

Przetwarzanie sygnałów i identyfikacja – moduł AI, Wykład 2

Algorytmy ewolucyjne – podstawy, wybór zagadnień

Ziemowit Dworakowski
Akademia Górniczo-Hutnicza,
Katedra Robotyki i Mechatroniki

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

1

Agenda

- Idea algorytmu ewolucyjnego
- Struktura algorytmu ewolucyjnego
- Podstawy konfigurowania

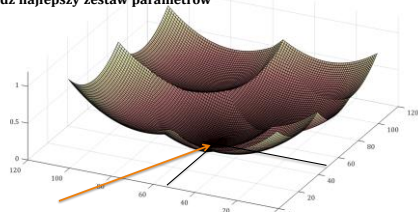
CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

2

Optymalizacja

Problem optymalizacji:
- Znaleźć **minimum** (lub maksimum) globalne **funkcji celu**
(Funkcji skończonej liczby **parametrów**)

Krok 1: Dobierz właściwą reprezentację (parametryzując problem)
Krok 2: Znajdź najlepszy zestaw parametrów



minimum

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

3

Krok 2: Poszukiwanie minimum

Krok 1: Dobierz właściwą reprezentację (parametryzując problem)
Krok 2: Znajdź najlepszy zestaw parametrów

Aby dobrze zilustrować problem, będziemy się posługiwać ciągłą funkcją dwóch parametrów (w rzeczywistości parametrów jest zazwyczaj dużo więcej).

Założenia:

- Mamy dwa parametry, które mogą być płynnie zmieniane w określonym zakresie
- Nie znamy równania funkcji, ale jesteśmy w stanie w prosty sposób policzyć jej wartość dla dowolnej wartości parametrów.

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdzw@agh.edu.pl

4

Naturalna ewolucja – jak działa?

Każdy osobnik jest definiowany przez swój zestaw genów (**genotyp**) – na podstawie którego powstaje zestaw cech organizmu (**fenotyp**).

Każdy osobnik dąży do przekazania swoich genów – w tym celu musi po pierwsze osiągnąć dojrzałość (czyli przetrwać dzieciństwo), a po drugie znaleźć partnera (czyli przejść **selekcję** w konkurencji z innymi osobnikami)

Im „lepsze geny” posiada osobnik, tym większa szansa, że uda mu się rozmnożyć – tzn. przekazać je dalej

Jego potomstwo będzie dziedziczyło delikatnie zmodyfikowane (**zmutowane**), wymieszane (**skrzyżowane**) cechy obydwójga rodziców

... itd.

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdzw@agh.edu.pl

5

Algorytmy ewolucyjne

Podstawowy algorytm genetyczny

Wygeneruj losowo **populację rozwiązań (osobników)**

↓

Oceń ich **przystosowanie** – tzn. wartość funkcji celu (**funkcji przystosowania**)

↓

Dokonaj **selekcji** podzbioru najbardziej obiecujących osobników

↓

Dokonaj **mutacji, krzyżowania** i rozmnażania tworząc nową populację

↑ (generacja)

Powtarzaj dopóki nie skończy się czas lub algorytm nie przestanie poprawiać rozwiązań

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdzw@agh.edu.pl

6

Algorytmy ewolucyjne: kodowanie i ocena

Kodowanie i ocena przystosowania osobnika

Osobnik (Propozycja rozwiązania problemu)
 ↓
Genotyp (zbiór wartości parametrów)
 ↓
Fenotyp (Realizacja możliwa do oceny – określenia wartości funkcji celu)
 ↓
Ocena przystosowania (Wartość funkcji celu odpowiadająca osobnikowi)

Przykłady?

CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

7

Algorytmy ewolucyjne: selekcja

Selekcja (sukcesja)

Niezbędna w celu wyboru najlepiej przystosowanego podzbioru osobników, które przekażą swoje geny kolejnej generacji

n-najlepszych
 Uszereguj osobniki pod względem ich jakości (przystosowania).
 Wybierz n najlepszych
(Metoda łatwa do implementacji, modyfikacji i zrozumienia)

Selekcja ruletkowa
 ...

Selekcja turniejowa
 ...

Sukcesja elitarna
 Wybierz k najlepszych osobników i skopiuj ich **bez zmian** do kolejnej generacji (zazwyczaj bardzo małe k, np. k = 1)
(Zabezpiecza przed utratą dobrych rozwiązań)

CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

8

Algorytmy ewolucyjne: nacisk selektywny

Nacisk selektywny informuje o tym, „jak dużą szansę przekazania genów mają osobniki relatywnie słabe”

Większy nacisk selektywny ↑
 * Małe n w sukcesji „n-najlepszych”

Mniejszy nacisk selektywny ↓
 * Duże n w sukcesji „n-najlepszych”

Większy nacisk selektywny:

- Szybsza konwergencja
- Powoduje zmniejszenie różnorodności
- Wpada w minima lokalne

Mniejszy nacisk selektywny:

- Powolny
- Zachowuje różnorodność
- Odporny na minima lokalne

CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

9

Algorytmy ewolucyjne: mutacja

Mutacja
 Pozwala na generowanie nowych (być może lepszych) rozwiązań na podstawie rozwiązań poprzednich

Genom osobnika (rodzica)	Wektor losowy (o małej długości)	Genom osobnika wynikowego (potomka)
$[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]$	$+ S^*[r_1, r_2, r_3, \dots, r_n]$	$= [X'_1, X'_2, X'_3, \dots, X'_n]$

- Wszystkie wartości w genotypie ulegają niewielkiej zmianie
- Zazwyczaj zakres mutacji jest zmieniany za pomocą stałej w programie, tzw. „**krok mutacji**”

↓

Wpływa na tzw. balans między **Eksploracją** a **Eksploracją**

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

10

Algorytmy ewolucyjne: eksploracja i eksploatacja

Eksploracja przestrzeni parametrów w początkowej fazie działania algorytmu :	Eksploracja najlepszych obszarów w końcowej fazie działania algorytmu :
---	--

Eksploracja wymaga:	Eksploracja wymaga:
- Dużego zakresu mutacji	- Małego zakresu mutacji
- (Małego nacisku selektywnego)	- (Małego nacisku selektywnego)
- (Podtrzymywania różnorodności)	- (Dopuszczenia zmniejszenia różnorodności)

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

11

Algorytmy ewolucyjne: krzyżowanie

Krzyżowanie
 Pozwala na wymianę informacji między różnymi osobnikami. Wymaga przynajmniej dwóch **rodziców**

Jednopunktowe / wielopunktowe
 Wybierz punkt (lub kilka) w genomie
 Zmieniaj pochodzenie genów po każdym punkcie



Równomiernie
 Kopiuje każdy gen od losowego rodzica

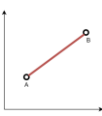
Image source: Wikipedia

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

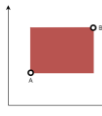
12

Algorytmy ewolucyjne: krzyżowanie

Krzyżowanie
 Pozwala na wymianę informacji między różnymi osobnikami.
 Wymaga przynajmniej dwóch **rodziców**



Liniowe („line crossover“)
 Potomstwo generowane jest wzdłuż linii rozpiętej w przestrzeni cech pomiędzy rodzicami



Pudełkowe („box crossover“)
 Geny potomstwa generowane są losowo w zakresie „objętym” genami rodziców

Image source: Heesch M. Memetic algorithm for training of artificial neural networks in structural health monitoring, Bachelor engineering thesis, AGH University of Science and Technology, 2016
 CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

13


Algorytmy ewolucyjne: krzyżowanie

Krzyżowanie
 Pozwala na wymianę informacji między różnymi osobnikami.
 Wymaga przynajmniej dwóch **rodziców**

Rodzice



„Specjalne” (modułowe) krzyżowanie
 Modyfikacja krzyżowania wielopunktowego: geny są kopiowane w pakietach kodujących rozłączne cechy fenotypu



Potomek

Image source: Heesch M. Memetic algorithm for training of artificial neural networks in structural health monitoring, Bachelor engineering thesis, AGH University of Science and Technology, 2016
 CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

14

O tym, że różnorodność jest dobra

- Jeśli cała populacja jest zgrupowana w jednym miejscu, można ją potraktować jak jednego osobnika („n-najlepszych”, $n = 1$)

↓

- Bardzo trudno opuścić minimum lokalne
- Tracimy poprzednio zdobytą informację o przestrzeni cech

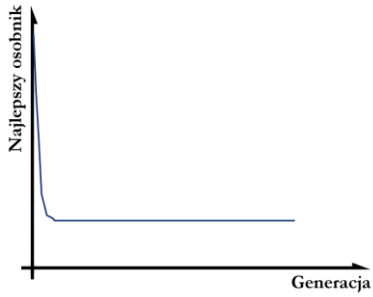
Jak można podtrzymać różnorodność populacji?

- Dodawanie osobników losowych do populacji
- „Rozpraszanie populacji” za pomocą mutacji lub krzyżowań
- **Odpowiedni (niezbyt duży) nacisk selektywny**
- **Uwzględnianie różnorodności w ocenie osobników**

CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

15

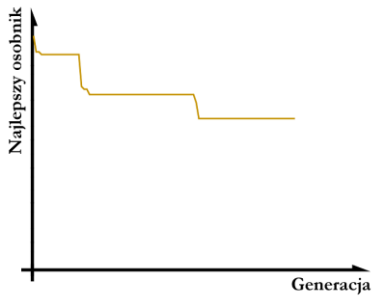
Testowanie rozwiązań – krzywa konwergencji



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

19

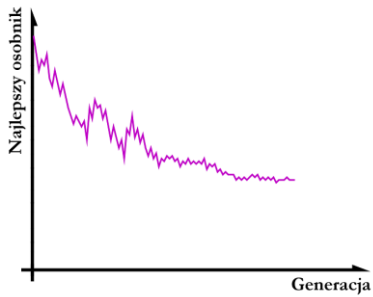
Testowanie rozwiązań – krzywa konwergencji



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

20

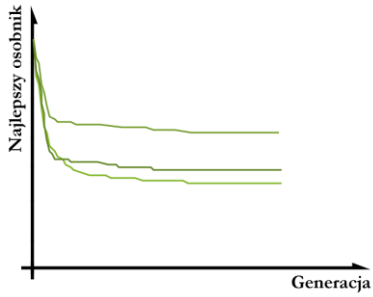
Testowanie rozwiązań – krzywa konwergencji



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

21

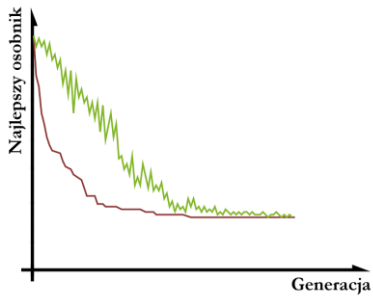
Testowanie rozwiązań – krzywa konwergencji



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

22

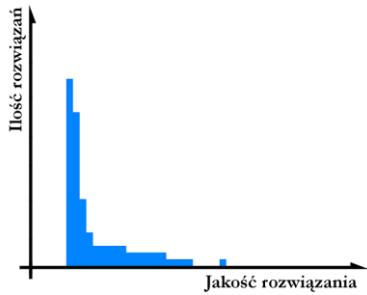
Testowanie rozwiązań – krzywa konwergencji



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

23

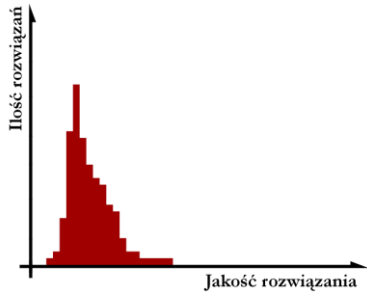
Testowanie rozwiązań - histogram



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

24

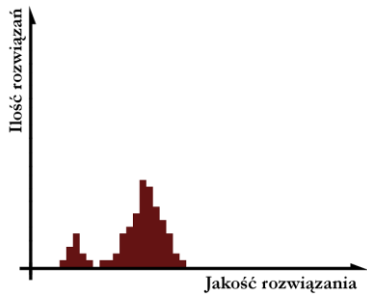
Testowanie rozwiązań - histogram



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

25

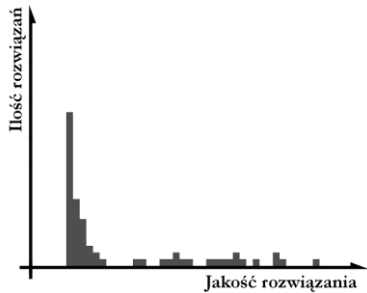
Testowanie rozwiązań - histogram



CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

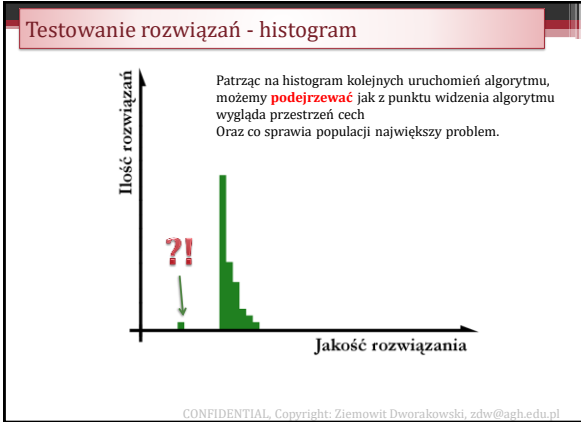
26

Testowanie rozwiązań - histogram

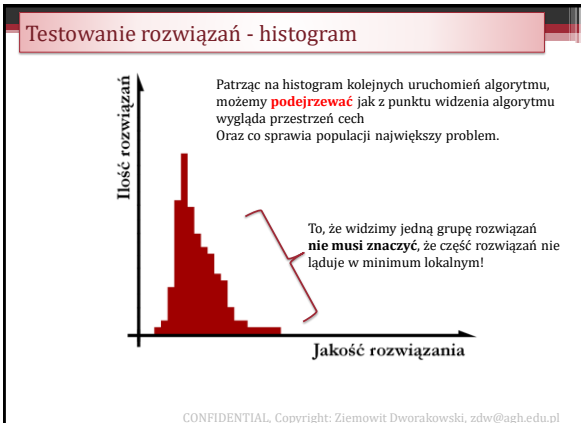


CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

27



28



29

Porównanie algorytmów optymalizacyjnych

Algorytm	Konfiguracja, implementacja	Wrażliwość na minimalne lokalne	Wrażliwość na ilość wymiarów	Nieciągła funkcja celu	"płaskie" funkcja celu	Szybkość konwergencji	Skuteczność ogólna
Grid search	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Losowy	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
1+1	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Gradientowy	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Gradientowy wielostartowy	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Gradientowy z momentem	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Newton	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Ewolucyjny	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊

CONFIDENTIAL, Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl

30

Algorytmy ewolucyjne - podstawy

- 1) Z jakich elementów składa się podstawowy algorytm ewolucyjny?
- 2) Jaka jest różnica między genotypem a fenotypem?
- 3) Co to jest selekcja? Jak ją wykonujemy?
- 4) Co to jest sukcesja elitarna?
- 5) Co to jest i jak działa mutacja?
- 6) Co to jest eksploracja i eksploatacja?
- 7) Jakie mamy metody krzyżowania?
- 8) Jak testować AG?
- 9) Jak AE wypada na tle innych metod optymalizacji?

CONFIDENTIAL. Copyright: Ziemowit Dworakowski, zdw@agh.edu.pl
