

Algorytmy genetyczne

Prowadzi: dr inż. Piotr Urbanek

Wprowadzenie

Wszystkie organizmy żyją w określonych przez naturę środowiskach.

Każdy organizm posiada zespół indywidualnych cech, które umożliwiają mu egzystencję i rozwój w określonych warunkach.

Zespół informacji o indywidualnych cechach zapisany jest w materiale genetycznym – genach.

Podczas reprodukcji powstaje nowy organizm, któremu zostaje przekazana informacja zawarta w materiale genetycznym rodziców.

Ogólna zasada w świecie ożywionym – potomek musi mieć przekazany taki materiał genetyczny, aby jego organizm był coraz lepiej przystosowany do życia w środowisku. W przypadku odstępstw od tej zasady organizm nie może się rozmnożyć, a w skrajnym przypadku ginie (środowisko go zabija).

Proces ewolucji

Populacja ryb



Populacja po krzyżowaniu i mutacji

Krzyżowanie

(wybór najlepszy wymiar jest przypał kowy)

P M C T T N N
P D Z N T T N

D D Z T N T W
P M N N N N N

D M C T T T N
P M N N T N N



Dwa osobniki tego typu
genotypy, bo
były najlepiej
przystosowane

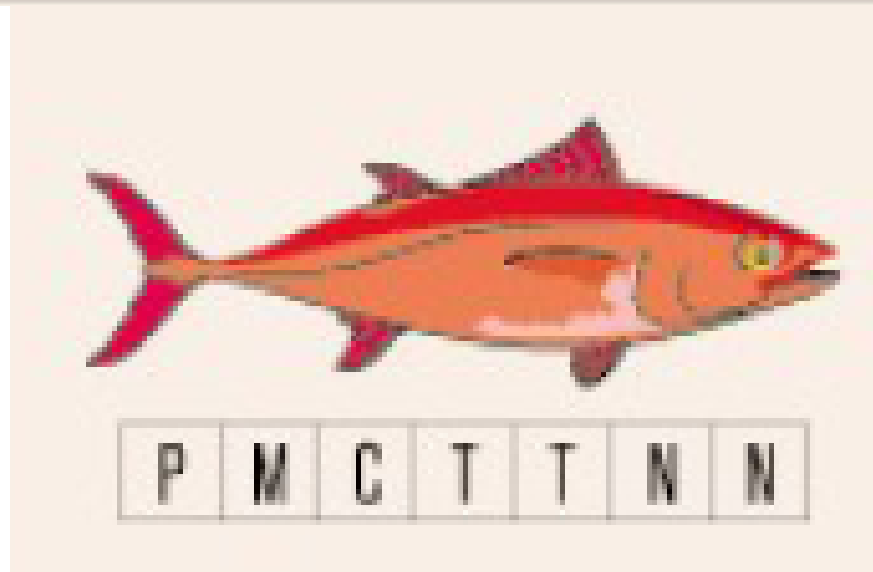
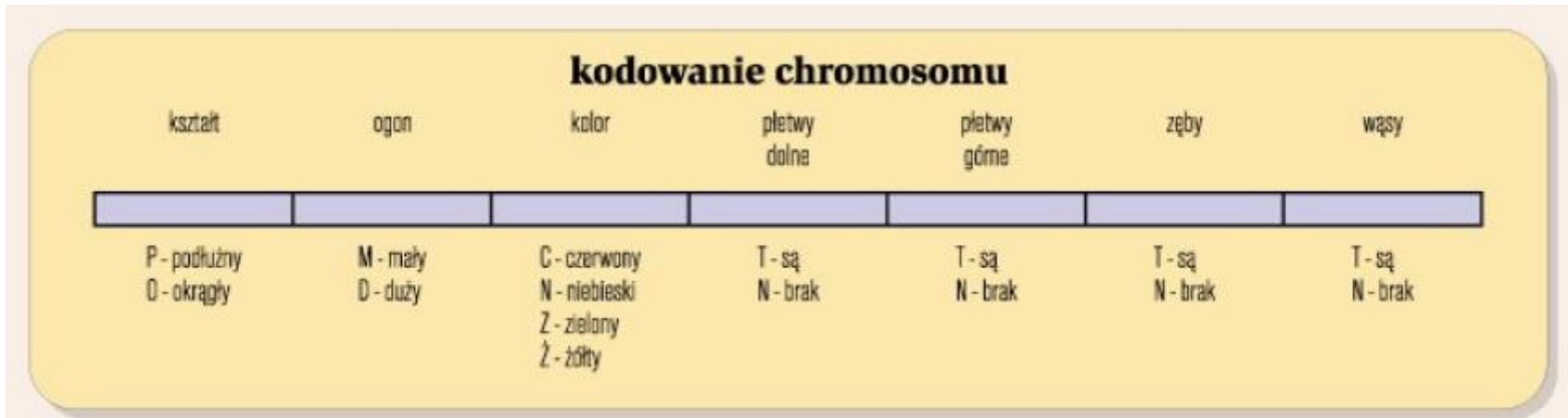
Osobnik tego typu
nie przetrwał
bo był najmniej
przystosowany

W tym przykładzie mutacja powstała stworzył
osobnika, który nie miałby szans
na powodzenie drogą ewolucji

Przyjęto do nowej populacji
preferowane są ryby szybsze
(podobnie z innymi organami),
jakże i szlachetne

Przykład
ilustrujący
główne
idee
ewolucji

Sposób kodowania właściwości ryby w chromosomie



Proces ewolucji

Populacja ryb



Populacja po krzyżowaniu i mutacji

Krzyżowanie

(wybraniejście wymiary jest przypał kowy)

P M C T T N N
P D Z N T T N

D D Z T N T N
P M N N N N N

D M C T T T N
P M N N T N N



Dwa osobniki tego typu
genotypy, bo
byli najlepiej
przystosowani

Osobnik tego typu
nie przetrwał
bo był najmniej
przystosowany

W tym przyrodzie mutacja powstała stworzył
osobnika, który nie miał szans
na powodzenie (drogą ewolucji)

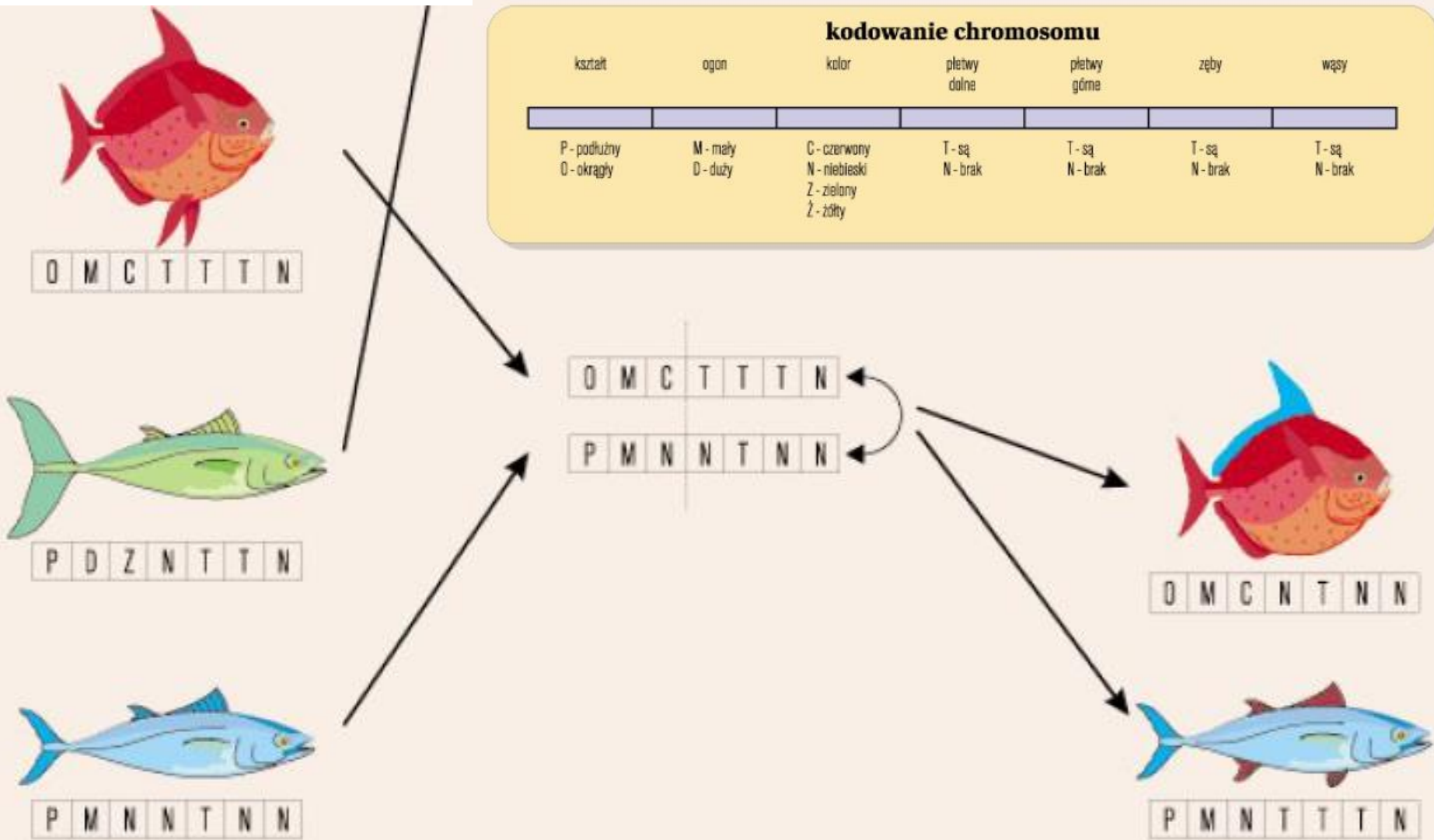
Przyjęto do nowej populacji
preferowane są ryby szybsze
(podobne z małym aparatem),
jeszcze i szata

Mieszanie materiału genetycznego rodziców w celu stworzenia potomka

Mieszanie właściwości ryb w chromosomach

kodowanie chromosomu

kształt	ogon	kolor	plełwy dolne	plełwy górne	zęby	wąsy
P - podłużny O - okrągły	M - mały D - duży	C - czerwony N - niebieski Z - zielony Ż - żółty	T - są N - brak	T - są N - brak	T - są N - brak	T - są N - brak



Proces ewolucji

Populacja ryb



Populacja po krzyżowaniu i mutacji

Krzyżowanie

(wybór najlepszy wymiar jest przypał kowy)

P M C T T N N
P D Z N T T N

D D Z T N T W
P M N N N N N

D M C T T T N
P M N N T N N



Dwa osobniki tego typu
genotypy, bo
były najlepiej
przystosowane

Osobnik tego typu
nie przetrwał
bo był najmniej
przystosowany

W tym przykładzie mutacja powstała stworzył
osobnika, który nie miałby szans
na powodzenie drogą ewolucyjną

Przyjęto do nowej populacji
preferowane są ryby szybsze
(podobnie z małym aparatem),
jaszowe i szata

Koniec ewolucji

Mutacja
pozwała
wytworzyć
osobnika
o cechach
nieobecnych
w populacji

Wynik mutacji w chromosomie i w zakresie właściwości ryby

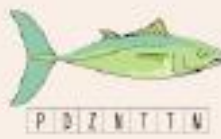


P M Ź T N T **T**

W tym przypadku mutacja pozwala stworzyć osobnika, który nie miałby szans na powstanie drogą ewolucji

Proces ewolucji

Populacja ryb



Krzyżowanie

(wybór najlepszy wymiar jest przypał kowy)

P M C T T N N
P D Z N T T N

D D Z T N T W
P M N N N N N

D M C T T T N
P M N N T N N

Populacja po krzyżowaniu i mutacji



Dwa osobniki tego typu
zmarły, bo
były najmniej
przystosowane

Osobnik tego typu
nie przetrwał
bo był najmniej
przystosowany

W tym przykładzie mutacja powstała stworzył
osobnika, który nie miał szans
na powodzenie drogą ewolucyjną

Przyjęto do nowej populacji
preferowane są ryby szybsze
(podobne z małym aparatem),
jakże i szlachetne

Klucz genetyczny

Wyniki selekcji

Wyniki selekcji



P M C T T T N

Dwa osobniki tego typu przeszły, bo były najlepiej przystosowane



P D Z N T N N

kodowanie chromosomu

kształt ogon kolor płetwy dolne płetwy górne zęby wąsy



P - podłużny	M - mały	C - czerwony	T - są	T - są	T - są	T - są
O - okrągły	D - duży	N - niebieski	N - brak	N - brak	N - brak	N - brak
		Z - zielony				
		Ż - żółty				



O D N N N N N

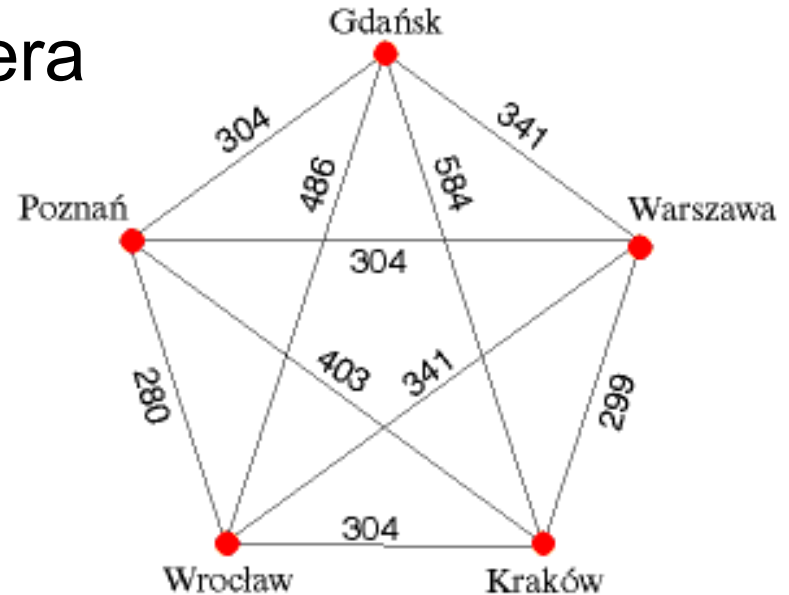
Osobnik tego typu nie przeszedł, bo był najgorzej przystosowany

Istnieje wiele metod optymalizacji, wśród których wyróżnić można metody ukierunkowanego poszukiwania optimum oraz metody poszukiwania przypadkowego.

Rozwiązanie wielu problemów optymalizacji może zajmować bardzo dużo czasu

Przykład: Problem Komiwojażera

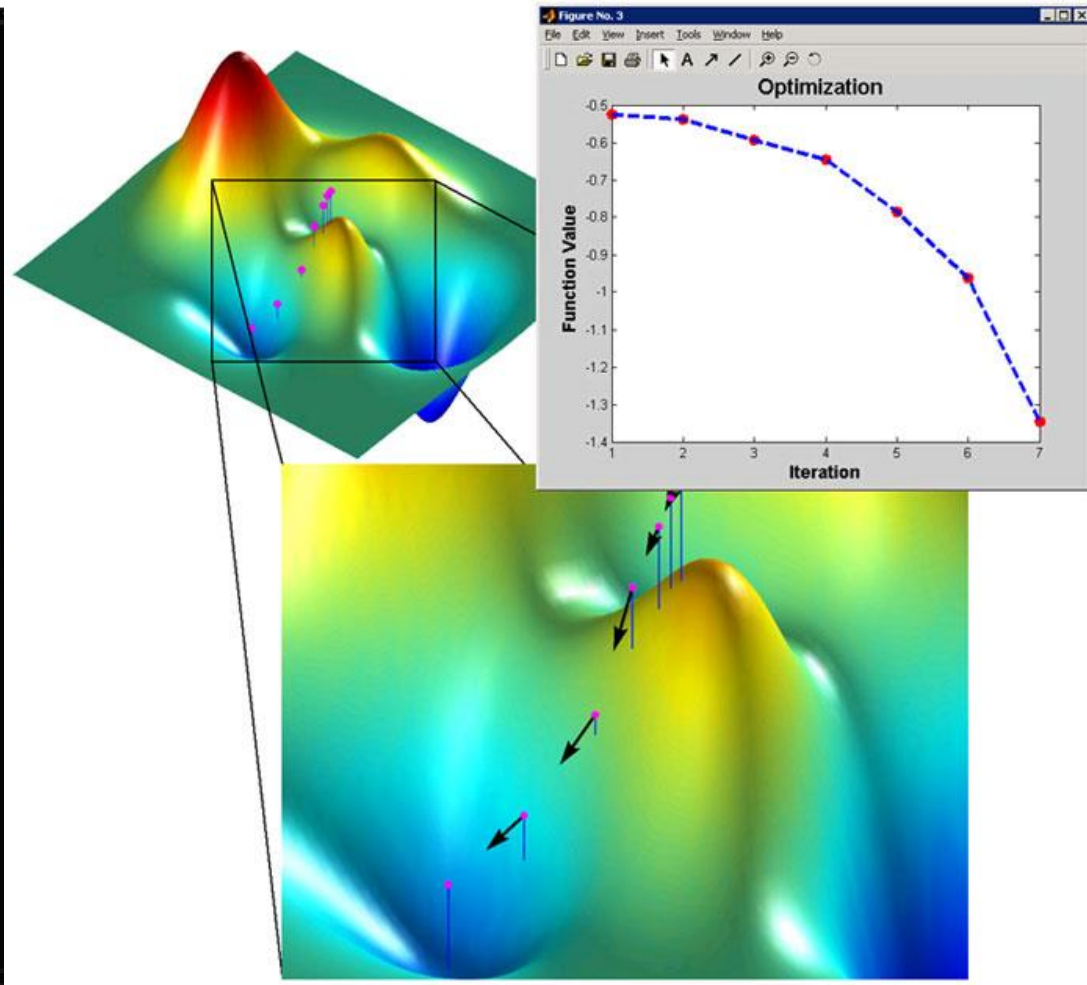
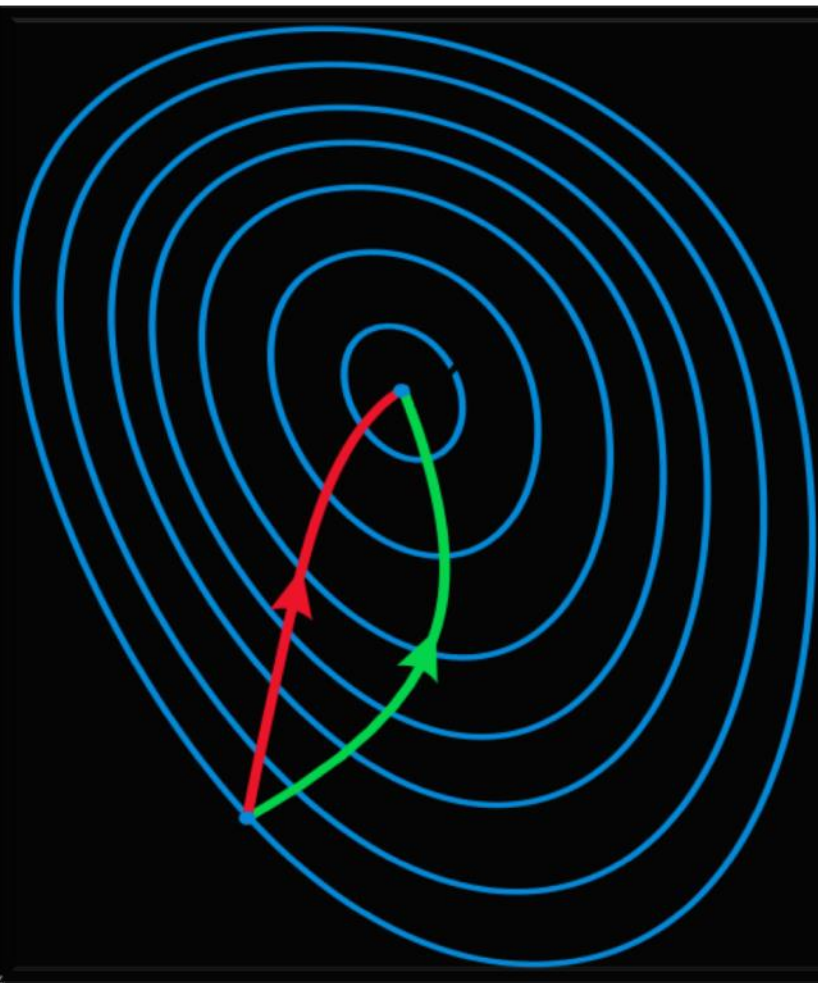
Czas potrzebny do rozwiązania problemu komiwojażera w zależności od ilości miast (przy założeniu, że komputer przetwarza **milion** instrukcji na sekundę)



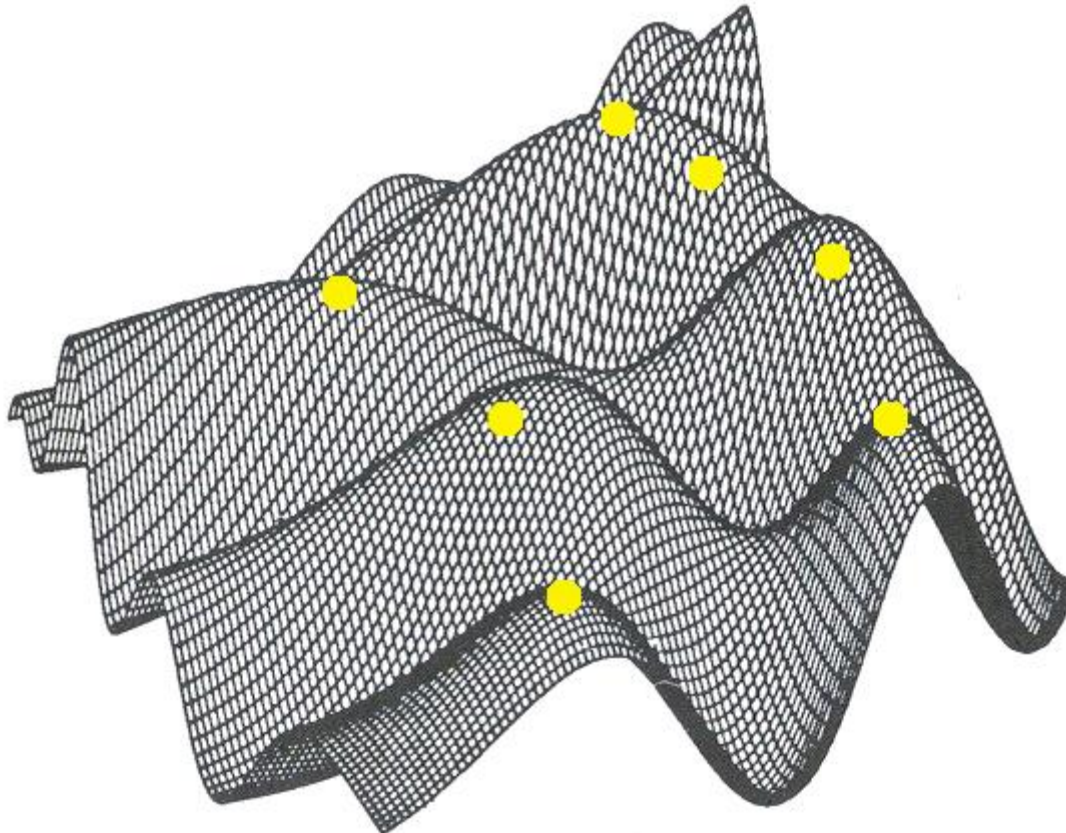
Ilość miast	10	50	100	300
Czas [mikrosekundy]	$\sim 3,6 * 10^6$	$\sim 10^{16}$	$\sim 10^{31}$	$\sim 10^{623}$

Dla porównania – liczba mikrosekund od wielkiego wybuchu, w którym narodził się nasz Wszechświat jest rzędu 10^{24} .

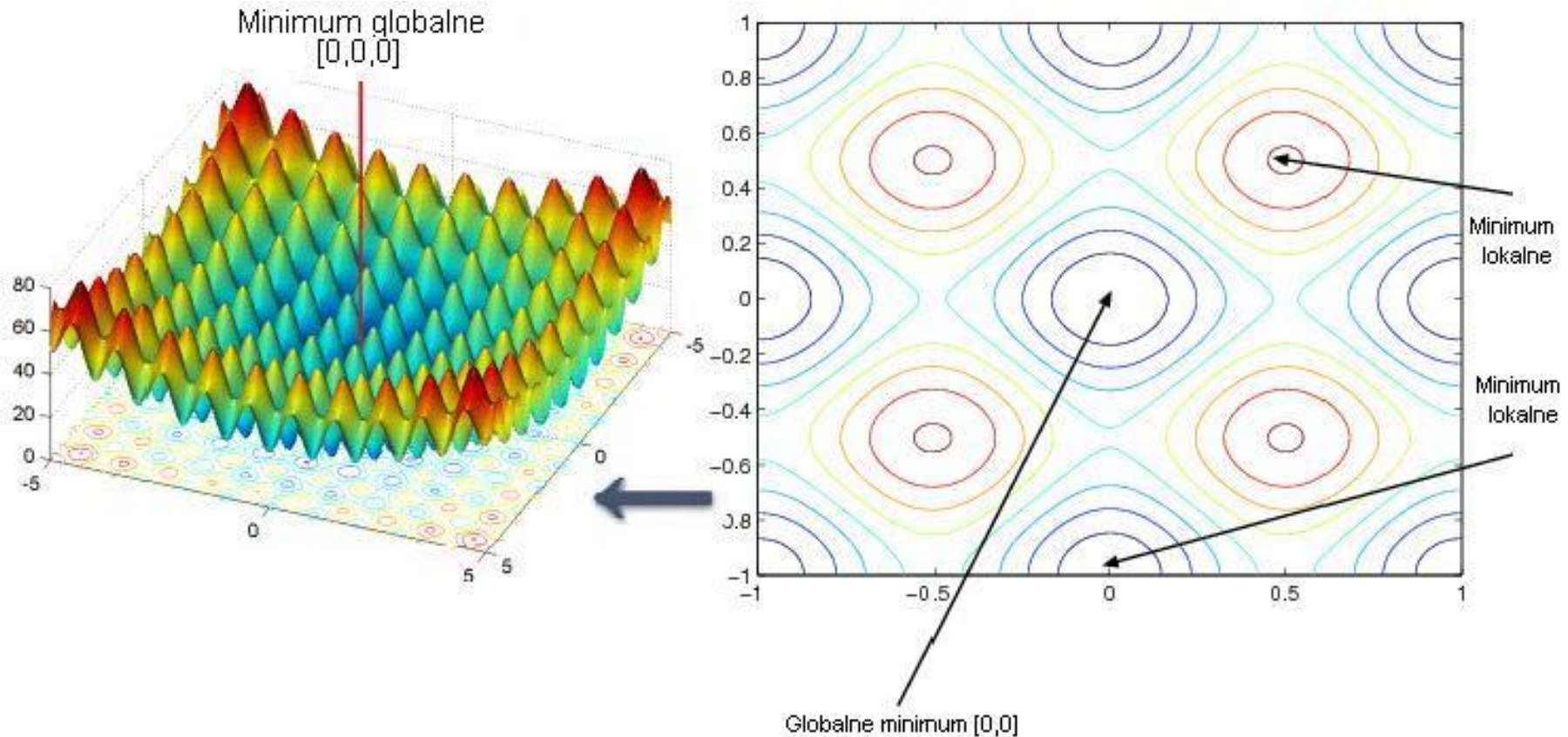
Poszukiwanie ukierunkowane zwykle oparte jest na jakiejś odmianie metody najszybszego spadku



Źródłem problemów przy ukierunkowanej optymalizacji są głównie ekstrema lokalne

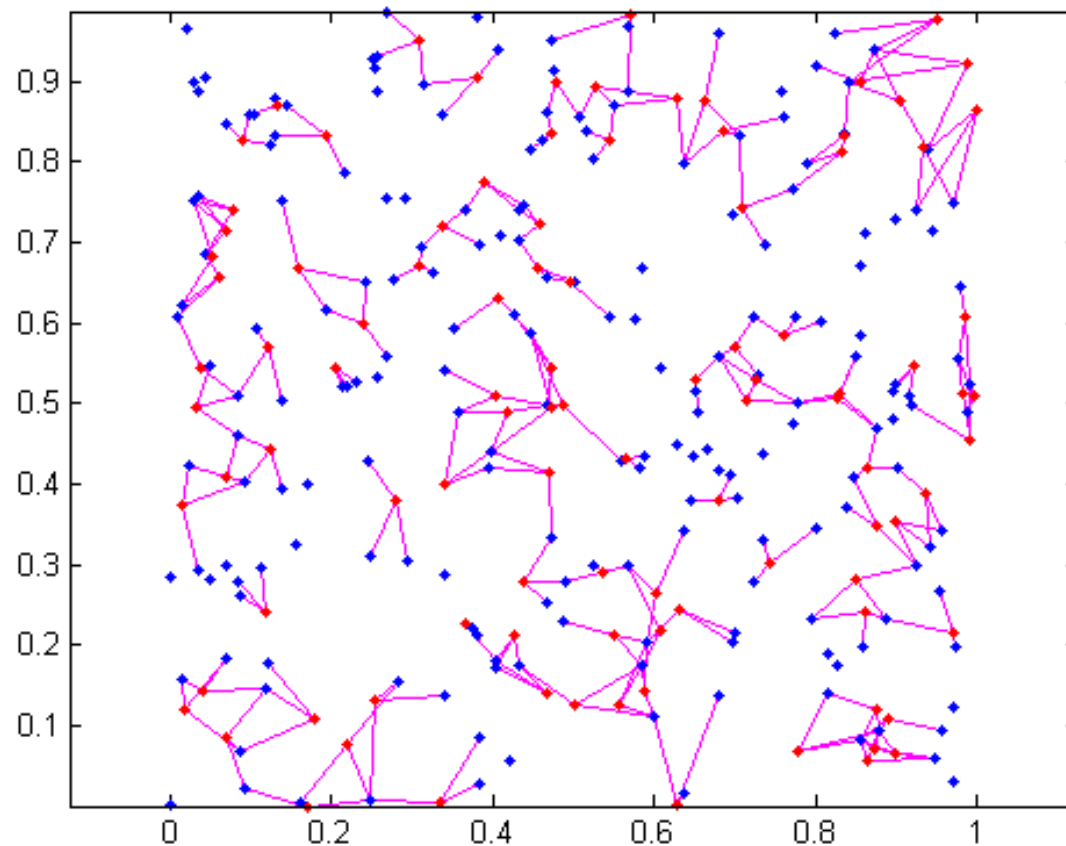


Trudność znalezienia globalnego minimum



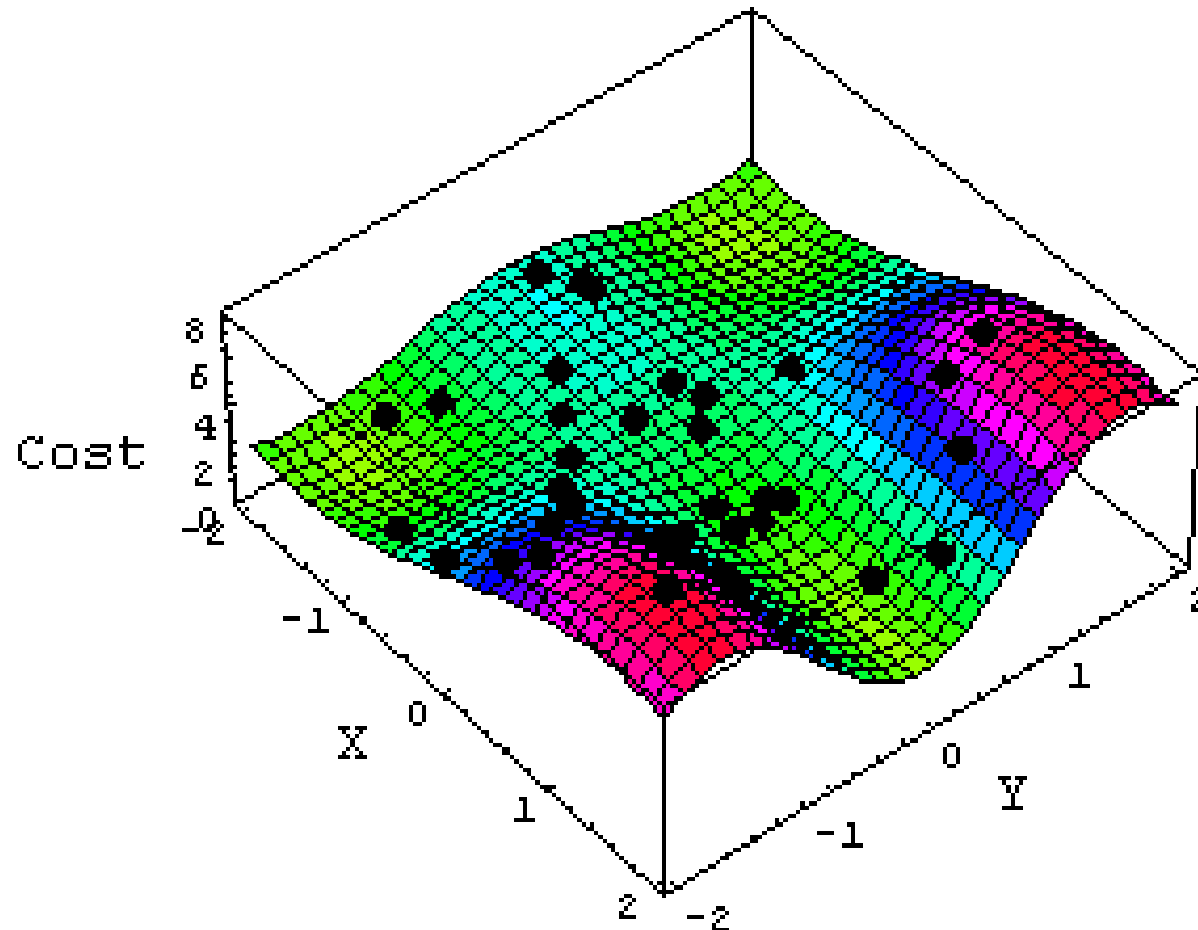
Przedstawiony na rysunku wykres tzw. funkcji Rastrigina obrazuje trudności jakie napotkać można przy poszukiwaniu optimum. Funkcja ta posiada wartość najmniejszą w punkcie $(0,0,0)$, jednak zanim algorytm przeszukiwania znajdzie to minimum globalne, może napotkać wiele minimów lokalnych.

Stochastyczne poszukiwanie rozwiązań nie gwarantuje sukcesu

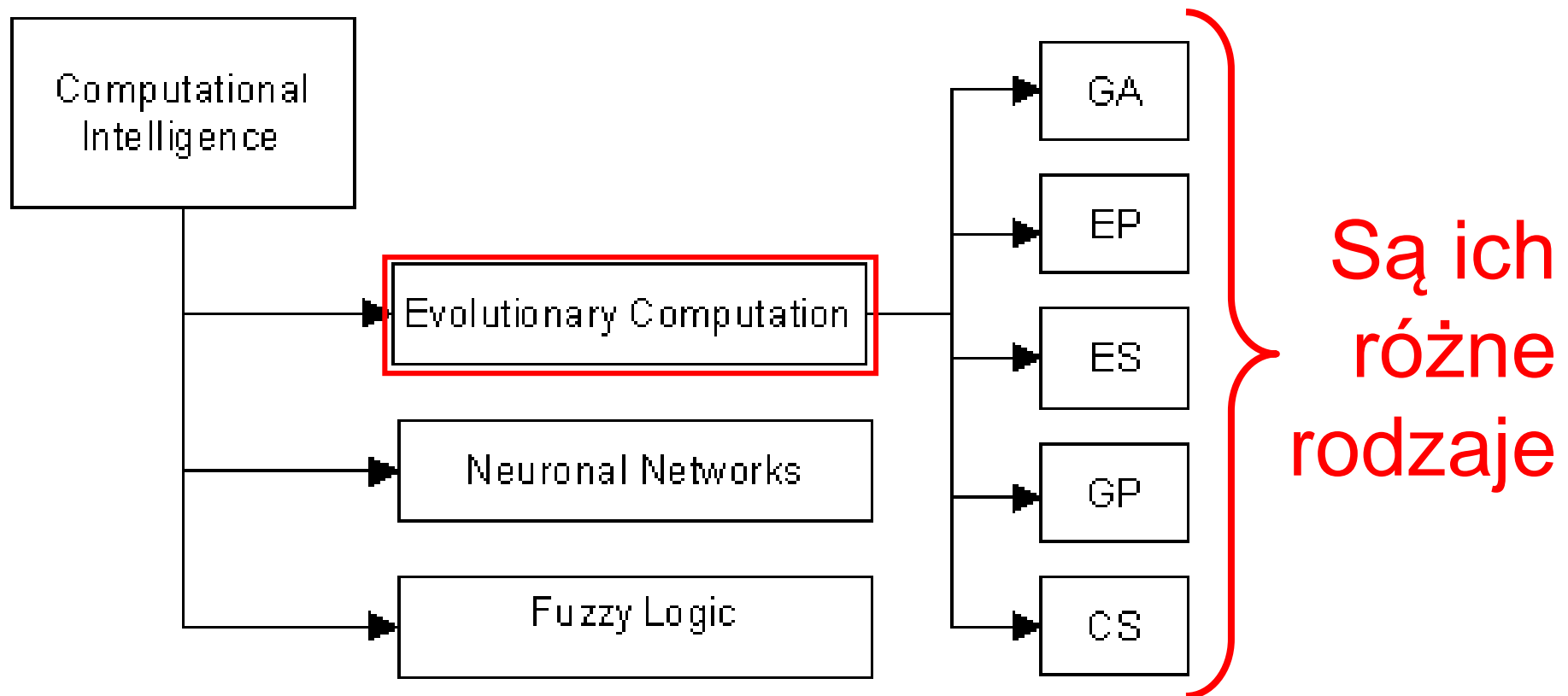


Optymalizacja, wyznaczenie spośród dopuszczalnych rozwiązań danego problemu rozwiązania najlepszego za względu na przyjęte kryterium (wskaźnik) jakości (np. koszt, zysk, niezawodność).

Zaletą algorytmów genetycznych jest to, że jeśli rozważany problem ma **kilka rozwiązań** to zostaną one wszystkie znalezione

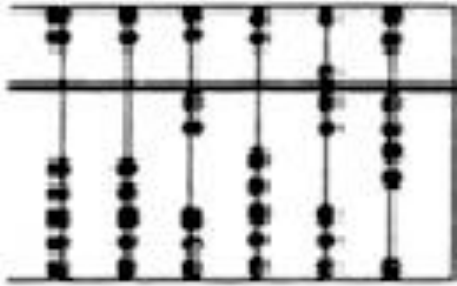


Obliczenia ewolucyjne są dziś ważną częścią sztucznej inteligencji



Metody ewolucyjne powstały i zostały rozwinięte w tym celu, żeby znajdować **przybliżone** rozwiązania problemów optymalizacyjnych w taki sposób, by znajdować wynik w miarę szybko oraz uniknąć pułapek minimów lokalnych

Obliczenia ewolucyjne powstały w wyniku kombinacji kilku elementów:



+



+

$$H\Psi(x, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t}$$

Rozwoju technik obliczeniowych

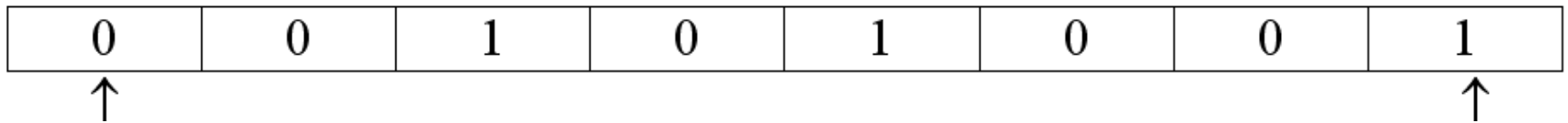
Postępu wiedzy o ewolucji biologicznej

Osiągnięć nowych teorii optymalizacji

Sposób działania algorytmu genetycznego można przedstawić następująco:

- określenie sposobu kodowania rzeczywistych parametrów problemu w postaci **chromosomu**,
- przyjęcie postaci **funkcji przystosowania** oceniającej analizowany zestaw parametrów pod względem jakości poszukiwanego rozwiązania,
- **losowy** dobór punktów startowego zestawu parametrów,
- **selekcja** najlepiej przystosowanych chromosomów do nowej populacji,
- zastosowanie na nowej populacji **operatorów genetycznych** w postaci krzyżowania i mutacji,
- **sprawdzenie** wartości funkcji przystosowania.

Punktem wyjścia jest opisanie
rozważanego zadania
w kategoriach wektora
(najczęściej binarnego)
zwanego chromosomem.



Cecha
kodowana na
tej pozycji
nie występuje
w rozwiązaniu

Cecha
kodowana na
tej pozycji
występuje
w rozwiązaniu

Podstawowe definicje

Populacja – zbiór osobników o określonej liczebności,

Osobnicy populacji – zakodowane w postaci chromosomów zbiory parametrów zadania (punkty przestrzeni poszukiwań),

Chromosomy – łańcuchy (ciągi kodowe) – uporządkowane ciągi genów,

Gen – pojedynczy element genotypu,

Genotyp – struktura, zespół chromosomów danego osobnika,

Fenotyp – zestaw wartości odpowiadający danemu genotypowi,

Allel – długość genu,

Locus – pozycja wskazująca położenie danego genu w łańcuchu.

Operatory genetyczne

Krzyżowanie (proste) to proces polegający na losowym kojarzeniu ciągów z puli rodzicielskiej w pary, losowy wybór **punktu krzyżowania** ciągów oraz zamiany wszystkich znaków na prawo od punktu krzyżowania

A1=	0	1	1	0	1
A2=	1	1	0	0	0

punkt krzyżowania

Ciągi skrzyżowane

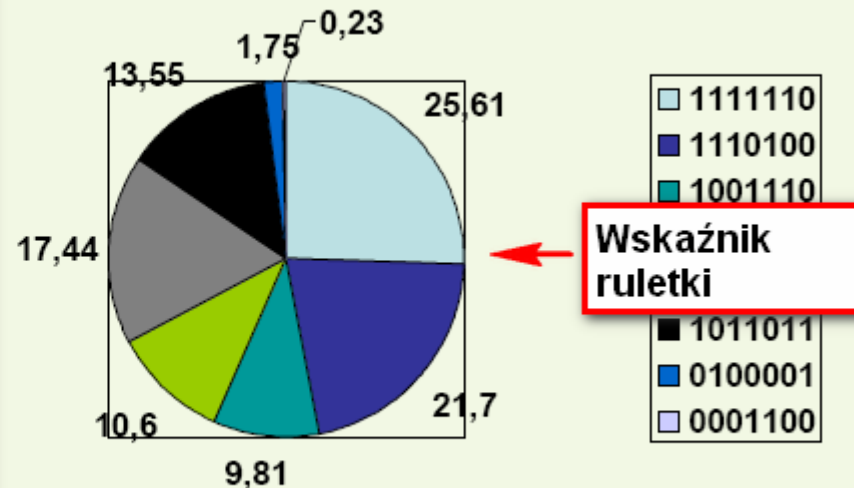
A1'=	0	1	1	0	0
A2'=	1	1	0	0	1

Operatory genetyczne

Selekcja

Polega na wyborze z bieżącej populacji najlepiej przystosowanych osobników, których materiał genetyczny zostanie poddany operacji krzyżowania i przekazany osobnikom następnej populacji. Kryterium wyboru jest tu wartość funkcji przystosowania.

1111110	(126)	31754	25,61%
1110100	(116)	26914	21,70%
1001110	(78)	12170	9,81%
1001111	(79)	12484	10,6%
1101000	(104)	21634	17,44%
1011011	(91)	16564	13,35%
0100001	(33)	2180	1,75%
0001100	(12)	290	0,23%



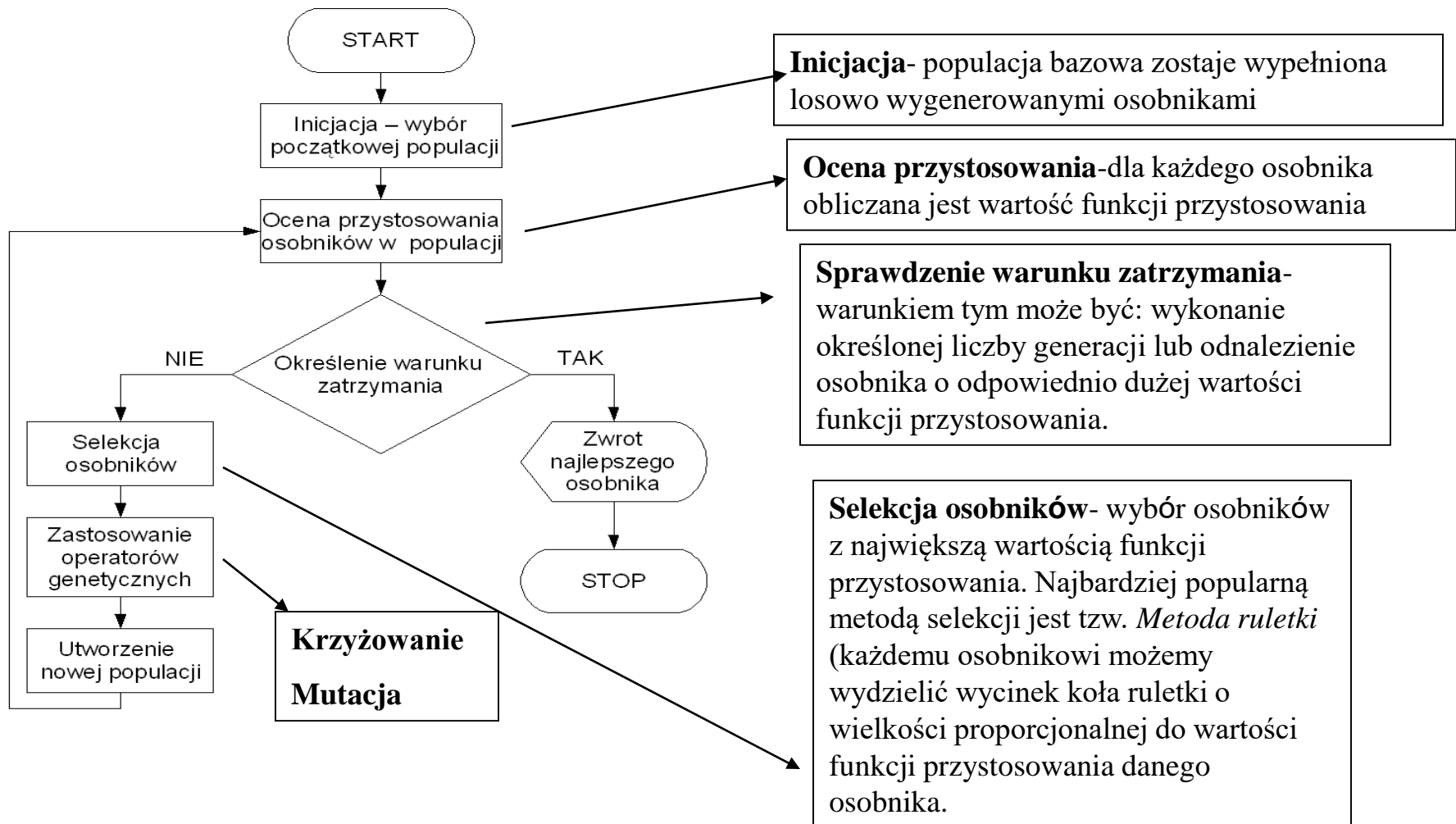
Operatory genetyczne

Mutacja (zachodząca zwykle z niewielkim prawdopodobieństwem)

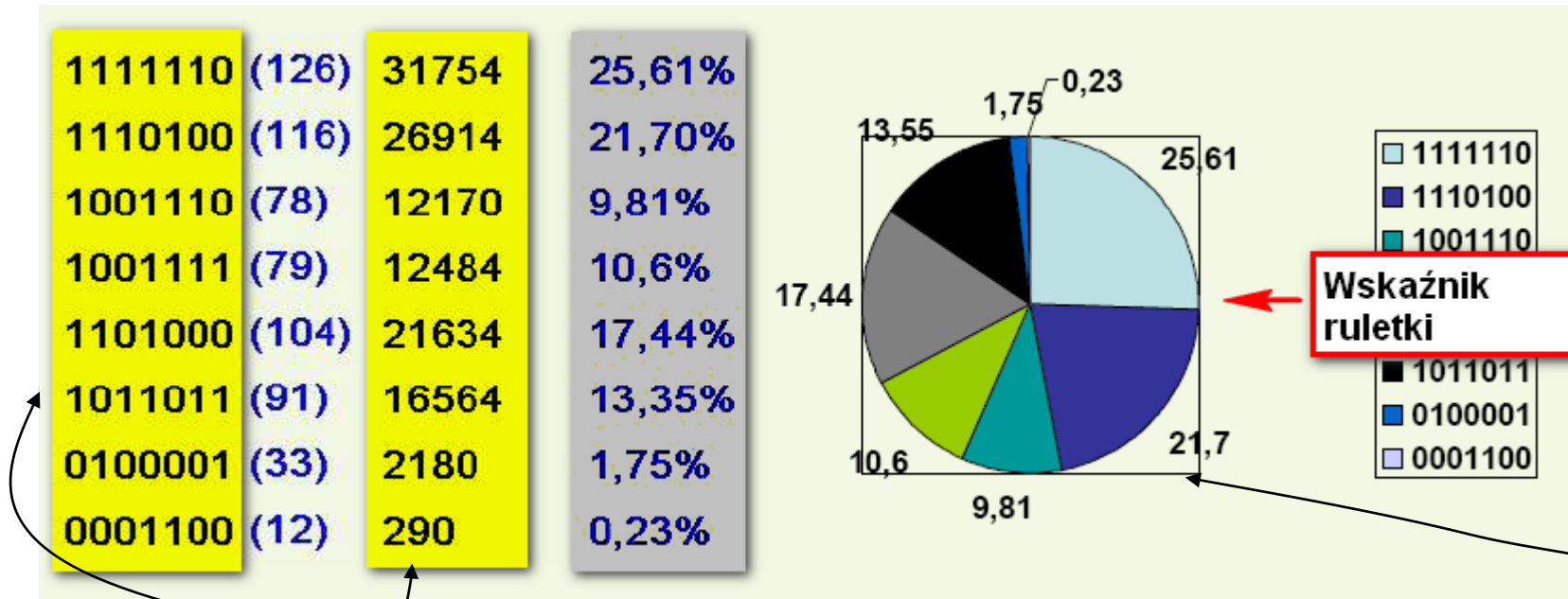
Polega na zmianie wartości losowo wybranego genu. Zadaniem operatora mutacji jest zapewnienie zmienności chromosomów (np. niedopuszczenie do powstania całej populacji identycznych osobników) i tym samym stworzenie możliwości wyjścia procedury optymalizacji z maksimów lokalnych funkcji przystosowania.

A3=	0	1	1	0	1
A3'=	0	1	0	0	0

Schemat blokowy działania AG



Podsumowanie: Operatory algorytmu genetycznego



Elementy algorytmu:

1. Wybór (losowy) populacji początkowej
2. Ocena przystosowania
3. Selekcja chromosomów
4. Krzyżowanie
5. Mutacja

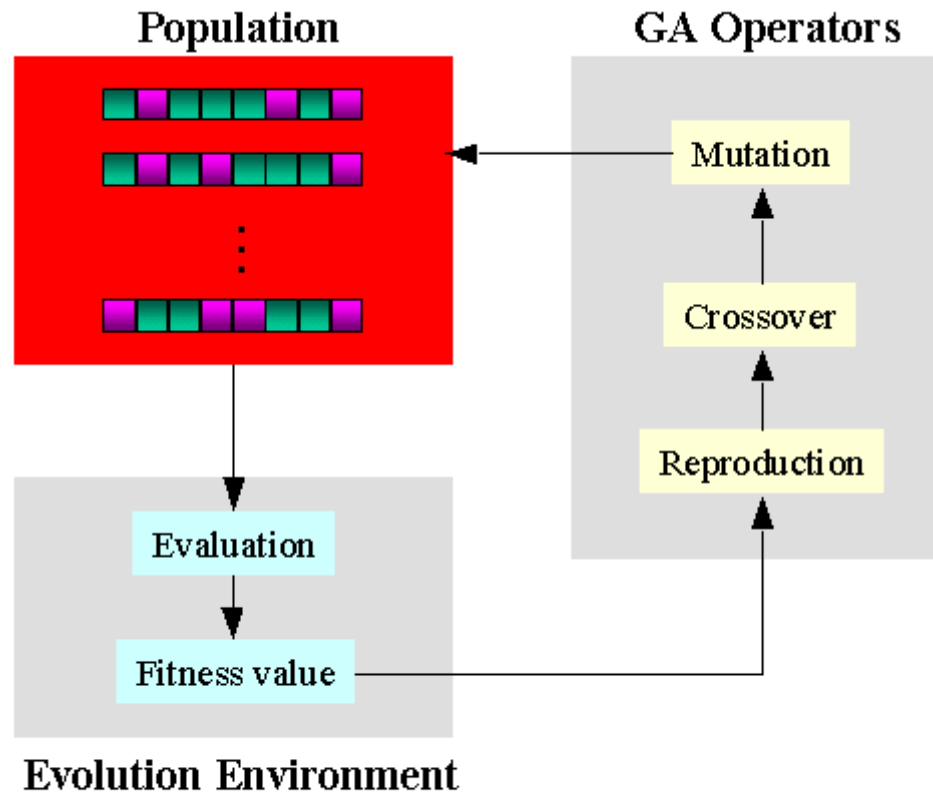
Schemat działania algorytmu genetycznego.

Zadanie:

Znaleźć maksimum funkcji $f(x)=x^2$, gdzie $x \in \langle 0;31 \rangle$

1. Wybieramy ciąg pięciobitowy umożliwiający operowanie na liczbach od 0 do 31.
2. Wybieramy losowo populację złożoną z czterech ciągów kodowych i liczymy wskaźnik dostosowania dla każdego ciągu.

Nr ciągu	Populacja początkowa (wygenerowana losowo)	Wartość x	$f(x)=x^2$	Wskaźnik przystosowania	Oczekiwana liczba kopii	Liczba kopii wygenerowanych wg reguły ruletki
1	0 1 1 0 1	13	169	0,14	0,58	1
2	1 1 0 0 0	24	576	0,49	1,97	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0,06	0,22	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0,31	1,23	1
Suma			1170	1,00	4,00	4
Średnia			293	0,25	1,00	1
Maksimum			576	0,49	1,97	2



Genetic Algorithm Evolution Flow

W przypadku algorytmów genetycznych można mówić o dwóch typach interpretacji populacji:
podejście **Michigan** i **Pittsburg**.

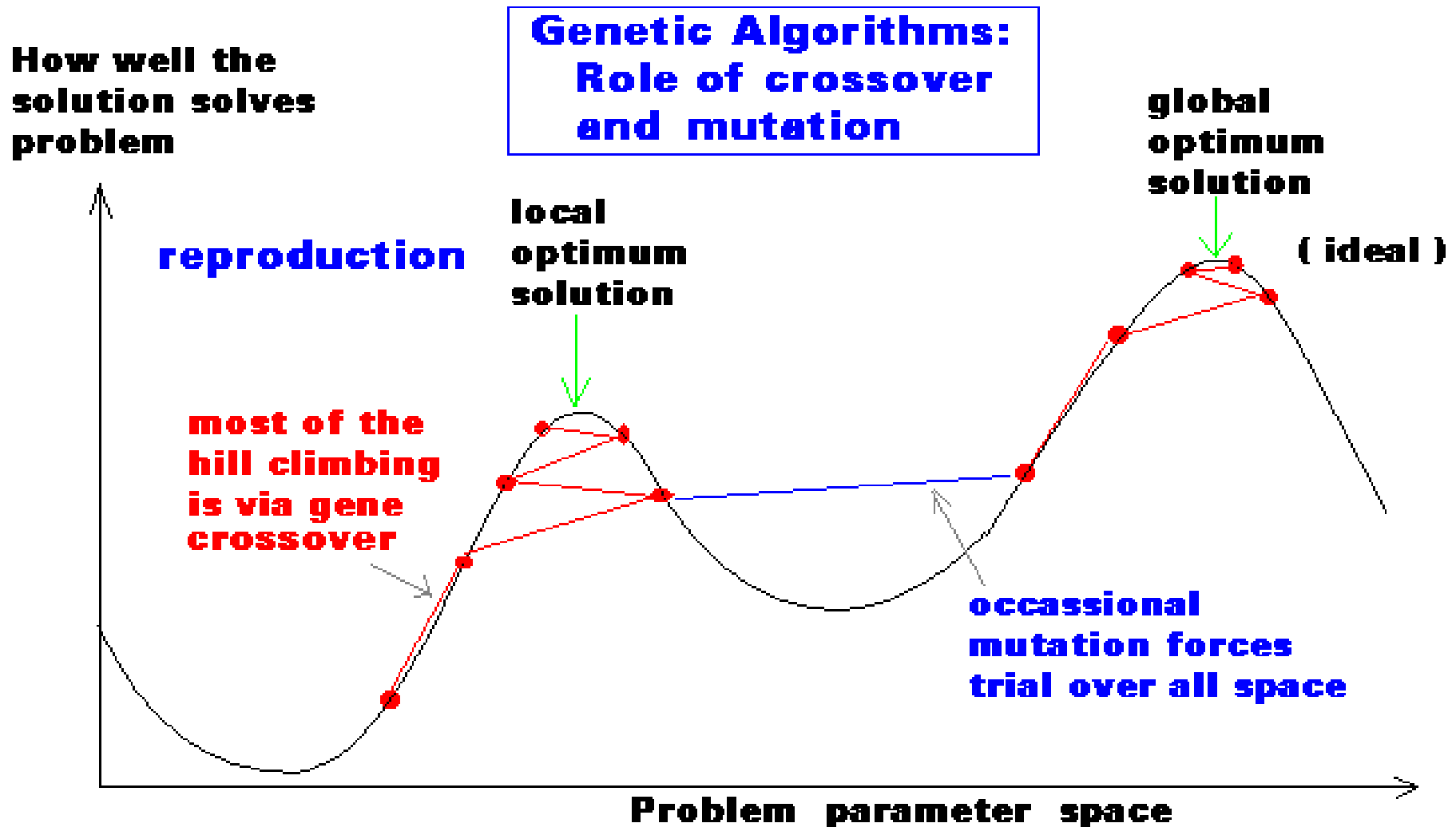
W podejściu **Michigan** wszystkie osobniki są traktowane jako jednostki (oceniane są poszczególne osobniki).

Poszczególne osobniki w populacji rywalizują ze sobą, chcąc przetrwać.

Natomiast w podejściu **Pittsburg** całą populację traktuje się jako jednostkę, która podlega działaniu operatorów genetycznych (oceniana jest cała populacja). W tym przypadku występuje wzajemna współpraca osobników w celu wykształcenia jak najlepszej społeczności.

Obie interpretacje mają swoje uzasadnienie i można pokazać problemy, w których warto zastosować albo jedno, albo drugie podejście.

Porównanie skutków krzyżowania i mutacji



Przykładowy sposób zastosowania operatora krzyżowania:

Osobniki rodzicielskie:

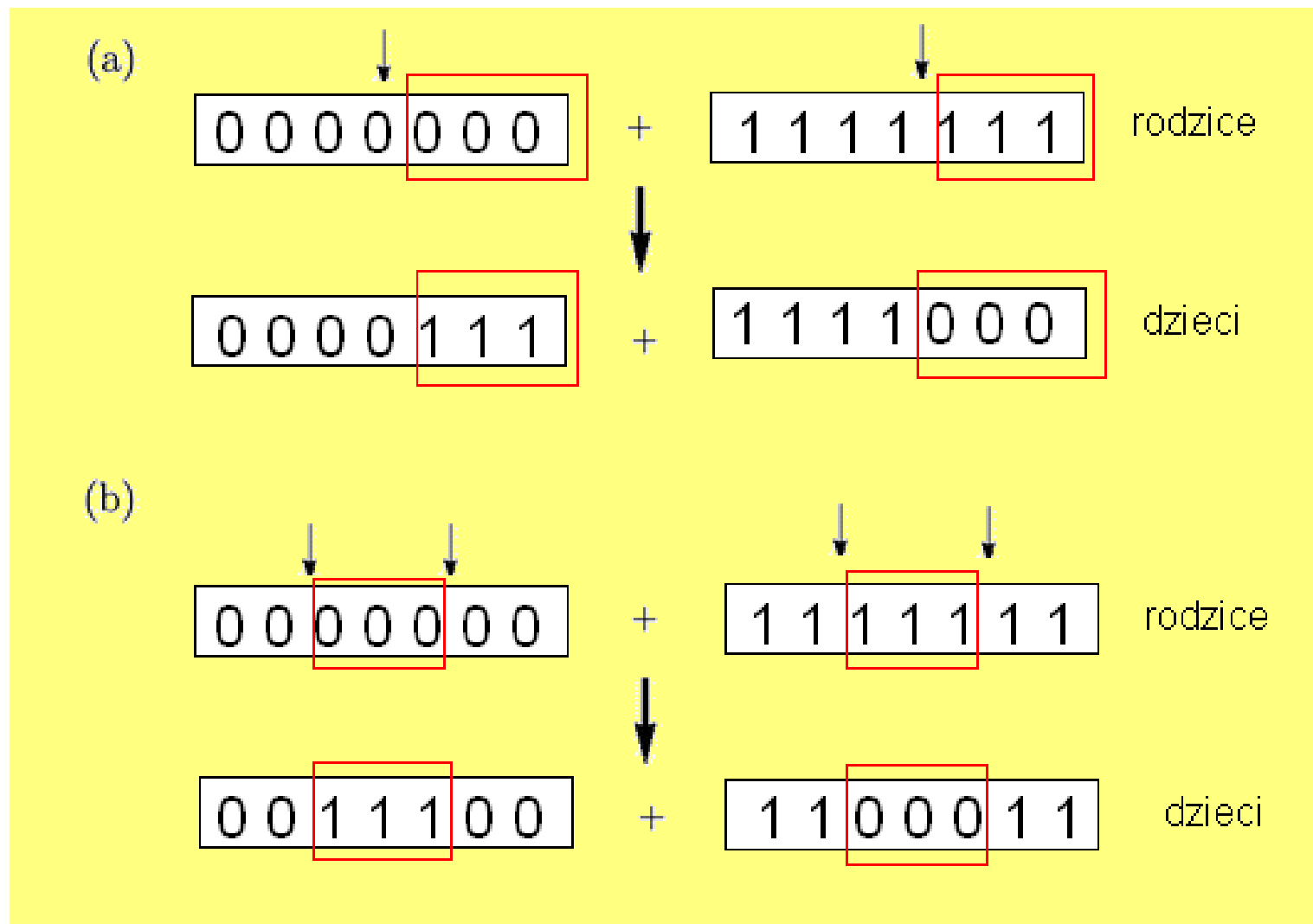


Osobniki potomne:



Działanie operatora krzyżowania:

- a) krzyżowanie jednopunktowe (*one-point crossover*),
- b) krzyżowanie dwupunktowe (*two-point crossover*).



Działanie operatora mutacji

Mutowana
pozycja

1 0 1 1 0 0 1

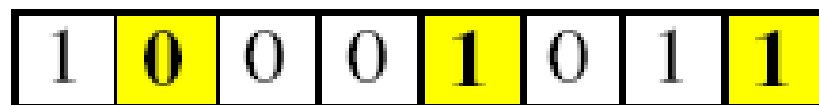
przed mutacją

1 0 0 1 0 0 1

po mutacji

Przykładowy sposób zastosowania operatora mutacji

Osobnik rodzicielski:



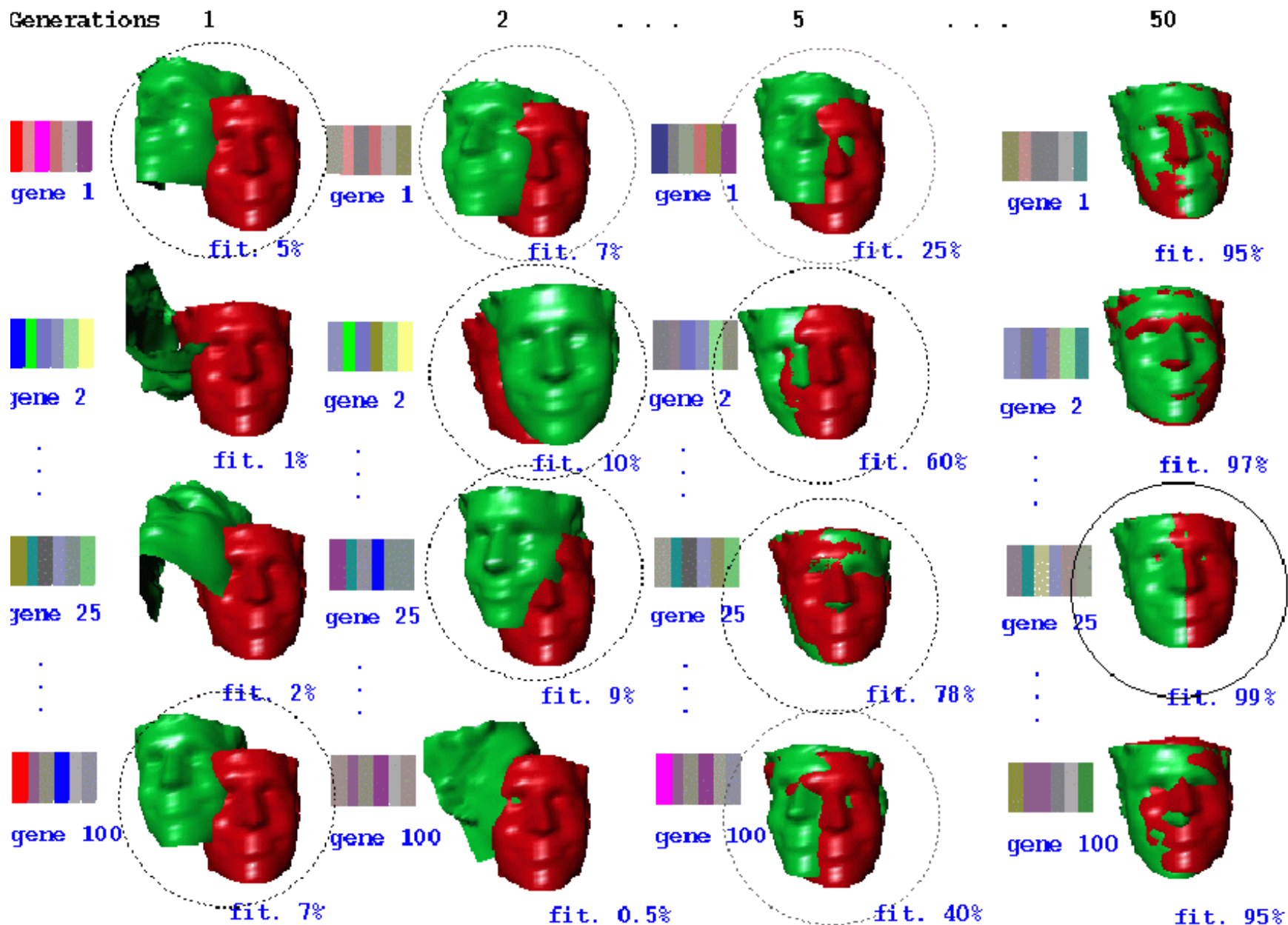
Osobnik potomny:



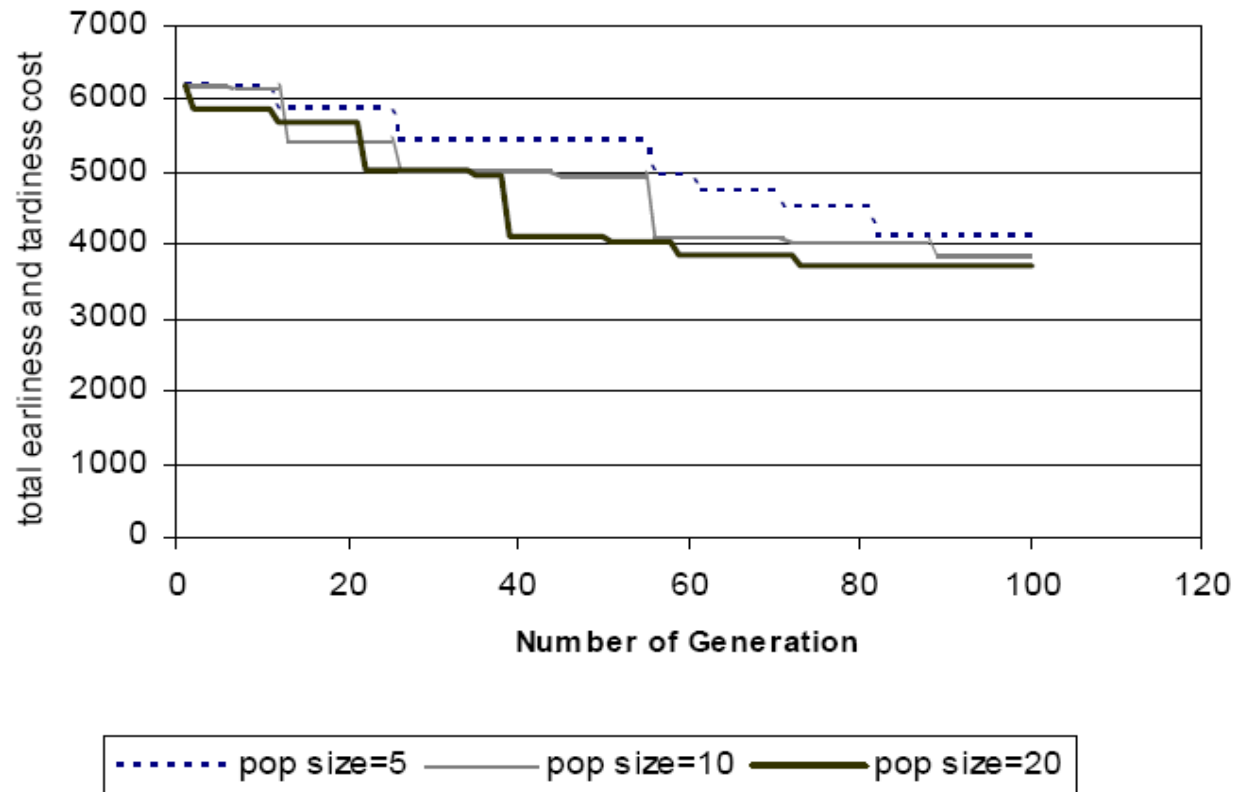
Przykład
zastosowania
algorytmu
genetycznego
do prognozowania
notowań giełdy



Dopasowanie do zadania w algorytmie genetycznym

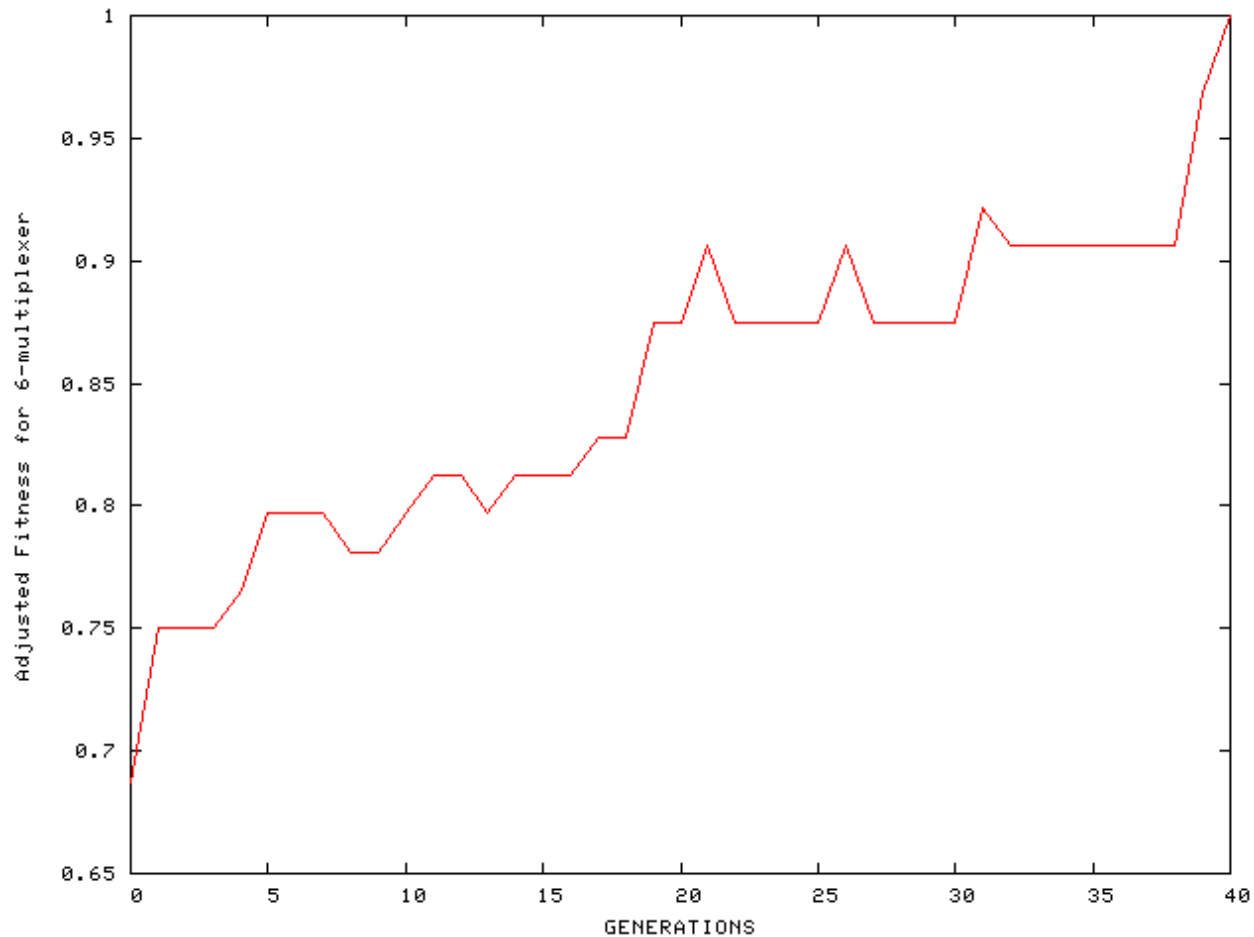


Efekt działania algorytmu genetycznego jest taki, że jakość rozwiązania w kolejnych pokoleniach jest coraz lepsza

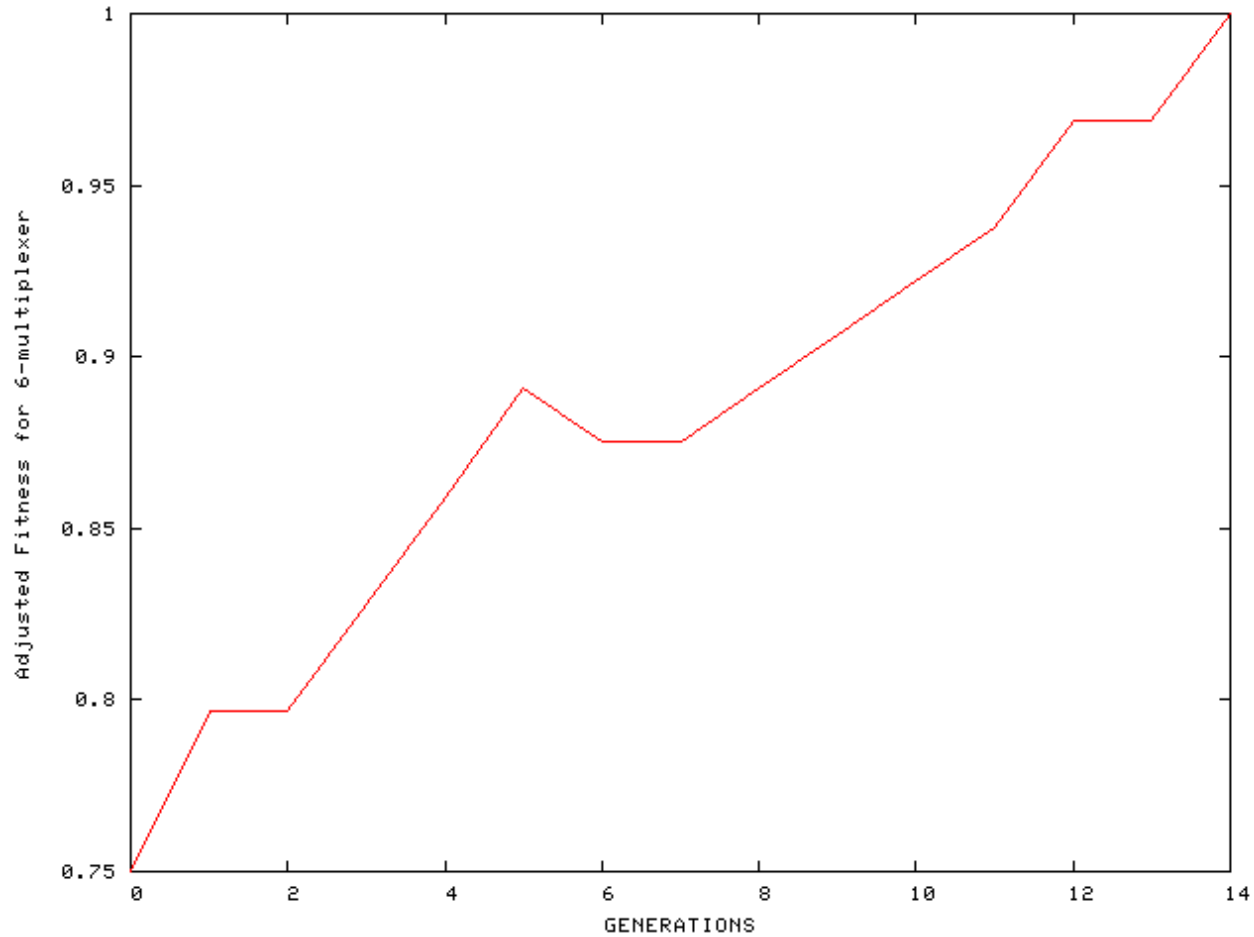


Proces doskonalenia nie przebiega w sposób ciągły, gdyż zmiany genetyczne muszą często podlegać kumulacji zanim dadzą zauważalny efekt

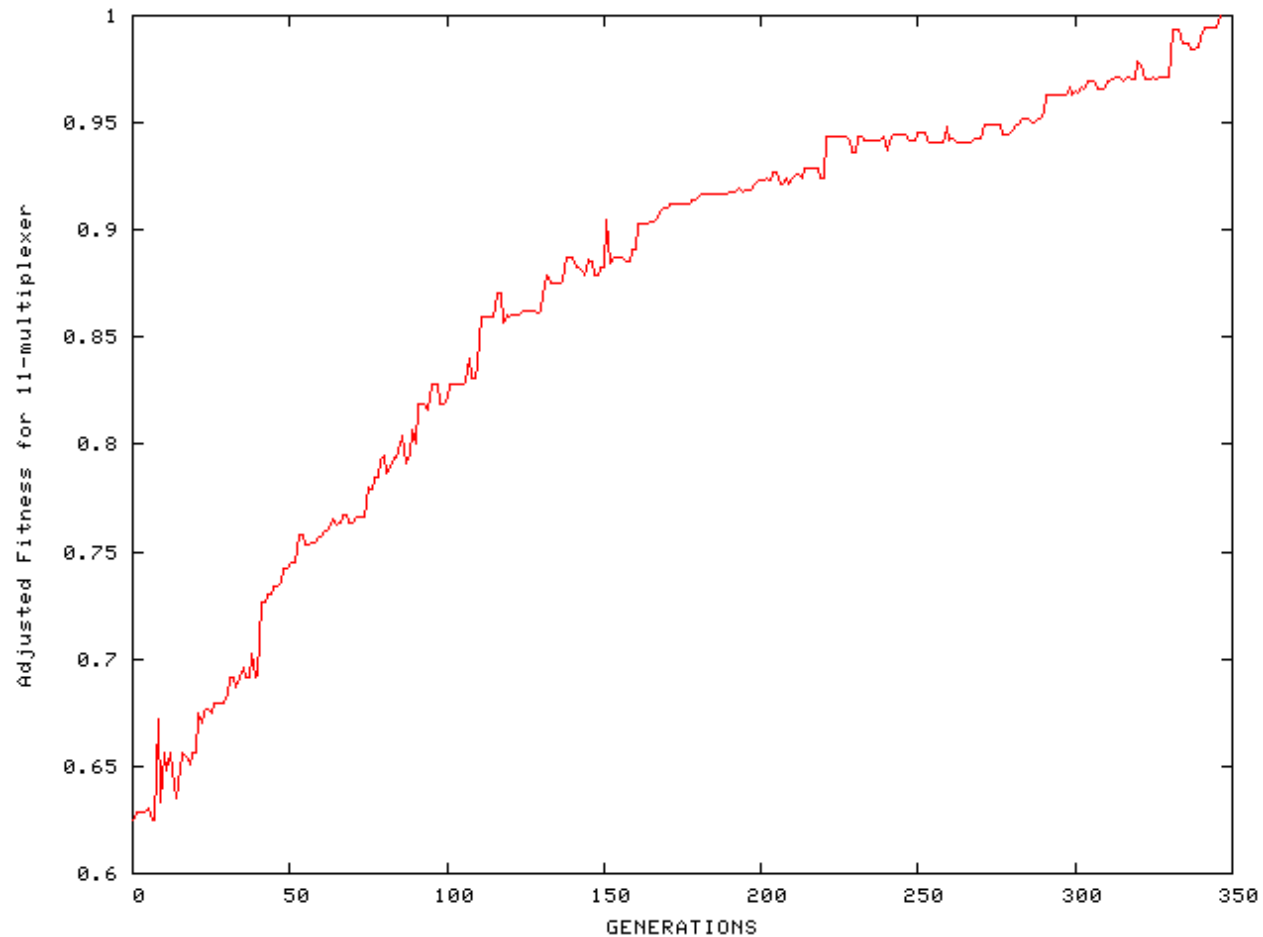
Zachowanie małej populacji (500) przy niewielkiej złożoności rozwiązywanego zadania.



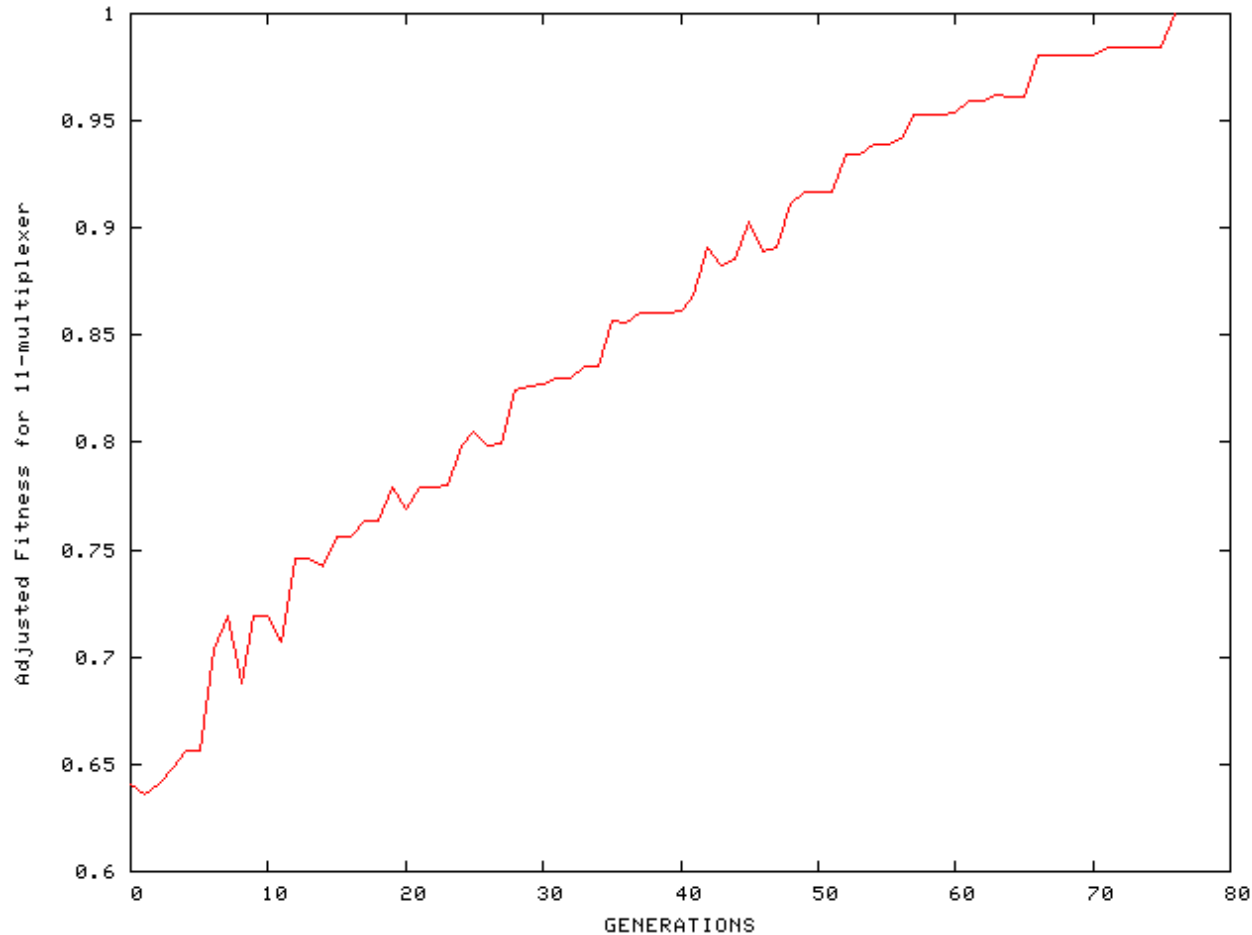
Zachowanie dużej populacji (2000) przy niewielkiej złożoności rozwiązywanego zadania.



Zachowanie małej populacji (500) przy dużej złożoności rozwiązywanego zadania.



Zachowanie dużej populacji (2000) przy dużej złożoności rozwiązywanego zadania (multiplexer 11 wejściowy)



W 1968 roku brytyjski
matematyk John Conway
stworzył Grę w Życie
(*Game of Life*)