



Katedra Wytrzymałości Materiałów  
i Metod Komputerowych Mechaniki  
[www.kwmimkm.polsl.pl](http://www.kwmimkm.polsl.pl)

Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Śląska

---

## OBLICZENIA EWOLUCYJNE

---

### **LABORATORIUM 5: Wpływ reprodukcji na skuteczność poszukiwań AE**

opracował: dr inż. Witold Beluch  
[witold.beluch@polsl.pl](mailto:witold.beluch@polsl.pl)

## Cel ćwiczenia

Wykonując ćwiczenia laboratoryjne przeprowadzisz badania, w wyniku których określisz wpływ różnych wariantów reprodukcji na skuteczność poszukiwań optimum za pomocą algorytmu ewolucyjnego (AE). Sprawdzisz działanie algorytmu dla wybranej funkcji celu i różnych ograniczeń oraz różnych ustawień związanych z poszczególnymi rodzajami reprodukcji.

## Trochę teorii

Reprodukcja (preselekcja) jest jednym z dwóch etapów selekcji<sup>1</sup>, którego celem jest ukierunkowanie działania algorytmu ewolucyjnego (AE) w stronę lepszych rozwiązań.

```

procedure Algorytm_Ewolucyjny
begin
  t:=0
  wybierz populację początkową P(t)
  oceń P(t)
  while (not warunek_zakończenia) do
    begin
      wybierz T(t) z P(t) (reprodukcja)
      utwórz O(t) z T(t) (działanie operatorów ewolucyjnych)
      oceń O(t)
      utwórz P(t+1) z O(t) i P(t) (sukcesja)
      t:=t+1
    end
  end

```

Rys. 1 Schemat działania AE

Reprodukcja powoduje, że osobniki o wyższym przystosowaniu mają większą szansę na wybór do populacji pomocniczej  $T(t)$  (patrz: Rys. 1), w której to populacji działają następnie operatory genetyczne (typowo są to operatory krzyżowania i mutacji; niektóre z nich poznałeś na wykładzie i sprawdziłeś ich działanie na wcześniejszych zajęciach laboratoryjnych). W wyniku działania operatorów genetycznych powstaje populacja potomna  $O(t)$ .

### Reprodukacja proporcjonalna (ruletkowa)

Reprodukacja proporcjonalna jest najstarszym historycznie wariantem (pre)selekcji, który został zaproponowany jeszcze przez Hollanda [4]. W wariacie tym prawdopodobieństwo wylosowania do populacji pomocniczej  $T(t)$  jest proporcjonalne do wartości funkcji przystosowania osobnika. Każdemu osobnikowi przyporządkowuje się pole koła ruletki o polu proporcjonalnym do jego przystosowania:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum f_i} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Jak zapewne pamiętasz z wykładu, w algorytmach ewolucyjnych wyróżnia się dwa etapy selekcji: *reprodukcję* (preselekcję) i *sukcesję* (postselekcję). Zadaniem sukcesji jest tworzenie nowej populacji bazowej z osobników ze starej populacji bazowej  $P(t)$  oraz z populacji potomnej  $O(t)$ .

gdzie:  $p_i$  – prawdopodobieństwo wylosowania  $i$ -tego osobnika;  $f_i$  – wartość funkcji przystosowania  $i$ -tego osobnika,  $\sum f_i$  – suma przystosowań wszystkich osobników w populacji.

Zastosowanie reprodukcji tego typu rodzi wymaganie, by funkcja przystosowania była dodatnia w całej swojej dziedzinie (czy pamiętasz / domyślasz się, dlaczego?). Jeśli tak nie jest, to często (jeśli funkcja przystosowania jest ograniczona z dołu) do funkcji przystosowania można dodać wartość pewnej stałej  $C$ , by po przeprowadzeniu optymalizacji odjąć  $C$  od wartości funkcji przystosowania znalezionej rozwiązania. Trzeba jednakże uważać, by wartość  $C$  była możliwie jak najmniejsza – dodanie do funkcji zbyt dużej wartości stałej powoduje, że osobniki niewiele się różnią przystosowaniem, a więc reprodukcja w zasadzie przestaje działać (prawdopodobieństwo wylosowania każdego osobnika staje się podobne)...

Ponadto reprodukcja ta jest nieodporna na występowanie tzw. superosobników, czyli osobników o znacznie wyższej niż średnia wartości funkcji przystosowania. Takie osobniki są niepożądane szczególnie w początkowej fazie działania AE, gdyż szybko dominują populację, powodując jej „utknięcie” w ekstremum, które często jest lokalne.

### Reprodukacja turniejowa

Reprodukcja turniejowa jest wariantem reprodukcji, w którym w pierwszym etapie losuje się (ze zwracaniem lub bez) pewną liczbę  $q$  osobników ( $q$  jest zwane *wielkością turnieju*). Następnie z tej grupy wybiera się („przeprowadza turniej”) osobnika o największej wartości funkcji przystosowania. Powyższą procedurę powtarza się  $pop\_size^1$  razy, a zatem aż do wypełnienia populacji tymczasowej. Jeśli w ramach grupy turniejowej więcej niż jeden osobnik ma najwyższe przystosowanie, to zwycięzca jest wyłaniany w drodze losowania.

Zazwyczaj przyjmuje się, że wielkość turnieju  $q$  wynosi 2. Wartość  $q$  steruje intensywnością selektywnego nacisku (im  $q$  jest mniejsze, tym mniejszy jest selektywny nacisk).

### Reprodukacja rangowa

Reprodukcja rangowa, zwana również rankingową, jest wariantem reprodukcji, który pozwala na lepsze zarządzanie populacją (poprzez regulowanie selektywnego nacisku<sup>2</sup>), niż reprodukcja proporcjonalna. Zwykle realizuje się ją w ten sposób, że osobniki są szeregowane w kolejności nierosnącej. Następnie każdemu osobnikowi przypisywana jest ranga związana z kolejnym numerem na liście (należy zauważyć, że takie postępowanie może powodować, że osobniki o jednakowym przystosowaniu będą miały różne rangi). Po określeniu rang definiuje się zmienną losową, która na podstawie rangi przypisuje każdemu osobnikowi prawdopodobieństwo reprodukcji  $p_i$ . Często przyjmuje się, że funkcja ta jest funkcją liniową:

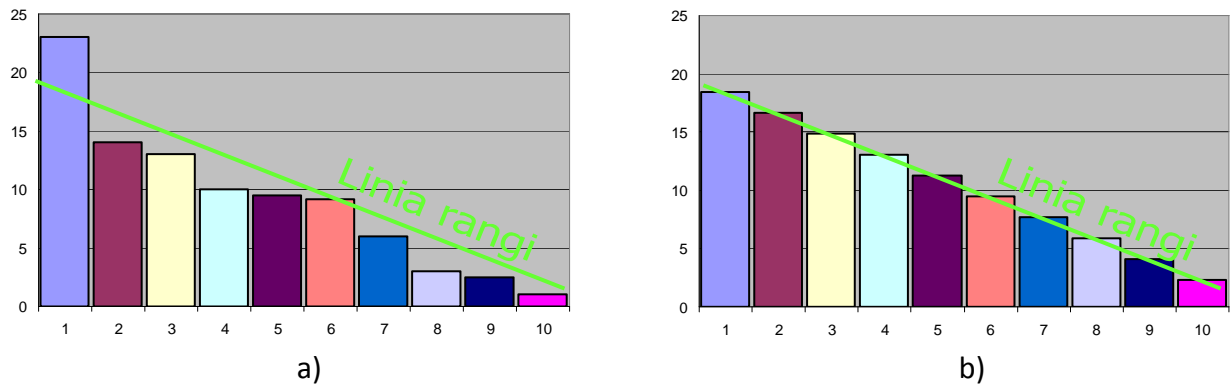
$$p_i = a + k \left( 1 - \frac{r_i}{r_{\max}} \right) \quad (2)$$

gdzie:  $r_i$  – wartość rangi  $i$ -tego osobnika,  $r_{\max}$  – wartość rangi najlepszego osobnika;  $a$ ,  $k$  – parametry.

Graficznie przypisywanie rang osobnikom (ranga liniowa) zostało przedstawione na Rys. 2.

<sup>1</sup>  $pop\_size$  to wartość równa liczebności populacji bazowej.

<sup>2</sup> *Selektywny nacisk*, zwany też *naporem selekcyjnym* określa, jaka jest oczekiwana liczba kopii osobnika lepszego w porównaniu do oczekiwanej liczby kopii osobnika gorszego. Wyższa wartość selektywnego nacisku powoduje szybszą zbieżność algorytmu, choć niekoniecznie do ekstremum globalnego. Właściwa wartość selektywnego nacisku zależy od samego problemu optymalizacji, implementacji algorytmu oraz fazy działania algorytmu (początkowa, końcowa).



Rys. 2 Reprodukacja rangowa – wartości funkcji celu osobników:

a) oryginalne; b) z uwzględnieniem linii rangi

Nachylenie linii rangi steruje selektywnym naciskiem. Spotykane są oprócz liniowej również inne rodzaje rang, jak np. potęgowa, dla której prawdopodobieństwo reprodukcji jest liczone jako:

$$p_i = a + k(r_{\max} - r_i)^b \quad (3)$$

gdzie:  $a$ ,  $b$ ,  $k$  – parametry dobierane tak, by były spełnione pewne warunki [1].

Dużą zaletą tego rodzaju reprodukcji jest odporność na powstawanie superosobników. Z kolei do wad można zaliczyć fakt, iż pomijana jest tu informacja o względnych ocenach osobników (osobnik nieco lepszy od następnego na liście w wyniku przypisania rangi zachowuje się z punktu widzenia reprodukcji tak samo, jak osobnik dużo lepszy od następnego w kolejności...).

## Program *Evolutionary Algorithms*

Program *Evolutionary Algorithms* został opisany (w zakresie algorytmów ewolucyjnych) w instrukcji do laboratorium numer 1. W razie potrzeby sięgnij do tej instrukcji. Pamiętaj o ważnych elementach związanych z funkcjonowaniem programu – są one przypomniane poniżej:

! Zawsze rozpoczynając pracę z programem należy sprawdzić, czy:

- liczba zmiennych projektowych wynosi 2 (*Data*->*Number of variables*);
- nie ma przypadkowo wprowadzonych ograniczeń liniowych oraz nieliniowych (*Data* -> *Linear/Nonlinear constraints*).

## Do wykonania

Przeprowadź obliczenia dla następującej funkcji:

Funkcja:

$$f_1(x, y) = \left( (25 - (x - 5) \cdot (x - 5)) \cdot \cos(2 \cdot (x - 5)) \right) + \left( (25 - (y - 5) \cdot (y - 5)) \cdot \cos(2 \cdot (y - 5)) \right) + 50$$

**Zadanie 1:** Ograniczenia na zmienne:  $0 \leq x \leq 10$ ,  $0 \leq y \leq 10$ ;

**Zadanie 2:** Ograniczenia na zmienne:  $0 \leq x \leq 5$ ,  $0 \leq y \leq 5$ ;

Wpisz powyższą funkcję i dla obydwu zadań:

- Przyjmij liczebność populacji (*population size*) równą **30** i liczbę pokoleń (*Last generation*) równą **30**.
- Wprowadź następujące operatory i parametry:
  - ♦ krzyżowanie proste (*simple crossover*),  $p_{sc}=0.1$
  - ♦ krzyżowanie arytmetyczne (*arithmetic crossover*),  $p_{ac}=0.1$ ;
  - ♦ krzyżowanie (*heuristic crossover*),  $p_{hc}=0.1$ ;
  - ♦ mutacja równomierna (*uniform mutation*),  $p_{um}=0.01$ ;
  - ♦ mutacja nierównomierna (*non-uniform mutation*),  $p_{nm}=0.01$ ;
  - ♦ mutacja brzegowa (*boundary mutation*),  $p_{bm}=0.01$ ;
  - ♦ funkcja kary: kara śmierci (*death penalty*);
- Przeprowadź **pięciokrotnie** obliczenia dla następujących wariantów reprodukcji:
  - ♦ reprodukcja proporcjonalna (metoda koła ruletki) (*roulette wheel method*);
  - ♦ reprodukcja rangowa (*rank selection*) dla różnych wartości współczynnika naporu selekcyjnego;
  - ♦ reprodukcja turniejowa (*tournament selection*) dla różnych wartości prawdopodobieństw.
- W drugim zadaniu obliczenia powtórz (ostatnie 10 wierszy tabeli 2) dla selekcji rangowej **wyłączając mutację brzegową i zwiększając  $p_{um}$  do 0.02**.
- Wypełnij tabelę 1 dla zadania 1 i tabelę 2 dla zadania 2.



Tym razem (ze względu na ilość danych) nie musisz kopiować żadnych plików...

## Sprawozdanie

- Sprawozdanie ma być dostarczone wyłącznie w formie elektronicznej.
- Nazwa pliku wg wzorca: OE\_lab5\_Jan\_Iksinski.doc/pdf.
- Strona pierwsza to strona tytułowa.
- W sprawozdaniu należy zamieścić:
  1. Cel ćwiczenia.
  2. Optymalizowane funkcje (w tym ich postaci graficzne) oraz ograniczenia na zmienne.
  3. Parametry AE.
  4. Skan/fotografię protokołu.
  5. Opracowanie statystyczne wyników (wartości średnie i odchylenia standardowe dla 5 przebiegów).
  6. Wnioski z ćwiczenia z podziałem na wnioski dotyczące zadania 1, zadania 2 oraz wnioski wspólne dla obu zadań.

## Literatura i źródła

- [1] J. Arabas: Wykłady z algorytmów ewolucyjnych. WNT, Warszawa, 2003.
- [2] Z. Michalewicz: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. WNT, Warszawa, 1996.
- [3] L. Rutkowski: Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN, Warszawa, 2006.
- [4] J. H. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence, MIT Press, Cambridge, 1992 (1975).

## Protokół do laboratorium 5: Wpływ reprodukcji na skuteczność poszukiwań AE

Imię i nazwisko	Rok ak.	Gr.	Sem.	Komp.	Data	Podpis prowadzącego
_____	20__/__	AB3	I	_____	_____	

Tabela 1. Wyniki dla zadania 1

L.p.	Rodzaj reprodukcji	Parametry	Wartość f. celu najlepszego osobnika	x[1]	x[2]	Znaleziono w pokole- niu:
1	ruletkowa					
2						
3						
4						
5						
6	turniejowa	prawdop. = 0.2				
7						
8						
9						
10						
11		prawdop. = 0.6				
12						
13						
14						
15						
16	rangowa	wsp. naporu = 0.1				
17						
18						
19						
20						
21		wsp. naporu = 0.7				
22						
23						
24						
25						

Notatki :

## Protokół do laboratorium 5: Wpływ reprodukcji na skuteczność poszukiwań AE

Tabela 2. Wyniki dla zadania 2

L.p.	Rodzaj reprodukcji	Parametry	Wartość f. celu najlepszego osobnika	x[1]	x[2]	Znaleziono w pokole- niu:
1	ruletkowa					
2						
3						
4						
5						
6	turniejowa	prawdop. = 0.2				
7						
8						
9						
10						
11		prawdop. = 0.6				
12						
13						
14						
15						
16	rangowa	wsp. naporu = 0.1				
17						
18						
19						
20						
21		wsp. naporu = 0.7				
22						
23						
24						
25						
26	rangowa bez mutacji brzegowej	wsp. naporu = 0.1				
27						
28						
29						
30						
31		wsp. naporu = 0.7				
32						
33						
35						
35						