

WYKORZYSTANIE ALGORYTMU GENETYCZNEGO W PROCESIE OPTYMALIZACJI MASOWEJ RAKIETY TRÓJSTOPNIOWEJ

Karol Świderski
Instytut Lotnictwa

Streszczenie

W pracy przedstawiono problem doboru minimalnej masy startowej rakiety trójstopniowej. Do optymalizacji masy rakiety wykorzystano algorytm genetyczny.

1. WPROWADZENIE

Optymalizacja jest procesem, w którym poszukiwany jest pewien wektor \mathbf{x} , który minimalizuje lub maksymalizuje daną funkcję $f(\mathbf{x})$. Wiele algorytmów optymalizacji opiera się o założenie, że optymalne wartości funkcji odpowiadają miejscom zerowym pochodnej funkcji f :

$$g(\mathbf{x}) = \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}} = 0 \quad (1)$$

Za wyjątkiem przypadków liniowych optymalizacja odbywa się na drodze iteracyjnej. Zwykle rozpoczyna się od przybliżonego rozwiązania tymczasowego, które następnie poprzez wykorzystanie pewnego algorytmu ewoluuje, aż zostanie osiągnięty ustalony poziom dokładności rozwiązania. Jeżeli funkcja jest gładka, można oczekiwać, że algorytm zbiegnie się do ekstremum, o ile poprawnie wybrany został punkt startowy optymalizacji.

W praktyce spotykane są różne typy funkcji. Z punktu widzenia optymalizacji najbardziej złożonymi funkcjami są te, które przejawiają się w wielu ekstremach lokalnych. Na ogół, pożądanym wynikiem optymalizacji jest określenie ekstremum globalnego funkcji.

Niestety w wielu przypadkach rozróżnienie ekstremów lokalnych od ekstremum globalnego nie jest prostym zadaniem. W takich przypadkach dobrze znane algorytmy optymalizacji gradientowej mogą okazać się zawodne. Istnieje jednak grupa algorytmów heurystycznych, jak symulowane wyżarzanie i algorytmy genetyczne (ewolucyjne), które z powodzeniem stosowane są powszechnie w wielu zagadnieniach optymalizacyjnych.

2. ALGORYTM GENETYCZNY

Algorytm genetyczny to rodzaj algorytmu przeszukującego przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu wyszukania rozwiązań najlepszych.

Sposób działania algorytmów genetycznych nieprzypadkowo przypomina zjawisko ewolucji biologicznej, ponieważ ich twórca John Henry Holland [1] właśnie z biologii czerpał inspiracje do swoich prac. Obecnie zalicza się je do grupy algorytmów ewolucyjnych.

Problem definiuje środowisko, w którym istnieje pewna populacja osobników. Każdy z osobników ma przypisany pewien zbiór informacji stanowiących jego genotyp, a będących podstawą do utworzenia fenotypu. Fenotyp to zbiór cech podlegających ocenie funkcji przystosowania modelującej środowisko. Innymi słowy - genotyp opisuje proponowane rozwiązanie problemu, a funkcja przystosowania ocenia, jak dobre jest to rozwiązanie.

Genotyp składa się z chromosomów, gdzie zakodowany jest fenotyp i ewentualnie pewne informacje pomocnicze dla algorytmu genetycznego. Chromosom składa się z genów.

Wspólnymi cechami algorytmów ewolucyjnych, odróżniającymi je od innych, tradycyjnych metod optymalizacji, są:

- stosowanie operatorów genetycznych, które dostosowane są do postaci rozwiązań,
- przetwarzanie populacji rozwiązań, prowadzące do równoległego przeszukiwania przestrzeni rozwiązań z różnych punktów,
- w celu ukierunkowania procesu przeszukiwania wystarczającą informacją jest jakość aktualnych rozwiązań,
- celowe wprowadzenie elementów losowych.

Najczęściej działanie algorytmu przebiega następująco:

- [1] Losowana jest pewna populacja początkowa.
- [2] Populacja poddawana jest ocenie (selekcja). Najlepiej przystosowane osobniki biorą udział w procesie reprodukcji.
- [3] Genotypy wybranych osobników poddawane są operatorom ewolucyjnym:
 - a. są ze sobą kojarzone poprzez złączanie genotypów rodziców (krzyżowanie),
 - b. przeprowadzana jest mutacja, czyli wprowadzenie drobnych losowych zmian.
- [4] Rodzi się drugie (kolejne) pokolenie i algorytm powraca do kroku drugiego, jeżeli nie znaleziono dostatecznie dobrego rozwiązania. W przeciwnym wypadku uzyskujemy wynik.

Działanie algorytmu genetycznego obejmuje kilka zagadnień potrzebnych do ustalenia:

- ustalenie genomu jako reprezentanta wyniku
- ustalenie funkcji przystosowania/dopasowania
- ustalenie operatorów przeszukiwania

3. OPTIMALIZACJA MASOWA RAKIETY TRÓJSTOPNIOWEJ

W każdym procesie optymalizacyjnym niezbędnym prerekwizytem jest definicja funkcji celu oraz parametrów optymalizacji. Jako przykład wykorzystania algorytmu genetycznego wybrany został problem minimalizacji masy startowej rakiety trójstopniowej. Wychodząc ze wzoru Ciołkowskiego:

$$\Delta V = I_{sp} \cdot \ln \frac{m_0}{m_k} \quad (2)$$

gdzie: ΔV - przyrost prędkości stopnia; I_{sp} - impuls właściwy stopnia; $\frac{m_0}{m_k}$ - stosunek masy początkowej stopnia do masy końcowej stopnia rakiety określona została funkcja celu w postaci:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_L \quad (3)$$

gdzie: m_i dla $i = 1, 2, 3$ oznaczają masy kolejnych stopni rakiety (masa konstrukcji + masa paliwa); m_L - masa ładunku użytecznego.

Poszczególne masy stopni rakiety można zapisać jako:

$$m_3 = \frac{m_L (1 - X_3)}{k_3 X_3 - 1}$$

$$m_2 = \frac{(m_L + m_3)(1 - X_2)}{k_2 X_2 - 1}$$

$$m_1 = \frac{(m_L + m_3 + m_2)(1 - X_2)}{k_1 X_1 - 1} \quad (4)$$

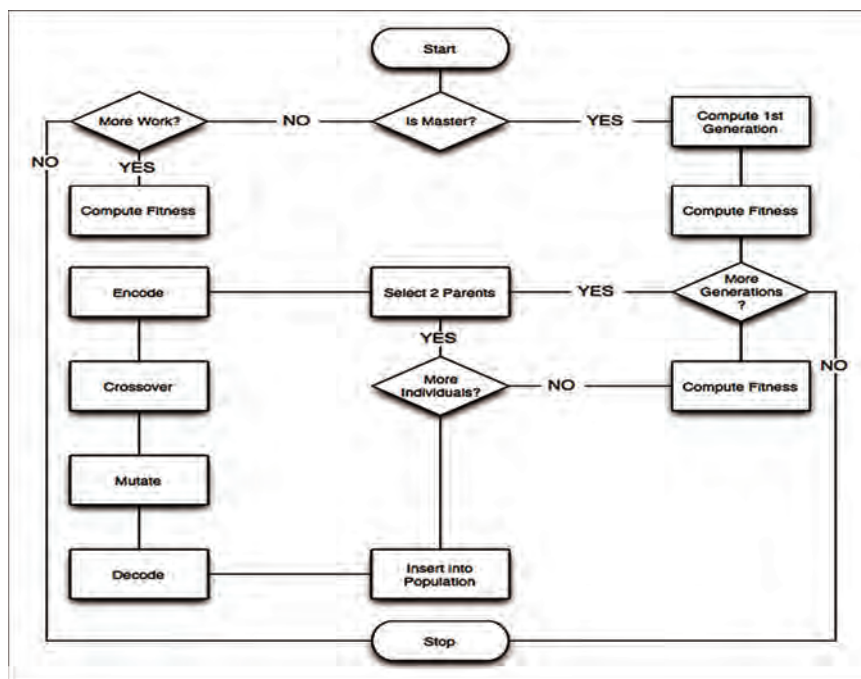
gdzie: $X_i = e^{\frac{\Delta V_i}{m_i}}$; k_i - współczynniki konstrukcji.

Dodatkowym kryterium optymalizacji jest względny błąd pomiędzy zadaniem przyrostem całkowitym prędkości a przyrostem zwracanym w danej iteracji poprzez algorytm genetyczny. Jeżeli kryterium nie jest spełnione, to na lokalne rozwiązanie nakładana jest funkcja kary (np. stałowartościowa funkcja o wartości 0.1).

Danymi wejściowymi dla procesu optymalizacji są: całkowity przyrost prędkości rakiety, masa ładunku użytecznego, współczynniki konstrukcji i impulsy właściwe poszczególnych stopni. Zadaniem optymalizacyjnym jest znalezienie przyrostów prędkości, które minimalizują całkowitą masę rakiety. Wynikiem procesu optymalizacji jest minimalna masa całej rakiety oraz odpowiadające jej masy poszczególnych stopni.

Nietrudno zauważyć, że postawiony problem jest trójparametryczną optymalizacją. Stosując inne algorytmy optymalizacji (np. gradientowe) możliwa jest redukcja wymiaru do dwuparametrycznej optymalizacji, ponieważ znany jest całkowity przyrost prędkości rakiety. W przypadku algorytmu genetycznego trudno byłoby zdefiniować funkcję celu w postaci zredukowanej.

Poprawność i skuteczność działania algorytmu genetycznego (Rys. 1) w optymalizacji masowej rakiety trójstopniowej została zweryfikowana drugim narzędziem obliczeniowym opartym o metodę gradientową [2].



Rys. 1. Algorytm genetyczny

Wyniki są oczywiście takie same (przy założeniu liczby populacji 50 i liczby generacji, w których rozwiązanie ewoluuje 200). Algorytm genetyczny okazuje się zdecydowanie szybszy.

Jest to oczywiście prosty przypadek zastosowania algorytmu genetycznego. Nie mniej jednak demonstruje on skuteczność działania algorytmu (Tabela 1). Dalsze prace nad programem będą obejmowały zmodyfikowane równanie Ciołkowskiego z uwzględnieniem strat grawitacyjnych i oporu aerodynamicznego.

Tabela 1 Przykładowa optymalizacja masowa rakiety

DANE WEJŚCIOWE	
Współczynnik konstrukcji I stopnia	0.08
Współczynnik konstrukcji II stopnia	0.10
Współczynnik konstrukcji III stopnia	0.12
Całkowity przyrost prędkości rakiety	10000 m/s
Masa ładunku użytecznego	500 kg
Impuls właściwy I stopnia	3000 m/s
Impuls właściwy II stopnia	3500 m/s
Impuls właściwy III stopnia	4000 m/s
WYNIKI	
Przyrost prędkości I stopnia	1986 m/s
Przyrost prędkości II stopnia	3550 m/s
Przyrost prędkości III stopnia	4463 m/s
Masa I stopnia	8068 kg
Masa II stopnia	5143 kg
Masa III stopnia	1619 kg
Minimalna masa rakiety	15331 kg

Dane wejściowe przedstawione w Tabeli 1 mają charakter pogładowy. Względnie wysoka wartość całkowitego przyrostu prędkości rakiety wynika z faktu, że przyjęty model obliczeniowy oparty na równaniu Ciołkowskiego (2) nie uwzględnia strat wynikających z oddziaływania grawitacyjnego oraz strat związanych z istnieniem oporu aerodynamicznego. Z tego powodu do obliczeń przyjęto zawyżoną wartość całkowitego przyrostu prędkości rakiety. Impulsy właściwe poszczególnych stopni są również pogładowe.

4. WNIOSKI

Algorytmy genetyczne zapewniają skuteczne mechanizmy przeszukiwania dużych przestrzeni rozwiązań. Algorytmy genetyczne są bardziej niezależne od wstępnej inicjalizacji oraz mniej skłonne do znajdowania lokalnych rozwiązań w miejsce optymalnych.

Zalety algorytmów genetycznych stawiają je jako dobrą alternatywę w miejsce innych algorytmów optymalizacyjnych.

Przedstawiona metodyka optymalizacji masy rakiety pozwala oszacować wstępne masy poszczególnych stopni oraz masę całej rakiety.

LITERATURA

- [1] **Holland, J.H.** Adaptation in Natural and Artificial Systems. *University of Michigan Press, Ann Arbor*. 1975.
- [2] **P. Surmacz, K. Świdorski.** Optymalizacja masy rakiety wielostopniowej. *Politechnika Warszawska, Zakład Silników Lotniczych*. 2006.

Abstract

This paper presents optimisation of three-stage rocket lift-off mass by use of genetic algorithm.