

Zastosowanie algorytmów genetycznych w optymalizacji zmodyfikowanej metody wyznaczania składowych wektora prędkości¹

PAWEŁ LIGĘZA, KATARZYNA SOCHA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

W pracy przedstawiono jednokrokovą zmodyfikowaną metodę wyznaczania wektora prędkości. Umożliwia ona wyliczenie składowych prędkości bezpośrednio z otrzymanych napięć. Ze względu na dużą liczbę współczynników w modelu matematycznym, do ich wyznaczania stworzono oprogramowanie wykorzystujące algorytmy genetyczne. Lepiej radzą sobie one z tego typu zadaniami niż klasyczne metody optymalizacji.

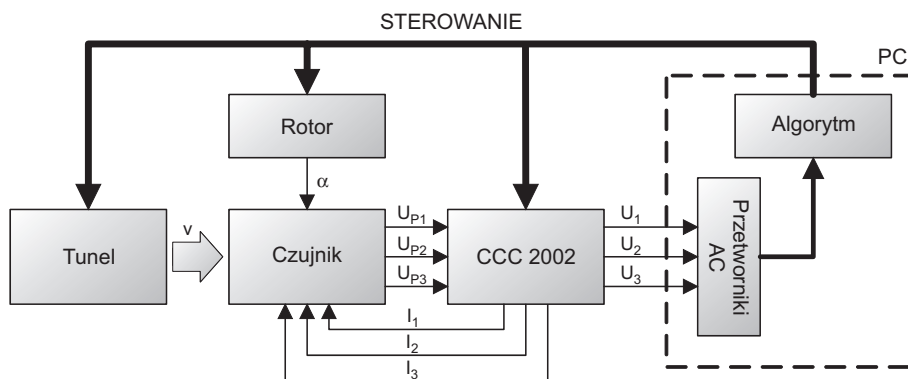
W celu weryfikacji proponowanej metody przeprowadzono eksperyment polegający na wykonaniu serii pomiarów czujnikiem trójwłóknowym.

Słowa kluczowe: termoanemometria, wektor prędkości, algorytmy genetyczne

1. Wprowadzenie

Pomiar prędkości przepływu ma duże znaczenie przy badaniu procesu przewietrzania wyrobisk kopalnianych. Jedną ze stosowanych metod pomiaru prędkości jest termoanemometria. Polega ona na określaniu intensywności wymiany ciepła między medium, a umieszczonym w nim grzonym elementem. Jest to metoda pomiaru pośredniego oparta o wykorzystanie zjawisk cieplnych.

System do pomiaru wartości składowych wektora prędkości przepływu składa się z sondy pomiarowej o trzech wzajemnie prostopadłych włóknach, zasilającego ją układu stałotemperaturowego oraz dwóch dwukanałowych kart szybkich przetworników analogowo-cyfrowych. Całość sterowana jest za pomocą komputera ze specjalistycznym oprogramowaniem. Na rysunku 1 przedstawiono schemat takiego stanowiska pomiarowego.



Rys. 1. Schemat ideowy systemu pomiarowego

¹ Prezentowane w pracy obliczenia wykonano za pomocą programu MATLAB na komputerze SGI2800 w ACK CYFRONET AGH (numer grantu: MNiI/SGI2800/PAN/051/2005).

W pracy przedstawiono zmodyfikowaną metodę wyznaczania wektora prędkości. Umożliwia ona bezpośrednie przeliczenie zmierzonych napięć na wartości składowych prędkości. W metodzie klasycznej pośrednim krokiem było wyznaczenie tzw. prędkości efektywnej, odpowiedzialnej za efekt chłodzenia gorącego włókna.

Otrzymany model matematyczny opisuje cały czujnik, a nie poszczególne jego włókna, jak to miało miejsce w metodzie klasycznej. Na wartość poszczególnych składowych wektora prędkości mają wpływ napięcia zmierzone przez wszystkie włókna czujnika. Wadą takiego modelu jest konieczność wyznaczenia aż 27 parametrów podczas wzorcowania. Z tego względu nie można było zastosować klasycznych metod optymalizacji. Zdecydowano się na stworzenie oprogramowania wykorzystującego algorytmy genetyczne. Ich zasada działania oparta jest na mechanizmach doboru naturalnego i dziedziczności. Dodatkowo występuje w nich zrandomizowana wymiana informacji niezbędna do otrzymania najlepszych wyników optymalizacji.

2. Metoda klasyczna

Klasyczna metoda wyznaczania składowych wektora prędkości przepływu składa się z dwóch etapów. Najpierw z danych pomiarowych, dla każdego włókna niezależnie, wyznaczane są prędkości efektywne, a następnie na ich podstawie wyliczane są składowe wektora prędkości przepływu [2, 6, 7, 8].

Prędkość efektywna wyznaczana jest z następującego wzoru (przekształcone prawo Kinga):

$$v_{ef} = \left(\frac{U^2 - A}{B} \right)^n \quad (1)$$

gdzie:

- v_{ef} – prędkość efektywna, odpowiedzialna za efekt chłodzenia gorącego włókna,
- U – napięcie będące sygnałem pomiarowym z czujnika,
- A, B, n – współczynniki uzyskiwane podczas wzorcowania, opisujące włókno.

Drugi etap wyznaczania składowych wektora prędkości polega na podstawieniu otrzymanych prędkości efektywnych do następującej zależności:

$$v^2 = K^{-1} \cdot v_{ef}^2 \quad (2)$$

gdzie:

$$v_{ef}^2 = \begin{bmatrix} v_{1ef}^2 \\ v_{2ef}^2 \\ v_{3ef}^2 \end{bmatrix}, \quad v^2 = \begin{bmatrix} v_x^2 \\ v_y^2 \\ v_z^2 \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} k_1^2 & 1 & 1 \\ 1 & k_2^2 & 1 \\ 1 & 1 & k_3^2 \end{bmatrix}.$$

Zależność (2) otrzymano z równania Jorgensena [4] opisującego przestrzenny wektor prędkości dla pojedynczego włókna:

$$v_{ef}^2 = v_N^2 + k^2 v_T^2 + l^2 v_{BN}^2 \quad (3)$$

gdzie:

- v_N – składowa prostopadła do płaszczyzny wyznaczonej przez włókno i jego wsporniki,
- v_T – składowa równoległa do włókna,
- v_{BN} – składowa prostopadła do włókna leżąca w płaszczyźnie wyznaczonej przez włókno i wsporniki,
- k – współczynnik uwzględniający wpływ składowej równoległej do osi włókna,
- l – współczynnik uwzględniający wpływ składowej binormalnej, jego wartość jest bliska jedności.

Do wyznaczenia składowych wektora prędkości na podstawie sygnałów pomiarowych konieczne jest wcześniejsze określenie indywidualnych wartości parametrów A, B, n, k dla każdego z trzech włókien czujnika (wzorcowanie). W tym celu orientuje się czujnik w przestrzeni w taki sposób, aby kolejno każde z włókien znajdowało się równoległe do przepływu, przy prostopadłym ustawieniu pozostałych.

Następnie, na podstawie uzyskanej przy napływie prostopadłym charakterystyki $U = f(v)$ dla każdego włókna dopasowuje się zależność (1), w wyniku otrzymując szukane współczynniki A , B oraz n .

W kolejnym kroku wyznaczany jest współczynnik k . Ponieważ w tym wypadku brany jest pod uwagę tylko równoległy napływ na włókno, formuła Jorgensona (3) upraszcza się do postaci:

$$v_{ef}^2 = k^2 v_T^2. \quad (4)$$

Znając wyliczone prędkości efektywne oraz zadaną prędkość w tunelu aerodynamicznym, można na podstawie powyższego równania, dla każdego włókna, wyznaczyć zbiór współczynników k dla różnych prędkości. W celu otrzymania konkretnych wartości parametrów k_i w macierzy K aproksymuje się zależność $k(v)$.

3. Metoda zmodyfikowana

Zmodyfikowana metoda wyznaczania składowych wektora prędkości przepływu jest uproszczeniem metody klasycznej. Polega ona na wyznaczaniu wektora prędkości bezpośrednio z otrzymanych sygnałów napięciowych. Nie ma konieczności wykonywania żadnych pośrednich obliczeń, jak to miało miejsce przy metodzie klasycznej [6].

Model matematyczny dla prezentowanej metody uzyskano przez wstawienie zależności na prędkość efektywną (1), dla każdego włókna, do równania macierzowego otrzymanego z zależności (2):

$$v_{ef}^2 = K \cdot v^2. \quad (5)$$

W wyniku wykonanych przekształceń otrzymano równania pozwalające wyznaczyć składowe wektora prędkości bezpośrednio ze zmierzonych sygnałów:

$$\begin{aligned} v_x^2 &= b_{1x}(U_1^2 - a_{1x})^{2n_{1x}} + b_{2x}(U_2^2 - a_{2x})^{2n_{2x}} + b_{3x}(U_3^2 - a_{3x})^{2n_{3x}}, \\ v_y^2 &= b_{1y}(U_1^2 - a_{1y})^{2n_{1y}} + b_{2y}(U_2^2 - a_{2y})^{2n_{2y}} + b_{3y}(U_3^2 - a_{3y})^{2n_{3y}}, \\ v_z^2 &= b_{1z}(U_1^2 - a_{1z})^{2n_{1z}} + b_{2z}(U_2^2 - a_{2z})^{2n_{2z}} + b_{3z}(U_3^2 - a_{3z})^{2n_{3z}}. \end{aligned} \quad (6)$$

W równaniach na składowe wektora prędkości (6) przyjęto następujące podstawienia:

$$\begin{aligned} b_{1x} &= \frac{k_2^2 k_3^2 - 1}{B_1^{2n_1} W}, & b_{2x} &= \frac{1 - k_3^2}{B_2^{2n_2} W}, & b_{3x} &= \frac{1 - k_2^2}{B_3^{2n_3} W}, \\ b_{1y} &= \frac{1 - k_3^2}{B_1^{2n_1} W}, & b_{2y} &= \frac{k_1^2 k_3^2 - 1}{B_2^{2n_2} W}, & b_{3y} &= \frac{1 - k_1^2}{B_3^{2n_3} W}, \\ b_{1z} &= \frac{1 - k_2^2}{B_1^{2n_1} W}, & b_{2z} &= \frac{1 - k_1^2}{B_2^{2n_2} W}, & b_{3z} &= \frac{k_1^2 k_2^2 - 1}{B_3^{2n_3} W}, \\ a_{1x} &= A_1, & a_{2x} &= A_2, & a_{3x} &= A_3, \\ a_{1y} &= A_1, & a_{2y} &= A_2, & a_{3y} &= A_3, \\ a_{1z} &= A_1, & a_{2z} &= A_2, & a_{3z} &= A_3, \\ W &= k_1^2 k_2^2 k_3^2 - k_1^2 - k_2^2 - k_3^2 + 2. \end{aligned} \quad (7)$$

Dużą zaletą prezentowanej metody jest jej model matematyczny, który opisuje wpływ poszczególnych włókien na siebie. Dzięki temu podczas wzorcowania można zastosować takie ustawienie czujnika względem przepływu, dla którego będzie znany model matematyczny. Może to uprościć procedurę wzorcowania czujnika, a nawet przyczynić się do bardziej precyzyjnego wyznaczenia składowych wektora prędkości przepływu. W metodzie klasycznej nie ma takiej możliwości. Przy wzorcowaniu czujnik musi być w konkretnym ustawieniu (zawsze jedno włókno równoległe do zadanego przepływu).

W porównaniu z metodą klasyczną trudniejsze wydaje się natomiast określenie parametrów podczas wzorcowania. W metodzie klasycznej podczas wzorcowania parametry wyznaczane były dla każdego

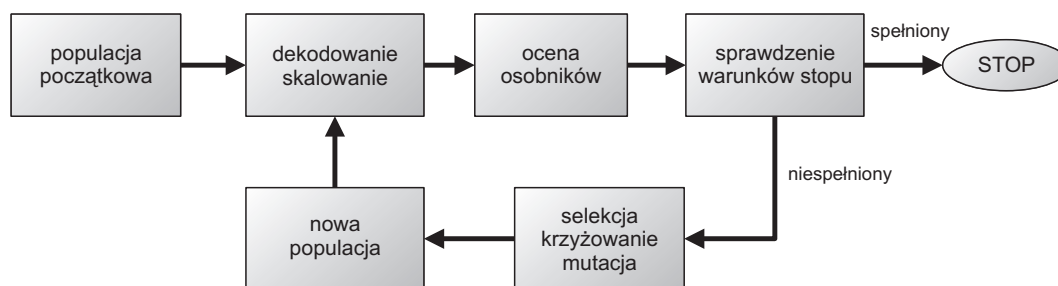
włókna oddzielnie. W dwóch etapach dopasowywane były 4 współczynniki. Najpierw wyznaczane były dla konkretnego włókna wartości współczynników A , B , n , a następnie k . Natomiast po zmodyfikowaniu tej metody liczba potrzebnych parametrów wzrosła do 27. Z tego powodu zdecydowano się na wykorzystanie algorytmów genetycznych do określenia ich wartości.

4. Algorytmy genetyczne

Algorytmy genetyczne służą głównie do rozwiązywania trudnych lub bardzo złożonych zadań optymalizacji. Zazwyczaj są to problemy wielowymiarowe, wymagające dużego nakładu obliczeniowego lub zagadnienia, które trudno jest opisać za pomocą matematycznych zależności [3].

Metody optymalizacji zwane algorytmami genetycznymi wywodzą się z obserwacji przyrody i opierają się na zjawisku doboru naturalnego [3]. Poprzez wymianę informacji między osobnikami dobrze spełniającymi warunki badanego zagadnienia możliwe jest stworzenie osobnika o jeszcze lepszych parametrach.

Działanie algorytmów genetycznych polega na stworzeniu i modyfikacji populacji osobników. Na rysunku 2 przedstawiono schemat działania algorytmu genetycznego.



Rys. 2. Schemat działania algorytmu genetycznego

Każdy osobnik zawiera pełną informację o wszystkich zmiennych, czyli jest jednym z możliwych rozwiązań danego problemu optymalizacyjnego. Najczęściej zmienne reprezentowane są w postaci ciągu binarnego, ale możliwe są również inne struktury (wektory liczb rzeczywistych, macierze) [3, 5]. Dla każdej zmiennej określa się takie parametry jak: przedział zmienności, liczbę bitów oraz sposób kodowania. Miarą przystosowania danego osobnika w populacji jest funkcja dopasowania. Im wyższe wartości przyjmuje, tym dany osobnik lepiej spełnia żądane kryterium.

Populacja początkowa powstaje przez wylosowanie ciągów binarnych o zadanej długości. Z niej tworzone są kolejne populacje osobników o coraz lepszym przystosowaniu.

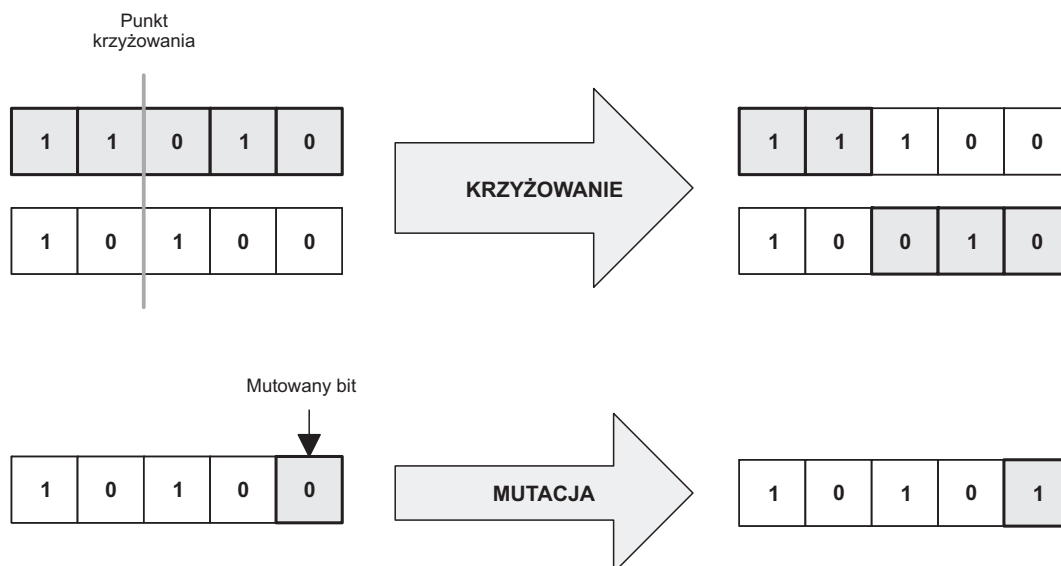
W celu obliczenia miary przystosowania każdego osobnika, wydzielane są z niego podciągi binarne odpowiadające poszczególnym zmiennym. Następnie są one dekodowane do wartości dziesiętnej. Na podstawie tak wyznaczonych wartości liczbowych obliczana jest funkcja przystosowania każdego osobnika.

Maksymalizacja funkcji celu (przystosowania) odbywa się przez odpowiedni dobór osobników na zasadach podobnych do doboru naturalnego. Wybór najlepiej przystosowanych osobników do populacji rodzicielskiej dokonywany jest podczas *selekcji*. Najbardziej popularną metodą jest metoda ruletki. Polega ona na przydzieleniu każdemu osobnikowi wycinka koła ruletki o wielkości proporcjonalnej do wartości jego funkcji przystosowania. Selekcja w tym wypadku polega na losowym wyborze punktu na kole ruletki. Prawdopodobieństwo wyboru danego osobnika jest tym większe, im większa jest wartość jego funkcji przystosowania (im większy jest jego wycinek koła). Ponieważ procedura przebiega w sposób losowy, osobnik o nie najlepszych cechach również ma szansę znaleźć się w puli rodziców.

Tak wybrane osobniki (rodzice) poddawane są dalszej modyfikacji, w celu osiągnięcia lepszego dopasowania osobników potomnych do założonych warunków. Operator *krzyżowania* ma za zadanie łączyć cechy pochodzące od różnych osobników. W tym celu osobniki – rodzice dobierane są w pary, sprawdzane jest prawdopodobieństwo krzyżowania i jeśli ma nastąpić to losowo wybierany jest punkt krzyżowania i następuje wymiana podciągów między rodzicami. W wyniku otrzymywane są dwa osobniki potomne, za-

wierające nowe zestawy parametrów. Operator *mutacji* ma za zadanie zwiększyć różnorodność osobników w nowej populacji. Polega ona na zanegowaniu pojedynczego losowego bitu, dla losowo wybranego osobnika [3, 5]. Na rysunku 3 schematycznie przedstawiono zasadę działania operatora krzyżowania i mutacji.

Zaletą algorytmów genetycznych jest brak ograniczeń w stosunku do funkcji przystosowania (takich jak ciągłość, czy różniczkowalność), a także zastosowanie probabilistycznych funkcji wyboru. Dlatego, przy odpowiednio dobranych parametrach, algorytmy te są odporne na ekstrema lokalne. Dla odpowiednio dobranej liczebności populacji algorytm szybko znajduje wartości bliskie optymalnym.



Rys. 3. Schemat działania podstawowych operatorów algorytmów genetycznych

5. Eksperyment

W celu sprawdzenia efektywności algorytmu genetycznego do wyznaczania parametrów opisujących czujnik w metodzie zmodyfikowanej, wykonano serię pomiarów czujnikiem trójwłóknowym. Czujnik został umieszczony w gnieździe rotora, pod kątem $54,7^\circ$ względem przepływu. W takim ustawieniu oś sondy pokrywa się z przekątną sześcianu, którego krawędzie wyznaczane są przez włókna. Włókna zaś pokrywają się z osiami układu współrzędnych tunelu. Dzięki temu, możliwe jest ustawienie jednego włókna równoległe do przepływu, przy jednoczesnym prostopadłym ustawieniu pozostałych dwóch.

W trakcie eksperyment sonda obracana była, co 10° wokół własnej osi. Dla każdego położenia czujnika wykonano pomiary dla prędkości zmieniającej się od 1 do 30 m/s, co 1 m/s.

Wykonane pomiary posłużyły do porównania zaproponowanej metody z metodą klasyczną. Do wyznaczenia parametrów czujnika (wzorcowania) wzięto pod uwagę tylko trzy położenia sondy względem przepływu: 0° , 120° , 240° . Dla takich ustawień czujnik miał jedno włókno równoległe do przepływu, a pozostałe dwa prostopadłe.

6. Wyznaczenie parametrów dla metody zmodyfikowanej

Do wyznaczenia parametrów opisujących czujnik w zmodyfikowanej metodzie wyznaczania składowych wektora prędkości przepływu, zastosowano populację składającą się z 56 osobników. Pojedynczy osobnik składał się z 27 zmiennych. W celu zawężenia przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań, przyjmowanych przez poszczególne parametry, przeprowadzono wzorcowanie czujnika metodą klasyczną. Otrzymane parametry zostały umieszczone w tabeli 1.

Tab. 1. Otrzymane parametry w metodzie klasycznej

Nr włókna	Parametry			
i	A_i	B_i	n_i	k_i^2
1	0,958	5,494	3,244	0,096
2	0,600	5,586	3,332	0,101
3	0,678	5,050	3,351	0,099

W tabeli 2 umieszczono natomiast przyjęte przedziały dopuszczalnych wartości dla każdej zmiennej:

Tab. 2. Zbiór dopuszczalnych wartości dla każdej ze zmiennych ($i = 1,2,3, j = x,y,z$)

Parametr	Przedział
a_{ij}	$\langle 0,550 \ 1,000 \rangle$
b_{ij}	$\langle -0,229 \ 0,191 \rangle \cdot 10^{-4}$
n_{ij}	$\langle 2,200 \ 3,400 \rangle$

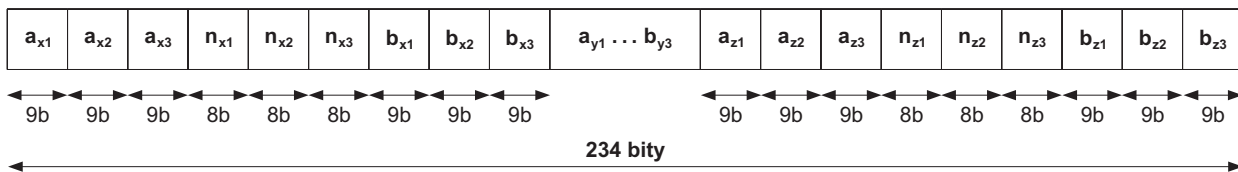
Określenie w miarę wąskich przedziałów wartości dla poszczególnych zmiennych miało na celu przyspieszenie procesu optymalizacji i zmniejszenie długości pojedynczego osobnika.

Skalowanie otrzymanej wartości X do ustalonego przedziału $\langle X_{\min}, X_{\max} \rangle$ odbywało się za pomocą liniowej funkcji w postaci:

$$X_{\text{nowy}} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2^{n\text{-bitów}}} \cdot X + X_{\min} \quad (8)$$

gdzie: $n\text{-bitów}$ jest to liczba bitów, jaka posłużyła do zakodowania danej zmiennej.

Szukane parametry wyznaczane były z dokładnością do czterech liczb znaczących. W rezultacie otrzymano osobniki o długości 234 bity. Schemat pojedynczego osobnika przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat pojedynczego osobnika

Poszczególne wartości parametrów otrzymywane są przez wydzielenie z ciągu binarnego podciągów o zadanych wcześniej długościach i dekodowaniu ich do postaci dziesiętnej, a następnie przeskalowaniu do odpowiednich zakresów zmienności. W celu poprawienia skuteczności algorytmu do dekodowania ciągów zastosowano kod Graya. Charakteryzuje się on tym, że zwiększenie wartości dziesiętnej o jeden powoduje zmianę w ciągu bitowym na jednej pozycji. Zapobiega to gwałtownym zmianom parametrów np. podczas mutacji.

Do oceny poszczególnych osobników przyjęto odwrotność funkcji o następującej postaci:

$$f = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^N \left| \frac{v_{ij}^2 - \tilde{v}_{ij}^2}{\tilde{v}_{ij}^2} \right| \quad (9)$$

gdzie:

- v_{ij} – wartość wyznaczonej j -tej składowej prędkości dla i -tej próbki,
- \tilde{v}_{ij} – zadana wartość prędkości,
- $|\tilde{v}_{ij}|$ – moduł wektora zadawanej prędkości.

Taka postać funkcji przystosowania wiąże się z właściwościami algorytmów genetycznych, które służą do szukania maksimum funkcji. Zastosowanie odwrotności funkcji (9) umożliwiło zamianę minimalizowanego problemu na maksymalizowany.

W zastosowanym algorytmie genetycznym ustalono następujące parametry:

- liczba krzyżowań: 16,
- prawdopodobieństwo krzyżowania: 0,76,
- liczba mutacji: 2,
- prawdopodobieństwo mutacji: 0,30,
- liczba iteracji: 400.

W tabeli 3 umieszczono parametry otrzymane po wywzorcowaniu czujnika metodą zmodyfikowaną.

Tab. 3. Wyznaczone wartości parametrów dla metody zmodyfikowanej

i	a_{1j}	a_{2j}	a_{3j}	$b_{1j} \cdot 10^{-4}$	$b_{2j} \cdot 10^{-4}$	$b_{3j} \cdot 10^{-4}$	n_{1j}	n_{2j}	n_{3j}
x	0,931	0,996	0,792	-0,073	0,053	0,150	3,273	3,376	3,278
y	0,624	0,625	0,585	0,076	-0,089	0,069	3,229	3,234	3,396
z	0,988	0,761	0,572	0,082	0,092	-0,176	3,240	3,245	3,313

7. Porównanie metod

Na rysunku 5 umieszczono błąd bezwzględny w postaci powierzchni dla poszczególnych składowych oraz modułu. Błąd ten został wyznaczony w odniesieniu do wartości otrzymanych z teoretycznego modelu, opisującego ustawienie czujnika względem przepływu [6]:

$$\Delta v_j = (v_{ij} - \tilde{v}_{ij}) \quad (10)$$

gdzie:

- v_{ij} – wartość wyznaczonej j -tej składowej prędkości w i -tej próbce,
- \tilde{v}_{ij} – zadana wartość prędkości.

Analiza otrzymanych powierzchni jest trudna – nie ma wyraźnie widocznej różnicy między błędami dopasowania przebiegów pomiarowych i teoretycznych dla obu metod. Można zauważyć, że maksymalne błędy dla metody zmodyfikowanej są mniejsze. W celu porównania obu metod wyliczono wskaźnik jakości oparty na sumie błędów dopasowań przebiegów:

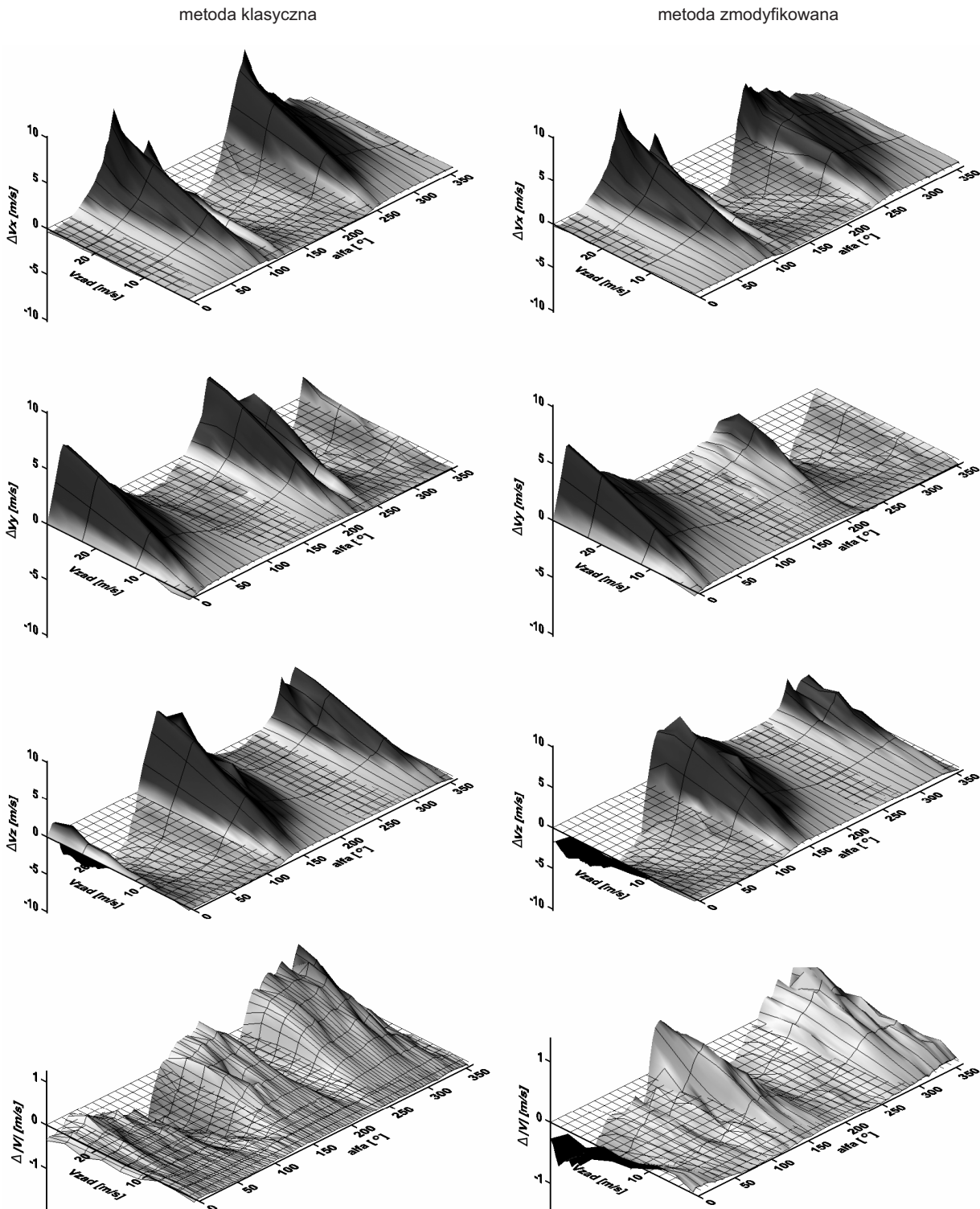
$$Q = \frac{1}{3N} \sum_j^3 \sum_i^N \left[\frac{\tilde{v}_{ij} - v_{ij}}{|\tilde{v}_{ij}|} \right]^2 \cdot 100\% \quad (11)$$

gdzie:

- v_{ij} – wartość wyznaczonej j -tej składowej prędkości w i -tej próbce,
- \tilde{v}_{ij} – zadana wartość prędkości,
- N – ilość wykonanych pomiarów.

Przy tak zdefiniowanym wskaźniku otrzymano następujące wyniki:

- dla metody dwukrokowej: $Q = 1,83\%$,
- dla metody zmodyfikowanej: $Q = 1,74\%$.



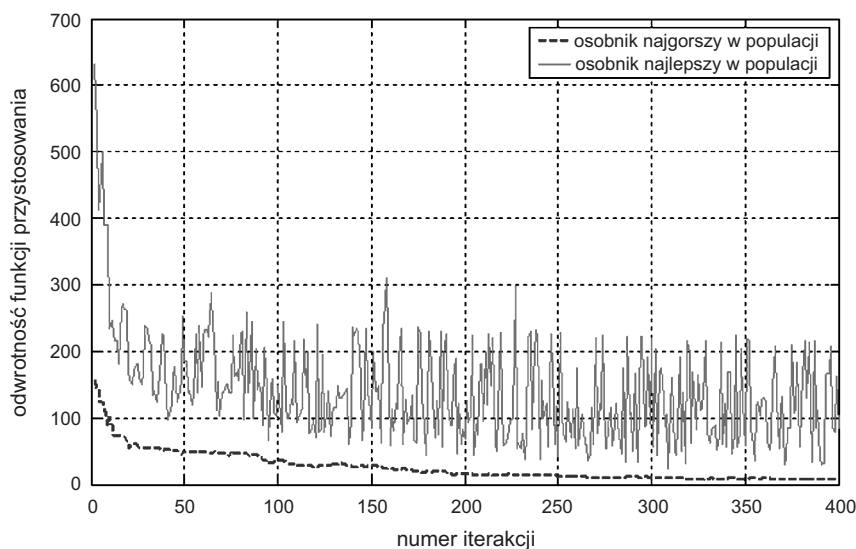
Rys. 5. Błąd bezwzględny dla metody klasycznej i metody zmodyfikowanej

Na podstawie wyznaczonych wartości wskaźników jakości można stwierdzić, że zmodyfikowana metoda wyznaczania składowych wektora prędkości przepływu dała podobne wyniki jak klasyczna. Dalsza optymalizacja algorytmu wyznaczającego parametry dla metody jednokrokowej może jeszcze bardziej poprawić wskaźnik jakości.

8. Podsumowanie

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania algorytmów genetycznych do wyznaczenia 27 parametrów opisujących czujnik w jednokrokowej metodzie wyznaczenia składowych wektora prędkości. Otrzymane za pomocą tej metody wartości są bardzo podobne do wartości uzyskanych po zastosowaniu metody klasycznej. Chociaż wydaje się, że metoda zmodyfikowana dała nieco lepsze rezultaty.

Algorytmy genetyczne są silnie stochastyczne. Dlatego istnieje duże prawdopodobieństwo, że nie utkną w ekstremum lokalnym, ale będą dochodzić do ekstremum globalnego. Na rysunku 6 przedstawiono historię zmian odwrotności funkcji przystosowania (błąd dopasowania przebiegów) dla najlepszych i najgorszych osobników w kolejnych krokach działania algorytmu.



Rys. 6. Historia zmian najlepszego i najgorszego osobnika w kolejnych populacjach

Trudność z wykorzystaniem algorytmów genetycznych wiąże się z odpowiednim doбором ich parametrów, takich jak: wielkość populacji, liczba punktów krzyżowań i mutacji, prawdopodobieństwo krzyżowania i mutacji. Właściwy dobór tych parametrów zapewnia szybką zbieżność algorytmu do ekstremum globalnego. Aby uzyskać wymagane rezultaty potrzeba jest co najmniej kilkakrotnego ich dobierania. Bardzo pomocne w tym wypadku jest doświadczenie osoby, korzystającej z tego typu narzędzia optymalizacyjnego. Raz, dobrze dobrane parametry algorytmów genetycznych wystarczają, aby dla danego problemu algorytm był zbieżny do optimum.

Stworzone do wzorcowania czujnika oprogramowanie zostało zaimplementowane w środowisku Matlab. Związane to było z możliwością łatwej wizualizacji otrzymanych wyników, a tym samym ich analizą. Wydaje się, że przeniesienie procedur do innego środowiska programistycznego, np. Delphi, czy C przyspieszy działanie całego algorytmu. Pośrednio może to wpłynąć również na skuteczność jego działania, poprzez możliwość przetestowania wpływu na wynik różnych wartości parametrów.

Literatura

1. Ciombor K., 2004. *Programowany termooanemometryczny system pomiarowy*, Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, nr 8, s. 5-11.
2. Gawor M., Ligęza P., Rachalski A., 1994. *Termooanemometryczny system wyznaczenia wektora prędkości przepływu gazu*, Materiały Konferencji Czujniki Optoelektroniczne i elektroniczne, COE'94.
3. Gooldberg D.E., 1998. *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*, WNT, Warszawa.
4. Jorgensen, F.E., 1971. *Directional Sensitivity of Wire and Fiber-film Probes*, Disa Information, No. 11.
5. Michalewicz Z., 1996. *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*, WNT, Warszawa.

6. P. Ligęza, K. Socha, 2005. *Modification of an Algorithm for determining the gas flow velocity components in hot-wire measurements*, Archives of Mining Sciences, vol. 50, issue 3, p. 327-341.
7. Poleszczyk E., 2002. *Termoanemometryczna metoda wyznaczania wektora prędkości przepływu gazu*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, seria: Rozprawy, Monografie, nr 1.
8. Rachalski A., 2003. *Algorytm wyznaczania wektora prędkości przepływu w pomiarach termoanemometrycznych*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 5, nr 2, s. 253-259.

Genetic algorithms in optimization the modified method of determining the velocity vector components

Abstract

The paper outlines the one-step method of determining the velocity vector. In this method the velocity vector components are obtained directly from the measurement signals. Due to a large number of parameters in the mathematical model, they were determined using genetic algorithms. Genetic algorithms are better in such applications than traditional optimisation methods.

To verification presented method experiment was conducted. To execute measurements three-wire sensor was used.

Keywords: hot-wire anemometry, flow velocity vector, genetic algorithms

Recenzował: prof. dr hab. *Stanisław Gumuła*, Akademia Górniczo-Hutnicza