

Obliczenia i systemy inspirowane biologicznie

WYKŁAD 2

Obliczenia ewolucyjne

- Obliczenia ewolucyjne stanowią podstawową grupę metod inspirowanych biologicznie.
- Obliczenia ewolucyjne oparte są na naśladowaniu Natury w aspekcie procesów ewolucji.
- Wspólną cechą obliczeń ewolucyjnych jest generowanie i analiza, w danym kroku przeszukiwania przestrzeni stanów, wielu rozwiązań (tzw. populacji rozwiązań).
- Istotną cechą obliczeń ewolucyjnych jest również ich losowy charakter.

Obliczenia ewolucyjne

- Rozwiązania poddawane są operacjom analogicznym do tych, które mają miejsce w przypadku organizmów żywych, np.:
 - mutacjom,
 - krzyżowaniu.
- Największą szansę na udział w wydaniu potomstwa lub przejściu do następnego pokolenia mają rozwiązania „najlepiej przystosowane” w danym środowisku.

Obliczenia ewolucyjne

- Podstawowe grupy metod:
 - Algorytmy genetyczne.
 - Strategie ewolucyjne.
 - Programowanie ewolucyjne.
 - Programowanie genetyczne.

Obliczenia ewolucyjne

- Podstawowe różnice między grupami:
 - sposoby reprezentacji osobników (rozwiązań),
 - rola operatorów genetycznych,
 - sposoby tworzenia nowych populacji.

Obliczenia ewolucyjne

Algorytmy genetyczne

- Kodowanie binarne.
- Zasadnicza rola krzyżowania.

Strategie ewolucyjne

- Wektory liczb rzeczywistych.
- Zasadnicza rola mutacji.

Programowanie ewolucyjne

- Tylko mutacja.

Programowanie genetyczne

- Reprezentacje drzewowe.
- Zasadnicza rola krzyżowania.

Podstawowe pojęcia

Populacja – zbiór osobników o określonej liczebności.

Osobniki – zakodowane w postaci chromosomów zbiory parametrów zadania, czyli rozwiązania (punkty przestrzeni poszukiwań).

Chromosom (inaczej: łańcuch, ciąg kodowy) – uporządkowany ciąg genów.

Genotyp (inaczej: struktura) – zespół chromosomów danego osobnika.

Gen (inaczej: cecha) – pojedynczy element genotypu (lub chromosomu).

Fenotyp – zestaw wartości odpowiadających danemu genotypowi, czyli zdekodowana struktura.

Allel – wartość danego genu.

Funkcja przystosowania (inaczej: funkcja dopasowania, funkcja oceny) – miara przystosowania danego osobnika w populacji.

Funkcja przystosowania

- Funkcja przystosowania pozwala ocenić stopień przystosowania poszczególnych osobników w populacji i na tej podstawie wybrać osobniki najlepiej przystosowane (o największej wartości funkcji przystosowania).
- Przykładowe funkcje przystosowania:
 - funkcja celu,
 - funkcja błędu,
 - funkcja kosztu.

Algorytmy genetyczne

- 1957 r. - pierwsze prace Alexa Frasera.
- 1975 r. - popularyzacja algorytmów genetycznych - monografia Johna Hollanda:
Adaptation in Natural and Artificial Systems

Algorytmy genetyczne

- Cel:

Znalezienie optymalnego rozwiązania problemu.

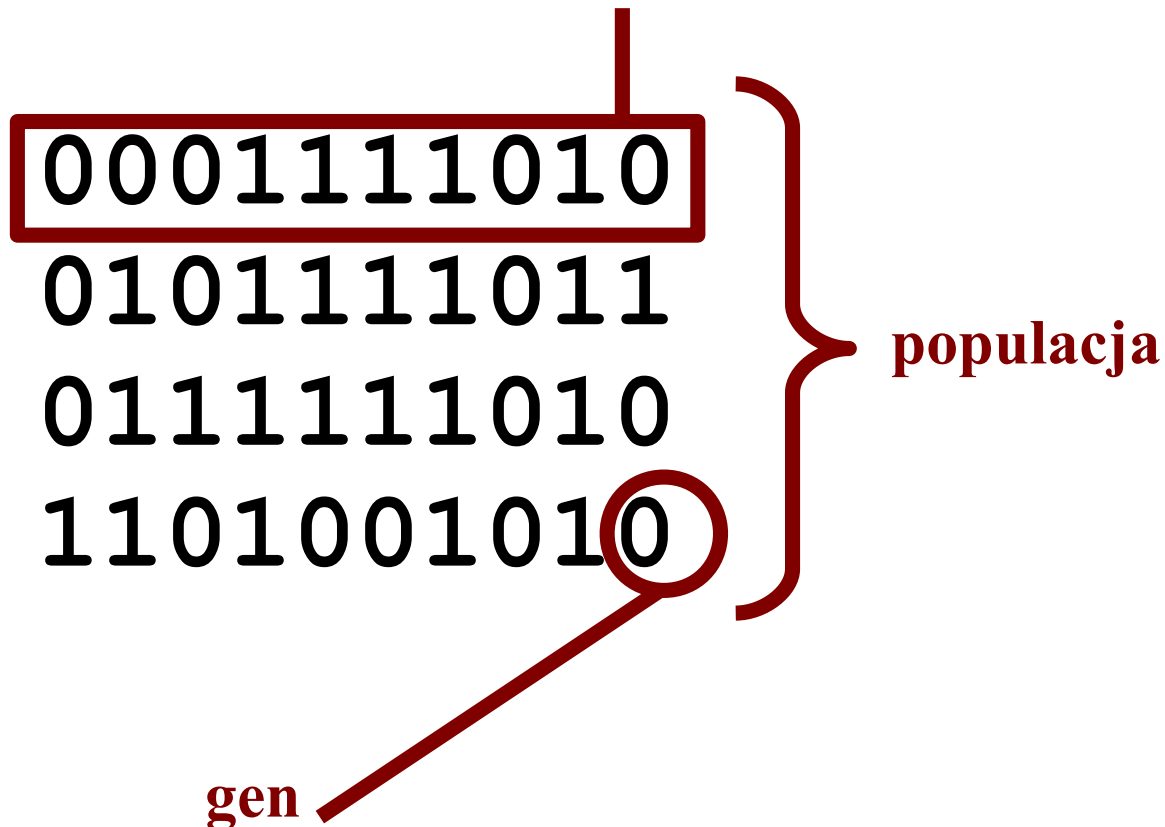
Właściwości algorytmów genetycznych

- Algorytmy genetyczne nie przetwarzają bezpośrednio parametrów zadania, lecz ich zakodowaną postać.
- Algorytmy genetyczne prowadzą poszukiwania, wychodząc nie z pojedynczego punktu, lecz z pewnej ich populacji (pozwala to unikać sytuacji znalezienia ekstremum lokalnego lub „ugrzęźnięcia” w obszarze *plateau*).
- Algorytmy genetyczne korzystają tylko z funkcji celu, nie zaś z jej pochodnych lub innych pomocniczych informacji.
- Algorytmy genetyczne stosują probabilistyczne, a nie deterministyczne reguły wyboru.

Algorytmy genetyczne

W klasycznych algorytmach genetycznych chromosomy są ciągami binarnymi (tj. wartościami genów mogą być tylko 0 albo 1).

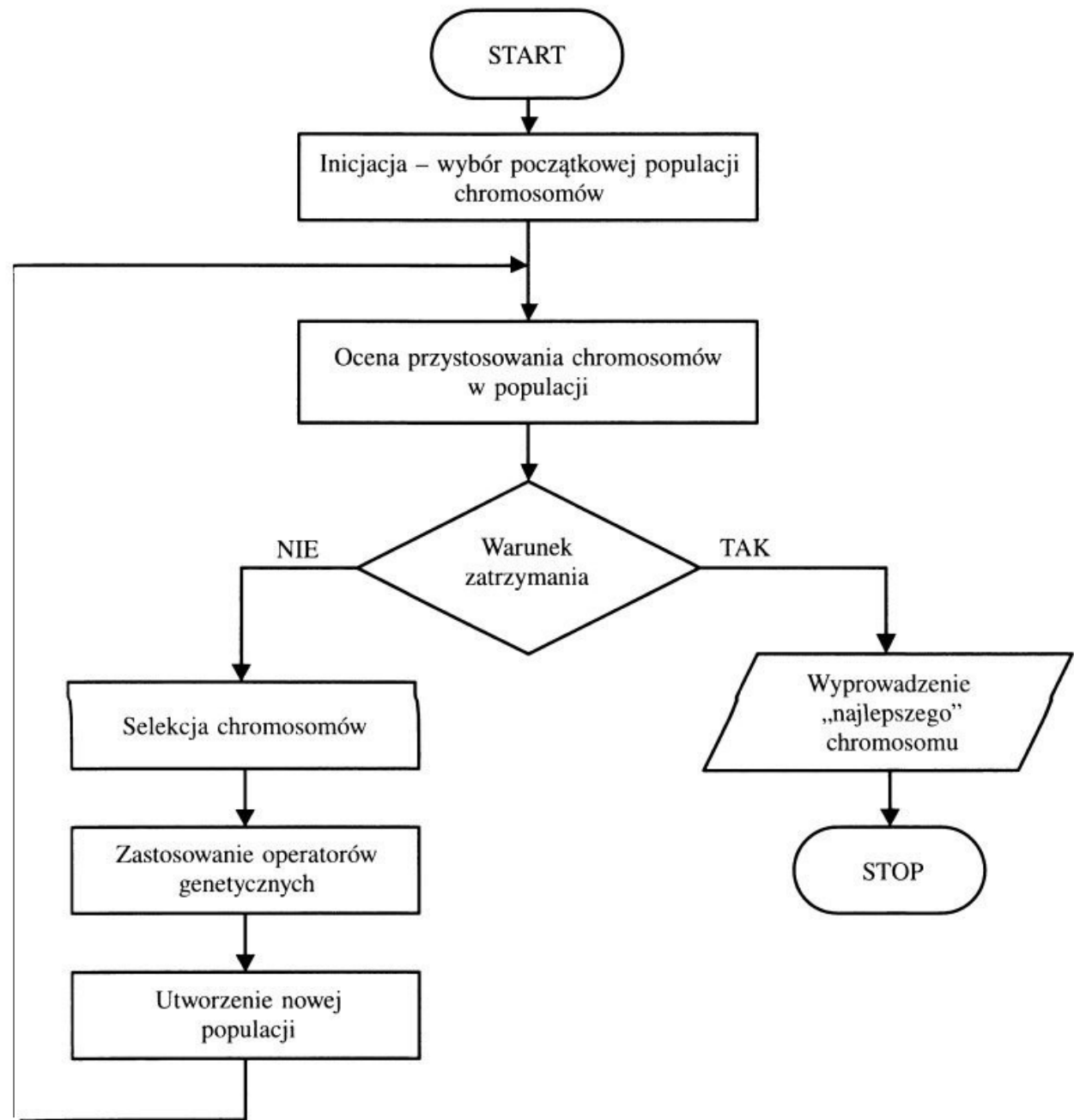
chromosom reprezentujący osobnika (rozwiązanie)



Algorytmy genetyczne

- **Osobnik** \leftrightarrow Reprezentant lepszego lub gorszego rozwiązania problemu.
- **Populacja** \leftrightarrow Zbiór osobników znajdujących się na danym etapie obliczeń w przestrzeni możliwych rozwiązań \leftrightarrow Zbiór potencjalnych rozwiązań problemu.
- **Genotyp** \leftrightarrow Zwykle jeden chromosom kodowany binarnie (taka reprezentacja jest wygodna w przypadku przeszukiwania dyskretnej przestrzeni rozwiązań).

Działanie algorytmu genetycznego



*Źródło: L. Rutkowski
„Metody i techniki
sztucznej inteligencji”.
PWN, Warszawa,
2005.*

Operatory genetyczne

Krzyżowanie

Rodzic 1:

011|10001

Potomek 1:

011|01110

Rodzic 2:

110|01110

Potomek 2:

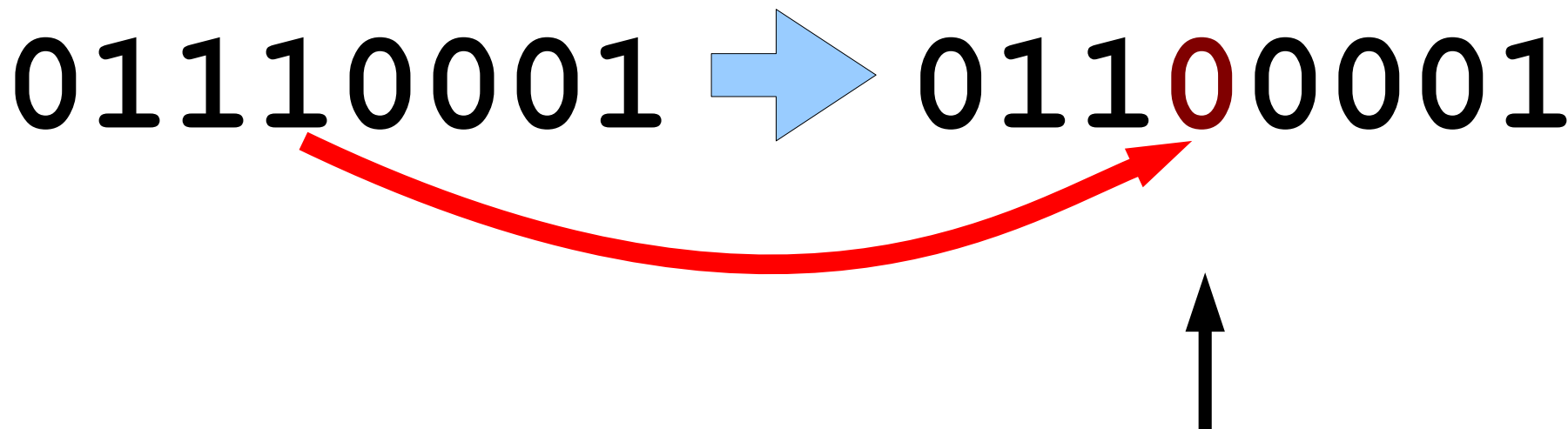
110|10001

↑
Punkt krzyżowania (najczęściej losowany)

Operatory genetyczne

Mutacja

01110001 → 01100001



Mutacja punktowa
(punkt mutacji jest najczęściej losowany)

Operatory genetyczne

- Możliwe również są:
 - krzyżowanie wielopunktowe,
 - mutacja wielopunktowa.

Selekcja osobników

- Selekcja najlepiej przystosowanych osobników dokonywana jest na podstawie wartości funkcji przystosowania.
- Zbiór wyselekcjonowanych osobników stanowi populację rodzicielską. Zbiór ich potomków – populację potomków.

Selekcja osobników

- Losowe metody selekcji
 - **metoda ruletki** - wielkość wycinka koła ruletki odpowiadającego osobnikowi jest wprost proporcjonalna do wartości jego funkcji przystosowania (**wada: osobniki o zerowej funkcji przystosowania są pozbawione jakichkolwiek szans kreacji nowego pokolenia**).

$$p(ch_i) = \frac{F(ch_i)}{\sum_{k=1}^n F(ch_k)}$$

$p(ch_i)$ – prawdopodobieństwo selekcji chromosomu ch_i
 $F(ch_i)$ - funkcja przystosowania chromosomu ch_i

Selekcja osobników

- Losowe metody selekcji (c.d.)
 - **metoda rankingowa** - dwa etapy:
 - lista rankingowa (od osobników najlepiej przystosowanych do osobników najgorzej przystosowanych),
 - metoda ruletki oparta o rangi przypisane osobnikom.

Selekcja osobników

- Losowe metody selekcji (c.d.)
 - **metoda turniejowa** - dwa etapy:
 - osobniki dzielone są na podgrupy dowolnego rozmiaru,
 - z każdej grupy wybierany jest (deterministycznie lub losowo) osobnik o największej wartości funkcji przystosowania.

Strategie ewolucyjne

- Lata 60-te XX w.: Ingo Rechenberg, Hans-Paul Schwefel – badania nad metodami rozwiązywania zadań optymalizacji numerycznej.

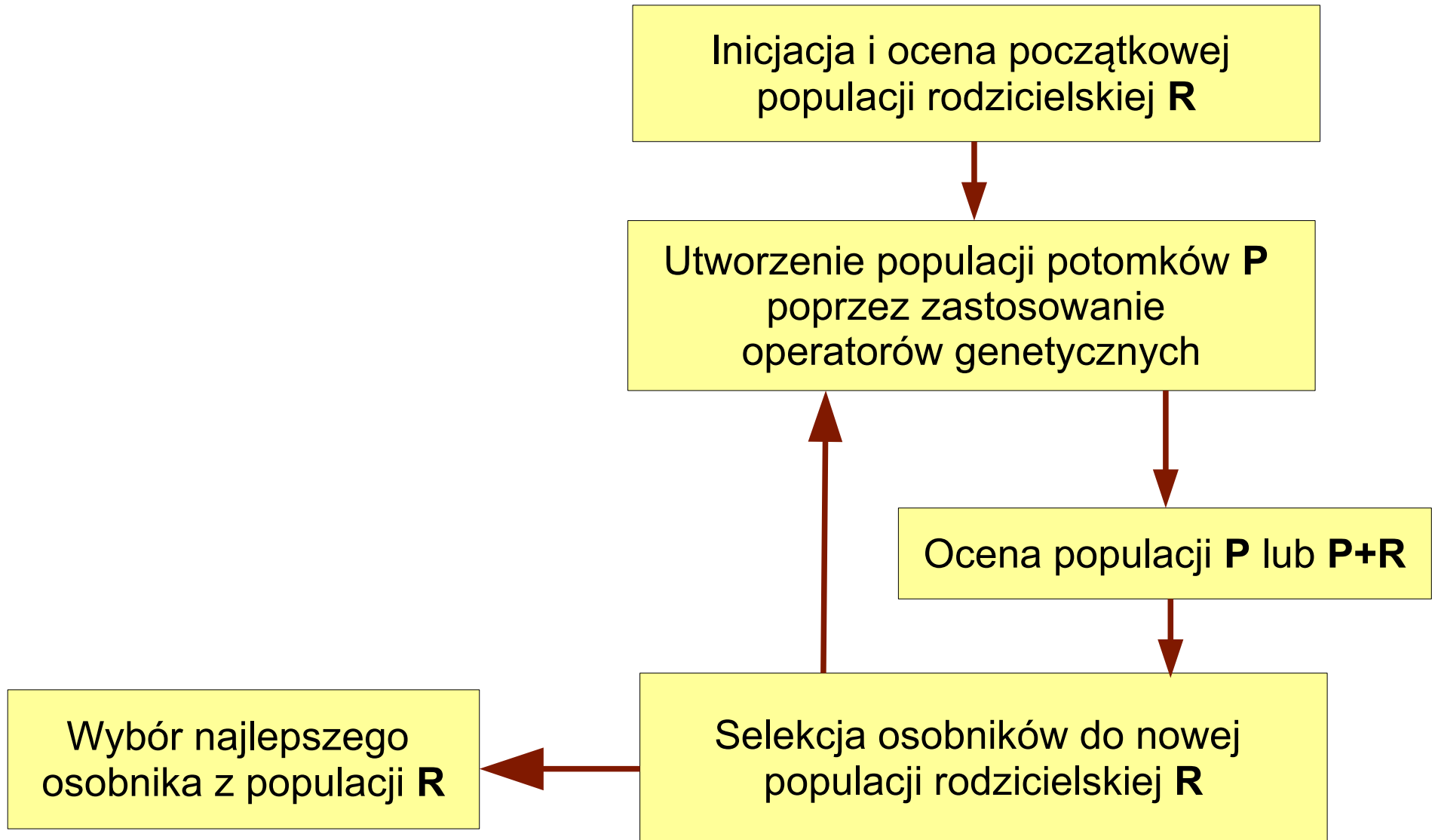
Strategie ewolucyjne

- Osobnik reprezentowany jest przez parę wektorów:

$$(X, \sigma)$$

- $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ - umiejscowienie osobnika w n -wymiarowej ciągłej przestrzeni rozwiązań.
- $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ - ciąg parametrów metody.

Strategie ewolucyjne



Strategie ewolucyjne

- Strategia (1+1)
 - Przetwarzany jest jeden chromosom bazowy x . W każdym kroku powstaje nowy osobnik y . Na etapie selekcji wybierany jest osobnik (spośród osobników x oraz y) z większą wartością funkcji przystosowania.
 - Chromosom y powstaje poprzez dodanie do każdego z genów chromosomu x pewnej liczby losowej generowanej zgodnie z rozkładem normalnym:

$$y_i = x_i + \sigma N_i(0,1)$$

σ -parametr określający zasięg mutacji

Strategie ewolucyjne

- Strategia ($\mu+\lambda$)
 - Początkowa populacja rodzicielska **R** zawiera μ osobników.
 - W każdym kroku tworzona jest λ -elementowa populacja potomków **P**.
 - Na etapie selekcji dokonuje się wyboru μ osobników spośród osobników populacji rodzicielskiej **R** oraz populacji potomków **P** do nowej populacji rodzicielskiej **R**.

Strategie ewolucyjne

- Strategia (μ, λ)
 - Początkowa populacja rodzicielska **R** zawiera μ osobników.
 - W każdym kroku tworzona jest λ -elementowa populacja potomków **P**.
 - Na etapie selekcji dokonuje się wyboru μ osobników spośród osobników populacji potomków **P** do nowej populacji rodzicielskiej **R**.

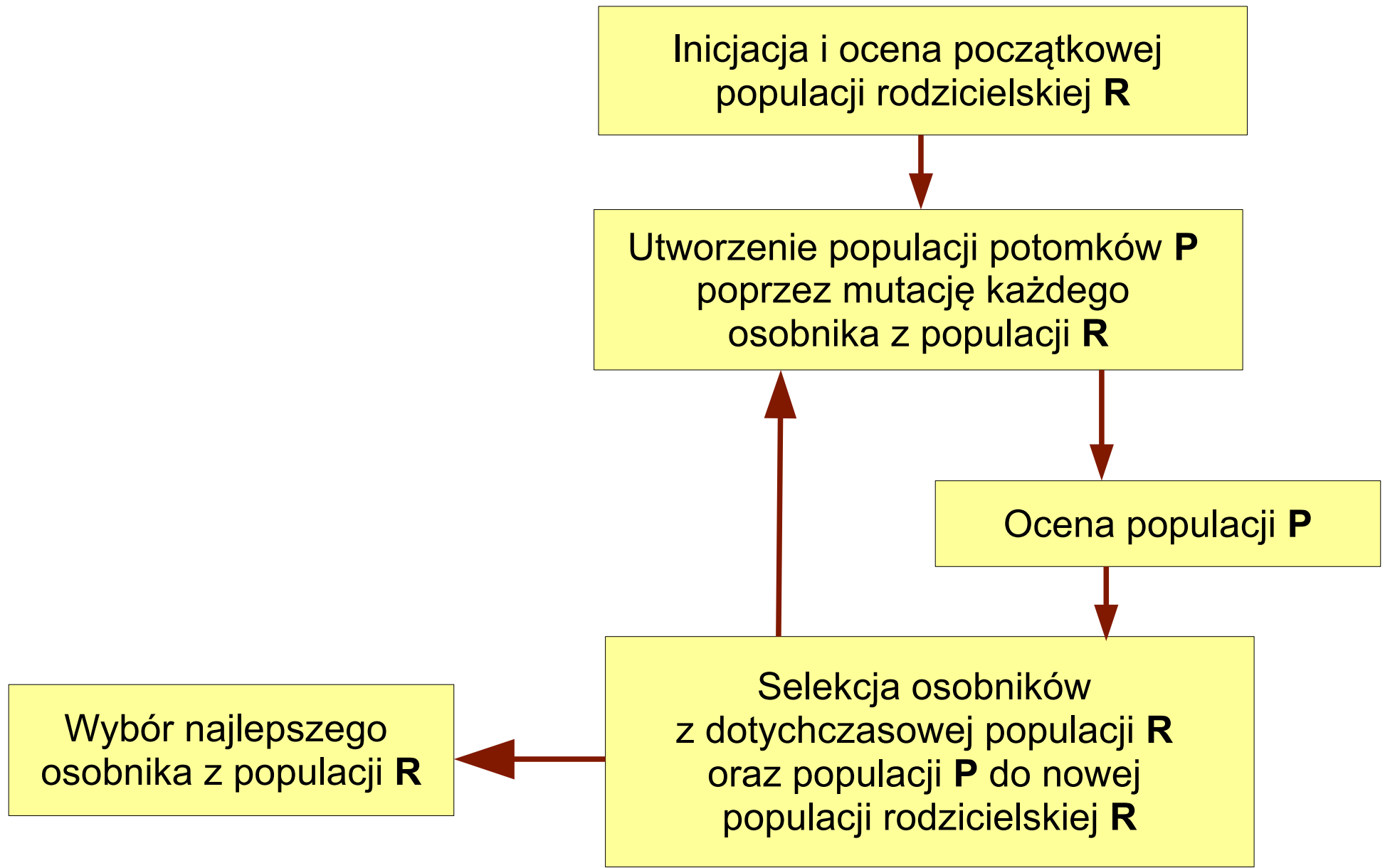
Programowanie ewolucyjne

- 1966 r. - Lawrence J. Fogel – podejście do obliczeń ewolucyjnych nazywane programowaniem ewolucyjnym.

Programowanie ewolucyjne

- Punkty przeszukiwania przestrzeni rozwiązań odpowiadają gatunkom.
- Nie występuje operacja krzyżowania (brak jest krzyżowania pomiędzy gatunkami).
- Mutacje:
 - zmiany radykalne są mało prawdopodobne,
 - słabe zmiany są preferowane.
- Brak jest konkretnej formy reprezentacji osobników. Reprezentacja osobnika powinna być adekwatna do danego problemu.

Programowanie ewolucyjne



Programowanie genetyczne

- 1985 r. - Michael L. Cramer – przedstawienie idei programowania genetycznego
- Lata 90-te XX w.: John Koza – monografia:

Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection

Programowanie genetyczne

- Tworzone są populacje programów.
- Przeszukiwana jest przestrzeń możliwych programów w celu znalezienia najlepszego (według wcześniej zdefiniowanej funkcji oceny).
- Wiedza początkowa: elementarne komponenty, z których budowane są programy (np. operacje arytmetyczne, funkcje matematyczne, instrukcje dostępne w danym języku programowania).
- Konstrukcje programistyczne kodowane są jako struktury drzewiaste.