

ALGORYTMY EWOLUCYJNE

Ćwiczenie 7

METODY SKALOWANIA FUNKCJI PRZYSTOSOWANIA

7.1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Zasadniczym celem ćwiczenia jest poznanie różnych metod skalowania funkcji przystosowania oraz wpływu tych metod na postać populacji osobników w kolejnych pokoleniach algorytmu ewolucyjnego. W trakcie ćwiczenia przeprowadza się skalowanie funkcji przystosowania poszczególnych osobników w populacji kilkoma wybranymi metodami dla różnych funkcji celu, będących funkcjami wielu zmiennych. W celu zautomatyzowania przeprowadzanych czynności skalujących wykorzystuje się arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel.

7.2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

7.2.1. CHARAKTERYSTYKA ALGORYTMU EWOLUCYJNEGO

Przez pojęcie algorytm ewolucyjny (AE) rozumie się algorytm, którego zasada działania oparta jest na symulacji zachowania organizmów żywych w procesie ewolucji, czyli sposobie zachowania najlepiej przystosowanych osobników. Do algorytmów ewolucyjnych zaliczamy różne techniki genetyczne, m.in. [5]: algorytmy genetyczne, strategie ewolucyjne, programy ewolucyjne i programowanie genetyczne. W niniejszej publikacji przez pojęcie algorytm ewolucyjny będą rozumiane zarówno algorytmy genetyczne, jak i programy ewolucyjne.

Szczegółowe informacje na temat algorytmów ewolucyjnych można znaleźć m.in. w [2, 3, 4, 5, 6].

Z matematycznego punktu widzenia, algorytm ewolucyjny [5] jest algorymem probabilistycznym, który w danym pokoleniu t zarządza ścisłe określona populacją (zbiorem) osobników $P(t) = \{ch_1(t), ch_2(t), \dots, ch_N(t)\}$. Każdy osobnik (chromosom, łańcuch znakowy) $ch_i(t)$ stanowi pewną (nieraz złożoną) strukturę danych S i reprezentuje potencjalne rozwiązanie rozważanego pro-

blemu. Strukturę typowego algorytmu ewolucyjnego można przedstawić w sposób następujący [5]:

```
Algorytm ewolucyjny
begin
    t:=0
    Utworzenie P(t)
    Ewaluacja P(t)
    while not (warunek końca ewolucji) do
        begin
            t:=t+1
            Selekcja P(t) z P(t-1)
            Rekombinacja P(t)
            Ewaluacja P(t)
        end
    end
```

Jak łatwo zauważyc, rozróżnia się dwie zasadnicze fazy działania algorytmu ewolucyjnego. W pierwszej tworzy się populację początkową $P(t)$ oraz dokonuje jej ewaluacji (oceny). Druga faza sprawdza się do wykonania pewnej liczby iteracji, nazywanych tu pokoleniami, aż do osiągnięcia określonego warunku końca (stopu) procesu ewolucyjnego. W każdym kolejnym pokoleniu populacja osobników $P(t)$ podlega pewnym przekształceniom (transformacjom) za pomocą zdefiniowanych operatorów genetycznych. Zazwyczaj stosowane są trzy operacje genetyczne: selekcji, krzyżowania i mutacji. Operatory krzyżowania i mutacji nazywane są operatorami rekombinacji. Na końcu każdego pokolenia dokonywana jest ewaluacja bieżącej populacji osobników.

Celem operacji selekcji jest uformowanie nowej populacji w pokoleniu $t := t + 1$, przez wybór najlepiej przystosowanych osobników w pokoleniu poprzednim. Miarą przystosowania każdego osobnika $ch_i(t)$ jest jego funkcja przystosowania (ewaluacji) $eval(ch_i(t))$, będąca pewnym przekształceniem odpowiadającym mu funkcji celu. Operacja selekcji jest więc sztuczną wersją naturalnej selekcji, zgodnie z którą przeżywają jedynie organizmy najlepiej przystosowane. Jedynym kryterium decydującym o tym, czy dany chromosom (osobnik) przetrwa czy obumrze, jest wartość jego funkcji przystosowania.

Niektórzy członkowie nowej populacji (utworzonej w procesie selekcji) podlegają transformacji (rekombinacji) za pomocą operatorów genetycznych krzyżowania i mutacji.

W operacji krzyżowania tworzy się nowe osobniki przez połączenie części składowych kilku osobników (zazwyczaj dwóch), za pomocą tzw. operatora krzyżowania $c_j(c_j: Sx...xS - S)$. Krzyżowanie przebiega w dwóch fazach. W pierwszej fazie dobiera się w sposób losowy z tzw. puli rodzicielskiej pary osobników-rodziców, które będą podlegały krzyżowaniu. W drugiej fazie

wybrana para rodziców (łańcuchów) podlega właściwemu krzyżowaniu, tj. strukturalnej wymianie informacji między wybranymi osobnikami.

W trakcie operacji mutacji tworzy się nowe osobniki przez dokonanie małej zmiany w pojedynczym osobniku, za pomocą tzw. operatora mutacji m_j ($m_j: S \rightarrow S$). Mutacja jest potrzebna, ponieważ potrafi zapobiec bezpowrotniej utracie pewnych użytecznych informacji (wartościowych cech materiału genetycznego), do czego może dojść w trakcie operacji selekcji i krzyżowania. Sama w sobie mutacja jest błędzeniem przypadkowym w przestrzeni rozwiązań.

Po pewnej liczbie pokoleń (spełnieniu warunku stopu) działanie algorytmu ewolucyjnego zostaje zakończone – mamy nadzieję, że najlepszy osobnik uzyskany w procesie ewolucyjnym reprezentuje rozwiązanie optymalne.

Można sformułować wiele różnych algorytmów ewolucyjnych dla danego problemu. Jednak wszystkie te algorytmy będą miały jedną wspólną cechę: populacja osobników będzie podlegać pewnym przekształceniom, podczas których osobniki te będą dążyć do przetrwania. Przypomina to zachowanie naturalnych organizmów w procesie ewolucji.

W celu zbudowania algorytmu ewolucyjnego trzeba rozwiązać następujące problemy:

- wybrać odpowiednią reprezentację (sposób kodowania) rozwiązań problemu,
- utworzyć populację początkową rozwiązań,
- sformułować funkcję ewaluacji, oceniającą rozwiązania w kontekście ich przystosowania,
- wybrać odpowiednią metodę oraz strategię selekcji,
- zbudować operatory genetyczne rekombinacji, zmieniające skład populacji,
- wybrać odpowiednią metodę skalowania funkcji przystosowania,
- przyjąć wartości różnych parametrów używanych przez algorytm ewolucyjny (wielkość populacji, prawdopodobieństwa stosowanych operatorów genetycznych itd.).

7.2.2. METODY SKALOWANIA FUNKCJI PRZYSTOSOWANIA

Jednym z podstawowych problemów, które występują przy stosowaniu algorytmów ewolucyjnych do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych, jest ich przedwczesna zbieżność [3]. Zjawisko to polega na zdominowaniu populacji (w kilku początkowych pokoleniach) przez ponadprzeciętnie osobniki i występuje powszechnie w przypadku stosowania selekcji proporcjonalnej (selekci przy użyciu tzw. koła rulety).

Innym niekorzystnym zjawiskiem jest brak zbieżności do rozwiązań optymalnych w tzw. fazie dojrzałości, czyli pod koniec procesu ewolucyjnego. Zjawisko to występuje wówczas, gdy średnie przystosowanie populacji osobników niewiele odbiega od wskaźnika przystosowania najlepszego osobnika, mimo znacznej różnorodności populacji. W takiej sytuacji zarówno osobniki

owaniu, tj. przeciętne, jak i najlepsze będą otrzymywać prawie taką samą liczbę potomstwa w następnych pokoleniach, co sprawi, że działanie AE będzie przypominać błądzenie przypadkowe wśród osobników przeciętnych.

Skutecznym narzędziem do likwidacji obu tych negatywnych zjawisk jest tzw. skalowanie funkcji przystosowania, które polega na zmianie wartości funkcji przystosowania (tzw. przystosowania pierwotnego) wszystkich osobników w danej populacji, zgodnie z pewną określona formułą.

Najczęściej stosowane są następujące metody skalowania funkcji przystosowania [3, 4, 5]:

- liniowe,
- potęgowe,
- σ -odcięcia,
- logarytmiczne,
- rankingowe liniowe,
- rankingowe wykładnicze.

SKALOWANIE LINIOWE

Niech $eval(ch_i(t))$ oznacza przystosowanie pierwotne i -tego osobnika, a $eval^s(ch_i(t))$ przystosowanie tego osobnika po skalowaniu. Związek między $eval^s(ch_i(t))$, a $eval(ch_i(t))$ musi mieć postać [3]

$$eval^s(ch_i(t)) = a \cdot eval(ch_i(t)) + b \quad (7.1)$$

Współczynniki a i b należy tak dobrać, aby średnie przystosowanie po skalowaniu $F(t)^s$ było równe średniemu przystosowaniu pierwotnemu $F(t)$. Spełnienie tego warunku zapewnia, że osobnik o przeciętnym przystosowaniu będzie miał średnio jednego potomka w następnym pokoleniu. Liczbę potomków osobnika o maksymalnym pierwotnym przystosowaniu można kontrolować za pomocą następującego warunku

$$eval^s(ch_i(t))_{\max} = C_{\text{zwiel}} \cdot \overline{F(t)} \quad (7.2)$$

gdzie C_{zwiel} (współczynnik zwielokrotnienia) jest żądaną liczbą kopii. W typowych, małych populacjach dobiera się wartość C_{zwiel} między 1,2 a 2,0. Taki dobór C_{zwiel} powoduje znaczne rozciągnięcie funkcji przystosowania pod koniec przebiegu, co może spowodować kłopoty z zastosowaniem skalowania liniowego w populacjach dojrzałych (ujemne wartości funkcji przystosowania po skalowaniu dla słabo przystosowanych osobników). W takim przypadku należy nadal zachować równość $F(t)^s = \overline{F(t)}$, a jako drugi warunek wybrać równość $eval^s(ch_i(t))_{\min} = 0$ (minimalne przystosowanie po skalowaniu równe się zeru).

Procedurę skalowania liniowego można w sposób algorytmiczny przedstać następująco [3]:

1. Sprawdzić, czy spełniony jest warunek

$$eval(ch_i(t))_{\min} > \frac{C_{\text{zwiel}} \cdot \overline{F(t)} - eval(ch_i(t))_{\max}}{C_{\text{zwiel}} - 1,0} \quad (7.3)$$

2. Jeśli tak, wówczas współczynniki skalowania należy wyznaczyć z następujących zależności:

$$a = \frac{(C_{\text{zwiel}} - 1,0) \overline{F(t)}}{eval(ch_i(t))_{\max} - \overline{F(t)} + \epsilon} \quad (7.4)$$

$$b = \frac{\overline{F(t)} \cdot eval(ch_i(t))_{\max} - C_{\text{zwiel}} \cdot \overline{F(t)}}{eval(ch_i(t))_{\max} - \overline{F(t)} + \epsilon} \quad (7.5)$$

3. W przeciwnym razie parametry a i b należy obliczyć ze wzorów:

$$a = \frac{\overline{F(t)}}{\overline{F(t)} - eval(ch_i(t))_{\min} + \epsilon} \quad (7.6)$$

$$b = -eval(ch_i(t))_{\min} \cdot \frac{\overline{F(t)}}{\overline{F(t)} - eval(ch_i(t))_{\min} + \epsilon} \quad (7.7)$$

gdzie ϵ jest bardzo małą stałą zapobiegającą ewentualnemu dzieleniu przez zero.

Przykład obliczeniowy 1

Przeprowadzić skalowanie liniowe funkcji przystosowania $N = 6$ osobników w populacji w pokoleniu t . Wartości funkcji przystosowania pierwotnego osobników przedstawiają się następująco:

$$eval(ch_1(t)) = 17,2 \quad eval(ch_4(t)) = 11,9$$

$$eval(ch_2(t)) = 30,1 \quad eval(ch_5(t)) = 21,2$$

$$eval(ch_3(t)) = 9,7 \quad eval(ch_6(t)) = 15,2$$

Należy przyjąć, że współczynnik zwielokrotnienia wynosi 1,5.

Rozwiążanie

Najpierw należy wyznaczyć wartość przystosowania pierwotnego całej populacji, tj. $F(t) = \sum_{i=1}^6 eval(ch_i(t)) = 105,3$. Następnie trzeba obliczyć średnie przystosowanie pierwotne populacji $\overline{F(t)} = \frac{F(t)}{6} = 17,55$ i sprawdzić warunek (7.3).

Wiedząc, że:

$$eval(ch_i(t))_{\min} = 9,7$$

$$eval(ch_i(t))_{\max} = 30,1$$

$$\frac{C_{\text{zwiel}} \overline{F(t)} - eval(ch_i(t))_{\max}}{C_{\text{zwiel}} - 1,0} = \frac{1,5 \cdot 17,55 - 30,1}{1,5 - 1,0} = -7,55$$

stwierdzamy, iż warunek ten jest spełniony.

(7.3) Wobec tego wartości współczynników skalujących a i b należy wyznaczyć ze wzorów (7.4) i (7.5):

$$a = \frac{(C_{\text{zwiel}} - 1,0) \overline{F(t)}}{\text{eval}(ch_i(t))_{\max} - \overline{F(t)}} = \frac{(1,5 - 1,0) \cdot 17,55}{30,1 - 17,55} = \frac{8,775}{12,55} = 0,699$$

$$(7.4) b = \overline{F(t)} \cdot \frac{\text{eval}(ch_i(t))_{\max} - C_{\text{zwiel}} \overline{F(t)}}{\text{eval}(ch_i(t))_{\max} - \overline{F(t)}} = 17,55 \cdot \frac{30,1 - 1,5 \cdot 17,55}{30,1 - 17,55} =$$

$$(7.5) = 17,55 \cdot \frac{3,775}{12,55} = 5,279$$

Wartości funkcji przystosowania poszczególnych osobników po skalowaniu wyznaczamy na podstawie zależności (7.1). Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tablicy 7.1.

Tablica 7.1
Wyniki skalowania liniowego

i	$\text{eval}(ch_i(t))$	$\text{eval}^s(ch_i(t))$
1	17,20	17,30
2	30,10	26,32
3	9,70	12,06
4	11,90	13,60
5	21,20	20,10
6	15,20	15,90

Jak widać, wartość funkcji przystosowania dwóch osobników (2 i 5), znajdujących się powyżej średniego przystosowania całej populacji, po wykonaniu skalowania zmalała, natomiast pozostałych osobników (1, 3, 4, 6) wzrosła.

SKALOWANIE POTĘGOWE

W przypadku stosowania skalowania potęgowego należy podnieść wartość funkcji przystosowania pierwotnego i -tego osobnika do pewnej ustalonej potęgi

$$\text{eval}^s(ch_i(t)) = \text{eval}(ch_i(t))^k \quad (7.8)$$

Wartość parametru k zależy od analizowanego problemu i może wymagać zmiany podczas przebiegu algorytmu ewolucyjnego.

Jeden ze sposobów wyznaczania parametru k przedstawiono w pracy [5]

$$k = \left(\frac{s^*}{s_0} \right)^{p_1} \cdot \operatorname{tg}^{p_2(s_0/s^*)^\alpha} \left(\frac{t}{T+1} \cdot \frac{\pi}{2} \right) \quad (7.9)$$

- gdzie: p_1 — parametr systemowy określający wpływ rozpiętości (rozrzu-
tu) s na wartość parametru k ($p_1 = 0,05$),
 p_2 i α — parametry systemowe określające szybkość zmian parame-
tru k ($p_2 = 0,1$; $\alpha = 0,1$),
 s — rozpiętość (rozrzut), miara statystyczna średniego przysto-
sowania populacji,
 s^* — rozpiętość optymalna ($s^* = 0,1$),
 s_0 — rozpiętość początkowa, zależna od postaci funkcji przysto-
sowania,
 t — kolejne pokolenie (wiek populacji),
 T — maksymalna liczba pokoleń.

Tak skonstruowany parametr k zmienia się od wartości bardzo małych do bardzo dużych wraz ze wzrostem wieku populacji (z liczbą pokoleń). Naj-większe zmiany zachodzą na początku i na końcu procesu genetycznego, w środku procesu zmiany są bardzo małe. W ten sposób skalowanie ma szan-dę skutecznie przeciwdziałać przedwczesnej zbieżności oraz brakowi zbieżnoś-ci w fazie dojrzałej.

SKALOWANIE METODĄ σ -ODCIECIA

Skalowanie σ -odcinające polega na odjęciu od wartości funkcji przystosowa-
nia pierwotnego i -tego osobnika pewnej stałej, zgodnie ze wzorem [3, 4, 5]

$$\text{eval}^s(ch_i(t)) = \text{eval}(ch_i(t)) - (\bar{F}(t) - c\sigma) \quad (7.10)$$

przy czym $c \in \{1, 2, 3\}$, σ jest odchyleniem standardowym funkcji przysto-
sowania pierwotnego, wyznaczanym z zależności

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [\text{eval}(ch_i(t)) - \bar{F}(t)]^2} \quad (7.11)$$

Wszystkie pojawiające się wskutek skalowania wartości ujemne
 $(\text{eval}^s(ch_i(t)) < 0)$ zostają arbitralnie zmienione na 0.

Przykład obliczeniowy 2.

W populacji składającej się z $N = 6$ osobników należy przeprowadzić skalo-
wanie metodą σ -odcienia funkcji przystosowania. Wartości funkcji przystoso-
wania pierwotnego osobników zostały podane w przykładzie obliczeniowym 1.
Należy przyjąć, że współczynnik c wynosi 1.

Rozwiążanie

Najpierw należy wyznaczyć wartość przystosowania pierwotnego całej popula-
cji, tj. $F(t) = \sum_{i=1}^6 \text{eval}(ch_i(t)) = 105,3$. Następnie trzeba obliczyć średnie

przystosowanie pierwotne populacji $\overline{F(t)} = \frac{F(t)}{6} = 17,55$. W dalszej kolejności musimy wyznaczyć odchylenie standardowe funkcji przystosowania pierwotnego, wg zależności (7.11)

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [eval(ch_i(t)) - \overline{F(t)}]^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{5} [(17,2 - 17,55)^2 + (30,1 - 17,55)^2 + (9,7 - 17,55)^2 + (11,9 - 17,55)^2 + (21,2 - 17,55)^2 + (15,2 - 17,55)^2]} = \\ &= \sqrt{0,2 \cdot 270,015} = 7,35\end{aligned}$$

Można teraz wyznaczyć wartość następującego wyrażenia

$$\overline{F(t)} - c\sigma = 17,55 - 7,35 = 10,20$$

W końcu, zgodnie ze wzorem (7.10), wyznaczamy wartość przystosowania po skalowaniu poszczególnych osobników w populacji – patrz tablica 7.2.

Tablica 7.2
Wyniki skalowania metodą σ -odcięcia

i	$eval(ch_i(t))$	$eval^s(ch_i(t))$
1	17,20	7,00
2	30,10	19,90
3	9,70	-0,50 → 0,00
4	11,90	1,70
5	21,20	11,00
6	15,20	5,00

Jak widać, w przypadku 3. osobnika wartość funkcji przystosowania po skalowaniu była ujemna i zaszła konieczność arbitralnego przypisania temu osobnikowi wartości przystosowania równej 0.

SKALOWANIE LOGARYTMICZNE

Skalowanie logarytmiczne polega na wykonaniu następującego przekształcenia [4]

$$eval^s(ch_i(t)) = b - \log(eval(ch_i(t))) \quad (7.12)$$

Parametr b musi być w tym przypadku większy od dowolnej wartości $\log(eval(ch_i(t)))$, co sprowadza się do następującej nierówności

$$b \geq \max \{ \log(eval(ch_1(t))), \log(eval(ch_2(t))), \dots, \log(eval(ch_N(t))) \} \quad (7.13)$$

Przykład

W popula-

waniu ran-

wania pie-

Należy p-

Rozwiąza-

Rozwiąza-

Jak w-

miego zw-

SKALO-

Skalowa-

dą rank-

lacji v-

z pewi-

stosow-

gdzie j

Wi-

ści. W

liniow-

sowan-

Przyk

W po-

waniu

stoso-

wym

nów-

Przykład obliczeniowy 3

W populacji składającej się z $N = 6$ osobników należy przeprowadzić skalowanie logarytmiczne. Wartości przystosowania pierwotnego osobników zostały podane w przykładzie obliczeniowym 1.

Rozwiązanie

Najpierw na podstawie równania (7.13) należy oszacować wartość parametru b . W tym celu trzeba wyznaczyć logarytmy wartości przystosowania pierwotnego każdego osobnika w populacji – patrz tablica 7.3. Ponieważ maksymalna wartość logarytmu w populacji wynosi 1,478566, więc przyjęto, iż współczynnik b równa się 1,5. Następnie trzeba wyznaczyć wartość przystosowania po skalowaniu, korzystając ze wzoru (7.12).

Tablica 7.3

Wyniki skalowania metodą logarytmiczną

i	$\text{eval}(ch_i(t))$	$\log(\text{eval}(ch_i(t)))$	b	$\text{eval}^s(ch_i(t))$
1	17,20	1,235528	1,5	0,264472
2	30,10	1,478566		0,021434
3	9,70	0,986772		0,513228
4	11,90	1,075547		0,424453
5	21,20	1,326336		0,173664
6	15,20	1,181844		0,318156

Jak można zauważyć, w tej metodzie im mniejsza jest wartość przystosowania pierwotnego osobnika, tym większa jest wartość jego przystosowania po skalowaniu.

SKALOWANIE RANKINGOWE LINIOWE

Skalowanie metodą rankingową liniową polega na uporządkowaniu wszystkich osobników w danej populacji wg malejącego przystosowania pierwotnego, a następnie wychodząc z pewnej wartości początkowej c , należy pomniejszać kolejne wartości przystosowania osobników po skalowaniu o stałą różnicę r wg wzoru [4]

$$\text{eval}^s(ch_i(t)) = c - (j - 1)r \quad (7.14)$$

gdzie j oznacza pozycję i -tego osobnika w rankingu.

Parametr r nie może przekroczyć wartości maksymalnej r_{\max} wyznaczonej z następującej zależności

$$r_{\max} = \frac{c}{N - 1} \quad (7.15)$$

Wartość parametru c nieraz jest przyjmowana jako równa wartości maksymalnego przystosowania osobnika występującego w danej populacji, tj. $\text{eval}(ch_i(t))_{\max}$.

Przykład obliczeniowy 4

W populacji składającej się z $N = 6$ osobników należy przeprowadzić skalowanie rankingowe liniowe funkcji przystosowania. Wartości funkcji przystosowania pierwotnego osobników zostały podane w przykładzie obliczeniowym 1. Należy przyjąć, że wartość początkowa c wynosi 100, a różnica r równa się 5.

Rozwiążanie

Rozwiążanie zadania zostało przedstawione w tablicy 7.4.

Jak widać, przystosowania osobników po skalowaniu nie mają bezpośredniego związku z ich przystosowaniami pierwotnymi.

Tablica 7.4

Wyniki skalowania metodą rankingu liniowego

i	$eval(ch_i(t))$	j	$eval^s(ch_i(t))$
1	17,20	3	90
2	30,10	1	100
3	9,70	6	75
4	11,90	5	80
5	21,20	2	95
6	15,20	4	85

SKALOWANIE RANKINGOWE WYKŁADNICZE

Skalowanie metodą rankingową wykładniczą, podobnie jak skalowanie metodą rankingową liniową, polega na uporządkowaniu osobników w danej populacji wg malejącego przystosowania pierwotnego, a następnie wychodząc z pewnej wartości początkowej c , należy pomniejszać kolejne wartości przystosowania po skalowaniu o stały wykładnik p wg wzoru [4]

$$eval^s(ch_i(t)) = cp^{j-1} \quad (7.16)$$

gdzie j jest pozycją i -tego osobnika w rankingu.

Wartość parametru p należy do przedziału $<0, 1>$ i zwykle jest bliska jedności. Wartość parametru c , podobnie jak w metodzie skalowania rankingowego liniowego, nierzaz jest przyjmowana jako równa wartości maksymalnego przystosowania osobnika występującego w danej populacji, tj. $eval(ch_i(t))_{\max}$.

Przykład obliczeniowy 5

W populacji składającej się z $N = 6$ osobników należy przeprowadzić skalowanie rankingowe wykładnicze funkcji przystosowania. Wartości funkcji przystosowania pierwotnego osobników zostały podane w przykładzie obliczeniowym 1. Należy przyjąć, że wartość początkowa c wynosi 100, a parametr p równa się 0,9.

Rozwiążanie

Rozwiążanie zadania zostało przedstawione w tablicy 7.5.

Tablica 7.5

Wyniki skalowania metodą rankingu wykładniczego

i	$eval(ch_i(t))$	j	$eval^s(ch_i(t))$
1	17,20	3	81
2	30,10	1	100
3	9,70	6	59,049
4	11,90	5	65,61
5	21,20	2	90
6	15,20	4	72,9

Podobnie jak w przypadku skalowania rankingowego liniowego, przystosowania osobników po skalowaniu nie mają bezpośredniego związku z ich przystosowaniami pierwotnymi.

INNE METODY SKALOWANIA

W dalszej części zostaną przedstawione jeszcze dwie inne metody skalowania:

- metoda „okna”,
- metoda Boltzmanna.

SKALOWANIE METODĄ „OKNA”

W skalowaniu metodą „okna” należy odjąć od wartości funkcji przystosowania pierwotnego i -tego osobnika wartość funkcji przystosowania najgorszego osobnika w ostatnich w pokoleniach, zgodnie ze wzorem [4]

$$eval^s(ch_i(t)) = eval(ch_i(t)) - eval^w(ch_i(t))_{\min} \quad (7.17)$$

Rozmiar okna w wynosi najczęściej od 2 do 10.

SKALOWANIE METODĄ BOLTZMANNA

Skalowanie metodą Boltzmanna odbywa się zgodnie ze wzorem [4]

$$eval^s(ch_i(t)) = e^{eval(ch_i(t))/T} \quad (7.18)$$

Parametr T powinien być odpowiednio duży.

7.3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia każdy zespół laboratoryjny w sposób praktyczny poznaje zagadnienia skalowania funkcji przystosowania.

Zespół otrzymuje do analizy, od prowadzącego zajęcia, jedną z dwóch standardowych funkcji testowych De Jonga [3], tj. paraboloidę, czyli funkcję F1, lub siodło Rosenbrocka, czyli funkcję F2.

Paraboloida jest funkcją trzech zmiennych rzeczywistych o następującej postaci

$$f_1(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^3 x_i^2, \quad -5,12 \leq x_i \leq 5,12 \quad (7.19)$$

Funkcja ta osiąga minimum $f_{\min} = 0$ w przypadku, gdy wszystkie zmienne są równe 0 oraz maksimum $f_{\max} = 78,6432$ wówczas, gdy zachodzi warunek $|x_i| = 5,12$ dla $i = 1, 2, 3$.

Siodło Rosenbrocka jest z kolei funkcją dwóch zmiennych o postaci

$$f_2(\mathbf{x}) = 100(x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2, \quad -2,048 \leq x_i \leq 2,048 \quad (7.20)$$

Minimum tej funkcji $f_{\min} = 0$ i jest osiągane dla $x_1 = x_2 = 1$. Z kolei maksimum $f_{\max} = 3905,9262$ i zachodzi, gdy $x_1 = x_2 = -2,048$.

Jak widać, obie funkcje w swoich dziedzinach przyjmują wartości nieujemne. Jednocześnie mają ekstrema – minima wewnętrz zdefiniowanych dziedzin oraz maksima na krańcach tych dziedzin.

Ze względu na przestrzenny kształt przedstawianych funkcji oraz naturalną właściwość algorytmów ewolucyjnych, polegającą na maksymalizacji pewnej funkcji użyteczności lub zysku, proponuje się przyjąć następujące postacie odpowiadających im funkcji ewaluacji (przystosowania):

$$\text{eval}_1(\mathbf{x}) = 80 - f_1(\mathbf{x}) \quad (7.21)$$

$$\text{eval}_2(\mathbf{x}) = 3910 - f_2(\mathbf{x}) \quad (7.22)$$

Tak zdefiniowane funkcje ewaluacji osiągają maksima wówczas, gdy odpowiadające im funkcje celu przyjmują wartości minimalne. Dążenie algorytmu ewolucyjnego do maksymalizacji funkcji przystosowania jest więc tożsame z osiąganiem minimum przez funkcję kryterialną.

W celu przeprowadzenia odpowiednich obliczeń, każdy zespół otrzymuje od prowadzącego indywidualny zestaw danych dotyczących osobników w populacji podlegającej skalowaniu. Są to odpowiednie wartości zmiennych – współrzędne punktów w przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych. Liczba osobników w populacji $N = 20$.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przeprowadzić skalowanie funkcji przystosowania danej populacji osobników dwiema lub trzema, wskazanymi przez prowadzącego, metodami. Testowaniu podlegają następujące metody skalowania: liniowe, σ -odcięcia, logarytmiczne, rankingowe liniowe, rankin-gowe wykładowicze.

Aby przeprowadzić skalowanie wskazanymi metodami, każdy zespół powinien zbudować odpowiednie arkusze kalkulacyjne w programie Microsoft Excel.

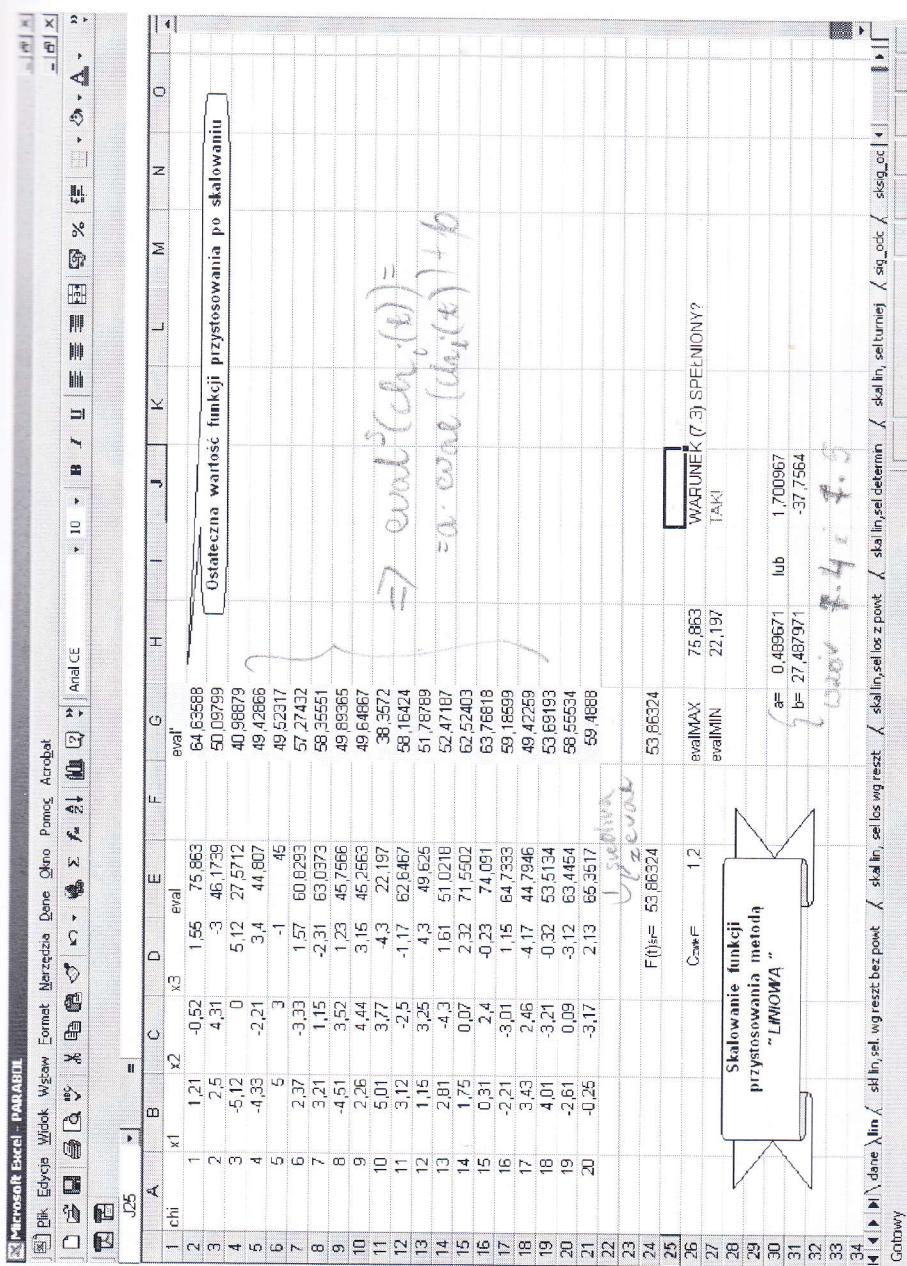
Przykładowe arkusze kalkulacyjne dla paraboloidy zostały przedstawione na rysunkach 7.1–7.3, a dla siodła Rosenbrocka na rysunkach 7.4–7.6.

20 - x₁ - x₂ - x₃

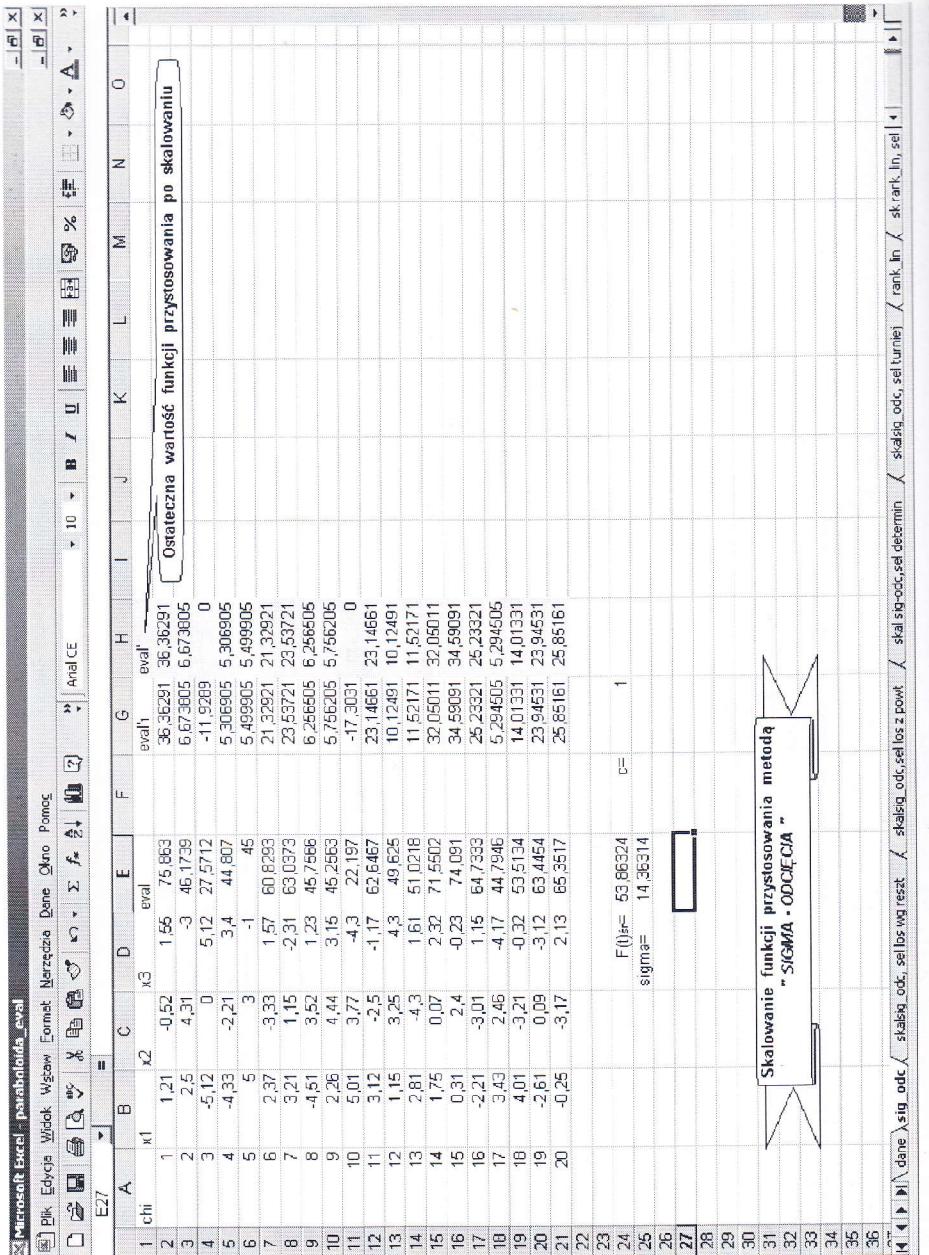
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ch	x1	x2	x3	eval										
2	1	1,21	-0,52	1,56	75,863										
3	2	2,5	4,31	-3	46,1739										
4	3	-5,12	0	5,12	27,5712										
5	4	-4,33	-2,21	3,4	44,807										
6	5	5	3	-1	45										
7	6	2,37	-3,33	1,57	60,6293										
8	7	3,21	1,15	-2,31	63,0373										
9	8	-4,61	3,52	1,23	46,7486										
10	9	2,26	4,44	3,15	46,2863										
11	10	5,01	3,77	-4,3	22,197										
12	11	3,12	-2,5	-1,17	62,6467										
13	12	1,15	3,25	4,3	49,625										
14	13	2,81	-4,3	1,61	51,0218										
15	14	1,75	0,07	2,32	71,5502										
16	15	0,31	2,4	-0,23	74,091										
17	16	-2,21	-3,01	1,15	64,7333										
18	17	3,43	2,46	-4,17	44,7946										
19	18	4,01	-3,21	-0,32	53,5134										
20	19	-2,61	0,09	3,12	63,4454										
21	20	-0,25	-3,17	2,13	65,3517										
22				F0=	1077,265										
23				N=	20										
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															

Rys. 7.1. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – dane wejściowe oraz funkcje przystosowania osobników w przypadku funkcji F1 (1)

Rys. 7.1. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – dane wejściowe oraz funkcje przystosowania osobników w przypadku funkcji F1 [1]

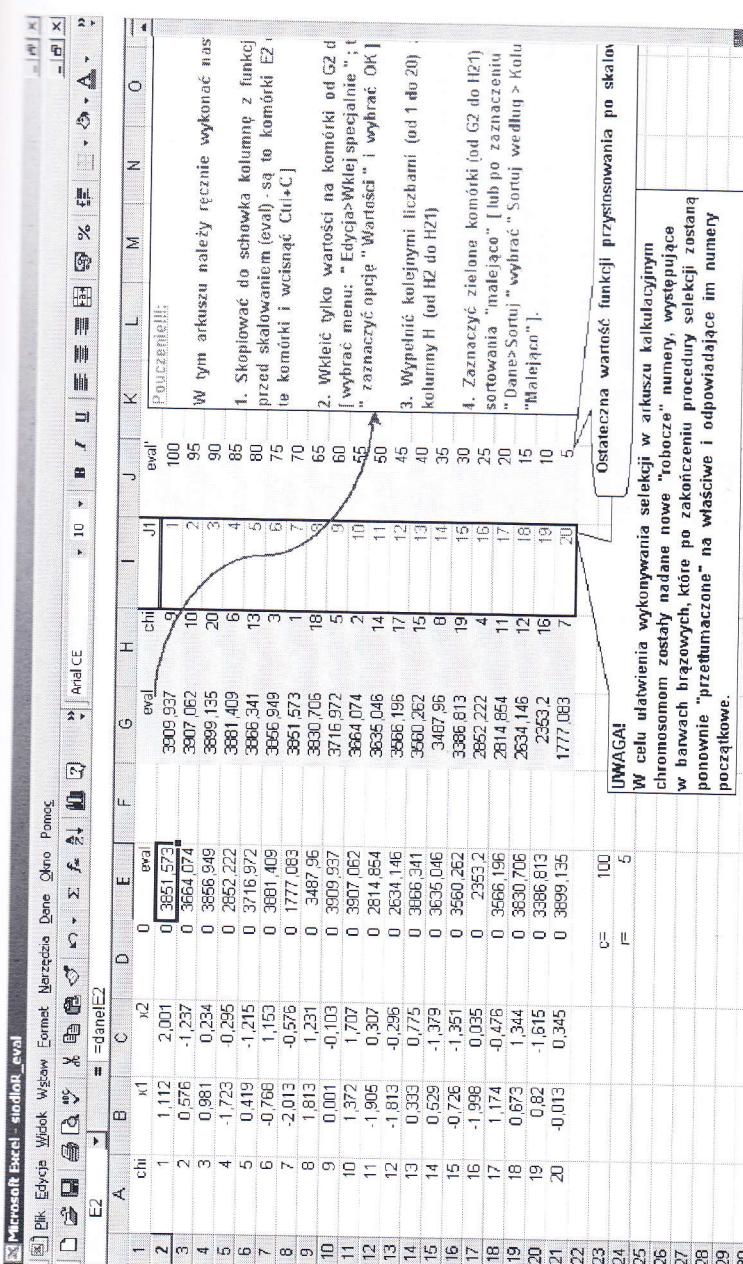


Rys. 7.2. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie liniowe funkcji przystosowania w przypadku funkcji F1 [1]

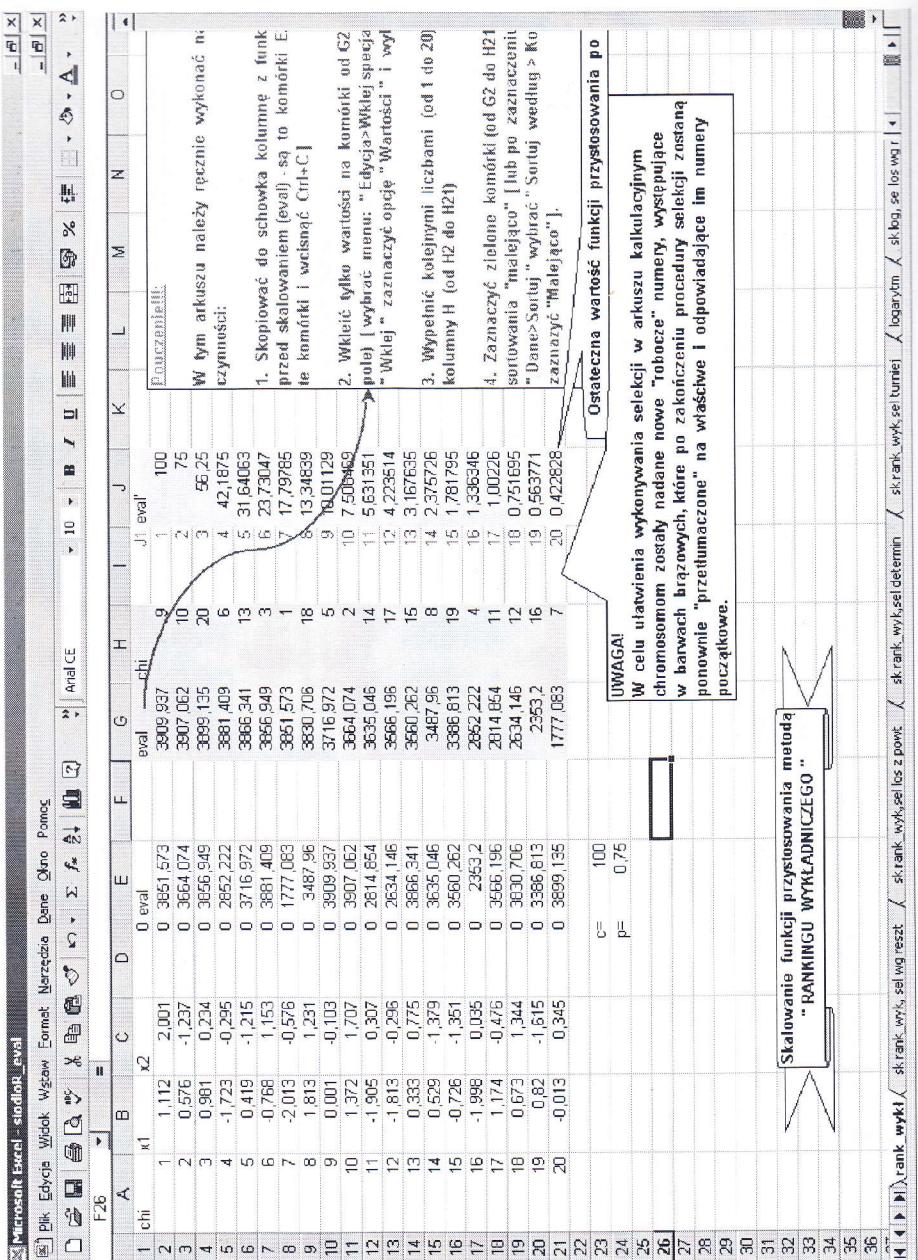


Rys. 7.3. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie funkcji przy stosowaniem metodą σ-odcęgiem w przypadku funkcji F(1)

Rys. 7.3. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie funkcji przystosowania metodą σ -odcięcia w przypadku funkcji F1 [1]

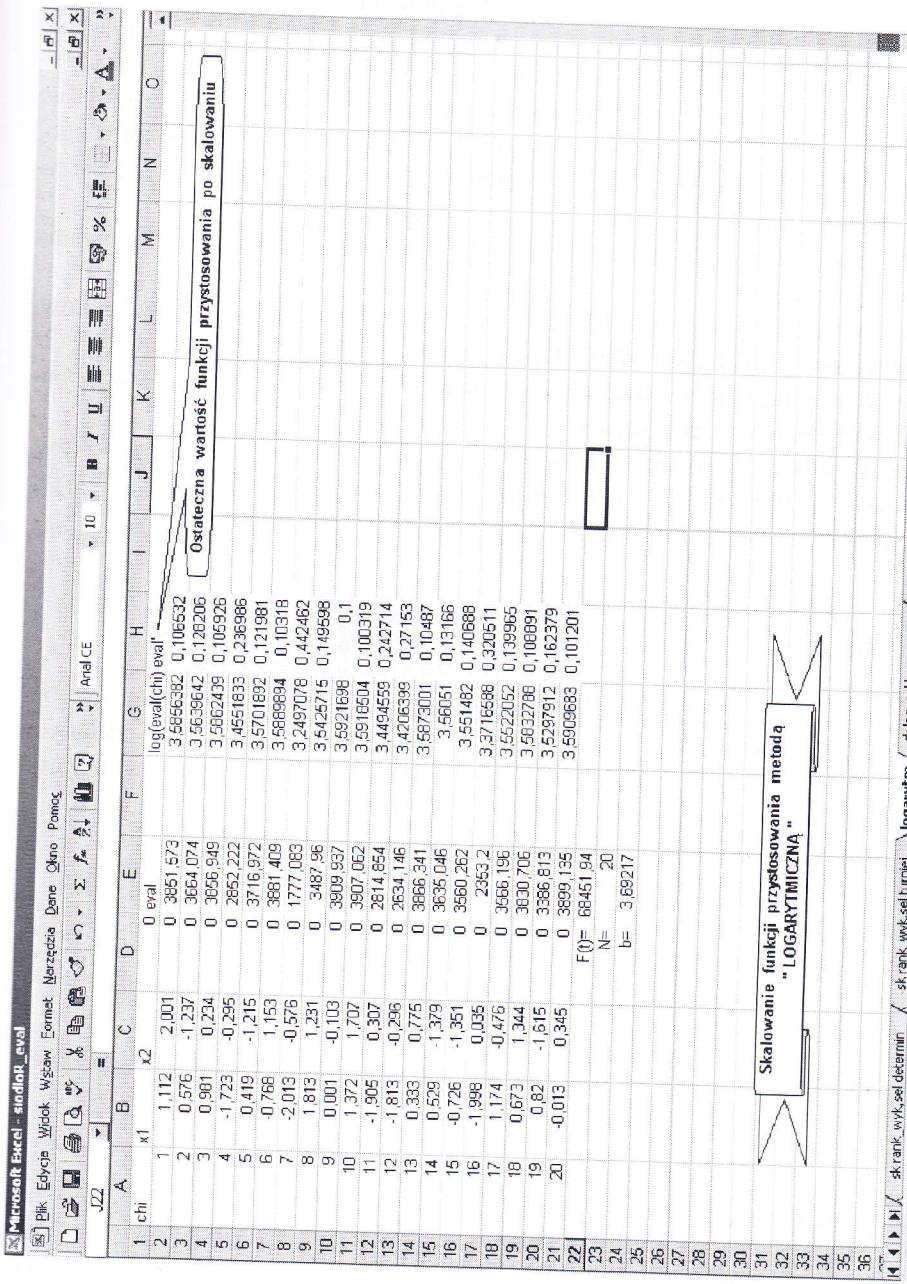


Rys. 7.4. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie funkcji przystosowania metodą rankingu liniowego w przypadku funkcji F2 [1]



Rys. 7.5. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie przy stosowaniu metoda rankingu wykładowicznego w przypadku funkcji F2 (1)

Rys. 7.5. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie przyastosowania metoda rankingu wykładniczego w przypadku funkcji F2 [1]



Rys. 7.6. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie przyastosowania metoda logarytmiczną w przypadku funkcji F2 [1]

7.4. ZADANIA DO SAMODZIELNEGO WYKONANIA

W ramach samokształcenia oraz w celu pogłębienia uzyskanej w czasie zajęć laboratoryjnych wiedzy na temat różnych metod skalowania funkcji przystosowania osobników w populacji, proponuje się wykonanie następujących zadań:

1. Przeprowadzić skalowanie funkcji przystosowania populacji osobników, podanej w przykładzie obliczeniowym 1, metodą skalowania potęgowego. Sposób wyznaczania rozpiętości (rozrzutu) określić na podstawie [5]. Przyjąć, że $t = 1$ oraz $T = 100$.
2. Przedstawić alternatywną postać formuły skalującej w metodzie skalowania logarytmicznego.
3. Przeprowadzić skalowanie funkcji przystosowania populacji osobników, podanej w przykładzie obliczeniowym 1, metodą „okna”. Założyć, iż $w = 2$ oraz przyjąć wartość przystosowania najgorszego osobnika w populacji w ostatnich w pokoleniach.
4. Przeprowadzić skalowanie funkcji przystosowania populacji osobników, podanej w przykładzie obliczeniowym 1, metodą Boltzmanna. Przyjąć odpowiednią wartość parametru T .

7.5. WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA

Podstawą do zaliczenia ćwiczenia jest przeprowadzenie eksperymentów badawczych dla wskazanej przez prowadzącego funkcji celu oraz zadanych metod skalowania funkcji przystosowania, a także przedłożenie związanego z tymi eksperymentami sprawozdania.

W sprawozdaniu w szczególności należy zamieścić:

- opis badanej funkcji celu oraz zadanych metod skalowania,
- dane wejściowe do badań uzyskane od prowadzącego zajęcia,
- wyniki uzyskane za pomocą zbudowanych arkuszy kalkulacyjnych,
- wnioski dotyczące wpływu badanych metod skalowania funkcji przystosowania na uzyskiwane wyniki procesu skalowania.

Do sprawozdania można także dołączyć rozwiązania zadań do samodzielnego wykonania, jeśli zostały wykonane.

LITERATURA POMOCNICZA

1. Bielecki S.: Przykładowe arkusze kalkulacyjne do skalowania funkcji przystosowania oraz różnych metod selekcji wykonane za pomocą Microsoft Excel. Praca niepublikowana. Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.

2. Cytowski J.: Algorytmy genetyczne. Podstawy i zastosowania. PLJ, Warszawa 1996.
3. Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Wyd. 3, WNT, Warszawa 2003.
4. Helt P., Parol M., Piotrowski P.: Metody sztucznej inteligencji w elektroenergetyce. OWPW, Warszawa 2000.
5. Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + Struktury danych = Programy ewolucyjne. Wyd. 3, WNT, Warszawa 2003.
6. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. PWN, Warszawa 1997.
7. Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji: inteligencja obliczeniowa. PWN, Warszawa 2006.

Spśród różnych metod przystosowania stwierdzone są:

- metoda w
- metoda v
- metoda v
- metoda v

We wszczynności obliczenia o

Zbiór cz

- 1. Wyznac
- nika w p
- 2. Obliczy

3. Określi

4. Wyzna

5. Oblicz

6. Oblicz

gdzie

Przykład

Przeprowa
ników, c

Ćwiczenie 8

METODY SELEKCJI

8.1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Zasadniczym celem ćwiczenia jest poznanie różnych metod selekcji oraz wpływu tych metod na postać populacji osobników w kolejnych pokoleniach algorytmu ewolucyjnego. W trakcie ćwiczenia przeprowadza się selekcję nowych osobników (tworzy się nową populację) kilkoma wybranymi metodami dla różnych funkcji celu, będących funkcjami wielu zmiennych. W celu zautomatyzowania przeprowadzanych czynności obliczeniowych wykorzystuje się arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel.

8.2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

Dobór odpowiedniej metody selekcji ma istotny wpływ na funkcjonowanie algorytmu ewolucyjnego.

Wybierając odpowiednią metodę selekcji, chcemy, aby spełnione były dwa następujące postulaty:

- algorytm ewolucyjny powinien być zbieżny, ale nie za szybko,
- populacja w trakcie całego procesu ewolucyjnego powinna być różnorodna (niezdominowana).

Ogólnie wszystkie stosowane metody selekcji można podzielić na dwie podstawowe klasy:

- metody oparte na funkcji przystosowania osobników,
- metody rankingowe.

Szczegółowy przegląd różnych metod selekcji można znaleźć w wielu podręcznikach, m. in. w [2, 3, 4, 5, 6, 7]. W dalszej części będą omówione jedynie metody najczęściej stosowane w praktyce.

8.2.1. METODY SELEKCJI OPARTE NA FUNKCJI PRZYSTOSOWANIA

Spośród różnych metod selekcji, dla których podstawą jest wartość funkcji przystosowania poszczególnych osobników w populacji, szczegółowo przedstawione są następujące metody:

- metoda wyboru deterministycznego,
- metoda wyboru losowego z powtórzeniami,
- metoda wyboru wg reszt bez powtórzeń,
- metoda wyboru wg reszt z powtórzeniami.

We wszystkich wymienionych metodach należy najpierw wykonać kilka czynności wstępnych (wspólnych dla tych metod), a następnie przeprowadzić obliczenia dla nich charakterystyczne (specyficzne).

Zbiór czynności wstępnych przedstawia się następująco:

1. Wyznaczyć wartość funkcji przystosowania (ewaluacji) dla każdego osobnika w populacji $eval(ch_i(t))$; $i = 1, 2, \dots, N$.
2. Obliczyć przystosowanie całej populacji osobników

$$F(t) = \sum_{i=1}^N eval(ch_i(t)) \quad (8.1)$$

3. Określić prawdopodobieństwo wyboru każdego osobnika w populacji

$$p_i(t) = \frac{eval(ch_i(t))}{F(t)} \quad (8.2)$$

4. Wyznaczyć oczekiwana liczbę kopii każdego osobnika w populacji

$$e_i(t) = p_i(t)N \quad (8.3)$$

5. Obliczyć część całkowitą oczekiwanej liczby kopii

$$\lfloor e_i(t) \rfloor \quad (8.4)$$

6. Obliczyć część ułamkową oczekiwanej liczby kopii

$$rest\lfloor e_i(t) \rfloor = e_i(t) - \lfloor e_i(t) \rfloor \quad (8.5)$$

gdzie $rest(\cdot)$ jest resztą (częścią ułamkową) z danej liczby.

Przykład obliczeniowy 1

Przeprowadzić czynności wstępne w populacji składającej się z $N = 6$ osobników, charakteryzujących się następującymi wartościami funkcji ewaluacji:

$$eval(ch_1(t)) = 17,2 \quad eval(ch_4(t)) = 11,9$$

$$eval(ch_2(t)) = 30,1 \quad eval(ch_5(t)) = 21,2$$

$$eval(ch_3(t)) = 9,7 \quad eval(ch_6(t)) = 15,2$$

Rozwiązań

Rozwiązań zadania należy rozpocząć od wyznaczenia wartości przystosowania całej populacji, tj. $F(t) = \sum_{i=1}^6 eval(ch_i(t)) = 105,3$. Następnie trzeba wykonać czynności opisane w pkt. 3–6 przedstawionego algorytmu działania.

Uzyskane wyniki zostały podane w tablicy 8.1.

Tablica 8.1
Wyniki obliczeń wstępnych w przykładzie obliczeniowym

i	$p_i(t)$	$e_i(t)$	$\lfloor e_i(t) \rfloor$	$rest[e_i(t)]$
1	0,1633	0,9798	0	0,9798
2	0,2858	1,7148	1	0,7148
3	0,0921	0,5526	0	0,5526
4	0,1130	0,6780	0	0,6780
5	0,2013	1,2078	1	0,2078
6	0,1443	0,8658	0	0,8658

METODA WYBORU DETERMINISTYCZNEGO

W metodzie wyboru deterministycznego należy najpierw wykonać kroki 1–6 ze zbioru czynności wstępnych. Następnie trzeba wykonać następujące czynności:

1. Każdemu i -temu osobnikowi w populacji należy przyporządkować tyle kopii, ile wynosi odpowiadająca mu część całkowita liczby $e_i(t)$, tj. $\lfloor e_i(t) \rfloor$; następnie obliczyć sumę

$$\sum_{i=1}^N \lfloor e_i(t) \rfloor \quad (8.6)$$

2. Obliczyć, ile wolnych miejsc (możliwych kopii osobników)

$$N - \sum_{i=1}^N \lfloor e_i(t) \rfloor \quad (8.7)$$

pozostało jeszcze do „zapełnienia” w nowej populacji.

3. Uporządkować populację osobników w porządku malejącym, biorąc za podstawę odpowiadające im części ułamkowe $rest[e_i(t)]$.
4. Zapełnić wolne miejsca w nowej populacji kopiami osobników wziętych z góry listy (rankingu) osobników, utworzonej w kroku 3.

Przykład obliczeniowy 2

Biorąc za podstawę populację składającą się z $N = 6$ osobników, podaną w przykładzie obliczeniowym 1, przeprowadzić selekcję metodą wyboru deterministycznego.

Rozwiążanie

Z przeprowadzonych obliczeń w przykładzie 1. wynika, iż osobnikowi o indeksie $i = 2$ oraz osobnikowi o indeksie $i = 5$ należy przyporządkować jedną kopię w nowym pokoleniu. Suma części całkowitych $\sum_{i=1}^6 [e_i(t)]$ jest więc równa 2. Wobec tego, liczba wolnych miejsc do zapełnienia w nowej populacji $N - \sum_{i=1}^6 [e_i(t)]$ wynosi 4. Miejsca te muszą zostać zapełnione w sposób charakterystyczny dla metody wyboru deterministycznego.

Biorąc pod uwagę reszty $rest[e_i(t)]$ i szeregując je w porządku malejącym, uzyskujemy następujący ranking osobników:

$$\begin{array}{ll} rest[e_1(t)] = 0,9798 & rest[e_4(t)] = 0,6780 \\ rest[e_6(t)] = 0,8658 & rest[e_3(t)] = 0,5526 \\ rest[e_2(t)] = 0,7148 & rest[e_5(t)] = 0,2078 \end{array}$$

Cztery pierwsze pozycje na tak ustawionej liście zajmują osobniki o indeksach: 1, 6, 2 i 4.

Ostatecznie, po przeprowadzeniu selekcji metodą wyboru deterministycznego, w nowej populacji ($t + 1$) znajdują się kopie następujących osobników: ch_2 , ch_5 , ch_1 , ch_6 , ch_2 , ch_4 .

METODA WYBORU LOSOWEGO Z POWTÓRZENIAMI

W metodzie wyboru losowego z powtórzeniami trzeba najpierw wykonać kroki 1–3 ze zbioru czynności wstępnych. Następnie należy wykonać poniższe czynności:

1. Obliczyć prawdopodobieństwo skumulowane dla każdego osobnika w populacji

$$q_i(t) = \sum_{j=1}^i p_j(t) \quad (8.8)$$

2. Wygenerować N kolejnych liczb pseudolosowych r_k , przyjmujących wartości z przedziału $<0, 1>$.
3. Dla każdej liczby losowej r_k należy przeprowadzić następujące rozumowanie:
 - a) jeśli spełniony jest warunek $r_k \leq q_1(t)$, wówczas do następnego pokolenia należy wybrać osobnika $ch_1(t)$,
 - b) w przeciwnym razie należy wybrać takiego i -tego osobnika w populacji ($2 \leq i \leq N$), dla którego zachodzi warunek $q_{i-1}(t) < r_k \leq q_i(t)$.

Ze względu na podobieństwo zasad działania, metoda ta często nosi nazwę metody **koła rulety**.

Przykład obliczeniowy 3

Zakładając, że populacja składa się z $N = 6$ osobników, podanych w przykładzie obliczeniowym 1, przeprowadzić selekcję metodą wyboru losowego z powtórzeniami. Znany jest zbiór kolejnych liczb pseudolosowych:

$$\begin{array}{ll} r_1 = 0,513870, & r_4 = 0,513870 \\ r_2 = 0,175741, & r_5 = 0,947628 \\ r_3 = 0,308652, & r_6 = 0,171736 \end{array}$$

Rozwiązańe

Z przeprowadzonych obliczeń w przykładzie 1 (kroki 1–3) wynikają wartości prawdopodobieństw wyboru poszczególnych osobników w populacji. Dalsze obliczenia powinny zostać przeprowadzone wg reguł obowiązujących w tej metodzie (patrz tablica 8.2).

Tablica 8.2

Wyniki obliczeń w metodzie wyboru losowego z powtórzeniami

i	$p_i(t)$	$q_i(t)$	r_k	$q_{i-1}(t) < r_k \leq q_i(t)$	Wynik wyboru
1	0,1633	0,1633	0,513870	$i = 3$	ch_3
2	0,2858	0,4491	0,175741	$i = 2$	ch_2
3	0,0921	0,5412	0,308652	$i = 2$	ch_2
4	0,1130	0,6542	0,534534	$i = 3$	ch_3
5	0,2013	0,8555	0,947628	$i = 6$	ch_6
6	0,1443	1,0000	0,171736	$i = 2$	ch_2

Wykonanie selekcji metodą wyboru losowego z powtórzeniami spowoduje, że w nowej populacji ($t + 1$) znajdą się kopie następujących osobników: ch_3 , ch_2 , ch_2 , ch_3 , ch_6 , ch_2 .

METODA WYBORU WG RESZT BEZ POWTÓRZEŃ

W metodzie wyboru wg reszt bez powtórzeń wykonuje się najpierw kroki 1–6 ze zbioru czynności wstępnych. W dalszej kolejności należy wykonać następujące czynności:

1. Wykonać kroki 1 i 2 jak w metodzie wyboru deterministycznego.
2. Dla każdego i -tego osobnika w populacji, części ułamkowe liczby $e_i(t)$, tj. $rest[e_i(t)]$, potraktować jako prawdopodobieństwa, a następnie założyć, że $i = 0$.
3. Zwiększyć indeks wg reguły: $i = i + 1$. Jeśli $i > N$, wówczas należy dokonać podstawienia $i := i - N$. Następnie dla osobnika o indeksie i przeprowadza się próbę Bernoulliego, w której część ułamkowa $rest[e_i(t)]$

odgrywa rolę prawdopodobieństwa sukcesu. W tym celu trzeba wygenerować liczbę pseudolosową r_k przyjmującą wartości z przedziału $<0, 1>$, a następnie dokonać następującego wnioskowania:

- jeśli wygenerowana liczba $r_k \leq \text{rest}[e_i(t)]$, wówczas należy wybrać osobnika $ch_i(t)$ do następnego pokolenia oraz dokonać podstawienia $\text{rest}[e_i(t)] := \text{rest}[e_i(t)] - 1$,
 - w przeciwnym przypadku należy przejść do kroku 4.
4. Jeżeli wszystkie wolne miejsca w populacji zostały zapełnione, należy zakończyć proces selekcji. W przeciwnym razie trzeba wrócić do kroku 3.

Przykład obliczeniowy 4

Znając populację składającą się z $N = 6$ osobników, podaną w przykładzie obliczeniowym 1, przeprowadzić selekcję metodą wyboru wg reszt bez powtórzeń. Zbiór kolejnych liczb pseudolosowych przedstawia się następująco:

$$\begin{array}{ll} r_1 = 0,513870, & r_4 = 0,513870 \\ r_2 = 0,175741, & r_5 = 0,947628 \\ r_3 = 0,308652, & r_6 = 0,171736 \end{array}$$

Rozwiązańe

Z przeprowadzonych obliczeń w przykładzie 1 wynika, że osobnicy ch_2 i ch_5 będą mieli po jednej kopii w następnym pokoleniu. Pozostałe cztery wolne miejsca w nowej populacji powinny zostać określone zgodnie z zasadami działania metody wyboru wg reszt bez powtórzeń (patrz tablica 8.3).

Tablica 8.3

Wyniki obliczeń w metodzie wyboru wg reszt bez powtórzeń

i	$\text{rest}[e_i(t)]$	r_k	$r_k \leq \text{rest}[e_i(t)]?$	Wynik wyboru	$\text{rest}[e_i(t)]$
1	0,9798	0,513870	tak	ch_1	-0,0202
2	0,7148	0,175741	tak	ch_2	-0,2852
3	0,5526	0,308652	tak	ch_3	-0,4474
4	0,6780	0,534534	tak	ch_4	-0,3220
5	0,2078	-	-	-	-
6	0,8658	-	-	-	-

Po przeprowadzeniu selekcji metodą wyboru wg reszt bez powtórzeń w nowej populacji ($t + 1$) znajdą się kopie następujących osobników: ch_2 , ch_5 , ch_1 , ch_2 , ch_3 , ch_4 .

METODA WYBORU WG RESZT Z POWTÓRZENIAMI

W metodzie wyboru wg reszt z powtórzeniami należy najpierw wykonać kroki 1–6 ze zbioru czynności wstępnych. Następnie trzeba wykonać następujące czynności:

1. Wykonać kroki 1 i 2 jak w metodzie wyboru deterministycznego.
2. Wykorzystać części ułamkowe liczby $e_i(t)$, tj. $\text{rest}[e_i(t)]$, do utworzenia koła rulety, zgodnie z zasadami podanymi w metodzie wyboru losowego z powtórzeniami.
3. Zapełnić wolne miejsca w nowej populacji kopiami osobników wylosowanych za pomocą utworzonego w kroku 2 koła rulety.

Przykład obliczeniowy 5

Zakładając, że populacja składa się z $N = 6$ osobników, podanych w przykładzie obliczeniowym 1, przeprowadzić selekcję metodą wyboru wg reszt z powtórzeniami. Znany jest ciąg kolejnych liczb pseudolosowych:

$$\begin{array}{ll} r_1 = 0,513870, & r_4 = 0,513870 \\ r_2 = 0,175741, & r_5 = 0,947628 \\ r_3 = 0,308652, & r_6 = 0,171736 \end{array}$$

Rozwiążanie

Z przeprowadzonych obliczeń w przykładzie 1 wynika, że osobnicy ch_2 i ch_5 będą mieli po jednej kopii w następnym pokoleniu. Pozostałe cztery wolne miejsca w nowej populacji powinny zostać zapełnione za pomocą koła rulety, którego podstawą są reszty $\text{rest}[e_i(t)]$ (patrz tablica 8.4). Suma reszt

$$\sum_{i=1}^6 \text{rest}[e_i(t)] \text{ wynosi } 4.$$

$$\sum_{i=1}^6 \text{rest}[e_i(t)] = 3,9983$$

Tablica 8.4

Wyniki obliczeń w metodzie wyboru wg reszt z powtórzeniami

i	$\text{rest}[e_i(t)]$	$p_i(t) = \frac{\text{rest}[e_i(t)]}{\sum_{i=1}^6 \text{rest}[e_i(t)]}$	$q_i(t)$	r_k	$q_{i-1}(t) < r_k \leq q_i(t)$	Wynik wyboru
1	0,9798	0,2450	0,2450	0,513870	$i = 3$	ch_3
2	0,7148	0,1787	0,4237	0,175741	$i = 1$	ch_1
3	0,5526	0,1382	0,5619	0,308652	$i = 2$	ch_2
4	0,6780	0,1695	0,7314	0,534534	$i = 3$	ch_3
5	0,2078	0,0520	0,7834	–	–	–
6	0,8658	0,2165	1,0000	–	–	–

Przeprowadzenie selekcji metodą wyboru wg reszt z powtórzeniami spowoduje, że w nowej populacji ($t + 1$) znajdą się kopie następujących osobników: ch_2 , ch_5 , ch_3 , ch_1 , ch_2 , ch_3 .

8.2.2. RANKINGOWE METODY SELEKCJI

W niniejszej publikacji będzie przedstawiona jedna wybrana rankingowa metoda selekcji. Będzie to metoda turnieju losowego, zwana też metodą rang Wetzela [3].

W metodzie rang Wetzela należy w pierwszej kolejności wykonać kroki 1–3 ze zbioru czynności wstępnych, opisanych w rozdz. 8.2.1. Następnie należy wykonać czynności jak poniżej:

1. Obliczyć prawdopodobieństwo skumulowane dla każdego i -tego osobnika w populacji, jak w metodzie wyboru losowego z powtórzeniami – patrz wzór (8.8).
2. Wygenerować $2N$ kolejnych liczb pseudolosowych r_k , przyjmujących wartości z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.
3. Dla każdej kolejnej pary liczb pseudolosowych r_m i r_{m+1} dokonać wyboru dwóch osobników do następnego pokolenia, zgodnie z zasadą rulety podaną w kroku 3 metody wyboru losowego z powtórzeniami.
4. Spośród wybranych w kroku 3. dwóch osobników o indeksach i_1 oraz i_2 w danej populacji, wskazać „zwycięzcę turnieju”, czyli osobnika o większej wartości funkcji przystosowania, tj.:
 - a) osobnika $ch_{i_1}(t)$, jeśli $eval(ch_{i_1}(t)) \geq eval(ch_{i_2}(t))$ lub
 - b) osobnika $ch_{i_2}(t)$, w przeciwnym przypadku i umieścić go w nowej populacji
5. Powtórzyć N razy kroki 3 i 4.

Oprócz zaprezentowanej metody turnieju losowego w literaturze jest opisanych więcej rankingowych metod selekcji, np. metoda rankingu liniowego oraz metoda rankingu μN jednostajnego.

Przykład obliczeniowy 6

Biorąc za podstawę populację składającą się z $N = 6$ osobników, podanych w przykładzie obliczeniowym 1, należy przeprowadzić selekcję metodą turnieju losowego. Znany jest zbiór kolejnych liczb pseudolosowych:

$$\begin{array}{ll} r_1 = 0,513870, & r_7 = 0,702231 \\ r_2 = 0,175741, & r_8 = 0,226431 \\ r_3 = 0,308652, & r_9 = 0,494773 \\ r_4 = 0,534534, & r_{10} = 0,424720 \\ r_5 = 0,947628, & r_{11} = 0,703899 \\ r_6 = 0,171736, & r_{12} = 0,389647 \end{array}$$

Rozwiążanie

Z obliczeń przeprowadzonych w przykładzie 1 (kroki 1–3) wynikają wartości prawdopodobieństw wyboru poszczególnych osobników w populacji. W dalszej kolejności trzeba przeprowadzić obliczenia wg reguł obowiązujących w metodzie rang Wetzela (patrz tablica 8.5).

Tablica 8.5

Wyniki obliczeń w metodzie rang Wetzela

i	$p_i(t)$	$q_i(t)$	r_k	$q_{i-1}(t) < r_k \leq q_i(t)$	$q_{i-1}(t) < r_k \leq q_i(t)$	$eval(ch_{i_1}(t))$	$eval(ch_{i_2}(t))$	Wynik wyboru
1	0,1633	0,1633	0,513870	$i_1 = 3$	—	9,7	—	ch_2
2	0,2838	0,4491	0,175741	—	$i_2 = 2$	—	30,1	
3	0,0921	0,5412	0,308652	$i_1 = 2$	—	30,1	—	ch_2
4	0,1130	0,6542	0,534534	—	$i_2 = 3$	—	9,7	
5	0,2013	0,8555	0,947628	$i_1 = 6$	—	15,2	—	ch_2
6	0,1443	1,0000	0,171736	—	$i_2 = 2$	—	30,1	
—	—	—	0,702231	$i_1 = 5$	—	21,2	—	ch_2
—	—	—	0,226431	—	$i_2 = 2$	—	30,1	
—	—	—	0,494773	$i_1 = 3$	—	9,7	—	ch_2
—	—	—	0,424720	—	$i_2 = 2$	—	30,1	
—	—	—	0,703899	$i_1 = 5$	—	21,2	—	ch_2
—	—	—	0,389647	—	$i_2 = 2$	—	30,1	

Wykonanie selekcji metodą turnieju losowego spowoduje, że w nowej populacji ($t + 1$) znajdą się same kopie osobnika ch_2 .

8.2.3. INNE METODY SELEKCJI

Spośród innych metod selekcji warto wspomnieć selekcję metodą stłoczenia [3], stosowaną nieraz w przypadku używania reprezentacji binarnej.

W selekcji metodą stłoczenia nowo utworzone osobniki potomne zastępują najbardziej do nich podobne osobniki rodzicielskie (z poprzedniego pokolenia), przyjmując w tym celu miarę w sensie Hamminga. Postępując w ten sposób, utrzymuje się dużą różnorodność osobników w populacji. W metodzie tej wprowadzony został specyficzny parametr, tzw. współczynnik stłoczenia CF . Parametr ten określa liczbę „starych” osobników (najbardziej podobnych do nowo powstałego osobnika), spośród których będzie wylosowany osobnik do usunięcia z populacji. Metoda ta okazuje się szczególnie przydatna w przypadku optymalizacji funkcji wielomodalnych (wieloekstremalnych).

8.3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia każdy zespół laboratoryjny w sposób eksperymentalny poznaje zasady funkcjonowania różnych metod selekcji osobników.

Zespół otrzymuje do analizy, od prowadzącego zajęcia (podobnie jak w ćwiczeniu dotyczącym metod skalowania funkcji przystosowania), jedną z dwóch standardowych funkcji testowych: De Jonga [3], tj. paraboloidę, lub siodło Rosenbrocka.

Szczegółowa postać funkcyjna paraboloidy $f_1(\mathbf{x})$ oraz siodła Rosenbrocka $f_2(\mathbf{x})$ została przedstawiona w ćwiczeniu poświęconym metodom skalowania. Proponuje się przyjąć takie same, jak we wspomnianym ćwiczeniu, postacie odpowiadających im funkcji ewaluacji:

$$eval_1(\mathbf{x}) = 80 - f_1(\mathbf{x}) \quad (8.9)$$

$$eval_2(\mathbf{x}) = 3910 - f_2(\mathbf{x}) \quad (8.10)$$

Tak określone funkcje ewaluacji osiągają bowiem maksima wówczas, gdy odpowiadające im funkcje celu przyjmują wartości minimalne.

Aby przeprowadzić odpowiednie obliczenia, każdy zespół otrzymuje od prowadzącego zajęcia indywidualny zestaw danych dotyczących osobników w populacji podlegających selekcji. Dane te są identyczne z tymi, które były wykorzystywane w ćwiczeniu poświęconym metodom skalowania funkcji przystosowania. Liczba osobników w populacji wynosi $N = 20$.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przeprowadzić dwa rodzaje eksperymentów:

- przeprowadzić selekcję osobników w danej populacji dwiema, wskazanymi przez prowadzącego, metodami,
- przeprowadzić łączne czynności skalowania funkcji przystosowania oraz selekcji osobników w danej populacji, wykorzystując w tym celu wyniki uzyskane w czasie wykonywania ćwiczenia dotyczącego metod skalowania.

Eksperymentom będą podlegać następujące metody selekcji:

- wyboru deterministycznego,
- wyboru losowego z powtórzeniami,
- wyboru wg reszt bez powtórzeń,
- wyboru wg reszt z powtórzeniami,
- turnieju losowego.

W celu przeprowadzenia procesu selekcji wskazanymi metodami, każdy zespół powinien zbudować odpowiednie arkusze kalkulacyjne za pomocą systemu Microsoft Excel.

Przykładowe arkusze kalkulacyjne, pozwalające rozwiązać tak postawione zadanie, zostały przedstawione dla paraboloidy na rysunkach 8.1–8.3, a dla siodła Rosenbrocka na rysunkach 8.4–8.6.

W przypadku realizacji łącznych czynności skalowania funkcji przystosowania i wykonania operacji selekcji, należy wykorzystać wyniki uzyskane dla dwóch wybranych poprzednio metod skalujących, po czym wykonać na ich podstawie selekcję dwiema wskazanymi w tym ćwiczeniu metodami. W ten sposób każdy zespół uzyska 4 kompletne zestawy procedur skalująco-selekcyjnych. Przykładowe wyniki działania takich procedur w postaci odpowiednich arkuszy kalkulacyjnych, zostały pokazane na rysunkach 8.7–8.10.

8.4. ZADANIA DO SAMODZIELNEGO WYKONANIA

W ramach samodzielnego ćwiczeń oraz w celu poszerzenia uzyskanej w czasie zajęć laboratoryjnych wiedzy na temat różnych metod selekcji, proponuje się wykonanie następujących zadań:

1. Przeprowadzenie selekcji metodami innymi niż wskazane przez prowadzącego zajęcia.
2. Przeprowadzenie selekcji metodą rankingu liniowego, biorąc za podstawę populację składającą się z $N = 6$ osobników, podanych w przykładzie obliczeniowym 1. Zasadę działania metody rankingu liniowego należy określić na podstawie wskazówek uzyskanych od prowadzącego zajęcia.
3. Przeprowadzenie selekcji metodą rankingu μN jednostajnego, zakładając, że populacja składa się z $N = 6$ osobników, podanych w przykładzie obliczeniowym 1. Algorytm działania metody rankingu μN jednostajnego należy opracować na podstawie wskazówek uzyskanych od prowadzącego zajęcia.
4. Opracowanie własnej metody selekcji dla problemów wieloekstremalnych, opierając się na ogólnej idei metody stłoczenia.

azanymi
nia oraz
wyniki
lowania.

ni, każdy
pomocą

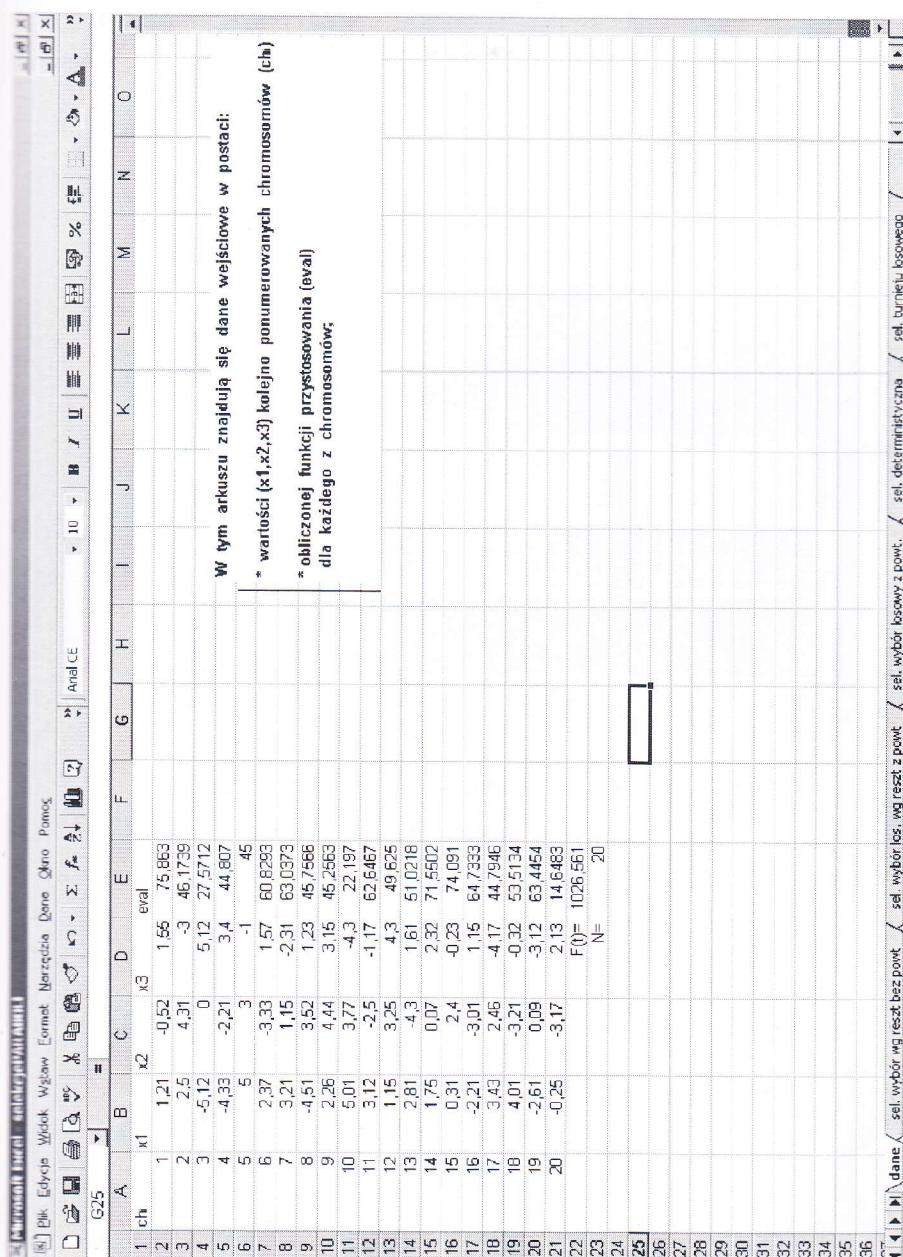
ostawione
4.3, a dla

orzystos-
skane dla
ać na ich
ni. W ten
-selekcyj-
powiednich

A
j w czasie
ponuje się
prowadzą-

podstawa-
rzykładzie
go należy
zajęcia.

ładając, że
nie oblicze-
go należy
zajęcia.
remalnych,



Rys. 8.1. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – dane wejściowe oraz funkcje przystosowania osobników w populacji w przypadku funkcji F1 [1]

Rys. 8.2. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – selekcja metod wyboru deterministycznego w przypadku funkcji F1 i F2

Rys. 8.2. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – selekcja metodą wyboru determinatywnego w przypadku funkcji F1 [1]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
chi	x1	x2	x3	eral	psel	qsel	liczby los	wybrane Chromosomy							
2	1	1.21	-0.52	1.55	75.863	0.0739	0.51387								
3	2	2.5	4.21	-3	46.1739	0.044979	0.118879	0.175741							4
4	3	-5.12	0	5.12	27.5712	0.026868	0.145737	0.308652							
5	4	-4.33	-2.21	3.4	44.807	0.043648	0.169385	0.534534							12
6	5	5	3	-1	45	0.043836	0.23322	0.947628							13
7	6	2.37	3.33	1.57	80.8293	0.059255	0.292476	0.171174							4
8	7	3.21	1.15	-2.31	63.0373	0.061406	0.353682	0.702231							15
9	8	-4.51	3.52	1.23	45.7566	0.044573	0.398465	0.226431							5
10	9	2.26	4.44	3.15	45.2563	0.044186	0.442564	0.494773							11
11	10	5.01	3.77	-4.3	22.197	0.021623	0.464163	0.42472							9
12	11	3.12	-2.5	-1.17	62.6467	0.061026	0.525189	0.703659							15
13	12	1.15	3.25	4.3	49.625	0.048341	0.57353	0.369647							8
14	13	2.81	-4.3	1.61	51.0218	0.049702	0.623231	0.277226							6
15	14	1.75	0.07	2.32	71.5562	0.069659	0.69235	0.368071							8
16	15	0.31	2.4	-0.23	74.091	0.072174	0.765104	0.983437							19
17	16	-2.21	-3.01	1.15	64.7333	0.063058	0.828163	0.005598							1
18	17	3.43	-2.46	-4.17	44.7946	0.043636	0.871798	0.765682							16
19	18	4.01	-3.21	-0.32	53.5134	0.052129	0.923921	0.646473							14
20	19	-2.61	0.09	-3.12	63.4454	0.061804	0.986731	0.767139							16
21	20	-0.25	-3.17	2.13	14.6483	0.014269	1	0.780237							16
22				sum=	1026.561										
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															

Numerы остаточно выбранных хромосом

Selekcja metoda "wybranego losowego z powtórzeniami"

Rys. 8.3. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – selekcja metodą wyboru losowego z powtórzeniami w przypadku funkcji F1 [1]

L32												Anal CE													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
1	chi x1	X2	0	eval	reszta (e)	lukro ryley	[e]	liczby los ni chromosomu	liczba kopii dodatkowo wybrane chromoso																
2	1	1,112	2,001	0	3851,573	0,056267	1,125336	1	0,125336	0,020889	0,020889	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	2	0,576	-1,237	0	3654,074	0,055229	1,070554	1	0,070554	0,011759	0,032846	0,175741	2	2	1	1	4	TAk							
4	3	0,961	0,234	0	3855,949	0,0563345	1,126907	1	0,126907	0,021151	0,0530	0,300662	3	3	1	1	7	TAk							
5	4	-1,723	-0,295	0	2852,222	0,041668	0,83335	0	0,83335	0,192691	0,534534	4	4	0	0	12	TAk								
6	5	0,419	-1,215	0	3716,972	0,0543	1,086009	1	0,086009	0,014336	0,207026	0,947628	5	5	1	1	19	TAk							
7	6	-0,758	1,153	0	3881,409	0,056703	1,134054	1	0,134054	0,022342	0,229366	0,17174	6	6	1	1	4	TAk							
8	7	2,013	-0,576	0	1777,083	0,025961	0,519221	0	0,519221	0,086637	0,315905	0,702231	7	7	0	0	16	Nie							
9	8	1,813	1,231	0	3487,96	0,050965	1,019087	1	0,019087	0,003185	0,319088	0,226431	8	8	1	1	6	Nie							
10	9	0,001	-0,103	0	3809,537	0,052119	1,142389	1	0,142389	0,023731	0,003185	0,319088	1	1	1	1	11	Nie							
11	10	1,372	1,707	0	3907,052	0,057077	1,141549	1	0,141549	0,023592	0,365411	0,424472	10	10	1	1	11	Nie							
12	11	-1,905	0,307	0	2814,954	0,041122	0,822432	0	0,822432	0,137072	0,503463	0,703899	11	11	0	0	16	Nie							
13	12	-1,813	-0,296	0	2634,146	0,038482	0,769634	0	0,769634	0,128272	0,631755	0,389647	12	12	0	0	11	Nie							
14	13	0,333	0,775	0	3886,341	0,0563483	1,129651	1	0,129651	0,021609	0,653364	0,277226	13	13	1	1	7	Nie							
15	14	0,529	-1,379	0	3635,046	0,053104	1,062073	1	0,062073	0,010346	0,663709	0,368071	14	14	1	1	11	Nie							
16	15	-0,726	-1,351	0	3680,262	0,052011	1,040222	1	0,040222	0,006704	0,670143	0,7863437	15	15	0	0	20	Nie							
17	16	-1,958	0,036	0	2863,2	0,034377	0,687548	0	0,687548	0,114981	0,785004	0,053598	16	16	0	0	1	Nie							
18	17	1,174	-0,476	0	3666,196	0,052099	1,041956	1	0,041956	0,006993	0,791997	0,756602	17	17	1	1	16	Nie							
19	18	0,573	1,344	0	3000,706	0,055962	1,11934	1	0,11934	0,019873	0,911087	0,646473	18	18	1	1	13	Nie							
20	19	0,82	-1,615	0	3388,813	0,049477	0,989545	0	0,989545	0,164924	0,976795	0,767139	19	19	0	0	16	Nie							
21	20	-0,013	0,345	0	3889,135	0,056362	1,139233	1	0,139233	0,023205	0,780237	1	20	1	1	16	Nie								
22	F(t)=	68451,94						suma=	14																
23	N=	20						pozostałe wolne miejsca=	6																
24																									
25																									
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									
32																									
33																									
34																									
35																									
36																									

W wyniku selekcji zostały wybrane chromosomy o numerach przedstawionych w kolumnie N, w liczbie podanej w kolumnie O oraz do zapewnienia pozostałych miejsc te chromosomy o numerach podanych w kolumnie P, które

Selekcia metoda
wyboru losowego

Rys. 8-4. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – selekcja metoda wyboru losowego wraz z powtarzaniem w przypadku funkcji F2 (1)

Rys. 8.5. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – selekcja metodą losowej wg reszt bez powtórzeń w przypadku funkcji F2 [1]

	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K	N	O	P	Q	R	ch po selekcji
chi	x1	x2	2.001	0	eval	psel	los	wyb. ch	eval	los	wyb. ch	eval	los	wyb. ch	eval	17
2	1	1.112	2.001	0	3651.573	0.056267	0.51387	11	2814.854	0.822951	17	3666.196	17	3666.196	17	
3	2	0.576	-1.237	0	3664.074	0.053628	0.109795	4	2652.222	0.151932	3	3856.949	3	3856.949	3	
4	3	0.981	0.234	0	3056.949	0.056145	0.16614	6	3601.409	0.625477	13	3866.341	6	3866.341	6	
5	4	-1.723	-0.295	0	2652.222	0.041668	0.207807	11	2814.854	0.314686	6	3881.409	6	3881.409	6	
6	5	0.419	-1.215	0	3716.972	0.0543	0.262108	20	3899.15	0.346301	8	3487.96	20	3487.96	20	
7	6	-0.768	1.153	0	3681.409	0.056703	0.316811	4	2652.222	0.917204	19	3386.813	19	3386.813	19	
8	7	-2.013	-0.576	0	1777.083	0.025561	0.344772	15	3660.282	0.519776	11	2814.854	15	2814.854	15	
9	8	1.813	1.231	0	3487.96	0.051956	0.396728	5	3716.972	0.401154	9	3909.937	9	3909.937	9	
10	9	0.001	-0.103	0	3809.937	0.057119	0.452846	10	3907.052	0.606758	13	3866.341	10	3866.341	10	
11	10	1.372	1.707	0	3907.052	0.057077	0.50993	4	2472	9	3009.937	0.785402	16	2553.2	9	
12	11	-1.905	0.307	0	2814.854	0.041122	0.551045	15	3660.282	0.031523	1	3851.573	1	3851.573	1	
13	12	-1.813	-0.296	0	2634.146	0.038482	0.589527	8	3487.96	0.863921	18	3830.706	18	3830.706	18	
14	13	0.333	0.775	0	3686.341	0.156483	0.646104	6	3681.409	0.166525	4	2852.222	6	2852.222	6	
15	14	0.529	-1.379	0	3635.046	0.053104	0.689113	8	3487.96	0.67452	14	3635.046	14	3635.046	14	
16	15	-0.726	-1.351	0	3680.252	0.052011	0.751124	20	3899.15	0.7584	16	2553.2	20	2553.2	20	
17	16	-1.998	0.035	0	2363.2	0.03437	0.785501	1	3861.573	0.581893	12	2634.146	1	2634.146	1	
18	17	1.174	-0.476	0	3686.196	0.052098	0.637599	16	2953.2	0.39348	8	3487.96	8	3487.96	8	
19	18	0.673	1.344	0	3630.706	0.055952	0.695561	14	3635.046	0.200232	4	2852.222	14	2852.222	14	
20	19	0.82	-1.615	0	3386.813	0.039497	0.943038	16	2393.2	0.355535	8	3487.96	8	3487.96	8	
21	20	-0.013	0.345	0	3899.135	0.056952	1	0.780237	16	2853.2	0.826927	17	3666.196	17	3666.196	17
22				F(t)=	68451.94											
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																

Ostatecznie dobrane numery chromosomów

 Selekcja metoda "turniej lesowego"

Rys. 8.8. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – składowanie metody α -odejścia i selekcja metoda wyboru losowego wraz z powiązaniem dla Pontet F1

Rys. 8.8. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie metody rankingu i selekcja metodą wyboru losowego wg rank z powtarzeniami dla funkcji F1 [1]

	A	B	C	E	F	G	H	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	chi eval'	psel	qsel	los	wyr. ch	eval	los	wyr. ch	eval	los	wyr. ch	ch po selekcji			
2	1	100	0.095238	0.095238	0.51387	7	70	0.822951	12	46					
3	2	95	0.090476	0.105714	0.175741	2	95	0.161932	2	95					1
4	3	90	0.085714	0.271429	0.308652	4	65	0.625477	8	65					10
5	4	85	0.080962	0.362381	0.534534	7	70	0.314685	4	65					6
6	5	80	0.075119	0.428571	0.947626	16	25	0.346501	4	85					6
7	6	75	0.071429	0.5	0.171174	2	95	0.917204	15	30					6
8	7	70	0.066657	0.566657	0.702231	10	55	0.51976	7	70					10
9	8	66	0.081905	0.628571	0.226431	3	90	0.401154	5	80					1
10	9	60	0.057143	0.6885714	0.494773	6	75	0.606758	8	65					20
11	10	55	0.052381	0.730095	0.42422	5	60	0.785402	11	50					3
12	11	50	0.047619	0.785714	0.703899	10	55	0.031523	1	100					13
13	12	45	0.042857	0.828571	0.389647	5	80	0.88921	14	55					1
14	13	40	0.038095	0.866657	0.277226	4	85	0.166625	2	95					9
15	14	36	0.033333	0.9	0.368071	5	80	0.67452	9	60					13
16	15	30	0.028571	0.928571	0.983437	18	15	0.7584	11	50					13
17	16	26	0.02381	0.952381	0.005398	1	100	0.581893	8	65					14
18	17	20	0.019468	0.971429	0.765682	11	50	0.309248	5	60					1
19	18	15	0.014286	0.986714	0.646473	9	60	0.200232	3	90					13
20	19	10	0.009224	0.995238	0.767139	11	50	0.356635	5	60					20
21	20	5	0.004762	1	0.750337	11	50	0.826927	12	45					13
22	21	1050													14
23	24														
25	26														
27	28														
29	30														
31	32														
33	34														
35	36														
37	38														
39	40														

Numerы остаточных выбранных хромосом

Skalowanie rankingowe liniowe i selekcja
metodą "turnieju losowego"

Rys. 8.9. Przykładowy arkusz kalkulacyjny – skalowanie rankingowe liniowe i selekcja metodą turnieju losowego dla funkcji F2 [1]

RYS. 8, 10. Przykładowy arkusz kalkacyjny – skalowanie rankingowe wykonań w metodzie wyboru tanowego wg metod hez. powierzchniowej (funkcji F2-F1).

8.5. WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA

Podstawą do zaliczenia ćwiczenia jest przeprowadzenie eksperymentów badawczych dla wskazanej przez prowadzącego funkcji celu oraz zadanych metod selekcji i metod skalowania funkcji przystosowania, a także przedłożenie związanego z tymi eksperymentami sprawozdania.

W sprawozdaniu w szczególności należy zamieścić:

- opis badanej funkcji celu oraz zadanych metod selekcji i metod skalowania,
- dane wejściowe do badań uzyskane od prowadzącego zajęcia,
- wyniki uzyskane za pomocą zbudowanych arkuszy kalkulacyjnych,
- wnioski dotyczące wpływu badanych metod selekcji i metod skalowania funkcji przystosowania na uzyskiwane wyniki.

Do sprawozdania można także dołączyć rozwiązania zadań do samodzielnego wykonania, jeśli zostały wykonane.

LITERATURA POMOCNICZA

1. Bielecki S.: Przykładowe arkusze kalkulacyjne do skalowania funkcji przystosowania oraz różnych metod selekcji wykonane za pomocą Microsoft Excel. Praca niepublikowana. Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
2. Cytowski J.: Algorytmy genetyczne. Podstawy i zastosowania. PLJ, Warszawa 1996.
3. Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Wyd. 3, WNT, Warszawa 2003.
4. Helt P., Parol M., Piotrowski P.: Metody sztucznej inteligencji w elektroenergetyce. OWPW, Warszawa 2000.
5. Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + Struktury danych = Programy ewolucyjne. Wyd. 3, WNT, Warszawa 2003.
6. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. PWN, Warszawa 1997.
7. Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji: inteligencja obliczeniowa. PWN, Warszawa 2006.

Ćwiczenie 12

PROJEKTOWANIE OPTYMALNYCH STRUKTUR SIECI ROZDZIELCZYCH O UKŁADACH WIELOPĘTLOWYCH

12.1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Zasadniczym celem tego ćwiczenia jest zapoznanie się z możliwościami algorytmu ewolucyjnego służącego do optymalizacji struktur sieci rozdzielczych SN i nn o układach wielopętlowych. W czasie ćwiczenia dokonuje się „strojenia” algorytmu ewolucyjnego. „Strojenie” to, podobnie jak i w innych ćwiczeniach, polega na doborze odpowiednich wartości parametrów genetycznych, a także wyborze właściwej opcji skalowania funkcji przystosowania oraz opcji elityzmu selekcji. W celu przeprowadzenia procesu optymalizacji wykorzystuje się program komputerowy o nazwie ProjStru.

12.2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

12.2.1. WSTĘP

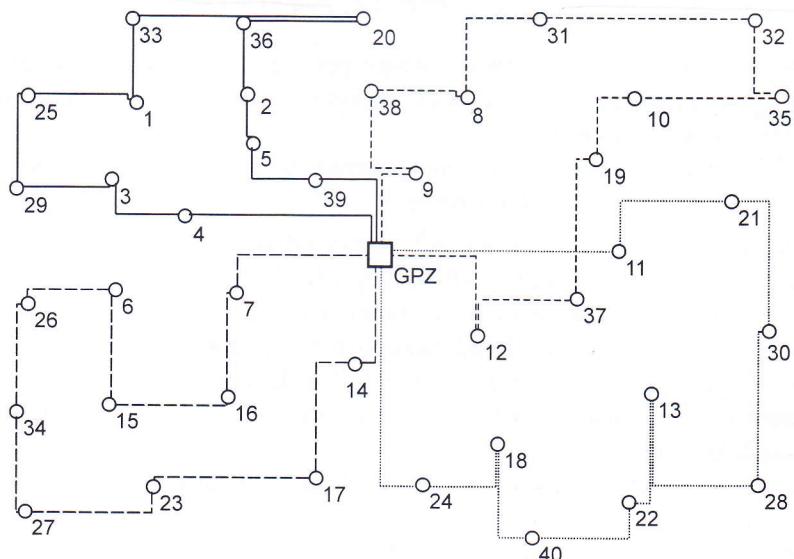
Projektowanie optymalnych struktur wielopętlowych sieci rozdzielczych SN i nn jest problemem bardzo złożonym.

W procesie optymalizacji konieczne jest znalezienie odpowiedniej liczby pętli i przyporządkowanie do nich odbiorów mocy, tj. stacji SN/nn w przypadku projektowania sieci SN lub złączy nn podczas projektowania sieci niskiego napięcia. Integralną częścią rozważanego problemu jest określenie kolejności, w jakiej punkty odbioru mocy są przyłączone do każdej pętli, która rozpoczyna się i kończy w węźle zasilającym, tj. odpowiednio w stacji 110 kV/SN lub w stacji SN/nn (patrz rys. 12.1).

Problem wyznaczenia optymalnej struktury sieci wielopętlowej polega na znalezieniu zbioru pętli charakteryzującego się minimalnymi całkowitymi kosztami rocznymi. Koszty roczne obejmują koszty stałe (inwestycyjne), koszty zmienne (eksploatacyjne) oraz koszty związane z przerwami w dostawie energii elektrycznej.

12.2.2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Zasadniczym celem budowy sieci wielopętlowych jest zasilanie zbioru punktów odbiorowych charakteryzujących się określonym zapotrzebowaniem na moc (energię elektryczną) i ustalonymi miejscami lokalizacji. Zakłada się, iż każdy punkt odbioru mocy może być zasilany tylko z jednej pętli. Sieć rozdzielcza musi być zaprojektowana w taki sposób, aby nie zostały przekroczone przepustowości poszczególnych pętli oraz były spełnione inne warunki ograniczające.



Rys. 12.1. Przykładowa sieć rozdzielcza SN z 4 pętlami i 40 punktami odbiorowymi (stacjami SN/nm), zasilana ze stacji 110 kV/SN; opracowano na podstawie [1]

Koszty stałe (inwestycyjne) nie są bezpośrednio zależne od przepływów mocy w projektowanych pętlach sieci rozdzielczej. Z kolei, koszty zmienne (koszty strat mocy i energii elektrycznej) są zależne zarówno od długości odcinków poszczególnych pętli, jak i od przepływów mocy w tych odcinkach. Koszty związane z niedostarczeniem energii elektrycznej są złożoną funkcją struktury i konfiguracji sieci rozdzielczej, parametrów niezawodnościowych elementów sieciowych oraz wielkości niedostarczonej energii w poszczególnych punktach odbiorowych.

Koszty stałe i koszty zmienne w j -tym odcinku pętli sieciowej można określić następująco:

$$K_{s,j} = f_1(l_j) \quad (12.1)$$

$$K_{z,j} = f_2(l_j, P_j) \quad (12.2)$$

gdzie: $K_{s,j}$ – koszty stałe j -tego odcinka pętli,
 l_j – długość j -tego odcinka pętli,
 $K_{z,j}$ – koszty zmienne j -tego odcinka pętli,
 P_j – przepływ mocy w j -tym odcinku pętli.

Zazwyczaj podczas projektowania optymalnej struktury wielopętlowej sieci rozdzielczej przyjmuje się założenie, że optymalizacja jest prowadzona dla obciążzeń maksymalnych (szczytowych), które mogą wystąpić w ciągu roku, tj. w szczycie jesiennno-zimowym. Zakłada się też, że obciążenia są znane i występują jednocześnie we wszystkich węzłach odbiorowych.

Koszty niedostarczonej energii dla i -tego punktu odbiorowego w k -tej pętli można wyznaczyć z następującej zależności [1]:

$$K_{nA,ki} = f_3(P_{ki}, T_{s,ki}, q^{ki}) \quad (12.3)$$

gdzie: P_{ki} – obciążenie szczytowe i -tego punktu odbiorowego w k -tej pętli,
 $T_{s,ki}$ – czas użytkowania mocy szczytowej i -tego punktu odbiorowego w k -tej pętli,
 q^{ki} – względny czas trwania przerwy w zasilaniu i -tego punktu odbiorowego w k -tej pętli.

Względny czas trwania przerwy q^{ki} zależy od struktury i konfiguracji sieci rozdzielczej (usytuowania węzła odbiorczego w sieci), a także od parametrów niezawodnościowych elementów rozważanej sieci.

Projektowana sieć musi spełniać następujące podstawowe założenia [1]:

- jest tylko jeden punkt zasilający o znanej lokalizacji,
- w sieci mamy n punktów odbiorowych ze znany zapotrzebowaniem mocy i znaną lokalizacją,
- projektowana sieć pracuje jako otwarta (każdy węzeł jest zasilany z jednej strony),
- znany jest zbiór dopuszczalnych tras linii (pętli),
- znana jest przepustowość analizowanych pętli (kabli i linii napowietrznych),
- musi być spełniony zbiór odpowiednich warunków ograniczających.

12.2.3. MODEL MATEMATYCZNY

Optymalizacja struktury wielopętlowej sieci rozdzielczej jest złożonym problemem matematycznym typu *all integer*. W zadaniu typu *all integer* mamy do czynienia z zadaniem całkowicie dyskretnym, w którym koszty roczne pracy sieci są funkcją struktury i konfiguracji sieci. W procesie optymalizacji dokonuje się podziału grafu sieci na częściowe podgrafy reprezentujące pętle sieci rozdzielczej i związane z nimi punkty odbiorcze.

Wybór optymalnej struktury wielopętlowej sieci rozdzielczej definiuje się następująco: znaleźć optymalne rozwiązanie problemu, które jest opisane następującym wzorem [1]

$$\min K_c = \sum_{k=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^{n_k+1} (K_{s,j} + K_{z,j}) + \sum_{i=1}^{n_k} K_{nA,ki} \right\} \quad (12.4)$$

gdzie: m – liczba pętli sieci rozdzielczej,

n_k – liczba punktów odbiorczych w k -tej pętli,

- wej sieci
zona dla
gu roku,
są znane
tej pętli
(12.3)
ej pętli,
orowego
nktu od-
acji sieci
ametrów
- [1]:
em mocy
z jednej
trznych),
n proble-
hamy do
ne pracy
jji dokon-
etle sieci
niuje się
opisane
(12.4)
- przy jednoczesnym spełnieniu następujących ograniczeń:
- (1) należy spełnić I prawo Kirchhoffa,
 - (2) należy spełnić II prawo Kirchhoffa,
 - (3) przepływy mocy w gałęziach (zaprojektowanych pętlach) nie mogą przekraczać ich przepustowości,
 - (4) spadki napięć w wybranym podzbiorze dróg nie mogą przekraczać wartości dopuszczalnych (granicznych),
 - (5) węzeł reprezentujący punkt zasilający jest jedynym wspólnym węzłem dla wszystkich pętli,
 - (6) każdy węzeł odbiorowy powinien być przyporządkowany do jednej i tylko jednej pętli,
 - (7) każda pętla powinna zawierać co najmniej dwa węzły (w tym jeden odbiorowy),
 - (8) liczba gałęzi incydentnych z dowolnym węzłem odbiorczym powinna wynosić 2,
 - (9) liczba gałęzi incydentnych z punktem zasilającym powinna wynosić co najmniej 2.

Spełnienie ograniczeń (5) i (6) gwarantuje, że każdy punkt odbiorowy będzie przyłączony do jednej i tylko jednej pętli. Z kolei spełnienie ograniczeń (8) i (9) zapewnia, iż projektowana sieć rozdzielcza ma strukturę pętlową, tj. każdy punkt odbiorczy jest bezpośrednio połączony z dwoma innymi punktami odbiorczymi lub punktem zasilającym. Szczegółowa postać matematyczna ograniczeń (1)–(9) została przedstawiona w [1].

Rozwiązaniem dopuszczalnym problemu optymalizacyjnego jest każda dowolna struktura sieci, która spełnia ograniczenia (1)–(9). Celem optymalizacji jest wybranie takiego rozwiązania ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych, które minimalizuje funkcję celu, podaną we wzorze (12.4).

W celu wyznaczenia przepływu mocy P_j w każdym j -tym odcinku pętli oraz odchylenia napięcia $\delta U_{i\%}$ w punkcie przyłączenia i -tego odbiorcy do sieci, trzeba jeszcze określić zbiór rozcięć w poszczególnych pętlach (gdyż sieć rozdzielcza pracuje jako otwarta). Ten złożony problem natury kombinatorycznej najprościej można rozwiązać w sposób lokalny, tj. dokonując niezależnie optymalizacji lokalizacji rozcięć w obrębie każdej pętli.

12.2.4. OPERATORY GENETYCZNE ORAZ FUNKCJA PRZYSTOSOWANIA

Algorytm ewolucyjny służący do projektowania optymalnej struktury wielopętlowej sieci rozdzielczej musi rozwiązać kilka zasadniczych problemów. W szczególności dotyczą one przyjęcia odpowiedniej reprezentacji problemu, sposobu tworzenia populacji początkowej oraz zasad działania operatorów krzyżowania i mutacji. Wszystkie te zagadnienia zostały szczegółowo omówione w [1].

Istotną kwestią jest także przyjęcie odpowiedniej postaci funkcji ewaluacji. W czasie ćwiczenia, wykorzystując program ProjStru, funkcję przystosowania dla każdego osobnika w populacji wyznacza się z zależności [1]

$$eval(\mathbf{v}_k) = \frac{g(\mathbf{v}_{\max}^0) - g(\mathbf{v}_k)}{g(\mathbf{v}_{\max}^0) - g(\mathbf{v}_{\min}^0)} \quad (12.5)$$

gdzie: $g(\mathbf{v}_{\max}^0)$ – maksymalna wartość funkcji celu w populacji początkowej,
 $g(\mathbf{v}_{\min}^0)$ – minimalna wartość funkcji celu w populacji początkowej.

Występująca we wzorze (12.5) funkcja celu $g(\mathbf{v}_k)$ przybiera następującą postać [1]

$$g(\mathbf{v}_k) = \frac{K_{c_k}}{K_{c_{\max}}^0} \quad (12.6)$$

gdzie: \mathbf{v}_k – k -ty osobnik w bieżącej populacji,
 K_{c_k} – całkowite koszty roczne pracy sieci dla k -tego osobnika \mathbf{v}_k ,
 $K_{c_{\max}}^0$ – maksymalne koszty roczne sieci wyznaczone wśród wszystkich osobników populacji początkowej.

Przyjęta formuła, wyznaczająca wartość funkcji celu każdego osobnika w jednostkach względnych (w stosunku do najgorszego osobnika w populacji początkowej) jest bardzo wygodna i dobrze się sprawdza w praktyce. Należy zauważyć, że im mniejsza wartość kosztów rocznych, tym mniejsza wartość funkcji celu i tym większa wartość funkcji przystosowania. Maksymalizując funkcję przystosowania, minimalizujemy jednocześnie wartość kosztów rocznych pracy sieci.

12.3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

12.3.1. ZADANIA DO WYKONANIA

W trakcie ćwiczenia każdy zespół dokonuje „strojenia” algorytmu ewolucyjnego w zadaniu projektowania optymalnych struktur wielopiętlowych sieci rozdzielczych SN i nn.

W ramach przeprowadzanych badań, należy dokonać doboru odpowiednich wartości parametrów genetycznych, wyboru strategii selekcji, a także opcji skalowania funkcji przystosowania. Osoba prowadząca zajęcia przedstawia propozycje zasad zmiany wartości analizowanych parametrów genetycznych. Zasadniczym celem prowadzonych działań optymalizacyjnych jest taki dobór wszystkich parametrów i opcji, aby uzyskać najlepsze minimum funkcji celu, tj. minimum kosztów rocznych pracy sieci. Dodatkowo, należy obserwować zachowanie algorytmu ewolucyjnego w trakcie procesu jego „strojenia”.

ewaluacji.
stosowania

(12.5)

ątkowej,
kowej.
astępującą

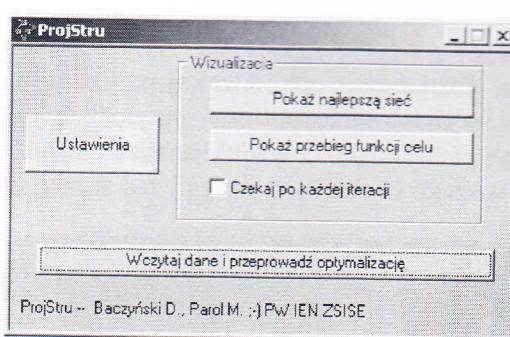
(12.6)

nika v_k ,
d wszyst-

ika w jed-
ci począt-
zauważyc,
unkcji celu
kcję przy-
racy sieci.

12.3.2. PROGRAM ProjStru

W celu przeprowadzenia obliczeń optymalizacyjnych wykorzystuje się program ProjStru [2], pozwalający na zastosowanie technik ewolucyjnych do projektowania optymalnych struktur sieci rozdzielczych SN i nn o układach wielopiętrowych. Głównie okno programu zostało przedstawione na rysunku 12.2.

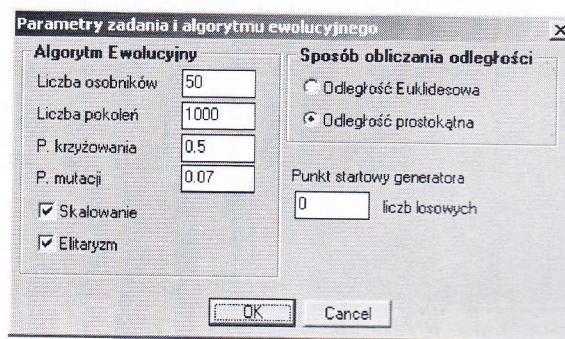


Rys. 12.2. Główne okno programu ProjStru

INTERFEJS UŻYTKOWNIKA

Interfejs użytkownika składa się z zasadniczego okna dialogowego (rys. 12.2), z którego można wywołać poszczególne elementy składowe programu.

Polecenie **Ustawienia** wyświetla okno dialogowe zawierające podstawowe opcje programu (rys. 12.3). Oprócz typowych parametrów działania algorytmu ewolucyjnego, można w nim zmienić sposób obliczania odległości między poszczególnymi punktami zdefiniowanymi w danych zadania. Punkt „Odległość Euklidesowa” oznacza obliczenie długości drogi jako najkrótszego odcinka łączącego dane dwa punkty. Natomiast punkt



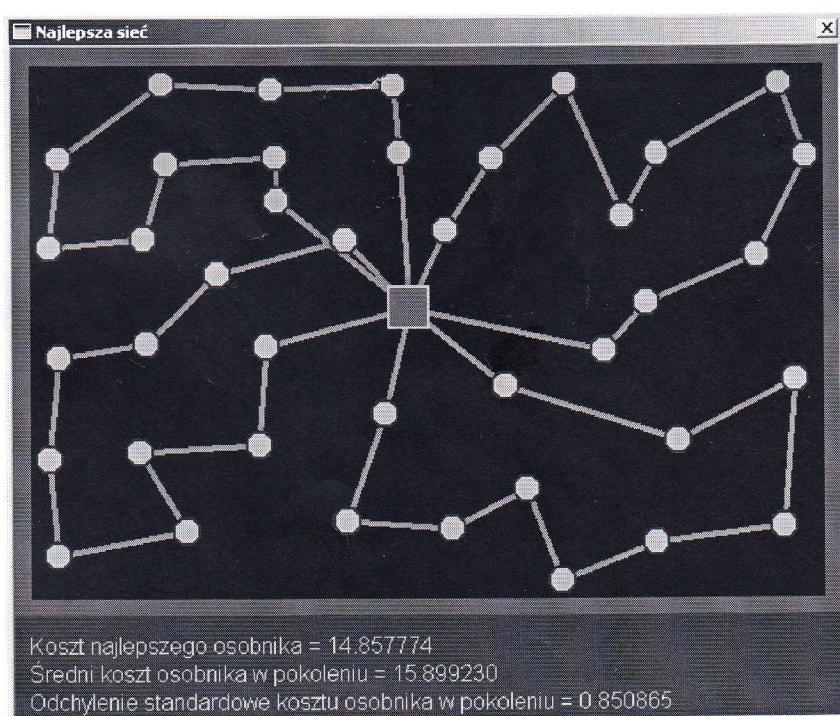
Rys. 12.3. Okno dialogowe parametrów programu

„Odległość prostokątna” oznacza obliczenie drogi łączącej dwa punkty jako drogi, która może być poprowadzona tylko i wyłącznie po liniach pionowych i poziomych.

Ważnym parametrem w przypadku pogłębionego badania działania programu może okazać się „Punkt startowy generatora liczb losowych”. Pozwala on na uruchamianie programu z różną sekwencją początkową generatora liczb losowych, co jest pomocne w analizie stabilności uzyskiwanych wyników optymalizacyjnych.

Czekaj po każdej iteracji Zaznaczenie opcji **Czekaj po każdej iteracji** pozwala na wykonywanie obliczeń optymalizacyjnych krok po kroku. Z jednej strony pozwala na dokładną analizę zmian w strukturze sieci reprezentującej najlepszego osobnika, z drugiej zaś strony w sposób oczywisty wydłuża czas obliczeń.

Wczytaj dane i przeprowadź optymalizację Polecenie **Wczytaj dane i przeprowadź optymalizację** uruchamia proces optymalizacyjny.



Rys. 12.4. Okno przedstawiające najlepsze rozwiązanie

i punkty
h piono-
program-
wala on
ra liczb
wyników

wala na
po kro-
ze sieci
zwyistysty

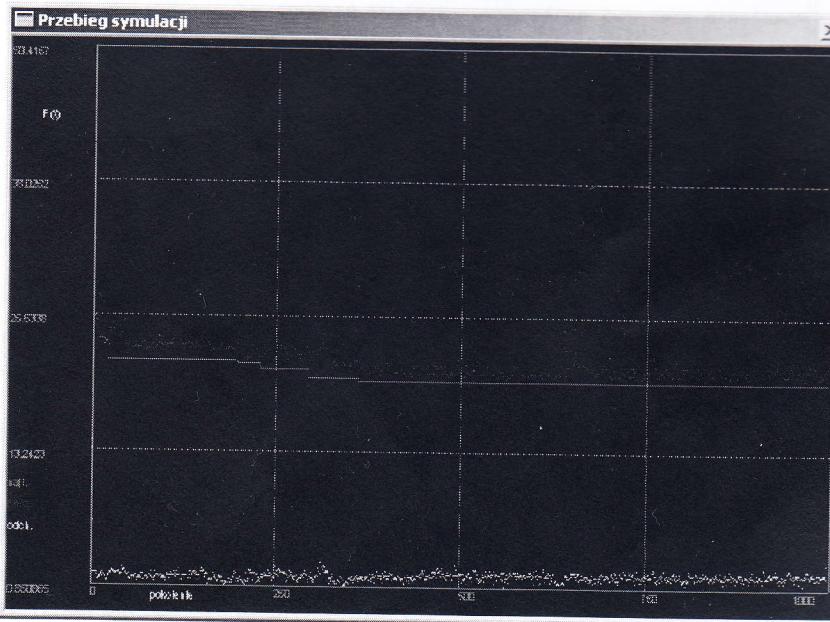
i prze-

Pokaż najlepszą sieć

Polecenie **Pokaż najlepszą sieć** wyświetla okno, na którym w czasie procesu optymalizacyjnego na bieżąco wizualizowana jest sieć reprezentująca osobnika o najlepszej wartości funkcji celu w bieżącym pokoleniu (rys. 12.4). Punkt zasilający sieć oznaczony jest czerwonym kwadratem, natomiast punkty odbiorowe oznaczone są zielonymi kołami. Oprócz tego w dolnej części okna wypisane są: wartość bieżąca, wartość średnia i odchylenie standardowe funkcji kosztów.

Pokaż przebieg funkcji celu

Polecenie **Pokaż przebieg funkcji celu** wyświetla okno (rys. 12.5), na którym w czasie procesu optymalizacyjnego budowany jest przebieg trzech zasadniczych wielkości opisujących jego jakość. Są nimi wartość bieżąca, wartość średnia i odchylenie standardowe funkcji kosztów.



Rys. 12.5. Okno przedstawiające przebieg procesu optymalizacyjnego

DANE WYKORZYSTYWANE PRZEZ PROGRAM W CZASIE ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH – PLIKI WEJŚCIOWE I WYJŚCIOWE

Dane wejściowe programu są przechowywane w 6 następujących plikach tekstowych, zawierających odpowiednio:

mdvrp_zasil.txt – dane o punktach zasilających (przepustowość i współrzędne),
mdvrp_odbior.txt – dane o punktach odbiorowych (moc szczytową, czas użytkowania mocy szczytowej oraz współrzędne),

2. Przez zany dolo
3. Okre koszt a tal

mdvrp_ust.txt – ustawienia procesu optymalizacyjnego (parametry genetyczne i inne parametry sterujące),
mdvrp_par.txt – współczynniki niezbędne do obliczenia wartości funkcji kosztów rocznych,
mdvrp_kat_l.txt – katalog linii SN (przekrój, rezystancja, reaktancja, przepustowość),
mdvrp_idx_l.txt – plik z indeksami linii prowadzonych do danego węzła.

Dane wyjściowe programu są przechowywane w dwóch zasadniczych plikach. Plik **ewolucja.txt** zawiera najważniejsze parametry jakościowe procesu optymalizacyjnego z każdego pokolenia (rys. 12.6).

```
Pokolenie nr= 0 najlepszy= 65(dł=27.944000),
najgorszy= 0(dł=65.332000), średnia_dł=50.503333
Pokolenie nr= 1 najlepszy= 28(dł=27.944000),
najgorszy= 35(dł=62.848000), średnia_dł=38.629487
Pokolenie nr= 2 najlepszy= 65(dł=24.980000),
najgorszy= 2(dł=59.580000), średnia_dł=32.783949
Pokolenie nr= 3 najlepszy= 33(dł=24.980000),
najgorszy= 4(dł=49.932000), średnia_dł=31.694872
Pokolenie nr= 4 najlepszy= 52(dł=24.716000),
najgorszy= 44(dł=34.044000), średnia_dł=30.340769
Pokolenie nr= 5 najlepszy= 72(dł=24.752000),
najgorszy= 7(dł=34.044000), średnia_dł=29.808872
Pokolenie nr= 6 najlepszy= 51(dł=24.248000),
najgorszy= 49(dł=33.708000), średnia_dł=29.174769
Pokolenie nr= 7 najlepszy= 33(dł=24.248000),
najgorszy= 57(dł=32.712000), średnia_dł=28.407641
```

Rys. 12.6. Przykład fragmentu danych zawartych w pliku **ewolucja.txt**

Plik **ewolucja_szczeg.txt** zawiera oprócz danych zapisanych w pliku **ewolucja.txt** także informacje szczegółowe na temat konstrukcji osobnika (rys. 12.7). Kolejne wiersze pod danymi syntetycznymi zawierają opis pętli zasilających, skonstruowanych przez program, łącznie z wyznaczonymi rozcięciami w pętlach i poziomami napięć w węzłach odbiorowych.

12.4. ZADANIA DO SAMODZIELNEGO WYKONANIA

W ramach samodzielnych ćwiczeń oraz w celu poszerzenia uzyskanej w czasie zajęć laboratoryjnych wiedzy, proponuje się wykonanie następujących zadań:

1. Przeprowadzenie „strojenia” algorytmu ewolucyjnego dla innego, niż wskazany przez prowadzącego zajęcia, sposobu wyznaczenia odległości między punktami odbiorowymi.

- etyczne
funkcji
orzepu-
ła.
likach.
rocesu
- 1 ewo-
obnika
s pętli
ni roz-
- czasie
dań:
wska-
niędzy
2. Przeprowadzenie „strojenia” algorytmu ewolucyjnego dla innej, niż wskazany przez prowadzącego zajęcia, wartości startowej generatora liczb pseudolosowych.
 3. Określenie na podstawie [1] szczegółowej postaci funkcji kosztów stałych, kosztów zmiennych oraz kosztów niedostarczonej do odbiorców energii, a także szczegółowej postaci warunków ograniczających.

Pokolenie nr=	0, najlepszy=	65(dł=27.944000),
	najgorszy=	0(dł=65.332000), średnia_dł=50.503333
os=	65, dlu_cał=27.944000, d_k=324.716205, (1-mi)=0.060529,	
g_vk=	0.434528, eval=2.421002, straty_sum=32.782750,	
inwest_sum=	286.801464, niezaw_sum=5.131991, q_cał=0.000883	
0,	8, 0, 0, 5, 14.974540	
1,	37, 0, 0, 5, 14.951771	
2,	38, 0, 0, 5, 14.932756	
3,	16, 0, 0, 5, 14.902314	
4,	17, 0, 0, 5, 14.886005	
5,	21, 0, 0, 5, 14.876988	
6,	10, 0, 0, 5, 14.910602	
7,	20, 0, 0, 5, 14.918321	
8,	18, 0, 0, 5, 14.934223	
9,	36, 0, 0, 5, 14.956124	
10,	6, 1, 0, 15, 14.959923	
11,	35, 1, 0, 15, 14.909508	
12,	32, 1, 0, 15, 14.892932	
13,	0, 1, 0, 15, 14.883776	
14,	2, 1, 0, 15, 14.875410	
15,	14, 1, 0, 15, 14.866069	
16,	33, 1, 0, 15, 14.837553	
17,	15, 1, 0, 15, 14.846839	
18,	27, 1, 0, 15, 14.902373	
19,	12, 1, 0, 15, 14.926996	
20,	11, 2, 0, 24, 14.962779	
21,	39, 2, 0, 24, 14.921008	
22,	23, 2, 0, 24, 14.901274	
23,	29, 2, 0, 24, 14.857386	
24,	30, 2, 0, 24, 14.835146	
25,	31, 2, 0, 24, 14.858367	
26,	34, 2, 0, 24, 14.862874	
27,	9, 2, 0, 24, 14.876159	
28,	19, 2, 0, 24, 14.919077	
29,	7, 2, 0, 24, 14.951121	
30,	13, 3, 0, 34, 14.973126	
31,	22, 3, 0, 34, 14.926616	
32,	26, 3, 0, 34, 14.908657	
33,	25, 3, 0, 34, 14.894387	
34,	28, 3, 0, 34, 14.891599	
35,	24, 3, 0, 34, 14.912546	
36,	5, 3, 0, 34, 14.924166	

Rys. 12.7. Przykład fragmentu danych zawartych w pliku ewolucja_szczeg.txt

12.5. WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA

Podstawą do zaliczenia ćwiczenia jest przeprowadzenie, zadanych przez osobę prowadzącą, badań oraz przedłożenie sprawozdania odzwierciedlającego przebieg zajęć laboratoryjnych.

W sprawozdaniu w szczególności należy zamieścić:

- opis zadania optymalizacyjnego, w tym opis funkcji celu i zbioru warunków ograniczających zadania,
- charakterystykę, w formie tabelarycznej i wykresowej, uzyskanych rezultatów procesu optymalizacyjnego dla różnych wartości parametrów genetycznych i innych możliwych do wyboru opcji programu ProjStru,
- wnioski dotyczące wpływu wartości parametrów genetycznych, opcji elityzmu selekcji oraz opcji skalowania funkcji przystosowania na uzyskane wyniki procesu optymalizacyjnego.

Do sprawozdania można także dołączyć rozwiązania zadań przeznaczonych do samodzielnego wykonania.

LITERATURA POMOCNICZA

1. Parol M.: Designing of multi loop electric power network structures with the use of evolutionary algorithms. Archiwum Energetyki, t. XXXII, nr 1–2, 2003.
2. Baczyński D., Parol M.: ProjStru. Program komputerowy (algorytm ewolucyjny) do projektowania optymalnych struktur wielopętlowych sieci rozdzielczych. Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.