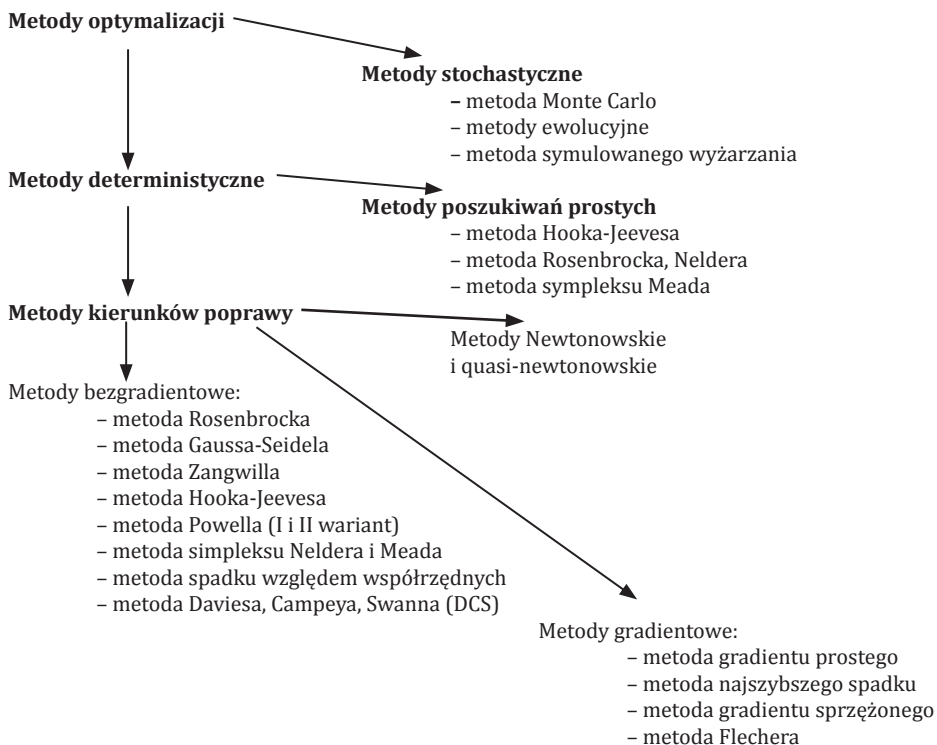


Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz

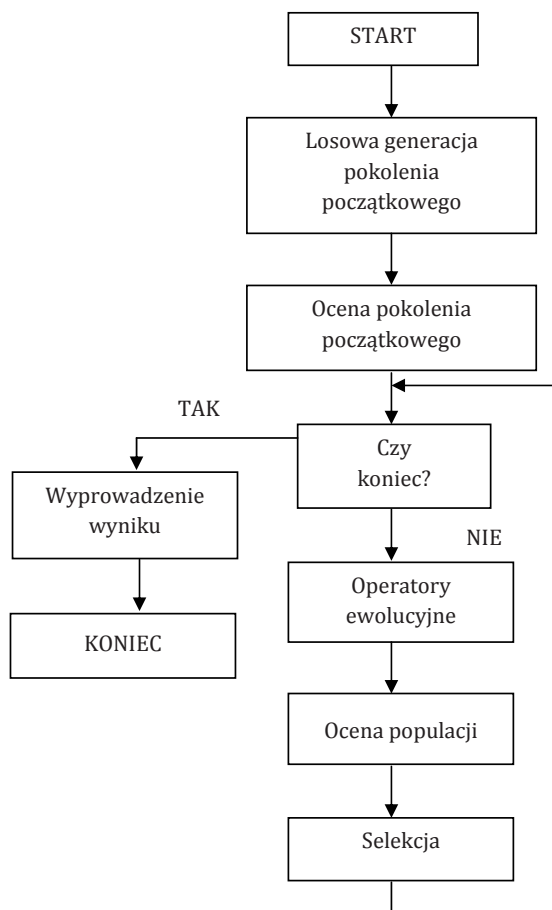
Zastosowanie algorytmów ewolucyjnych do optymalizacji układów mechatronicznych

Pierwsze prace nad algorytmami ewolucyjnymi (AE) zostały napisane w latach 60. XX wieku. W latach 90. nastąpił gwałtowny rozwój tych technik. Postęp prac był związany z rozwojem i dostępnością komputerów PC oraz oprogramowania. Programy oparte na metodach sztucznej inteligencji wymagają efektywnego oprogramowania i szybkich jednostek obliczeniowych. AE należą do metod optymalizacyjnych, a jak wiadomo, metody te dzieli się na [6]:



Algorytm ewolucyjny

Istnieje wiele metod poszukujących najlepszego rozwiązania w zadanej przestrzeni rozwiązań. Większość z tych metod jest skuteczna w przypadku, kiedy wskaźniki jakości posiadają wiele ekstremów lokalnych lub gdy przestrzenie poszukiwań rozwiązań nie są ciągłe. Znacznie bardziej skuteczne pod tym względem są AE [1, 5, 6, 20], posiadają bowiem wbudowane mechanizmy do omijania ekstremów lokalnych. Otrzymane wyniki obliczeń za pomocą AE nie uznaje się za optymalne, ponieważ np. istnieje konieczność próbkowania przestrzeni poszukiwań. Przy korzystaniu z klasycznych algorytmów genetycznych przestrzeń poszukiwań rozwiązania optymalnego jest zakodowana, co powoduje, że pojedyncze rozwiązanie (osobnik) reprezentowane jest jako ciąg bitów {0,1} lub symboli. Powoduje to zmniejszenie dokładności obliczeń w stosunku do algorytmów ewolucyjnych, które korzystają z reprezentacji zmiennopozycyjnej. Podstawowy schemat blokowy algorytmu ewolucyjnego przedstawiono na ryc. 1 [6].



Ryc. 1. Schemat blokowy algorytmu ewolucyjnego

Po starcie, program generuje grupę rozwiązań, tzw. populację początkową. Następnie dla każdego osobnika określany jest wskaźnik jakości (ocena populacji) i w pętli sprzężenia zwrotnego rozpoczyna się proces obliczeń ewolucyjnych. Jeden obieg pętli odpowiada jednemu pokoleniu. Podczas każdego pokolenia na podstawie aktualnej populacji tworzone są nowe osobniki za pomocą operatorów ewolucyjnych. Wygenerowane osobniki są oceniane. Nowe osobniki stanowią zbiór, który, dołączony do populacji, stanowi bazę dla operatora selekcji. Wybiera on osobniki z powiększonego zbioru i umieszcza je w nowym zbiorze, który będzie tworzył populację bazową w kolejnym obiegu pętli programu. Po spełnieniu warunku zakończenia ewolucji wyprowadzana jest wartość osobnika najlepszego.

Reprezentacja zadania

Jak wiadomo, w szeroko pojętych algorytmach ewolucyjnych stosowanych jest wiele reprezentacji zadania [1, 5, 6, 20]:

- binarna – najczęściej wykorzystywana w algorytmach genetycznych,
- symboliczna, np. w przypadku dylematu więźnia,
- stałopozycyjna, np. dla TSP (*Travelling Salesman Problem* – z ang. problem komiwojażera),
- zmiennopozycyjna.

Rozpatrywanie danego problemu implikuje użycie odpowiedniej reprezentacji dla tego zadania. Jeżeli osobnik jest reprezentowany przez liczby zmiennopozycyjne, to wartość np. rezystancji zapisuje się w omach (eliminuje to konieczność każdorazowego przekodowywania genów z wartości np. binarnych na zmiennopozycyjne). W przypadku korzystania np. z reprezentacji binarnej maleje dokładność obliczeń, gdyż liczba bitów w takiej reprezentacji jest liczbą skończoną, a im dłuższe ciągi kodowe posiada osobnik, tym dłuższy jest czas obliczeń za pomocą programu ewolucyjnego.

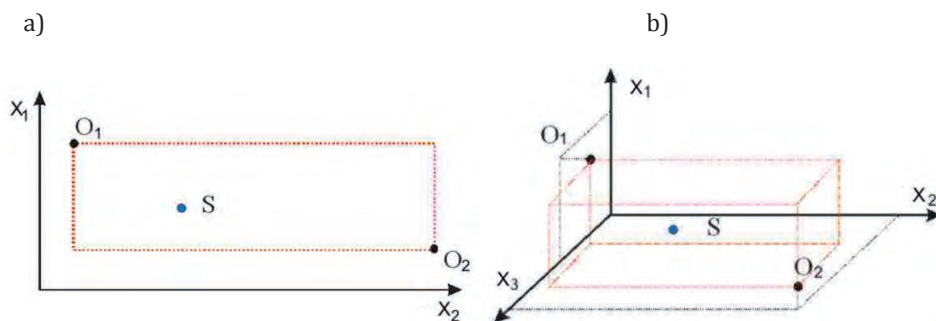
Operatory ewolucyjne

Jak wiadomo, operatory ewolucyjne mają za zadanie generować nowe osobniki, na podstawie dostępnej populacji [6]. Można je podzielić na operatory jednoargumentowe (np. operator mutacji) i operatory wieloargumentowe (np. operator krzyżowania). Operatory powinny mieć możliwość wygenerowania osobników, które będą leżały wewnątrz całego obszaru poszukiwania ekstremum wskaźnika jakości. Może się zdarzyć sytuacja, że jakiś osobnik znajdzie się poza dziedziną zadania, wtedy nazywany jest rozwiązaniem niedopuszczalnym i dla takiego osobnika stosuje się albo algorytm naprawy (czyli umieszczenie osobnika wewnątrz dziedziny), tak przelicza się funkcję oceny, by osobnik z większym prawdopodobieństwem został samoistnie wyeliminowany przez dobór naturalny, albo natychmiastowo usuwa się takie rozwiązanie z populacji. Całkowite usunięcie rozwiązania niedopuszczalnego powoduje utracenie pełnej informacji, którą on reprezentował. Doświadczenia pokazują, że korzystne jest stosowanie algorytmu naprawy.

Krzyżowanie zmiennopozycyjne

Krzyżowanie jest operatorem wieloargumentowym, tzn. do wygenerowania jednego nowego osobnika potrzebuje on minimum dwóch innych. Zakłada się, że nowe rozwiązanie musi odziedziczyć cechy swoich rodziców. Założenie to jest

spełnione, jeżeli osobnik potomny znajdzie się w bryle wypukłej, gdzie wierzchołkami przeciwległymi są dwa punkty w przestrzeni (ryc. 2) [6].



Ryc. 2. Graficzna interpretacja rozwiązań w przestrzeni dwuwymiarowej x_1x_2 – (a) i trójwymiarowej $x_1x_2x_3$ – (b), gdzie O_1 i O_2 to rozwiązania rodzicielskie, S – rozwiązanie potomne, linią oznaczono obszar, gdzie z jednakowym prawdopodobieństwem może znaleźć się rozwiązanie potomne

W wyniku takiego operatora krzyżowania, przy założeniu, że dziedzina zadania jest wypukła, nigdy nie otrzyma się rozwiązania niedopuszczalnego.

Mutacja zmiennopozycyjna zwykła

Operator mutacji jest operatorem jednoargumentowym. Działanie operatora mutacji polega na wygenerowaniu nowego rozwiązania na podstawie jednego rozwiązania rodzicielskiego i umieszczeniu go w puli, z której wybierana jest nowa populacja [1, 5, 6, 20]. Z założenia operator mutacji generuje na podstawie osobnika rodzicielskiego takiego osobnika potomnego, który powinien tylko nieznacznie różnić się od osobnika rodzicielskiego. Zakłada się, że nowe osobniki mają z większym prawdopodobieństwem znajdować się w bliskim otoczeniu osobnika rodzicielskiego, a z prawdopodobieństwem mniejszym znajdować się w dalszej odległości. To założenie spełnia np. krzywa Gaussa.

Mutacja zmiennopozycyjna postępową

W tym operatorze genetycznym na osobnik poddawany mutacji należy spojrzeć od strony osobnika i jego funkcji oceny [6]. Rozpatrując osobnik (O), obliczono wartość jego funkcji oceny (F_o). Następnie bada się jednokrotnie otoczenie osobnika (O), otrzymując kandydata na osobnika (O'). Oblicza się wartość funkcji oceny dla tego kandydata ($F_{o'}$). Jeżeli $F_o > F_{o'}$ (dla problemu maksymalizacji wskaźnika jakości F) lub $F_o < F_{o'}$ (dla problemu minimalizacji wskaźnika jakości F), to osobnik O jest niezmienny. Jeżeli $F_o < F_{o'}$ (dla problemu maksymalizacji wskaźnika jakości F) lub $F_o > F_{o'}$ (dla problemu minimalizacji wskaźnika jakości F), to osobnik O zostaje zastąpiony lepszym osobnikiem O' .

Osobniki z populacji poddawane tylko temu operatorowi będą dążyły tylko do ekstremów lokalnych (zjawisko niszowania). Migracja między ekstremami nie jest wtedy możliwa. Ten rodzaj mutacji po każdorazowym zadziałaniu na grupę osobników nie pogarsza jej funkcji oceny. Wprowadzenie tego operatora w końcowym etapie ewolucji, po ustaleniu się populacji wokół jakiegoś ekstremum, spowoduje dokładniejsze usytuowanie się populacji wokół tego ekstremum.

Selekcja

Operator selekcji (dobór naturalny) jest odpowiedzialny za wybór osobników do nowej populacji (następnej pętli programu). Jest odpowiedzialny za postępy w ekstremalizowaniu wskaźnika jakości. Jego zadaniem jest średnio zwiększać sumę wskaźników jakości dla wszystkich osobników w populacji (w przypadku poszukiwania maksimum wskaźnika jakości) lub średnio zmniejszać sumę wskaźników jakości (w przypadku poszukiwania minimum). Dobrze zaprojektowany operator powinien też okresowo umożliwić zmniejszenie (pogorszenie) funkcji oceny (dla zadania maksymalizacji wskaźnika jakości), by uniknąć przedwczesnej zbieżności algorytmu, co związane jest z „utknięciem” populacji w ekstremum lokalnym. W literaturze opisanych jest wiele różnych operatorów selekcji [1, 5, 6, 20].

Metoda ruletki

Metoda ruletki [1, 5, 6, 20] polega na obliczeniu dodatkowego wskaźnika ($MR > 0$) dla każdego osobnika, tak by suma wszystkich tych wskaźników była równa 1. Wskaźnik MR powstaje na podstawie wartości funkcji oceny osobników. Na podstawie wskaźników MR dla każdego z osobników tworzy się rosnący ciąg z wyrazem początkowym równym 0, wówczas każdy osobnik ma przyporządkowany odcinek o długości mniejszej niż 1 (suma wartości wskaźników MR jest równa 1, to i suma długości wszystkich odcinków jest równa 1). Operator selekcji, korzystając z generatora liczb pseudolosowych (losuje liczby z przedziału $<0,1>$), wybierając liczby, wybiera jednocześnie osobniki do nowej populacji.

Selekcja deterministyczna

Selekcja deterministyczna polega na każdorazowym odrzucaniu najgorszych rozwiązań (o najniższym przystosowaniu) [1, 5, 6, 20]. Działanie tego operatora zawsze powoduje zwiększenie lub utrzymanie na tym samym poziomie wskaźnika jakości (w skrajnym przypadku, kiedy wszystkie wygenerowane osobniki mają funkcję oceny o wartości mniejszej niż którykolwiek z populacji dotychczasowej, nowa populacja będzie składała się dokładnie z tych samych osobników co do tej pory, czyli wszystkie nowo wygenerowane osobniki zostaną odrzucone). Przy stosowaniu tego operatora należy zwrócić szczególną uwagę, by program przedwcześnie nie określał rozwiązania zbieżnego do ekstremum lokalnego. Jedną z cech tej metody selekcji jest to, że zakładając, iż populacja początkowa składała się z osobników różnych, to w jednym pokoleniu całość populacji nie zostanie zdominowana przez jedno rozwiązanie, jak to ma miejsce przy zastosowaniu metody ruletki.

Metoda turnieju

Ten rodzaj selekcji polega na losowym wybraniu zbioru osobników z populacji i dokonaniu porównania wybranych osobników [1, 5, 6, 20]. Z tego zbioru wybierany jest najlepszy osobnik, który staje się członkiem nowej populacji. Podczas działania tego operatora możliwe są wahania średniego przystosowania całej populacji, gdyż w nowej niekoniecznie znajdą się osobniki najlepsze. Podobnie jak w przypadku selekcji deterministycznej, metoda turnieju nie dopuszcza do zdominowania całej populacji przez jedno rozwiązanie, choć w teorii prawdopodobieństwa jest to możliwe. W praktyce nie zaobserwowano podobnych tendencji. Możliwe jest, że do

każdego turnieju w jednym pokoleniu (zakładając liczbę turniejów równą liczbie osobników w populacji) zostanie wybrany najlepszy osobnik wraz z innymi gorszymi osobnikami. Ponieważ turniej polega na wybraniu rozwiązania najlepszego z wylosowanych, do kolejnej populacji wybrany zostanie ten z najlepszym przystosowaniem. Możliwe jest też, że do nowego pokolenia nie zostanie wybrane najlepsze z dotychczas znalezionych rozwiązań. Ten rodzaj selekcji nie „chroni” najlepiej przystosowanego osobnika.

Funkcja oceny

Funkcja oceny pełni rolę środowiska [1, 5, 6, 20], określa, jak dobry jest dany osobnik. Na jej podstawie dokonuje się porównania osobników. W przypadku jednokryterialnym porównuje się liczby między sobą, w przypadku wielokryterialnym porównuje się wektory. Każde zadanie posiada indywidualną funkcję oceny. W przypadku optymalizacji jednokryterialnej funkcja oceny jest jednocześnie wskaźnikiem jakości, w przypadku optymalizacji wielokryterialnej funkcja oceny jest wektorem, którego współrzędne tworzą wartości przyjętych wskaźników jakości.

Zastosowanie AE

AE są stosowane w wielu dziedzinach nauki m.in. do:

- projektowania (obwodów elektrycznych, sieci telekomunikacyjnych, układów klawiatury, wskaźników w samolotach),
- kontroli (rurociągów, gazociągów, obciążenia słupów, unikania pocisków),
- uczenia maszynowego (projektowania sieci neuronowych, systemów klasyfikujących, reguł uczących),
- planowania trajektorii i ścieżek ruchu,
- optymalizacji kombinatorycznej (TSP, pokrycia zbiorów, podziału grafów, szukania ścieżek),
- przetwarzania sygnałów i obrazów,
- w biznesie do przewidywania gospodarczego, oceniania ryzyka kredytowego, wykrywania kradzieży kart kredytowych i wielu innych [1, 5, 7-14, 16, 17, 20, 22-24].

W niniejszej pracy zastosowano AE do identyfikacji parametrów modelu matematycznego silnika indukcyjnego oraz w procesie optymalizacji parametrycznej w układzie sterowania polowo-zorientowanego (FOC) z tym silnikiem [3, 4, 15, 18, 21]. Zaprezentowano jedynie wybrane rozwiązania.

Identyfikacja parametrów modelu matematycznego silnika indukcyjnego

W badaniach dynamiki układów sterowania z maszynami indukcyjnymi fundamentalnym zadaniem jest określenie modelu matematycznego tej maszyny. Model ten powinien dostatecznie wiernie odzwierciedlać procesy zachodzące w maszynie przy możliwie najprostszym opisie matematycznym. Najczęściej przyjmuje się założenia upraszczające, jak np. w pracach [2, 6, 10, 19, 21, 25, 26, 28, 29].

Problem identyfikacji parametrów modelu matematycznego silnika indukcyjnego był przedmiotem wielu prac [3, 4, 6, 9, 11-14, 19, 22-24]. W pracach [6, 9, 11, 12] autorzy identyfikowali:

- rezystancję stojana R_1 ,
- rezystancję wirnika sprowadzoną na stronę stojana R_2 ,
- indukcyjność stojana L_1 ,
- indukcyjność wirnika sprowadzoną na stronę stojana L_2 ,
- indukcyjność wzajemną między uzwojeniem stojana a uzwojeniem wirnika sprowadzonym na stronę stojana L_{12} ,
- współczynnik tarcia lepkiego D ,
- moment bezwładności J .

Niezbędnych pomiarów dokonano, wykorzystując do tego celu oprogramowanie DAMOT [27]. Dokonano rejestracji przebiegów ruchowych prędkości obrotowej i prądu fazowego oraz charakterystyk stanu ustalonego tj. charakterystyki mechanicznej oraz zależności prądu fazowego od czasu. Dane te posłużyły jako rekordy wejściowe do programu ewolucyjnego. Przebadano wpływ dwóch metod selekcji oddziaływujących na populację osobników, operatora genetycznego (operatora mutacji postępowej) modyfikującego dany osobnik i nie powodującego pogorszenia wartości wskaźnika (wskaźników) jakości. Porównano metody wykorzystujące wielokryterialność w sensie Pareto oraz wielokryterialność sprowadzaną do przypadku jednokryterialnego przy pomocy wektora wag [6]. Identyfikację przy zastosowaniu wielokryterialności sprowadzanej do przypadku jednokryterialnego oraz znormalizowanego wektora wag dokonano dla doboru naturalnego metodą turnieju i metodą deterministyczną. W wielokryterialności sprowadzanej do przypadku jednokryterialnego całkowity wskaźnik jakości stanowił ważoną sumę cząstkowych wskaźników jakości, czyli ważoną sumę parzystych potęg składników stanowiących odchylenia wielkości zmierzonych w j -tej chwili czasu i wielkości obliczonej w tej samej chwili.

$$K = \sum_{i=1}^I \frac{w_i}{N_r^{2d}} \sum_{j=1}^P (w_{zi,j} - w_{oi,j})^{2d} \quad (1)$$

gdzie:

- w_i – wartość współczynnika wagowego i -tego kryterium,
- I – liczba kryteriów,
- w_{zj} – wielkość zmierzona w j -tej chwili czasu,
- w_{oj} – wielkość obliczona w j -tej chwili czasu,
- P – liczba dyskretnych momentów czasu, w których obliczony jest wskaźnik jakości,
- $2d$ – parzysta potęga błędu,
- N_r – współczynnik normalizujący.

W tabelach 1, 2 przedstawiono wybrane najlepsze osobniki dla wielokryterialności sprowadzanej do przypadku jednokryterialnego z addytywnym wskaźnikiem jakości oraz dla wielokryterialności wykorzystującej paretooptymalność i efekt rozpychania.

Tab. 1. Najlepsze osobniki dla wielokryterialności sprawdzanej do przypadku jednokryterialnego z addytywnym wskaźnikiem jakości

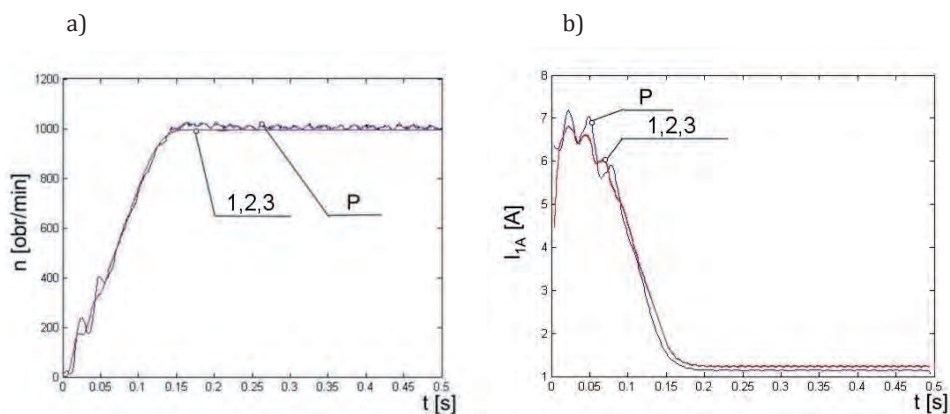
Lp.	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	L_1 [H]	L_2 [H]	L_{12} [H]	J [$kg \cdot m^2$]	D [$N \cdot m \cdot s/rad$]	K
1	5,015	3,430	0,1989	0,1028	0,08087	0,01406	0,005957	0,072
2	5,026	3,430	0,1994	0,1018	0,08062	0,01411	0,006018	0,126
3	5,017	3,436	0,1997	0,1022	0,08086	0,01411	0,005965	0,126

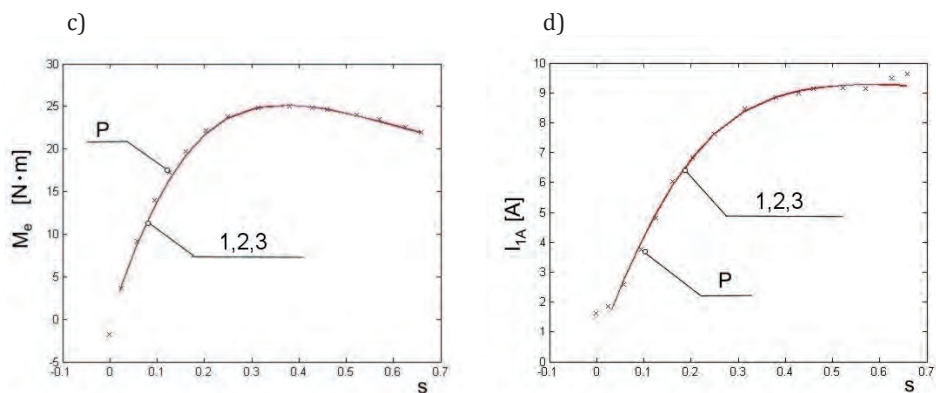
Tab. 2. Najlepsze osobniki dla wielokryterialności wykorzystującej paretooptymalność i efekt rozpychania

Lp.	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	L_1 [H]	L_2 [H]	L_{12} [H]	J [$kg \cdot m^2$]	D [$N \cdot m \cdot s/rad$]
4	5,024	3,437	0,1965	0,1040	0,08083	0,01314	0,005952
5	5,023	3,425	0,1966	0,1034	0,08059	0,01411	0,006061
6	5,034	3,423	0,1924	0,1050	0,08046	0,01449	0,005913

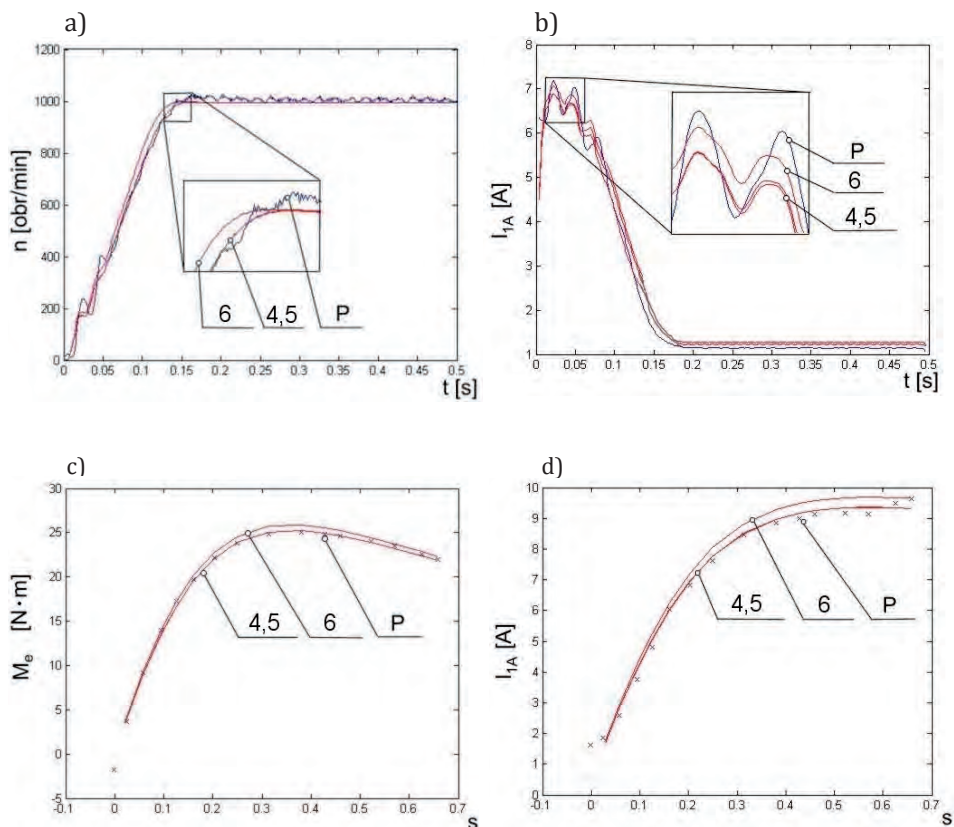
Lp.	K_1 [obr^2/min^2]	K_2 [A^2]	K_3 [$N^2 \cdot m^2$]	K_4 [A^2]
4	0,1300	8,241	0,0173	0,0719
5	0,0674	8,691	0,0172	0,0669
6	0,0663	9,709	0,0990	0,3151

Na rycinach 3, 4 przedstawiono dane pomiarowe (P) oraz charakterystyki i przebiegi otrzymane na podstawie osobników z tabel 1, 2





Ryc. 3. Wykreślone na podstawie obliczonych ewolucyjnie osobników z tabeli 1: a) przebieg prędkości obrotowej, b) przebieg prądu pierwszej fazy stojana, c) zależność momentu elektromagnetycznego od poślizgu, d) zależność prądu fazowego od poślizgu



Ryc. 4. Wykreślone na podstawie obliczonych ewolucyjnie osobników z tabeli 2: a) przebieg prędkości obrotowej, b) przebieg prądu pierwszej fazy stojana, c) zależność momentu elektromagnetycznego od poślizgu, d) zależność prądu fazowego od poślizgu

Zbadano problem wielokryterialności sprowadzanej do przypadku jednokryterialnego, wykorzystując multiplikatywny wskaźnik jakości, w którym wskaźnik całkowity stanowi iloczyn wskaźników cząstkowych.

$$F = \prod_{i=1}^k \frac{1}{N_r^2} \sum_{j=1}^P (w_{zi,j} - w_{oi,j})^2 \quad (2)$$

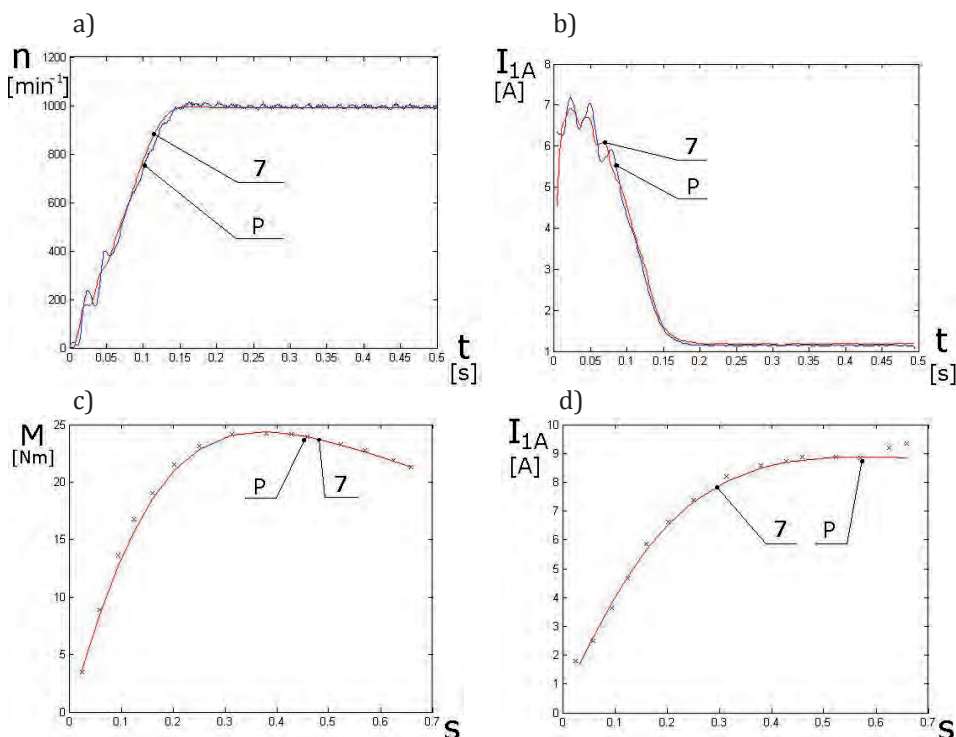
gdzie: k – ilość kryteriów.

Otrzymana wartość to wartość kryterium całkowitego. W tabeli 3 przedstawiono znalezione przez AE najlepsze osobniki.

Tab. 3. Najlepszy znaleziony osobnik dla wielokryterialności sprowadzanej do przypadku jednokryterialnego przy wykorzystaniu multiplikatywnego wskaźnika jakości

Lp.	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	L_1 [H]	L_2 [H]	L_{12} [H]	D [$N \cdot m \cdot s / rad$]	J [$kg \cdot m^2$]	F
7.	5,01479	3,42843	0,20446	0,10045	0,08092	0,00608	0,01342	0,00022

Na rysunku 5 przedstawiono dane pomiarowe (P) oraz charakterystyki i przebiegi otrzymane na podstawie osobnika z tabeli 3.



Ryc. 5. Wykreślone na podstawie obliczonych ewolucyjnie osobników z tabeli 3: a) przebieg prędkości obrotowej, b) przebieg prądu pierwszej fazy stojana, c) zależność momentu elektromagnetycznego od poślizgu, d) zależność prądu fazowego od poślizgu

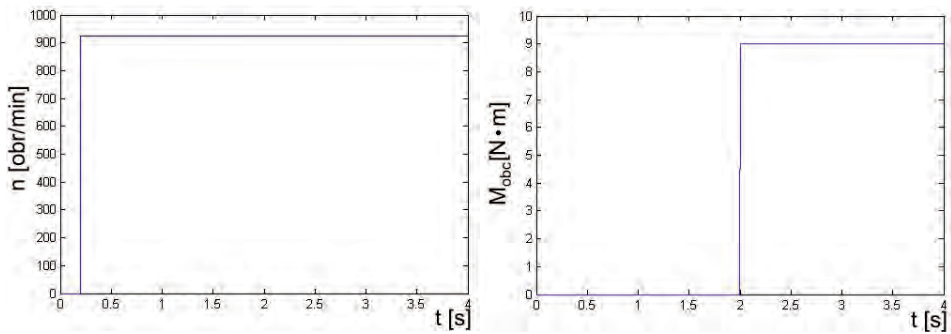
Jak wynika z tabel 1–3 oraz z rycin 3–5, otrzymane wyniki są powtarzalne i dokładne.

Optymalizacja parametryczna w układzie sterowania połowo-zorientowanego FOC

W pracy [6] wykorzystano obliczone wcześniej parametry modelu matematycznego silnika indukcyjnego w układzie 0xy i zastosowano je w bloku odtwarzania położenia strumienia magnetycznego oraz momentu elektromagnetycznego. Narzędziem doboru nastaw regulatorów był program ewolucyjny, przy pomocy którego obliczono współczynniki wzmocnienia i współczynniki zależne od czasów zdwojenia dla 5-ciu regulatorów PI zastosowanych w układzie FOC. Osobnikiem był wektor 10-cio elementowy. W tabeli 4 zawarto wybrany osobnik, który był jednocześnie osobnikiem najlepszym. Zastosowano jedno kryterium jakości.

$$K = \sum_{j=1}^p w_{zi,j} - w_{oi,j} \quad (3)$$

Funkcje uczące przedstawiono na ryc. 6.



Ryc. 6. Przebieg sygnału prędkości zadanej w układzie sterowania z silnikiem Sg90L-6 – (a) oraz przebieg przyjętego momentu obciążenia dla tego układu – (b)

Tab. 4. Wybrany wynik ewolucji wzmocnień regulatorów $K_{p,i}$ oraz współczynników $T_{p,i}$ regulatorów PI dla silnika Sg90L-6

Lp.	$K_{p,1}$	$K_{p,2}$	$K_{p,3}$	$K_{p,4}$	$K_{p,5}$
1	13,2	14,9	11,9	0,20	1,91

Lp.	$T_{p,1}$	$T_{p,2}$	$T_{p,3}$	$T_{p,4}$	$T_{p,5}$	K [obr/min]
1	3,04	2,01	3,96	0,49	8,8	$7,43 \cdot 10^5$

gdzie:

$K_{p,1}$ – współczynnik wzmocnienia regulatora prądu współrzędnej x układu wirującego 0xy,

$T_{p,1}$ – współczynnik zależny od czasu zdwojenia regulatora prądu współrzędnej x układu wirującego 0xy,

$K_{p,2}$ – współczynnik wzmocnienia regulatora prądu współrzędnej y układu wirującego 0xy,

$T_{p,2}$ – współczynnik zależny od czasu zdwojenia regulatora prądu współrzędnej x układu wirującego 0xy,

$K_{p,3}$ – współczynnik wzmocnienia regulatora strumienia,

$T_{p,3}$ – współczynnik zależny od czasu zdwojenia regulatora strumienia,

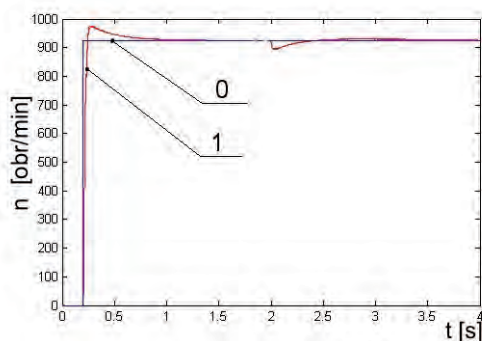
$K_{p,4}$ – współczynnik wzmocnienia regulatora momentu elektromagnetycznego,

$T_{p,4}$ – współczynnik zależny od czasu zdwojenia regulatora momentu elektromagnetycznego,

$K_{p,5}$ – współczynnik wzmocnienia regulatora prędkości obrotowej,

$T_{p,5}$ – współczynnik zależny od czasu zdwojenia regulatora prędkości obrotowej.

Na ryc. 7 wykreślono przebiegi prędkości obrotowej realizowanej przez układ sterowania: zadanej „0” oraz odpowiadający osobnikowi najlepszemu „1” o najmniejszej wartości funkcji oceny z tabeli 4.



Ryc. 7. Przebieg prędkości obrotowej: zadanej „0” oraz odpowiadającej nastawom regulatorów reprezentowanych przez osobnik „1”

Podsumowanie

AE ze względu na swoje cechy są użytecznym i efektywnym narzędziem używanym do rozwiązywania rozmaitych problemów optymalizacyjnych. Stosowane w mechatronice mogą minimalizować lub maksymalizować dane wskaźniki (wskaźnik) jakości w innych zadaniach. Są stosowane tam, gdzie wykorzystywanie „klasycznych” metod optymalizacyjnych zawodzi, np. w problemach, gdzie wskaźniki jakości w badanej przestrzeni rozwiązań posiadają wiele ekstremów lokalnych, utrudniających znalezienie ekstremum globalnego. Jak pokazują doświadczenia, dobrze zaprojektowany program ewolucyjny określa z prawdopodobieństwem 95%

wynik satysfakcjonujący przyjęte założenia. Wyniki otrzymane przy zastosowaniu programów ewolucyjnych mogą stanowić rekordy wejściowe dla innych metod optymalizacyjnych (np. metod gradientowych).

Bibliografia

- Arabas J., *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*, WNT, Warszawa 2001
- Bajorek Z., *Teoria Maszyn Elektrycznych*, t. 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991
- Chrzan P.J., *Identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego w układzie polowo-zorientowanym podczas postoju*, I Krajowa Konferencja Użytkowników MATLAB'a, AGH – Kraków, 14–15 listopada 1995
- Chrzan P.J. i in., *Diagnostic of Induction Machine in Stanstill Conditions*, The 1999 IEEE International Symposium Diagnostic For Electrical Machines, Power Electronics and Drives, IEEE SDEMPED '99, Gijon, Spain, September 1–3, 1999
- Goldberg David E., *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*, WNT, Warszawa 1998
- Hudy W., *Projektowanie układu sterowania oraz identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego z zastosowaniem algorytmów ewolucyjnych i różnych kryteriów jakości*, Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2007
- Hudy W., Jaracz K., *Computer Aided Selection of Controller's Adaptive in Controls System with using Evolutionary Algorithm*, Materiały Konferencyjne REM 2004, Kielce 1–2 października 2004
- Hudy W., Jaracz K., *Identyfikacja obiektów wyższych rzędów przy zastosowaniu algorytmu genetycznego*, 32 Konferencja Automatyzacji Procesów Górniczych, Szczyrk 2–4 czerwca 2004
- Hudy W., Jaracz K., *Identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego przy wykorzystaniu zasady optymalności w sensie Pareto i zastosowaniu algorytmów ewolucyjnych*, Materiały Konferencyjne SENE 2005, Łódź 23–25 listopada 2005
- Hudy W., Jaracz K., *Przegląd modeli matematycznych maszyny indukcyjnej*, Annales Academiae Paedagogicae Cracoviensis, Folia 32, Studia Technica I, Wyd. Nauk. Akademii Pedagogicznej, Kraków 2006
- Hudy W., Jaracz K., *Wielokryterialna identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego przy zastosowaniu algorytmu ewolucyjnego*, 33 Konferencja Automatyka, Telekomunikacja, Informatyka – ATI 2005, Szczyrk, 1–3 czerwca 2005
- Jaracz K., Hudy W., *Criteria Identification of Inductive Motor's Parameters with using Evolutionary Algorithm, Pareto's Optimal Rule and Steady State's Characteristics*, International Carpathian Control Conference ICC' 2006 Roznov pod Radhostem, Czech Republic, 29–31 May 2006
- Jażdżyński W., *Identification of a model of induction motor with function parameters*, ICEMS2003, proceedings of the sixth International Conference on Electrical Machines and Systems, November 9–11, Beijing, China 2003
- Jażdżyński W., Milej W., *Identyfikacja niestacjonarnego modelu silnika indukcyjnego z uwzględnieniem zjawisk cieplnych – Identification of a nonstationary model of an induction motor accounting for heating problem*, SME'2002, XXXVIII International Sympos-

sium on Electrical Machines, new constructions, technologies and calculation methods of electrical machines, Cedzyna – June 18–21, Kielce, Poland 2002

Kalus M., Skoczkowski T., *Sterowanie napędami asynchronicznymi i prądu stałego*, Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2003

Kaźmierkowski M.P., *Porównanie metody sterowania połowo-zorientowanego z metodą bezpośredniej regulacji momentu silnika klatkowego*, Przegląd Elektrotechniczny 4/98, Warszawa 1998

Klempka R., *Sterowanie obiektem elektromechanicznym z wykorzystaniem algorytmów genetycznych przy kilku kryteriach jakości*. Rozprawa doktorska, Kraków 1998

Kowalski C.T., *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w diagnostyce silników indukcyjnych*. Część 1 i 2, SME 2006, Kraków 2006

Leonard W., *Control of Electrical Drives*, Springer Verlag, Berlin 1985

Macek-Kamińska K., *Estymacja parametrów modeli matematycznych silników indukcyjnych dwuklatkowych i głęboko żłobkowych*, Wyd. Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Opolu, Opole 1992

Michalewicz Z., *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*, WNT, Warszawa 1999

Orłowska-Kowalska T., *Bezczujnikowe układy napędowe z silnikami indukcyjnymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003

Orłowska-Kowalska T., Lis J., *Identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego w stanie zatrzymanym za pomocą algorytmu ewolucyjnego*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 56, Wrocław 2004

Orłowska-Kowalska T., Szabat K., Ritter W., *Zastosowanie algorytmów genetycznych do identyfikacji parametrów silnika indukcyjnego*, X Sympozjum PPEE 2003 – Wisła 7–10 grudnia 2003

Orłowska-Kowalska T., Szabat K., Ritter W., *Identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego za pomocą algorytmów genetycznych*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 54, Wrocław 2003

Plamitzer A.M., *Maszyny elektryczne*, WNT, wyd. 4, Warszawa 1970

Rams W., Rams M., Nykliński A., *Nowoczesne układy do badania maszyn elektrycznych w DFME DAMEL. Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi*, XII międzynarodowe sympozjum: Zakopane 5–7 maja 2004 / Fabryka Taśm Transportowych STOMIL Wolbrom S. A. Wolbrom: FTT STOMIL Wolbrom S. A.; Kraków: AWK „GEO”, 2004, s. 145–155

Rusek J., *Elektrotechnika z elementami napędów*, Wyd. AGH, Kraków 1996

Sobczyk T.J., *Metodyczne aspekty modelowania matematycznego maszyn indukcyjnych*, WNT, Warszawa 2004

Application of evolutionary algorithms to optimization of mechatronics system

Abstract

In this paper is collected elementary information about evolutionary algorithms. There are described applied evolutionary operators (mutation, progressive mutation, and crossover) and selection (roulette-wheel selection, deterministic selection, tournament selection). There are presented examples of AE applying in mechatronics controls (identification of mathematical model induction motor's parameters; the selection of control parameters in field orientated control system with induction motor).

Key words, induction motor; evolutionary algorithm; field oriented control