

Dr inż. Radosław WINICZENKO
Wydział Inżynierii Produkcji, SGGW w Warszawie

ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH W PROBLEMIE DIETY®

Prostota działania algorytmów genetycznych i ich naturalność sprawiły, że stały się one obiecującą metodą rozwiązań wielu problemów technologicznych. Obecnie zastosowanie algorytmów genetycznych jest imponujące, stosowane są one bowiem w podejmowaniu decyzji, minimalizacji kosztów, modelowaniu finansowym, optymalizacji czy planowaniu produkcji.

W niniejszym artykule przedstawiono ogólną zasadę działania algorytmów genetycznych i ich zastosowanie w problemie diety.

WPROWADZENIE

Słowo „dieta” pochodzi z języka greckiego (diaita) i dla starożytnych Greków oznaczało styl życia, czyli sposób żywienia się i aktywność fizyczną. Obecnie dieta oznacza sposób żywienia uwzględniający odpowiedni dobór produktów pod względem ilościowym jak i jakościowym [16].

Według Ciborskiej i Rudnickiej [3] dieta ma na celu dostarczenie niezbędnych ustrojowi składników pokarmowych z jednoczesnym dostosowaniem ich podaży do możliwości trawienia, wchłaniania i metabolizowania przez zmieniony chorobowo organizm.

Żywnienie dietetyczne jest zatem modyfikacją żywienia podstawowego i jeżeli jest to możliwe, powinno być stosowane jak najkrócej [16]. Modyfikacja ta polega na ograniczeniu lub zwiększeniu jednego lub kilku składników w dziennej racji pokarmowej i uwzględnieniu szczególnych zaleceń dotyczących stosowanych technik kulinarnych [3].

Przy dokonywaniu zakupów artykułów żywnościowych o ustalonych cenach często bierze się pod uwagę zawartość w nich składników odżywczych. Przy czym ilości zakupionych produktów powinny być takie, aby w sumie pokrywały minimalne zapotrzebowanie organizmu konsumenta na poszczególne składniki odżywcze. Oczywiście, zapotrzebowanie to może być zaspokojone różnymi sposobami, gdyż poszczególne produkty mogą być zakupione w różnych ilościach tak, aby ogólna ilość zawartych w nich składników odżywczych była w sumie ta sama. Chodzi jednak o taki zakup produktów, któremu odpowiada najmniejszy koszt i który równocześnie zaspokaja potrzeby konsumenta. Takiego rodzaju zagadnienie nazywane jest w literaturze zagadnieniem (problemem) diety [11, 12].

Historia diety

Historycznie, zagadnienie diety było dość długim i skomplikowanym problemem rozwiązywanym za pomocą metody sympleksów. W zagadnieniu tym trzeba było wyliczyć kilkadziesiąt produktów spożywczych jakie należy zakupić, aby uzyskać najniższy koszt oraz zaspokoić minimalne zapotrzebowanie na dziewięć składników odżywczych, jak np. witamina A, witamina B₁, tiamina. Zakupy oparte na tych wyliczeniach miały stanowić całkowitą dietę dla jednej osoby w ciągu roku. Rozwiązanie za pomocą metody sympleksów było rozwiązaniem minimalnym, ale ponieważ metoda ta uwzględnia tylko rozwiązania bazowe, tylko 9 spośród możliwych produktów spożywczych przyjmowało dodatnie ilości w minimalnym rozwiązaniu. Początkowo diety wyznaczone

w ten sposób były niedrogie, ale na pewno niemożliwe do przyjęcia na dłuższy czas, gdyż składały się z ograniczonych produktów spożywczych np. mąki pszennej, mleka skondensowanego, kapusty, szpinaku i suszonego bobu.

Wielu autorów w kolejnych latach w nowych modelach diety uwzględniało w rozwiązaniu minimalnym większą liczbę produktów spożywczych biorąc pod uwagę ich walory smakowe. Te dodatkowe elementy zostały wprowadzone poprzez nierówności, które stawiały wymagania aby pewne produkty spożywcze znalazły się w końcowym rozwiązaniu przynajmniej w minimalnej ilości.

Różnorodność w zagadnieniu diety uzyskiwano poprzez podział problemu diety na mniejsze zagadnienia, tak aby można było skupić się na jednej grupie produktów spożywczych. W takim podejściu do zagadnienia może zaistnieć problem wyboru diet o minimalnym koszcie dla jarzyn, owoców lub potraw mięsnych. Należy pamiętać, że jeśli zagadnienie ma więcej ograniczeń, to koszt diety będzie na ogół wzrastać i z tego powodu badający powinien określić względną wielkość kosztu, odniesioną do różnorodności i walorów smakowych diety.

Istnieje jednakże wiele sytuacji, w których sformułowanie zagadnienia diety przy zastosowaniu programowania liniowego może być stosowane. Problemy te dotyczą np. mieszanin pokarmów o minimalnym koszcie dla zwierząt domowych [5].

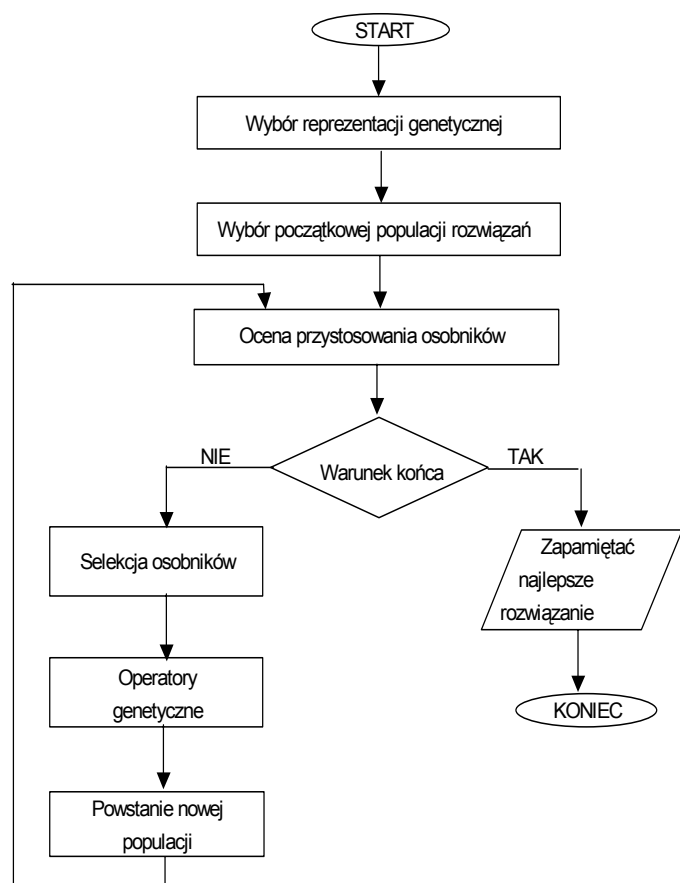
Jak do tej pory problem diety był najczęściej rozwiązywany za pomocą metod programowania liniowego. Zagadnienie diety w niniejszej publikacji będzie rozwiązane za pomocą algorytmów genetycznych. Według autora algorytmy genetyczne ze względu na swoją prostotę zaimplementowania, dużą wydajność, wszechstronność, odporność na lokalne ekstrema mogą być od innych metod (analitycznych czy enumeratywnych) bardziej skutecznym narzędziem znalezienia „lepszego rozwiązania” (w przypadku problemu diety – znalezienie mniejszych kosztów diety).

Algorytmy genetyczne

Algorytmy genetyczne są metodą poszukiwań opartą na mechanizmach doboru naturalnego i dziedziczności. Cechuje je duża uniwersalność oraz prostota procedur przeszukiwań najlepszych rozwiązań przy użyciu metody stochastycznej. Algorytmy genetyczne korzystają z ewolucyjnej zasady przeżycia osobników najlepiej przystosowanych [1, 4, 7]. Algorytmy te zdobywają coraz szersze obszary zastosowania w środowiskach naukowych, inżynierskich i w kręgach biznesu.

Powodem dużego zainteresowania tą metodą poszukiwań jest jej prostota. Algorytmy genetyczne stanowią jednocześnie wszechstronne narzędzie poszukiwań lepszych rozwiązań [2, 6, 8].

Klasyczny algorytm genetyczny przebiega według schematu przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy działania klasycznego algorytmu genetycznego [13].

Algorytmy genetyczne stosują w bardzo ogólny sposób podobieństwa ciągów kodowych, w wyniku czego są w dużym stopniu wolne od ograniczeń charakterystycznych dla innych metod optymalizacji, jak ciągłość, instnienie pochodnych, jednomodalność itd.

W przeciwieństwie do innych metod poszukiwań, algorytmy genetyczne określają kierunek poszukiwań, stosując propabilistyczne reguły wyboru. Algorytmy genetyczne posługują się wyborem losowym jako przyborem wskazującym kierunek dalszych poszukiwań w obszarach, w których można spodziewać się znacznej poprawy wyników [10, 17].

Na odporność działania algorytmów genetycznych składają się cztery podstawowe cechy: kodowanie parametrów, działanie na populacjach, korzystanie z minimum informacji o zadaniu oraz zrandomizowane operacje. Konwencjonalne techniki poszukiwań są mało odporne ale ich kombinacje i różne warianty są z powodzeniem szeroko stosowane. Jednak w miarę pojawiania się coraz bardziej złożonych problemów zachodzi potrzeba opracowania nowych metod, do których zaliczają się właśnie algorytmy genetyczne [14, 18].

PROBLEM DIETY

Poniżej zostaną przedstawione dwa przykłady zastosowania algorytmów genetycznych w problemie diety.

Przykład 1.

W pewnej kantynie są do dyspozycji 3 różne produkty spożywcze A1, A2, A3, którymi można żywić żołnierzy. Z produktów tych dietetyk ma sporządzić dietę czyli określić, ile każdego produktu ma dziennie spożyć jeden żołnierz. Wymaga się, aby dzienna dawka żywności dostarczała określoną ilość składników odżywczych, takich jak białko, węglowodany, tłuszcze, witaminy oraz sole mineralne itp. Biorąc pod uwagę 4 składniki odżywcze Z1, Z2, Z3 i Z4 zakłada się, że każdy żołnierz powinien otrzymać co najmniej 260 jednostek składnika Z1, 70 jednostek składnika Z2, 150 jednostek składnika Z3 i 230 jednostek składnika Z4. Ze względu na to, że nadmierne spożycie niektórych składników może być szkodliwe dla zdrowia, wymaga się, by zjadano ich nie więcej niż d1, d2, d3, d4. Znana jest zawartość poszczególnych składników w każdym produkcie oraz ceny jednostkowe produktów.

W tabeli 1 zamieszczono szczegółowe dane dotyczące omawianej diety.

Tabela 1. Zawartość składników w jednostce produktu

Składniki	Produkt			Minimalna ilość składnika
	A1	A2	A3	
Z1	5	7	16	260
Z2	3	3	0	70
Z3	6	4	5	150
Z4	8	4	13	230
Cena (w €)	2	1,5	3	

Ponadto dieta powinna być urozmaicona, tzn. nie może ograniczać się do kilku produktów (np. chleba i sera). Można to uzyskać określając minimalne i maksymalne ilości poszczególnych produktów w diecie.

Celem zadania jest ustalenie takiego planu żywienia żołnierzy, aby koszt diety był minimalny, przy spełnieniu wszystkich warunków ograniczających.

Zmiennymi decyzyjnymi są ilości poszczególnych produktów w diecie, a mianowicie:

x_1 – ilość produktu A1,

x_2 – ilość produktu A2,

x_3 – ilość produktu A3,

Zgodnie z przyjętymi warunkami funkcja celu będzie funkcją minimalizowaną i przyjmie następującą postać:

$$\text{Min } \{f(x) = 2x_1 + 1,5x_2 + 3x_3\}$$

Zgodnie z warunkami zadania w konstrukcji modelu matematycznego trzeba uwzględnić założenia, by w dysponowanych produktach znajdowały się przynajmniej minimalne ilości składników odżywczych. Zatem można zapisać następujące warunki:

- składnik Z1

$$5x_1 + 7x_2 + 16x_3 \geq 260$$

- składnik Z2

$$3x_1 + 3x_2 + 0x_3 \geq 70$$

▪ składnik Z3

$$6x_1 + 4x_2 + 5x_3 \geq 150$$

▪ składnik Z4

$$8x_1 + 4x_2 + 13x_3 \geq 230.$$

Zmienne decyzyjne muszą spełniać dodatkowo warunki:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0,$$

które ograniczają zakres zmienności poszczególnych zmiennych (ilości dysponowanych produktów nie mogą być wielkościami ujemnymi).

Zadanie zostało rozwiązane za pomocą programu pakietu „Genetic algorithm and Direct Search Toolbox” Matlaba wersji R2008a poprzez wprowadzenie odpowiedniego zapisu funkcji w tzw. *m*-pliku Matlab.

Poniżej pokazano zapis funkcji celu i ograniczeń zapisanych odpowiednio w skryptach:

$$\text{function } y = \text{dieta1}(x)$$

$y = 2 * x(1) + 1.5 * x(2) + 3 * x(3)$, gdzie funkcja *y* jest funkcją celu

$$\text{function } [c, ceq] = \text{dieta_założenia}(x)$$

$$c = [-5 * x(1) - 7 * x(2) - 16 * x(3) + 260;$$

$$-3 * x(1) - 3 * x(2) + 70;$$

$$-6 * x(1) - 4 * x(2) - 5 * x(3) + 150;$$

$$-8 * x(1) - 4 * x(2) - 13 * x(3) + 230];$$

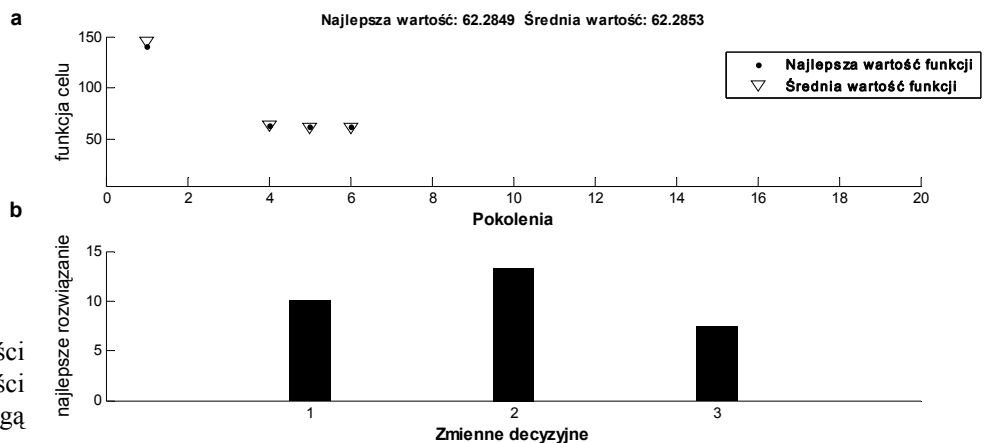
$ceq = []$; gdzie funkcja $[c, ceq]$ reprezentuje system ograniczeń w postaci nieliniowych równań i nierówności.

$LU = [0 \ 0 \ 0]$; gdzie *LU* jest wektorem dolnych ograniczeń na wartości zmiennych niezależnych *x*.

$UB = [\text{inf} \ \text{inf} \ \text{inf}]$; gdzie *UB* jest wektorem górnych ograniczeń na wartości zmiennych niezależnych *x*. Skrót *inf* oznacza nieskończoność.

Wybór chromosomów do nowej populacji przeprowadzony był za pomocą koła ruletki. Metoda ta polegała na stworzeniu koła ruletki z polami odpowiadającymi poszczególnym chromosomom. Proces selekcji chromosomów oparty był na obrocie koła ruletki tyle razy, ile osobników jest w populacji i wyborze za każdym razem jednego chromosomu do nowej populacji. Rozmiar populacji liczył 20 osobników, ilość generacji równał się 100 a prawdopodobieństwo krzyżowania wyniosło 0,8.

Przebieg zmian funkcji celu (funkcji kosztu) w poszczególnych generacjach pokazano na (rys. 2a). Na wykresie widać, że funkcja osiągnęła wartość minimalną już w pierwszych generacjach (1-6). Najlepsza wartość funkcji wyniosła $y = 62,2849$.



Rys. 2. Przebieg zmian funkcji celu w poszczególnych generacjach (rys. 2a) oraz najlepsze rozwiązania dla trzech zmiennych decyzyjnych (rys. 2b).

Na (rys. 2b) przedstawiono najlepsze rozwiązania dla 3 przyjętych zmiennych decyzyjnych, które wyniosły odpowiednio:

$$x_1 = 10,053; x_2 = 13,28 \text{ oraz } x_3 = 7,42.$$

Z rozwiązania otrzymuje się: $x_1 = 10,053$, $x_2 = 13,28$, $x_3 = 7,42$, dla których funkcja celu (minimalizowana) wynosi $f(x) = 62,2849$.

Oznacza to, że minimalizację kosztów otrzymuje się przy zakupie 10,053 jedn. produktu A1, 13, 28 jedn. produktu A2, oraz 7,42 jedn. produktu A3.

Koszt całkowity zakupu wyniesie: $f(x) \approx 62,28 \text{ €}$.

W przykładzie 2. przedstawiono zastosowanie algorytmu genetycznego w podejmowaniu optymalnej decyzji dotyczącej dziennych kosztów odżywiania się dla wybranych produktów.

Tabela 2. Zawartość składników w jednostce produktu

Składniki	Produkt					Minimalna ilość składnika
	mleko	ser	chleb	wieprzowina	marchew	
Z1	30	380	0	200	10	70
Z2	1400	1200	0	0	57600	5000
Z3	10	0	0	0	80	75
Z4	1200	14500	900	80	190	70
Z5	530	2000	2400	820	310	70
Cena (w €)	1,5	5	1,5	12	0,8	

Przykład 2.

Problem diety w niniejszym przykładzie zakłada minimalizację dziennych kosztów odżywiania się, przy założeniu, że mogą być spożywane tylko następujące produkty: mleko, ser, chleb, wieprzowina oraz marchew. Ponadto nałożono ograniczenia co do minimalnej ilości przyjmowanych dziennie składników odżywczych, jak również co do łącznej masy spożywanych dziennie produktów.

W tabeli 2 zamieszczono szczegółowe dane dotyczące tej diety.

Przy ustaleniu zadania optymalizacyjnego przyjęto następujące oznaczenia:

x_1 – planowana ilość zakupu mleka,

x_2 – planowana ilość zakupu sera,

x_3 – planowana ilość zakupu chleba,

x_4 – planowana ilość zakupu wieprzowiny,

x_5 – planowana ilość zakupu marchwi.

Zgodnie z przyjętymi warunkami funkcja celu będzie funkcją minimalizowaną i przyjmie następującą postać:

$$\text{Min } \{f(x) = 1,5x_1 + 5x_2 + 1,5x_3 + 12x_4 + 0,8x_5\}$$

Zgodnie z warunkami zadania można zapisać:

- dla składnika Z1

$$30x_1 + 380x_2 + 0x_3 + 200x_4 + 10x_5 \geq 70$$

- dla składnika Z2

$$1400x_1 + 1200x_2 + 0x_3 + 0x_4 + 57600x_5 \geq 5000$$

- dla składnika Z3

$$10x_1 + 0x_2 + 0x_3 + 0x_4 + 80x_5 \geq 75$$

- dla składnika Z4

$$1200x_1 + 14500x_2 + 900x_3 + 80x_4 + 190x_5 \geq 70$$

- dla składnika Z5

$$530x_1 + 2000x_2 + 2400x_3 + 820x_4 + 310x_5 \geq 70$$

Dodatkowo ograniczenia funkcyjne nakładane na zmienne:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq 2$$

Ograniczenia kostkowe nakładane na zmienne są następujące:

$$x_i \geq 0, \text{ gdzie } i = 1 \dots 5$$

Odpowiedni zapis w skryptach Matlaba będzie wyglądał następująco:

function y = dieta2 (x)

*y = 1.5*x (1)+5*x (2)+1.5*x (3)+12*x (4)+0.8*x (5)- jest funkcją celu (kosztów)*

function [c, ceq] = dieta_ograniczenia (x)

*c = [-30*x (1)-380*x (2)-0*x (3)-200*x (4)-10*x (5)+70; -1400*x (1)-1200*x (2)-0*x (3)-0*x (4)-57600*x (5)+5000;*

*-10*x (1)-0*x (2)-0*x (3)-0*x (4)-80*x (5)+75;*

*-1200*x (1)-14500*x (2)-900*x (3)-80*x (4)-190*x (5)+70;*

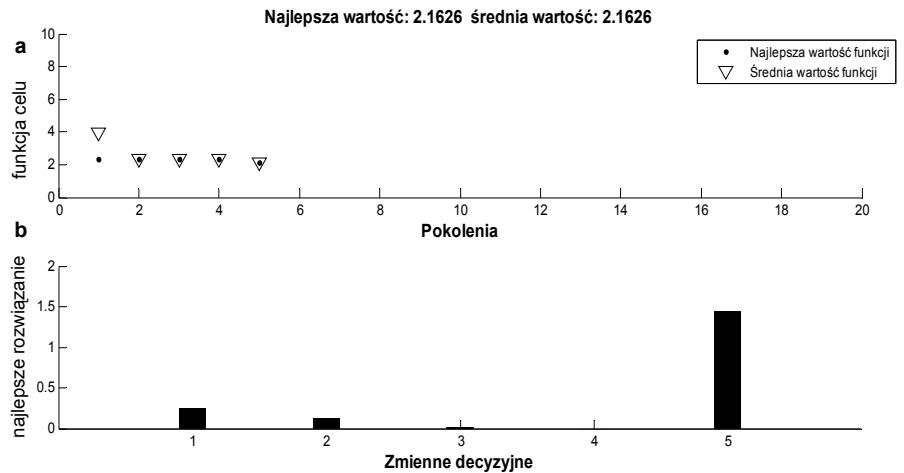
*-530*x (1)-2000*x (2)-2400*x (3)-820*x (4)-310*x (5)+70;*

*+1*x (1)+1*x (2)+1*x (3)+1*x (4)+1*x (5)-2];*

ceq = []; gdzie funkcja [c ceq] reprezentuje system ograniczeń w postaci nieliniowych równań i nierówności

LU=[0 0 0 0 0]; gdzie LU jet wektorem dolnych ograniczeń na wartości zmiennych niezależnych x

UB=[inf inf inf inf inf]; gdzie UB jet wektorem dolnych ograniczeń na wartości zmiennych niezależnych x.



Rys. 3. Przebieg zmian funkcji celu w poszczególnych iteracjach (rys. 3a) oraz najlepsze rozwiązania dla 5 zmiennych wartości (rys. 3b).

Selekcja chromosomów do nowej populacji odbyła się metodą selekcji turniejowej. Metoda ta polegała na podziale populacji na podgrupy k- elementowe i wyborze z każdej z podgrup najlepszego osobnika o najlepszym przystosowaniu. Według wielu badaczy metoda ta jest znacznie skuteczniejsza od metody koła ruletki, której największą wadą było wczesne eliminowanie osobników o małej wartości funkcji przystosowania, co mogło doprowadzić do zbyt wczesnej zbieżności algorytmu [13].

Rozmiar populacji liczył 20 osobników, ilość generacji równał się 100 a prawdopodobieństwo krzyżowania wyniosło 0,77.

Przebieg zmian funkcji celu w poszczególnych generacjach pokazano na (rys. 3).

Z rozwiązania otrzymuje się:

$x_1=0,253$, $x_2=0,126$, $x_3=0$, $x_4=0$, $x_5=1,438$ dla których funkcja celu (minimalizowana) wynosi $f(x)=2,1626$

Oznacza to, że minimalizację kosztów otrzymuje się przy zakupie 0,253 jedn. mleka, 0,126 jedn. sera, 0 jedn. chleba, 0 jedn. wieprzowiny, oraz 1,438 jedn. marchwi. Koszt całkowity zakupu tych produktów wyniesie: $f(x) \approx 2$ €.

PODSUMOWANIE

Algorytmy genetyczne są skutecznym narzędziem w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań w wielu skomplikowanych problemach optymalizacyjnych. Obecnie zakres zastosowań tych algorytmów ciągle poszerza się [2, 6, 7, 15].

Celem pracy zaprezentowanej w artykule było pokazanie zasady działania algorytmów genetycznych na przykładzie ustalenia minimalnych kosztów diety. Przy zastosowaniu odpowiednich operatorów genetycznych (np. wyboru metody selekcji, prawdopodobieństwa i sposobu krzyżowania, mutacji, odpowiedniego skalowania funkcji przystosowania) algorytmy genetyczne szybko znalazły rozwiązania i to już w pierwszych iteracjach.

Oczywiście problemy liniowe przy pewnych ograniczeniach, które wykorzystano w zagadnieniu diety można było rozwiązać za pomocą tradycyjnych metod optymalizacji, które opierają się na analizie pochodnych określonego rzędu i są

wystarczająco szybkie i dokładne dla takiego problemu. Są to metody, które przede wszystkim znakomicie nadają się do problemów ciągłych i różniczkowalnych, gdyż dla określenia kierunku przeszukiwania przeprowadza się analizę pochodnej funkcji celu. W przypadku zadań funkcji nieciągłych, nieróżniczkowalnych czy losowych, metody tradycyjne jednak zawodzą i tutaj dobrą alternatywą do tego typu zadań optymalizacyjnych są algorytmy genetyczne.

LITERATURA

- [1] Arabas J.: Wykłady z algorytmów ewolucyjnych, Warszawa, WNT, 2001.
- [2] Biethahn J., Nissen V.: Evolutionary Algorithms in Management Applications, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1995.
- [3] Ciborska H., Rudnicka A.: Dietetyka. Żywnie zdrowego i chorego człowieka, Warszawa, Wyd. Lekarskie PZWL, 2004.
- [4] Cytowski J.: Algorytmy genetyczne: podstawy i zastosowania, Warszawa, PLJ, 1996.
- [5] Gass Saull.: Programowanie liniowe, Warszawa, PWE, 1980.
- [6] Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie, Warszawa, WNT, 1998.
- [7] Knosala R.: Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji, Warszawa, WNT, 2002.
- [8] Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + Struktura danych = Programy ewolucyjne, Warszawa, WNT, 1999.
- [9] Ossowski S., Cichocki A., Siwek K.: Matlab w zastosowaniu do obliczeń obwodowych i przetwarzania sygnałów, Warszawa, Oficyna Wyd. PW, 2006.
- [10] Ostanin A.: Informatyka z Matlabem, Rozprawy Naukowe Nr 147, Białystok 2007.
- [11] Platt Cz.: Zastosowania programowania liniowego w rolnictwie i przemyśle spożywczym, Warszawa, PWE, 1990.
- [12] Sierksma G.: Linear and Integer Programming, Theory and Practise, New York, Marcel Dekker, INC, 2002.
- [13] Rutkowska D., Rutkowski L., Piliński M.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
- [14] Winiczenko R.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania, Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 2008, Nr 1.
- [15] Winiczenko R.: Optymalizacja parametrów zgrzewania tarcowego za pomocą algorytmów genetycznych, Inżynieria Rolnicza, 2008, Zeszyt 2 (100).
- [16] Włodarek D.: Dietetyka, Warszawa, Format AB, 2005.
- [17] Vose M.D.: The Simple Genetic Algorithm, Foundations and Theory, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.
- [18] Zieliński J.S.: Inteligentne systemy w zarządzaniu, Teoria i Praktyka, Warszawa, PWN, 2000.

APPLICATIONS OF GENETIC ALGORITHMS IN DIET PROBLEM

SUMMARY

The genetic algorithms have more and more applications in scientific, engineering and management fields [2, 6, 9]. The reason of this popularity is quite obvious: the genetic algorithms are simple, but also powerful tool for searching of better results.

Genetic algorithms are biologically inspired search procedures that have been used to solve different problems. They try to extract ideas from a natural system, in particular the natural evolution, in order to develop computational tools for solving engineering problems.

The paper presents a general principle of genetic algorithms operation and their application in diet problem.