

## ALGORYTMY GENETYCZNE W PROBLEMACH OPTYMALIZACJI

*Streszczenie*

*W pracy analizowano skuteczność i uniwersalność stosowania algorytmów genetycznych w wybranych zagadnieniach optymalizacji. Zaimplementowano algorytm genetyczny dla problemu minimalizacji złożonych, trudnych do optymalizacji funkcji Goldsteina-Price'a i funkcji grzbietu wielbłąda sześciogarbego. Próbowano odpowiedzieć na pytanie, gdzie można stosować omawianą metodę sztucznej inteligencji, a gdzie lepiej zastosować metody klasyczne.*

## WSTĘP

Algorytmy genetyczne są to algorytmy zaliczane do tzw. sztucznej inteligencji. Za twórcę terminu sztuczna inteligencja (SI) jest uważany John McCarthy, który w 1956 r. zorganizował konferencję w Dartmouth College dotyczącą maszyn inteligentnych. W obecnych czasach sztuczna inteligencja cieszy się dużym zainteresowaniem, ale również wzbudza kontrowersje, ponieważ ogólnie uważa się, że jednym z jej celów jest zaimplementowanie algorytmu, który będzie naśladował procesy zachodzące w ludzkim mózgu, w tym także możliwość dostosowania się do życia w określonym środowisku. Wśród metod sztucznej inteligencji można wyróżnić m.in.: sztuczne sieci neuronowe, systemy ekspertowe, algorytmy genetyczne, ewolucyjne, hybrydowe, mrówkowe, czy systemy rozmyte oraz boty. Pomimo tego, że SI jest uważana za dziedzinę informatyki, to budzi zainteresowanie także matematyków, lekarzy, inżynierów, psychologów, fizyków, a nawet biznesmenów [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 17].

Zasada działania algorytmów genetycznych sprowadza się do przeprowadzenia symulowanej ewolucji populacji osobników, tworzonych w sposób losowy w taki sposób, aby potomkowie utworzeni w wyniku operacji genetycznych odziedziczyli najlepsze cechy swoich rodziców. Ogólnie sprowadza się to do założenia, że im osobnik jest lepiej przystosowany do danego środowiska, tym jego cechy powinny być częściej przekazywane do kolejnego pokolenia osobników. Skuteczność i efektywność działania algorytmu genetycznego zależy od kilku czynników, a mianowicie należy wybrać określoną dla danego problemu reprezentację osobników, zdefiniować operatory genetyczne, tj. selekcję, krzyżowanie i mutację oraz kryterium zatrzymania algorytmu, i metodę wyznaczenia rozwiązania. W algorytmach genetycznych zakłada się stałe tempo operacji genetycznych. Algorytm genetyczny powinien być właściwie dobrany do rozwiązywanego zadania, w przeciwnym wypadku uzyskane wyniki mogą odbiegać od oczekiwanych. Z uwagi na to, proces doboru struktury algorytmu genetycznego i zestawu jego parametrów jest problem trudnym [3, 10, 14, 16, 17].

Niniejsza praca stanowi próbę określenia przydatności stosowania algorytmów genetycznych w wybranych problemach optymalizacji. Określono obszary, w których algorytmy genetyczne mogą być z powodzeniem stosowane oraz te zastosowania, gdzie wygodniej jest zastosować metody klasyczne. Przedstawiono wyniki badań zrealizowane przy wykorzystaniu zaimplementowanego algorytmu genetycznego w przykładowym zastosowaniu, tj. w problemie minimalizacji trudnych do optymalizacji funkcji Goldsteina-Price'a i grzbietu wielbłąda sześciogarbego, wykazując ich skuteczność, i efektywność w tym obszarze zastosowań.

## 1. PRZEGLĄD ZASTOSOWAŃ ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH

Algorytmy genetyczne (AG) w ostatnich latach budzą wielkie zainteresowanie programistów, ponieważ są efektywnymi, skutecznymi, a także uniwersalnymi metodami poszukiwania rozwiązań zagadnień nawet o dużej złożoności. AG znalazły zastosowanie w wielu różnych dziedzinach nauki i techniki, m. in. w informatyce, robotyce, matematyce, fizyce, medycynie, biologii, socjologii, politologii, kombinatoryce, filozofii, a także coraz częściej w biznesie [8, 9, 17, 19]. Wielu badaczy udowadnia przydatność tych algorytmów, przede wszystkim w rozwiązywaniu problemów optymalizacji i sterowania [10, 13, 16, 18, 19]. Są one najczęściej stosowane na przykład do optymalizacji układów regulacji, przy wstępnym dostrajaniu algorytmu regulacji, w problemach optymalizacji złożonych funkcji, a także jako narzędzia adaptacji w procesach z wolno-zmienną dynamiką. Takie ograniczenie jest spowodowane dużym nakładem obliczeń numerycznych wymaganych do wyznaczenia rozwiązania [3, 16]. Przykładowe zastosowania algorytmu genetycznego obejmują: dobór nastaw regulatora parametrycznego, optymalizację rurociągu gazowego, czy też telefonicznych sieci transmisyjnych, itp. [3, 19].

Metoda AG jest także często stosowana do optymalizacji konstrukcji budowlanych i mechanicznych, przykłady można znaleźć np. w pracach profesora Zb. Michalewicza. Inne zastosowania tych algorytmów dotyczą opracowania kształtów łopatek turbin silników odrzutowych, optymalizacji elementów podwozia i skrzydeł samolotów, planowania drogi robota, projektowania filtrów, a także poszukiwania optymalnej topologii sieci komunikacyjnej oraz optymalizacji topologii i kształtu prętów metalowych [3, 10, 12, 14]. Ukazały się także prace dotyczące zastosowania algorytmów genetycznych do rozwiązywania problemów identyfikacji maszyn elektrycznych, m.in. w identyfikacji parametrycznej modelu matematycznego silnika prądu stałego [18] oraz silnika indukcyjnego, czy silnika PMSM [15]. AG stosuje się również podczas modelowania i sterowania rozmytego [7, 19]. Przedstawione w pracach [8, 9] wyniki badań, wykazały skuteczność metody genetycznej, nawet w procesie optymalizacji sprzedaży samochodów wybranej marki na terenie USA, czy też do optymalizacji produkcji wina.

Często algorytmy genetyczne wspomagają lub współdziałają z sieciami neuronowymi, tworząc algorytmy hybrydowe. Połączenie wspomagające oznacza, że ww. metody są stosowane kolejno, przy czym pierwsza - przygotowuje zbiór danych wykorzystywanych przez drugą metodę. Zgodnie z literaturą [16] oraz w niej cytowaną, można tu wyróżnić: algorytmy genetyczne wspomagające sieci neuronowe (przykładem zastosowania jest optymalizacja działania i analiza sieci neuronowych za pomocą AG), sztuczne sieci neuro-

nowe do wspomagania algorytmów genetycznych (np. układ hybrydowy do rozwiązania problemu połączeń drogowych, w którym wybór populacji początkowej dla AG jest realizowany za pomocą sieci neuronowej, a sam algorytm genetyczny wyznacza najkrótszą drogę).

Skuteczność algorytmów genetycznych sprawia, że algorytmy te znalazły zastosowanie w problemach praktycznych, takich jak: obróbka zdjęć rentgenowskich [3], sztuczne życie (ang. *artificial life*) [17], przewidywanie ruchów na giełdzie, przetwarzanie i rozpoznawanie obrazów, wzorców, a nawet mowy [17], uczenie maszyn [10], tworzenie grafiki, teoria gier, obsługa zapytań w bazach danych, czy też modelowanie związków chemicznych, itp. [3, 10, 16, 17]. Podejmowane są również próby wykorzystania tych algorytmów w ekonomii i biznesie, jako narzędzia wspomagania decyzji [8, 9, 10].

Algorytmy genetyczne są także wykorzystywane w problemach badań operacyjnych, takich jak np.: harmonogramowanie pracy maszyn, podział grafu, układanie planu, a także w zagadnieniach komiwojażera i plecakowym [3, 10, 16, 17].

Przedstawione powyżej przykłady pokazują ogromne możliwości stosowania omawianych metod genetycznych, wskazując nowe kierunki rozwoju i adaptacji tych algorytmów w wielu praktycznych zastosowaniach.

## 2. MINIMALIZACJA FUNKCJI GOLDSTEINA-PRICE'A I GRZBIETU WIELBŁĄDA SZEŚCIOGARBNEGO

W pracy [13] wykazano, że stosowanie metod klasycznych w problemach minimalizacji złożonych funkcji, często z wieloma ekstremami jest zagadnieniem trudnym, ponieważ metody tradycyjne często utykają na minimach lokalnych. Zdecydowanie lepsze w tym względzie wyniki można uzyskać stosując np. algorytmy genetyczne, które w sposobie działania znacznie odbiegają od metod klasycznych i dlatego pozbawione są ich wad. Metody klasyczne mogą być stosowane z dobrym skutkiem w zadaniach optymalizacji prostszych funkcji, np. jednomodalnych, ponieważ zapewniają otrzymanie rozwiązania z dobrą dokładnością, w zdecydowanie krótszym czasie, niż miałyby to miejsce przy zastosowaniu algorytmów genetycznych.

Niniejsza praca stanowi próbę zastosowania algorytmu genetycznego w problemie minimalizacji dwóch skomplikowanych, znanych z literatury funkcji, stosowanych w celu testowania skuteczności algorytmów genetycznych, tj.: funkcji Goldsteina-Price'a oraz funkcji grzbietu wielbłąda sześciogarbnego. Druga z wymienionych funkcji jest bardzo ciekawa, ponieważ posiada dwa minima globalne, a więc stanowi dobry test dla algorytmu genetycznego.

Funkcja Goldsteina-Price'a ma następującą postać [10]

$$f(x_1, x_2) = [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2 \cdot (19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)] \cdot [30 + (2x_1 - 3x_2)^2 \cdot (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)] \quad (1)$$

gdzie:  $-2 \leq x_i \leq 2$ .

Natomiast funkcja grzbietu wielbłąda sześciogarbnego określona jest zależnością [10]

$$f(x_1, x_2) = (4 - 2,1x_1^2 + \frac{1}{3}x_1^4)x_1^2 + x_1x_2 + (-4 + 4x_2^2)x_2^2 \quad (2)$$

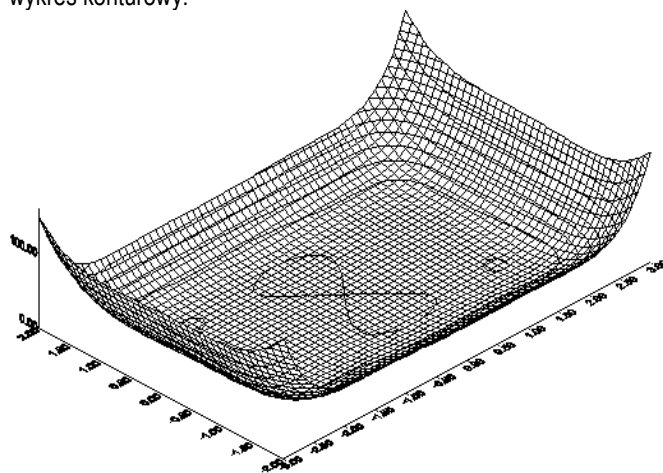
przy czym:  $-3 \leq x_1 \leq 3, -2 \leq x_2 \leq 2$ .

Wyniki minimalizacji funkcji Goldsteina-Price'a i funkcji grzbietu wielbłąda sześciogarbnego z wykorzystaniem algorytmu genetycznego przedstawiono w tabeli 1.

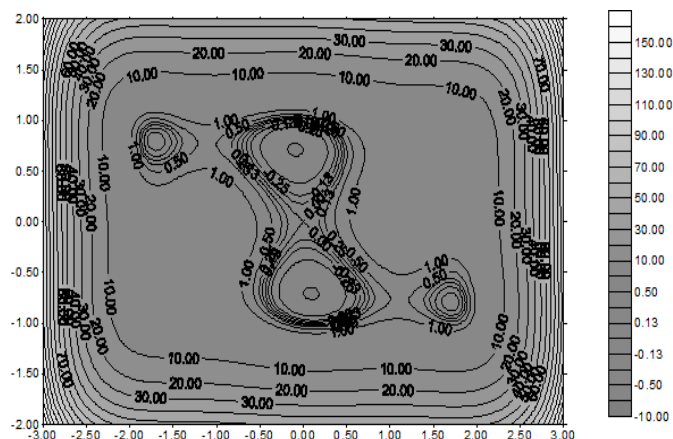
**Tab. 1.** Wyniki minimalizacji funkcji (1) i (2) z zastosowaniem algorytmu genetycznego

Funkcja	Wartości otrzymane w procesie minimalizacji		
	$x_1$	$x_2$	$f(x_1, x_2)$
Goldsteina-Price'a (1)	0,00	-1,00	3,00
grzbietu wielbłąda sześciogarbnego (2)	0,09	-0,71	-1,03
	-0,09	0,71	-1,03

Algorytm genetyczny, z żadaną dokładnością, wyznaczył współrzędne punktów minimów globalnych analizowanych funkcji. Pomińmo, że funkcja określona wzorem (2) posiada dwa minima globalne algorytm genetyczny bez problemu je zlokalizował. Rysunek 1 przedstawia wykres przestrzenny funkcji (2) z zaznaczeniem obszarów występowania minimów globalnych, natomiast rysunek 2 - wykres konturowy.



**Rys. 1.** Wykres przestrzenny funkcji (2)



**Rys. 2.** Wykres konturowy funkcji (2)

## PODSUMOWANIE

Praca stanowi próbę określenia przydatności stosowania algorytmów genetycznych w wybranych problemach optymalizacji. Przedstawiono obszary, w których algorytmy genetyczne są z powodzeniem stosowane oraz te, gdzie lepiej jest zastosować metody klasyczne, które wymagają mniejszego nakładu obliczeń numerycznych.

W celu potwierdzenia skuteczności działania metod genetycznych zaimplementowano algorytm genetyczny dla problemu wyznaczania minimum globalnych trudnych, złożonych funkcji, takich jak: funkcja Goldsteina-Price'a i funkcja grzbietu wielbłąda sześciogarnego. Przeprowadzone badania wykazały skuteczność, a zarazem uniwersalność stosowania algorytmów genetycznych, ponieważ we wszystkich analizowanych przypadkach otrzymano poprawne rozwiązanie, niezależnie od złożoności rozważanego problemu.

## BIBLIOGRAFIA

1. El-Mihoub Tarek A., Hopgood A., A., Nolle L., Battersby A., *Hybrid Genetic Algorithms: A Review. Engineering Letters. EL\_13\_2\_11* (Advance online publication: 4 August 2006).
2. Ghandar A., Michalewicz Zb., Schmidt M., T'o Thuy-Duong, Zurbruegg R., *Computational Intelligence for Evolving Trading Rules. IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 2009, Vol. 13, No. 1, pp. 71 - 86.
3. Goldberg D. E., *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. WNT, Warszawa* 1995.
4. Gorzalczy M. B., Rudzinski F., *Modified Kohonen networks for complex cluster-analysis problems. Lecture Notes in Computer Science* 2004, vol. 3070, pp. 562-567.
5. Gorzalczy M. B., Rudzinski F., *Application of genetic algorithms and Kohonen networks to cluster analysis. Lecture Notes in Computer Science* 2004, vol. 3070, pp. 556-561.
6. Gorzalczy M. B., Rudzinski F., *Genetic Fuzzy Rule-Based Modelling of Dynamic Systems Using Time Series. Lecture Notes in Computer Science* 2012, vol. 7269, pp. 231-239.
7. Leung F. H., Lam H. K., Ling S. H., Tam P. K., *Optimal and Stable Fuzzy Controllers for Nonlinear Systems Based on an Improved Genetic Algorithm. IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2004, Vol. 51, No. 1, pp. 172-182.
8. Michalewicz Zb., *The Emperor is Naked: Evolutionary Algorithms for Real-World Applications. ACM Ubiquity* 2012, pp. 1 - 13.
9. Michalewicz Zb., Schmidt M., Michalewicz M., Chiriac C., *Case Study: An Intelligent Decision-Support System. IEEE, Intelligent Systems* 2005, Vol. 20, No. 4.
10. Michalewicz Zb., *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. WNT, Warszawa* 2003.
11. Michalewicz Zb., Dasgupta D., Le Riche R. G., Schoenauer M., *Evolutionary Algorithms for Constrained Engineering Problems. Computers & Industrial Engineering Journal* 1996, Vol. 30, No. 2, pp. 851-870.
12. Michalewicz Zb., Schoenauer M., *Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimization Problems. Evolutionary Computation* 1996, Vol. 4, No. 1, pp. 1-32.
13. Rutczyńska-Wdowiak K., *Analiza metod klasycznych i algorytmów genetycznych w problemie minimalizacji złożonych funkcji. Materiały XV Warsztatów Naukowych PTSK, Zakopane* 2009.
14. Rutczyńska-Wdowiak K., *Analiza wpływu przestrzeni poszukiwań algorytmu genetycznego w problemie projektowania filtrów. Przegląd Elektrotechniczny* 2013, tom 89, zeszyt 11.
15. Rutczyńska-Wdowiak K., Grzesikiewicz W., *Przegląd wybranych metod identyfikacji matematycznych modeli silników indukcyjnego i PMSM. Logistyka* 2014, nr 6.
16. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa* 1997.
17. Rutkowski L., *Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN, Warszawa* 2005.
18. Szabat K., Orłowska-Kowalska T., *Identyfikacja parametrów napędu prądu stałego za pomocą algorytmów genetycznych. V Krajowa Konferencja Naukowa SENE 2001, tom II, str. 597-604.*
19. Vas P., *Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives. Oxford University Press* 1999, New York.

GENETIC ALGORITHMS  
IN OPTIMIZATION PROBLEMS

## Abstract

*In this work the efficiency and universality of the use of genetic algorithms in selected issues of optimization was analyzed. Genetic algorithm for minimization of Goldstein-Price's function and function of back of camel was implemented. In this work was attempted to answer the question, where can apply this method of artificial intelligence, and where better to use classical methods.*

Autorzy:

dr inż. **Katarzyna Rutczyńska-Wdowiak** – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Systemów Informatycznych, k.rutczynska@tu.kielce.pl