



Katedra Wytrzymałości Materiałów
i Metod Komputerowych Mechaniki
www.kwmimkm.polsl.pl

Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

OBLICZENIA EWOLUCYJNE

LABORATORIUM 4: Wpływ operatorów mutacji na skuteczność poszukiwań AE

opracował: dr inż. Witold Beluch
witold.beluch@polsl.pl

Cel ćwiczenia

Wykonując ćwiczenia laboratoryjne przeprowadzisz badania, w wyniku których określisz wpływ różnych operatorów mutacji na skuteczność poszukiwań optimum za pomocą algorytmu ewolucyjnego (AE). Sprawdzisz działanie algorytmu dla wybranej funkcji celu przy różnych zakresach zmiennych (czyli różnych obszarach poszukiwań) stosując zarówno każdy z dostępnych w programie *Evolutionary Algorithms* operatorów mutacji osobno jak i wszystkie jednocześnie.

Trochę teorii

Mutacja jest operatorem genetycznym, który tworzy nowe osobniki poprzez modyfikacje genów istniejących osobników. W przypadku kodowania binarnego, jakie typowo stosowane jest w prostym algorytmie genetycznym, mutacja bitowa zmienia wartość wylosowanego genu (bitu) na przeciwną. Dla innych rodzajów kodowania istnieje cały szereg różnorodnych operatorów mutacji¹. W programie *Evolutionary Algorithms* mamy do czynienia z kodowaniem rzeczywistoliczbowym zmiennych.

Z mutacją jest związany parametr zwany *prawdopodobieństwem mutacji* p_m określający, z jakim prawdopodobieństwem dany gen zostanie zmodyfikowany. Dla każdego genu każdego osobnika w populacji jest generowana liczba pseudolosowa r z przedziału $[0,1]$. Jeśli $r < p_m$ to dany gen jest modyfikowany. Operatory mutacji należą do operatorów jednoargumentowych, czyli takich, które do swego działania nie potrzebują więcej, niż jednego osobnika (jak zapewne pamiętasz operatory krzyżowania są zwykle operatorami dwuargumentowymi).

Poniżej omówiono te operatory mutacji, które zostały zaimplementowane w programie *Evolutionary Algorithms* oraz dodatkowo mutację gaussowską. Wszystkie opisane operatory są powszechnie stosowanymi operatorami mutacji w przypadku kodowania rzeczywistoliczbowego.

Mutacja równomierna

Mutacja równomierna jest operatorem, który zmienia wybrany do modyfikacji gen w chromosomie w ten sposób, że gen ten przyjmuje wartość losową z rozkładem równomiernym z dopuszczalnego przedziału dla tego genu (typowo z przedziału dla zmiennej, którą ten gen reprezentuje). Mutacja ta tworzy osobnika **Y** z osobnika **X** w następujący sposób:

$$Y = [X_1, \dots, X'_k, \dots, X_n]$$

gdzie X'_k – zmutowany gen X_k , taki że $X'_k = \langle L(k), P(k) \rangle$, zaś $L(k)$ i $P(k)$ to odpowiednio lewy i prawy kraniec dopuszczalnego przedziału dla danego genu.

Operator ten powoduje duże modyfikacje genów a tym samym i osobników. Jest zatem operatorem mutacji szczególnie użytecznym w początkowej fazie działania AE, gdy pożądane jest szerokie przeszukiwanie obszaru poszukiwań optimum, czyli w fazie eksploracji AE.

¹ W tomie 2 serii sześciu książek „Algorytmy genetyczne. Kompendium” Tomasza Gwiazdy [4] opisano ok. 140 różnych operatorów mutacji...

✚ Mutacja nierównomierna

Mutacja równomierna jest operatorem należącym do grupy tzw. operatorów ze strojeniem, to jest takich, których działanie jest modyfikowane w kolejnych pokoleniach. W tym przypadku nie mamy do czynienia z samoczynną adaptacją operatora (operator nie zmienia swego działania w zależności od tego, jak zmienia się populacja), lecz ze stałą modyfikacją zachodzącą w kolejnych pokoleniach.

Mutacja ta tworzy osobnika \mathbf{Y} z osobnika \mathbf{X} w następujący sposób, że:

$$\mathbf{Y} = [X_1, \dots, X'_k, \dots, X_n]$$

gdzie X'_k – zmutowany gen X_k , taki że:

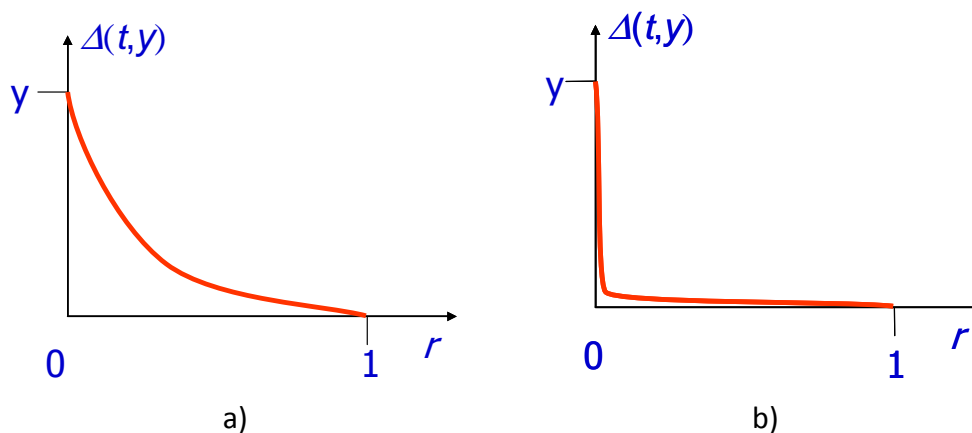
$$X'_k = \begin{cases} X_k + \Delta(t, P(k) - X_k) & \text{gdy wylosowano 0} \\ X_k - \Delta(t, X_k - L(k)) & \text{gdy wylosowano 1} \end{cases}$$

gdzie t jest numerem pokolenia.

Funkcja $\Delta(t, y)$ przyjmuje wartości z przedziału $[0, y]$ – prawdopodobieństwo, że ta wartość jest bliska 0 wzrasta wraz z numerem pokolenia według zależności (patrz Rys. 1):

$$\Delta(t, y) = y(1 - r^{(1-t/T)b})$$

gdzie: r jest liczbą losową z przedziału $[0, 1]$, T jest najwyższym numerem pokolenia, b jest pewnym parametrem systemu (określającym stopień niejednorodności).



Rys. 1 Zależność funkcji $\Delta(t, y)$ od wartości r dla: a) początkowej fazy działania AE, b) końcowej fazy działania AE

✚ Mutacja brzegowa

Mutacja brzegowa jest operatorem szczególnie użytecznym, jeśli rozwiązanie optymalne leży na brzegu lub w pobliżu brzegu obszaru poszukiwań. Mutacja ta tworzy osobnika \mathbf{Y} z osobnika \mathbf{X} w następujący sposób, że:

gdzie X'_k – zmutowany gen X_k , taki że:

$$X'_k = \begin{cases} L(k) & \text{gdy wylosowano 0} \\ P(k) & \text{gdy wylosowano 1} \end{cases}$$

Mutacja gaussowska

Mutacja gaussowska jest operatorem modyfikującym wybrany do zmutowania gen w ten sposób, że przyjmuje on wartość losową z rozkładem Gaussa (normalnym) o wartości oczekiwanej równej wartości przed mutacją:

$$Y = [X_1, \dots, X'_k, \dots, X_n^2]$$


gdzie X'_k – zmutowany gen X_k , taki że:

$$X'_k = X_k + N(0, \sigma)$$

Parametr σ może zależeć od przedziału dla danego genu/zmiennej (często przyjmuje się, że σ jest równe 1/10 długości tego przedziału). Czasami przyjmuje się również, iż wartość σ zależy od numeru pokolenia, zmniejszając się w kolejnych pokoleniach. W takim przypadku jest to, podobnie jak mutacja nierównomierna, rodzaj mutacji ze strojeniem.

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:

$$f_1(x, y) = 35 - (x \cdot x + y \cdot y - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x - 1) - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot y - 1))$$

Zadanie 1: Ograniczenia na zmienne: $-2.2 < x < 2.2$, $-2.2 < y < 2.2$;

Zadanie 2: Ograniczenia na zmienne: $0 < x < 2.2$, $0 < y < 2.2$;

Wpisz powyższą funkcję i dla obydwu zadań:

- Przyjmij liczebność populacji (*population size*) równą **20** i liczbę pokoleń (*Last generation*) równą **50**.

- Wprowadź następujące parametry:
 - ♦ krzyżowanie proste (*simple crossover*), $p_{sc}=0.3$
 - ♦ pozostałe operatory krzyżowania nieaktywne;
 - ♦ funkcja kary: kara śmierci (*death penalty*);
 - ♦ selekcja: turniejowa (*tournament selection*), $p_{ts}=0.1$.
- Przeprowadź **trzykrotnie** obliczenia dla następujących operatorów mutacji:
 - ♦ jedynie mutacja równomierna (*uniform mutation*), $p_{um}=0.03$;
 - ♦ jedynie mutacja nierównomierna (*non-uniform mutation*), $p_{nm}=0.03$;
 - ♦ jedynie mutacja brzegowa (*boundary mutation*), $p_{bm}=0.03$;
 - ♦ wszystkie powyższe ($p_{um}=0.01$, $p_{nm}=0.01$, $p_{bm}=0.01$).
- Wypełnij tabelę 1 dla zadania 1 i tabelę 2 dla zadania 2.



Dla każdego wiersza tabeli oprócz wpisania do niej odpowiednich wartości skopiuj do dowolnego folderu (na dysku lub przenośnym nośniku danych) plik z najlepszymi osobnikami w danym pokoleniu (*bes_popu.dat*). Jeśli zapomnisz zapisać plik dla danego wiersza tabeli – powtórz obliczenia i zapisz odpowiedni plik, gdyż wyniki w tabeli muszą się zgadzać z plikami.

Sprawozdanie

- Sprawozdanie ma być dostarczone wyłącznie w formie elektronicznej.
- Nazwa pliku wg wzorca: OE_lab4_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. Wykresy wartości funkcji celu najlepszych osobników w kolejnych pokoleniach (po 12 na jednym wykresie) wygenerowane na podstawie posiadanych plików oraz wartości uśrednione z 3 przebiegów (po 4 na jednym wykresie).
 6. Wnioski z ćwiczenia z podziałem na wnioski dotyczące funkcji 1, funkcji nr 2 oraz wnioski wspólne dla obu funkcji.

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] T. Gwiazda: Algorytmy genetyczne. Kompendium. T. 2. Operator mutacji dla problemów numerycznych. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007.
- [5] 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 4: Wpływ operatorów mutacji 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 mutacji	Wartość f. celu najlepszego osobnika	x[1]	x[2]	Znaleziono w pokoleniu:
1	równomierna				
2					
3					
4	nierównomierna				
5					
6					
7	brzegowa				
8					
9					
10	r+n+b				
11					
12					

Tabela 2. Wyniki dla zadania 2

L.p.	Rodzaj mutacji	Wartość f. celu najlepszego osobnika	x[1]	x[2]	Znaleziono w pokoleniu:
1	równomierna				
2					
3					
4	nierównomierna				
5					
6					
7	brzegowa				
8					
9					
10	r+n+b				
11					
12					

Notatki (na drugiej stronie):