

Obliczenia inspirowane Naturą

Wykład 08 - Ewolucja i optymalizacja

Jarosław Miszczak

IITiS PAN Gliwice

21/04/2016

Na poprzednim wykładzie

- 1 Zasady działania algorytmów genetycznych
- 2 Operatory genetyczne
- 3 Zastosowanie w programowaniu

- 1 Algorytmy ewolucyjne
 - Metaheurystyka
 - Motywacja biologiczna
 - Zasada działania
 - Klasyfikacja metod
- 2 Strategie ewolucyjne
 - Reprezentacja
 - Strategia (1+1)
 - Notacja
 - Strategia ($\mu + \lambda$)
 - Strategia (μ, λ)
 - Zalecenia
- 3 Ewolucja programów

Algorytmy ewolucyjne

Metaheurystyka

Metaheurystyka

Schemat tworzenia heurystycznych algorytmów wyszukiwania.

- Algorytmy **heurystyczne** to algorytmy które dają **metodę wyszukiwania rozwiązania**, ale nie gwarantują, iż znalezione rozwiązanie będzie najlepsze.
- Algorytm metaheurystyczny
 - opisuje sposób przechodzenia między możliwymi rozwiązaniami w celu rozwiązania problemu;
 - nie rozwiązuje bezpośrednio żadnego problemu, a jedynie podaje sposób postępowania prowadzący do konstrukcji algorytmu;
 - dają algorytmy **przybliżone** i **probabilistyczne**.

Algorytmy ewolucyjne

Metaheurystyka

Przykłady algorytmów metaheurystycznych (metaheurystyk) to

- algorytmy ewolucyjne – analogia do procesów doboru naturalnego w populacjach organizmów żywych;
 - algorytmy genetyczne – naśladowanie mechanizmów doboru naturalnego i reprodukcji na poziomie genomu;
- algorytmy mrówkowe – naśladowanie zachowania owadów;
- inteligencja roju – naśladowanie zachowań stadnych w dużych grupach organizmów żywych;
- symulowane wyżarzanie – analogia do procesu wyżarzania;
- algorytmy kulturowe i memetyczne – analogia do zmian przekonań w grupach społecznych.

Algorytmy ewolucyjne

Motywacja biologiczna

- Karol Darwin, 1859 – On the Origin of Species, *selekcja naturalna*
- Herbert Spencer, 1864 – Principles of Biology, *survival of the fittest*

Algorytmy ewolucyjne to klasa algorytmów metaheurystycznych opartych na zasadzie doboru naturalnego w populacji.

Algoritmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)
- 3 sposobu budowania populacji;

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)
- 3 sposobu budowania populacji;
- 4 mechanizmu doboru rodziców;

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)
- 3 sposobu budowania populacji;
- 4 mechanizmu doboru rodziców;
- 5 operatorów zmienności (genetycznych);

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)
- 3 sposobu budowania populacji;
- 4 mechanizmu doboru rodziców;
- 5 operatorów zmienności (genetycznych);
- 6 mechanizmu selekcji;

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)
- 3 sposobu budowania populacji;
- 4 mechanizmu doboru rodziców;
- 5 operatorów zmienności (genetycznych);
- 6 mechanizmu selekcji;
- 7 sposobu inicjalizacji;

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

Wszystkie rodzaje algorytmów ewolucyjnych są budowane poprzez dobór

- 1 reprezentacji osobników;
- 2 funkcji celu (dopasowania, przystosowania)
- 3 sposobu budowania populacji;
- 4 mechanizmu doboru rodziców;
- 5 operatorów zmienności (genetycznych);
- 6 mechanizmu selekcji;
- 7 sposobu inicjalizacji;
- 8 warynków zakończenia.

Algorytmy ewolucyjne

Zasada działania

- 1 Wygeneruj losowo początkową populację.
- 2 Określ stopień przystosowania każdego osobnika.
- 3 Dopóki nie jest znalezione rozwiązanie, powtarzaj:
 - Wybierz najlepiej dostosowane osobniki.
 - Wygeneruj nowe osobniki (stosując mutacje i krzyżowanie)
 - Określ stopień przystosowania nowych osobników.
 - Zastąp najgorzej dostosowaną część populacji nowymi osobnikami.

Algorytmy ewolucyjne

Klasyfikacja metod

Rodzaje algorytmów ewolucyjnych:

- algorytmy genetyczne
- programowanie genetyczne
- strategie ewolucyjne
- programowanie ewolucyjne
- ...

Strategie ewolucyjne

- Ingo Rechenberg, Hans-Paul Schwefel, 1968 – optymalizacja numeryczna modeli komputerowych.
- Podstawową zasadą jest **przetrwanie najlepiej dostosowanych** osobników z populacji dostępnych rozwiązań.

Strategie ewolucyjne

Reprezentacja

W porównaniu z algorytmami genetycznymi w strategii ewolucyjnej

- reprezentacja rozwiązań w postaci wektorów zmiennoprzecinkowych;
- deterministyczna selekcja;
- parametry krzyżowania i mutacji są zmienne;
- selekcja jest po rekombinacji.

Strategie ewolucyjne

Strategia (1+1)

- Najprostsza strategia ewolucyjna polega na tworzeniu populacji złożonej z jednego rodzica i jednego potomka.
- Kluczowy jest tutaj sposób mutowania.

Strategie ewolucyjne

Strategia (1+1)

Strategia (1 + 1) jest realizowana następująco:

- Zainicjalizuj $X^{(0)}$ (początkowe rozwiązanie) i $t = 0$.
- Oceń $X^{(0)}$.
- Dopóki nie jest spełniony warunek stopu (czyli rozwiązanie jest niewystarczająco dobre) powtarzaj:
 - Zainicjalizuj $Y^{(t)}$ jako mutację $X^{(t)}$.
 - Jeżeli $Y^{(t)}$ jest lepszy od $X^{(t)}$, to $X^{(t+1)} = Y^{(t)}$.
 - W przeciwnym wypadku $X^{(t+1)} = X^{(t)}$.
 - Uaktualni numer pokolenia $t = t + 1$.

Strategie ewolucyjne

Strategia (1+1)

- Mutacja polega na dodaniu do x_i^t liczby z $\mathcal{N}(0, \sigma_i)$,

$$\mathbf{x}^{t+1} = \mathbf{x}^t + \sigma \xi_i,$$

gdzie ξ_i ma rozkład $\mathcal{N}(0, 1)$, a σ to zasięg mutacji.

- Mutacje na poszczególnych składowych są niezależne.

Strategie ewolucyjne

Strategia (1+1)

Zbieżność

Jeżeli σ nie zmienia się w czasie, to

$$P \left\{ \lim_{t \rightarrow \infty} f(x^{(t)}) = f_{\text{opt}} \right\} = 1,$$

- czyli algorytm zawsze znajdzie najlepsze rozwiązanie
- nie wiadomo natomiast jak długo mu to zajmie.

Strategie ewolucyjne

Strategia (1+1)

Reguła 1/5 sukcesu pozwala na poprawę szybkości zbiegania procedury:

- Reguła ta modyfikuje parametr mutacji.
- Jeżeli w poprzednich k krokach mutacja prowadziła do poprawy w więcej niż 1/5 przypadków, nowy wektor wariancji powinien być zwiększony.

Strategie ewolucyjne

Strategia (1+1)

$$\sigma^{(t+1)} = \begin{cases} c_d \sigma^{(t)} & \text{dla } \phi(k) > 1/5 \\ c_i \sigma^{(t)} & \text{dla } \phi(k) < 1/5 \\ \sigma^{(t)} & \text{dla } \phi(k) = 1/5 \end{cases}$$

Eksperymentalnie dobrane współczynniki: $c_d = 0.82$,
 $c_i = \frac{1}{c_d} = 1.22$.

Strategie ewolucyjne

Notacja

Typ strategii ewolucyjnej specyfikuje się podając $(\mu/\rho^{\dagger}; \lambda)$, gdzie

- μ – liczność populacji macierzystej;
- ρ – ilość członków populacji biorących udział w rekombinacji ($\rho = 1$ oznacza kopiowanie);
- λ – ilość potomków generowanych w iteracji;
- \dagger określa operator selekcji:
 - '+' – wiek osobnika nie ma znaczenia;
 - ',' – wiek jest brany pod uwagę;

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

- Uogólnienie strategii (1 + 1).
- Dodany jest mechanizm modyfikacji zasięgu mutacji – zastępuje regułę 1/5 sukcesów.

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

Strategia ($\mu + \lambda$) jest realizowana następująco:

- Zainicjalizuj $t = 0$ i $X^{(t)}$ (początkowe rozwiązanie)
- Oceń $X^{(t)}$.
- Dopóki rozwiązanie nie jest wystarczająco powtarzaj:
 - Zainicjalizuj $Y^{(t)}$ jako kopię $X^{(t)}$.
 - Zainicjalizuj $Z^{(t)}$ jako wynik mutacji (i krzyżowania) $Y^{(t)}$.
 - Wybierz $X^{(t+1)}$ jako najlepszych μ osobników wśród $X^{(t)} \cup Z^{(t)}$.
 - Uaktualni numer pokolenia $t = t + 1$.

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

- Osobniki kodują dwa chromosomy, czyli mają informację o:
 - zmiennych niezależnych;
 - zasięgu mutacji;
- Pozwala to dostrajanie zmienności cech osobników.

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

W ($\mu + \lambda$) mutacja osobnika przebiega w następujący sposób:

- Wylosuj ξ oraz ξ_i o rozkładzie $\mathcal{N}(0, 1)$.
- Zmodyfikuj wektor zasięgów według reguły:

$$\sigma_i^{(t)} = \sigma_i^{(t-1)} \exp(\tau_0 \xi + \tau_1 \xi_i)$$

- Wylosuj ξ_i o rozkładzie $\mathcal{N}(0, 1)$.
- Zmodyfikuj wektor cech według reguły:

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \sigma_i^{(t)} \xi_i$$

Mutacja dwuetapowa

Pierwszy etap dotyczy mutacji zasięgów zmienności, natomiast w drugim mutowane są wartości zmiennych.

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

Jak wykonywać mutacje?

- Wartości τ_0 i τ_1 są parametrami metody.
- Zalecane wartości to

$$\tau_0 = \frac{K}{\sqrt{2n}} \quad \tau_1 = \frac{K}{\sqrt{2\sqrt{n}}}$$

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

Dodatkowo wprowadzić można operator rekombinacji (czyli krzyżowania)

- Uśrednienie (i wymiana) wartości wektorów zmiennych i zasięgów.
- Osobniki potomne zastępują swoich rodziców.

Strategie ewolucyjne

Strategia ($\mu + \lambda$)

Przykładowo – zastąp wartość wektora wartością uśrednioną:

$$X' = \alpha X + (1 - \alpha)Y$$

$$Y' = \alpha Y + (1 - \alpha)X$$

$$\sigma'_X = \alpha\sigma_X + (1 - \alpha)\sigma_Y$$

$$\sigma'_Y = \alpha\sigma_Y + (1 - \alpha)\sigma_X$$

Strategie ewolucyjne

Strategia (μ, λ)

- W strategii (μ, λ) kolejne generacje są tworzone z pominięciem rodziców.
- W ten sposób każdy osobnik żyje dokładnie przez jeden cykl.
- Nie ma dowodu zbieżności dla (μ, λ).
- Nie ma gwarancji, że najlepsze rozwiązanie nie zostanie zastąpione przez gorsze.

Strategie ewolucyjne

Zalecenia

- Strategia ($\mu + \lambda$) jest zalecana do wykorzystanie przy problemach optymalizacji kombinatorycznej – problemy dyskretne.
- Strategii (μ, λ) lepiej sprawdzają się dla problemów optymalizacji w \mathbb{R}^n .

Ewolucja programów

- 1964, Lawrence J. Fogel – modelowanie gramatyki poprzez automaty skończone.
- 1981, David Fogel – wykorzystanie metod strategii ewolucyjnych do optymalizacji programów.

Ewolucja programów

W programowaniu ewolucyjnym

- nie ma ograniczeń na strukturę osobników, reprezentacja wyniku z problemu – np. sieci neuronowe (o ustalonej topologii) mogą być reprezentowane przez wektor wag;
- struktura programu jest ustalona, a zmieniają się jego parametry;
- programy są oceniane według rangi – liczba gorszych osobników z losowej populacji;
- nie stosuje się krzyżowania.