego,
  - Wymaga zastosowania metod wprowadzających różnorodność



# Przeszukiwanie lokalne w funkcji przystosowania

- Dany jest fenotyp  $x$  odpowiadający genotypowi  $X$ ,
- Wynikiem optymalizacji lokalnej jest fenotyp  $y$ ,
- Przy ocenie osobnika dostępne są **dwa** fenotypy,

# Przeszukiwanie lokalne w funkcji przystosowania

- Dany jest fenotyp  $x$  odpowiadający genotypowi  $X$ ,
- Wynikiem optymalizacji lokalnej jest fenotyp  $y$ ,
- Przy ocenie osobnika dostępne są **dwa** fenotypy,
- Co z tym fantem począć?
- Możliwe dwa podejścia
  - Ewolucja darwinowska (efekt Baldwina),
  - Ewolucja lamarkowska,



# Efekt Baldwina

- Funkcja celu jest modyfikowana,
- Każdemu osobnikowi przyporządkowywana jest ocena będąca wynikiem optymalizacji lokalnej,
- Chromosomy osobników **nie są modyfikowane**,
- Funkcja celu przybiera postać płaskowyzu,
- Metoda ta nie wpływa bezpośrednio na zróżnicowanie osobników,
- Osobniki mogą w łatwy sposób opuścić obszar przyciągania minimum lokalnego,



# Ewolucja lamarkowska

- Dla znalezionego fenotypu znajduje się odpowiadający mu genotyp,
- Nowy genotyp zastępuje stary,
- Cała populacja jest „ściągana” do maksimów lokalnych,
- Bardzo duża podatność na pułapki ewolucyjne,
- Należy stosować metody wprowadzające różnorodność,
- **Reguła 5%** — tylko tyle populacji podlega dziedziczeniu cech.



# Równoległość w algorytmach ewolucyjnych

- Szczególnie dobre do implementacji równoległej,
- Można wprowadzić na etapie implementacji i koncepcji
- Obliczenia równoległe
  - Synchroniczne — wymiana informacji w określonych momentach czasu,
  - Asynchroniczne — procesy komunikują się w nieokreślonych momentach,
- Obecnie bardzo popularne podejście (klastry, gridy obliczeniowe)
- <http://www.top500.org>
  - Pierwsze miejsce - BlueGene/L - eServer Blue Gene Solution IBM — 131072 procesory, 280600 Gflops, USA
  - Polska —



# Równoległość w algorytmach ewolucyjnych

- Szczególnie dobre do implementacji równoległej,
- Można wprowadzić na etapie implementacji i koncepcji
- Obliczenia równoległe
  - Synchroniczne — wymiana informacji w określonych momentach czasu,
  - Asynchroniczne — procesy komunikują się w nieokreślonych momentach,
- Obecnie bardzo popularne podejście (klastry, gridy obliczeniowe)
- <http://www.top500.org>
  - Pierwsze miejsce - BlueGene/L - eServer Blue Gene Solution IBM — 131072 procesory, 280600 Gflops, USA
  - Polska — ani jeden komputer na liście...





# Zrównoleglenie na poziomie osobnika

- Zrównoleglenie obliczenia funkcji celu
  - Zależy od możliwości zrównoleglenia obliczenia tej funkcji,
  - Efektywność duża w przypadku naprawdę skomplikowanych funkcji celu,
- Zrównoleglenie obliczenia przystosowania populacji
  - Najczęściej stosowane podejście,
  - Jeden proces odpowiedzialny za ocenę części populacji,
  - Zrównoleglenie etapu oceny,
  - Bardzo efektywne podejście,
  - Synchronizacja po zakończeniu etapu oceny,



# Zrównoleglenie operacji genetycznych

- Zrównoleglenie reprodukcji
  - Operacja powtarzana wielokrotnie,
  - Potrzebna znajomość ilości potrzebnych osobników w populacji tymczasowej,
- Zrównoleglenie operatorów genetycznych
  - Najefektywniejsze, gdy operatory działają na jednym osobniku,
  - Można zrównoleglić mutację, krzyżowanie trudniej,
- Operacje te najczęściej nie zajmują dużo czasu, ich zrównoleglenie nie przynosi dużych rezultatów



# Algorytm koewolucyjny

- Występuje wiele pętli ewolucyjnych,
- Przetwarzanych jest wiele populacji,
- Możliwe różne parametry poszczególnych populacji,
- Sposoby realizacji
  - Algorytm wyspowy (podpopulacyjny),
  - Algorytm komórkowy (masowo równoległy),



# Algorytm wyspowy

- Wiele populacji, ewoluują niezależnie od siebie,
- Wymiana osobników występuje sporadycznie,
- Populacje mogą się składać z osobników różnych typów,
- Dla każdej z populacji mogą być inne funkcje przystosowania,
- Model nisz ekologicznych
- Modele wymiany osobników
  - **Emigracja** — osobnik wysyłany jest usuwany,
  - **Imigracja** — wysyłana jest jedynie kopia



# Algorytm wyspowy — przykłady

## Przykład

Dekompozycja zadania optymalizacji. Dla każdej populacji wybiera się zmienne które są optymalizowane, pozostałe są ustalone. Każda z populacji ma uzmiennioną inną część wektora rozwiązań.

Nad całością czuwa proces nieewolucyjny koordynujący poszukiwania.

## Przykład 2

Koewolucja populacji rozwiązań i ograniczeń. Ograniczenia są dobierane po to, aby zawęzić przestrzeń poszukiwań optimum. Do algorytmu przeszukiwania przestrzeni wybierane są tylko niektóre osobniki reprezentujące ograniczenia.

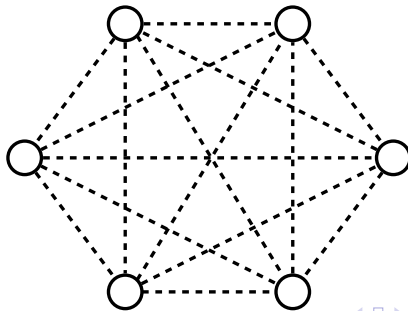


# Schemat wymiany osobników

- Przyjęcie osobnika z zewnątrz dokonuje się w sposób analogiczny do sukcesji,
- Wybór osobnika wysyłanego również może podlegać selekcji,
- Możliwe różne topologie komunikacji między populacjami

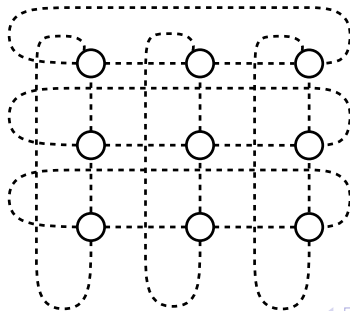
# Schemat wymiany osobników

- Przyjęcie osobnika z zewnątrz dokonuje się w sposób analogiczny do sukcesji,
- Wybór osobnika wysyłanego również może podlegać selekcji,
- Możliwe różne topologie komunikacji między populacjami



## Schemat wymiany osobników

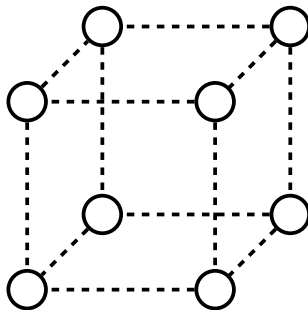
- Przyjęcie osobnika z zewnątrz dokonuje się w sposób analogiczny do sukcesji,
- Wybór osobnika wysyłanego również może podlegać selekcji,
- Możliwe różne topologie komunikacji między populacjami





## Schemat wymiany osobników

- Przyjęcie osobnika z zewnątrz dokonuje się w sposób analogiczny do sukcesji,
- Wybór osobnika wysyłanego również może podlegać selekcji,
- Możliwe różne topologie komunikacji między populacjami



# Algorytm komórkowy

- W populacji występuje arbitralnie wybrana topologia,
- Topologia ta nie jest związana z przestrzenią genotypów,
- Dla każdego osobnika definiowane jest sąsiedztwo  $N_r(X^t)$  o promieniu  $r$
- Osobniki wchodzi w interakcję jedynie z osobnikami z jego otoczenia,
- Osobnik potomny konkuruje na zasadzie sukcesji ze swoim „przodkiem”,
- Dla każdego osobnika jest wykonywana oddzielna pętla algorytmu
- Rola relacji sąsiedztwa
  - Im większy promień tym większy zasięg selekcji i tym większy nacisk selektywny.



# Czas życia osobników

- Ważny dla schematów, w których sukcesja działa na sumie populacji bazowej i potomnej,
- Selekcja elitarna
  - Gwarantuje przeżycie najlepszego osobnika,
  - Źle wpływa na zdolność eksploracji,
  - Gwarantuje zbieżność,
  - Zwiększona szybkość zbieżności,
  - Wprowadza zakłócenia w działaniu samoczynnej adaptacji
- Kompromis — **wprowadzenie maksymalnego czasu życia osobnika**



# Limitowanie czasu życia

- Schemat sukcesji
  - Ze starej populacji bazowej usuwa się osobniki, których czas życia przekroczył maksimum,
  - Elitę wyłania się spośród pozostałych osobników,
- Schemat taki nazwano  $(\mu, \kappa, \lambda)$ ,
- $\kappa$  oznacza maksymalną długość życia osobnika (w epokach),
- Brak jasnych wskazówek, jak dobrać  $\kappa$ ,



# Selekcja sterowana czasem życia

- Czas życia osobnika jest ustalany w momencie jego narodzin,
  - Zależy od przystosowania osobnika,
  - Osobnik o większym przystosowaniu powinien żyć dłużej,
- Liczność populacji bazowej jest **zmienna**,
- Populacja bazowa mieści wszystkie osobniki o czasie życia większym niż 0,
- Reprodukacja zachodzi z **jednakowym prawdopodobieństwem** dla każdego osobnika z populacji bazowej,
- Nacisk selektywny realizowany jest przez czas życia, a nie sposób reprodukcji i selekcji,
  - Osobniki żyjące dłużej mają większe szanse na reprodukcję,



# Określanie czasu życia osobnika I

- Niech  $X$  genotyp osobnika,  $\Phi(X)$  funkcja przystosowania,
- Funkcje obliczające czas życia mają dwa parametry  $l_{max}$  oraz  $l_{min}$  odpowiednio maksymalny i minimalny czas życia osobników,
- Niech  $l_{av} = \frac{1}{2}(l_{max} - l_{min})$ ,
- Przykładowe funkcje
  - Funkcja liniowa

$$f_l(X) = l_{min} + \frac{l_{max} - l_{min}}{\Phi_{max} - \Phi_{min}} \Phi(X)$$

- Funkcja proporcjonalna

$$f_p(X) = \min \left( l_{max}, l_{min} + \frac{l_{av} - l_{min}}{\Phi_{av} - \Phi_{min}} \Phi(X) \right)$$



## Określanie czasu życia osobnika II

- Funkcja biliniowa

$$f_l(X) = \begin{cases} l_{min} + \frac{l_{av} - l_{min}}{\Phi_{av} - \Phi_{min}} \Phi(X) & \text{dla } \Phi(X) < \Phi_{av} \\ l_{av} + \frac{l_{max} - l_{av}}{\Phi_{max} - \Phi_{av}} \Phi(X) & \text{dla } \Phi(X) \geq \Phi_{av} \end{cases}$$

- Wartości  $\Phi_{min}$ ,  $\Phi_{av}$ ,  $\Phi_{max}$  są wyliczane dla  $\mu$  pokoleń wstecz

