

Krzysztof BRZozowski, Andrzej MACZYŃSKI

ALGORYTM GENETYCZNY W ZADANIU POZYCJONOWANIA ŁADUNKU W RUCHU OBROTOWYM ŻURAWIA

Streszczenie

Efektywność prac przeładunkowych wykonywanych przy użyciu żurawi obrotowych wymaga aby roboczy ruch obrotowy nadwozia wykonywany był w możliwie krótkim czasie. Istotne jest jednak także aby na zakończenie ruchu ładunek osiągnął położenie docelowe bez wykonywania zbędnych wahań. W pracy przedstawiono metodę doboru funkcji napędowej obrotu nadwozia żurawia, która zapewniając odpowiednią jakość końcowego pozycjonowania ładunku, pozwala jednocześnie na minimalizację czasu obrotu. Zaproponowana metoda bazuje na algorytmie genetycznym. W pracy przedstawiono przykłady wyników obliczeń numerycznych.

WSTĘP

Do podstawowych środków transportu bliskiego należą żurawie obrotowe. W niektórych zastosowaniach, na przykład przy przeładunkach w portach morskich wykonują one powtarzalne ruchy robocze. W takich sytuacjach efektywność operacji transportowych można znacząco poprawić dobierając w stosowny sposób przebieg czasowy funkcji obrotu nadwozia żurawia. Zastosowanie odpowiedniej funkcji powinno spowodować, że ładunek nie będzie wykonywał nadmiernych wahań po zakończeniu ruchu roboczego. Pozwoli to na realizację kolejnych ruchów roboczych (zazwyczaj opuszczania ładunku) bez konieczności oczekiwania na wytłumienie się końcowych wahań ładunku. Takie zachowanie się transportowanego ładunku zwiększa także bezpieczeństwo wykonywanych prac. Dodatkową poprawę efektywności operacji transportowej można uzyskać poprzez skrócenie czasu realizacji samego obrotu.

Zadanie minimalizacji wahań ładunku dźwignic jest przedmiotem wielu publikacji. Znaczna ich część poświęcona jest analizie transportowania ładunku przez suwnice [7,8]. Zagadania końcowego pozycjonowania ładunku żurawi obrotowych były rozważane między innymi w [1,9,12]. Do rozwiązania problemu proponowano zastosowanie dodatkowych układów mechanicznych [3,13] bądź jednoczesne wykorzystanie dwóch napędów, na przykład napędu obrotu nadwozia żurawia i bębna wciągarki [1] lub obrotu nadwozia i zmiany wysięgu [4]. Proponowano także metody polegające na wyznaczeniu przebiegu czasowego funkcji napędowej obrotu nadwozia zapewniającego osiągnięcie pożądanego rezultatu [9,12]. Zagadnienie kontrolowania wahań dźwignic często rozwiązywano stosując klasyczne metody optymalizacyjne [11], choć coraz częściej autorzy sięgają po metody sztucznej inteligencji [5-8,15]. W dotychczasowych pracach zwianych z końcowym

pozycjonowaniem ładunku w żurawach obrotowych z góry określony był czas trwania obrotu nadwozia. W niniejszym artykule zaprezentowano natomiast metodę pozwalającą na wyznaczenie przebiegu czasowego funkcji obrotu nadwozia zapewniającej uzyskanie zakładanej dokładności końcowego pozycjonowania ładunku przy jednoczesnej minimalizacji czasu trwania ruchu roboczego. Opracowana metoda bazuje na zastosowaniu algorytmu genetycznego.

1. SFORMUŁOWANIE ZADANIA

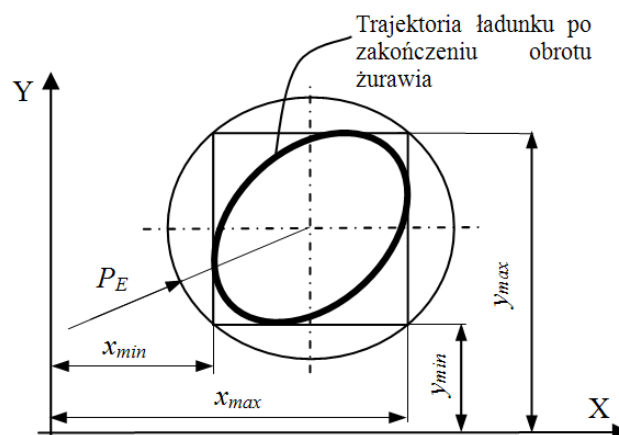
Jak wspomniano celem jaki postawili sobie autorzy jest znalezienie przebiegu czasowego funkcji napędowej obrotu nadwozia zapewniającej założoną dokładność pozycjonowania ładunku przy możliwie krótkim czasie trwania ruchu.

W pierwszej kolejności należało określić wielkość (wskaźnik), która w sposób ilościowy pozwalałaby na określenie jakości końcowego pozycjonowania ładunku. Przyjęto, że będzie to wskaźnik zaproponowany w [10], zwany w dalszej części pracy wskaźnikiem dokładności pozycjonowania P_E , który zdefiniowano jako:

$$P_E = \sqrt{\left(\frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_{\max} - y_{\min}}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

gdzie x_{\max} , x_{\min} , y_{\max} , y_{\min} stanowią odpowiednio maksymalne i minimalne wartości współrzędnych ładunku zaobserwowane po zakończeniu obrotu nadwozia żurawia (rys. 1).

Interpretację geometryczną wskaźnika P_E przedstawiono na rys. 1. Jest to promień okręgu opisanego na prostokącie o bokach równoległych do osi bazowego układu współrzędnych, w który wpisana jest trajektoria ładunku po zakończeniu obrotu żurawia.



Rys. 1. Interpretacja geometryczna wskaźnika dokładności pozycjonowania P_E

Źródło: własne

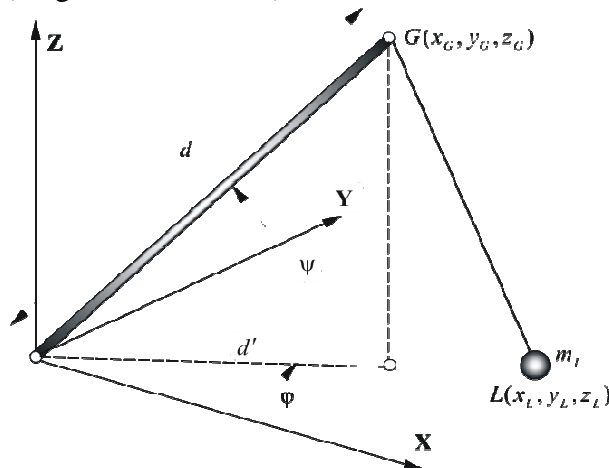
Zapewnienie zadowalającej efektywności numerycznej obliczeń wymaga opracowania możliwie jak najprostszego modelu analizowanego obiektu, którym w tym przypadku jest żuraw obrotowy. Dotychczasowe doświadczenie autorów wskazuje, że na etapie poszukiwania funkcji napędowej wystarczający jest model o trzech stopniach swobody, w którym założono całkowitą sztywność układu nośnego. Schemat modelu przedstawiono na rys. 2. Korzystając z II zasady Newtona równania ruchu można przedstawić w postaci:

$$m_L \ddot{x}_L = S \frac{x_G - x_L}{l}, \quad (2a)$$

$$m_L \ddot{y}_L = S \frac{y_G - y_L}{l}, \quad (2b)$$

$$m_L \ddot{z}_L = S \frac{z_G - z_L}{l} - m_L g, \quad (2c)$$

gdzie: m_L – masa ładunku,
 S – siła w linie,
 l – długość liny (długość odcinka GL).



Rys. 2. Schemat modelu żurawia

Źródło: własne

Równania (2), w których występują cztery niewiadome x_L, y_L, z_L oraz S , należy uzupełnić o równanie więzów postaci:

$$|GL|^2 = [x_G - x_L]^2 + [y_G - y_L]^2 + [z_G - z_L]^2 = \text{const}, \quad (3)$$

oznaczające, że długość liny (wahadła sferycznego) jest stała. Po prostych przekształceniach [2] otrzymuje się wzór na siłę S :

$$S = \frac{m_L}{L_L} \left[g(z_G - z_L) + (\dot{x}_G - \dot{x}_L)^2 + (\dot{y}_G - \dot{y}_L)^2 + (\dot{z}_G - \dot{z}_L)^2 + \right. \\ \left. + \ddot{x}_G(x_G - x_L) + \ddot{y}_G(y_G - y_L) + \ddot{z}_G(z_G - z_L) \right], \quad (4)$$

którą należy podstawić do równań (2).

Do wyznaczenia przebiegu poszukiwanej funkcji napędowej zastosowano algorytm genetyczny. Omówienie metodyki przedstawiono w rozdziale 2. Funkcję celu zdefiniowano następująco:

$$F = C_1 \cdot P_E + C_2 \cdot T + C_3 \cdot v_{\text{-max}} \rightarrow \min, \quad (5)$$

gdzie: T – czas trwania obrotu,
 C_1, C_2, C_3 – współczynniki (wagi).

$v_{-\max}$ – maksymalna ujemna prędkość obrotu, gdy prędkość ta podczas trwania obrotu cały czas jest dodatnia to $v_{-\max} = 0$.

Trzeci człon w funkcji F wprowadzono biorąc pod uwagę specyfikę budowy żurawi. Zwykle są to maszyny ciężkie, w których ze względu na masy członów, niekorzystna byłaby zmiana kierunku obrotu w trakcie realizacji ruchu roboczego. Warto jednak zauważyć, że na przykład w przypadku manipulatorów takie ograniczenie nie byłoby konieczne.

2. ZASTOSOWANIE ALGORYTMU GENETYCZNEGO DO WYZNACZENIA FUNKCJI NAPĘDOWEJ OBROTU NADWOZIA

Do znalezienia funkcji napędowej, minimalizującej funkcję celu postaci (5) można zastosować dowolną metodę optymalizacji. Algorytmy genetyczne, ze względu na równoległe przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań, stosowanie metod probabilistycznych i wykorzystanie wyłącznie funkcji celu, nie zaś z jej pochodnych i innych pomocniczych informacji stanowią tutaj naturalny wybór. Jeżeli przyjąć, że przebieg funkcji napędowej w czasie jest funkcją sklejaną 3-go stopnia, to zadanie można sformułować w postaci dyskretnej. Przyjmując, że węzłami funkcji są dyskretne wartości obrotu $\varphi_{w,i}$ w ustalonych chwilach czasowych t_i wektor punktów węzłowych ma postać:

$$\vartheta = [\varphi_{w,0}, \varphi_{w,1}, \dots, \varphi_{w,n}]^T. \quad (6)$$

Dla znanych składowych wektora ϑ z warunków zapewniających ciągłość klasy $C^{(2)}$ dla funkcji sklepanej postaci:

$$\varphi_w(t)_{t \in \langle t_{i-1}, t_i \rangle} = a_{1,i}(t - t_{i-1})^3 + a_{2,i}(t - t_{i-1})^2 + a_{3,i}(t - t_{i-1}) + a_{4,i}, \quad (7)$$

dla ustalonych t_i , wyznacza się nieznane współczynniki $a_{j,i}$ $i=0,1,\dots,n$; $j=1..4$.

Ponieważ znany jest kąt początkowy i końcowy obrotu, tzn. odpowiednio $\varphi_{w,0}$ oraz $\varphi_{w,n}$, ostatecznie nieznanymi jest $n-1$ składowych wektora punktów węzłowych ϑ . Przyjmując równoodległy rozkład węzłów względem czasu, tzn.:

$$t_i = \frac{T}{n} \cdot i, \quad (8)$$

chromosom pojedynczego osobnika kodujący poszukiwane dyskretne wartości funkcji napędowej oraz czas trwania obrotu przyjmuje postać:

$$X = [\varphi_{w,1}, \varphi_{w,2}, \dots, \varphi_{w,n-1}, T]^T, \quad (9)$$

przy czym obowiązuje ograniczenie na dopuszczalne wartości funkcji napędowej w węzłach $\varphi_{w,i}$ postaci:

$$\varphi_{w,0} \leq \varphi_{w,i} \leq \varphi_{w,n} \quad \text{dla } i=1,\dots,n-1. \quad (10)$$

Zastosowanie algorytmu genetycznego wymaga określenia funkcji przystosowania, która jest nieujemnym kryterium jakości rozwiązań zakodowanych w poszczególnych chromosomach. Funkcja ta dla rozpatrywanego zadania ma postać:

$$\Phi(P_E, \vartheta, T) = \frac{1}{F} \rightarrow \max. \quad (11)$$

Cechą charakterystyczną algorytmu genetycznego jest współbieżne przeszukiwanie zbioru rozwiązań. Populację początkową chromosomów wygenerowano stosując strategię mieszaną przyjmując wartości początkowe funkcji w węzłach $\varphi_{w,i}$ obliczone według funkcji analitycznej zaproponowanej w pracy [11]:

$$\varphi_{w,i} = \varphi_w(t_i) = \begin{cases} \frac{8\varphi_{w,n}}{T^4} t^3 (-t + T) & \text{gdy } t \leq \frac{T}{2} \\ \frac{8\varphi_{w,n}}{T^4} (t - T)^3 \cdot t + \varphi_{w,\max} & \text{gdy } t > \frac{T}{2} \end{cases} \quad (12)$$

oraz czas końca obrotu z wykorzystaniem liczby losowej o rozkładzie równomiernym, przyjmując:

$$T = 0,5\tau + (0,5\tau)\chi, \quad (13)$$

gdzie τ jest zadaniem a priori czasem obrotu, a χ jest liczbą losową o rozkładzie równomiernym należącą do przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.

W algorytmie wykorzystano metodę turniejową do realizacji operacji selekcji oraz operator krzyżowania arytmetycznego w wersji dwusoobniczej. Jako operator mutacji wykorzystano mutację nierównomierną [14]. Warunkiem zastosowania operatorów na danym chromosomie było spełnienie warunku postaci:

$$p_{x/m} \geq \chi \quad (14)$$

gdzie $p_{x/m}$ oznacza przyjmowaną a priori wartość prawdopodobieństwa krzyżowania lub prawdopodobieństwa mutacji. Poszczególne parametry charakteryzujące zastosowany algorytm genetyczny zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry sterujące algorytmem genetycznym przyjmowane w obliczeniach

Nazwa parametru	Wartość
Prawdopodobieństwo krzyżowania	0,3
Prawdopodobieństwo mutacji	0,67
Liczebność populacji	24
Liczba pokoleń	60
Liczebność osobników w turnieju	4

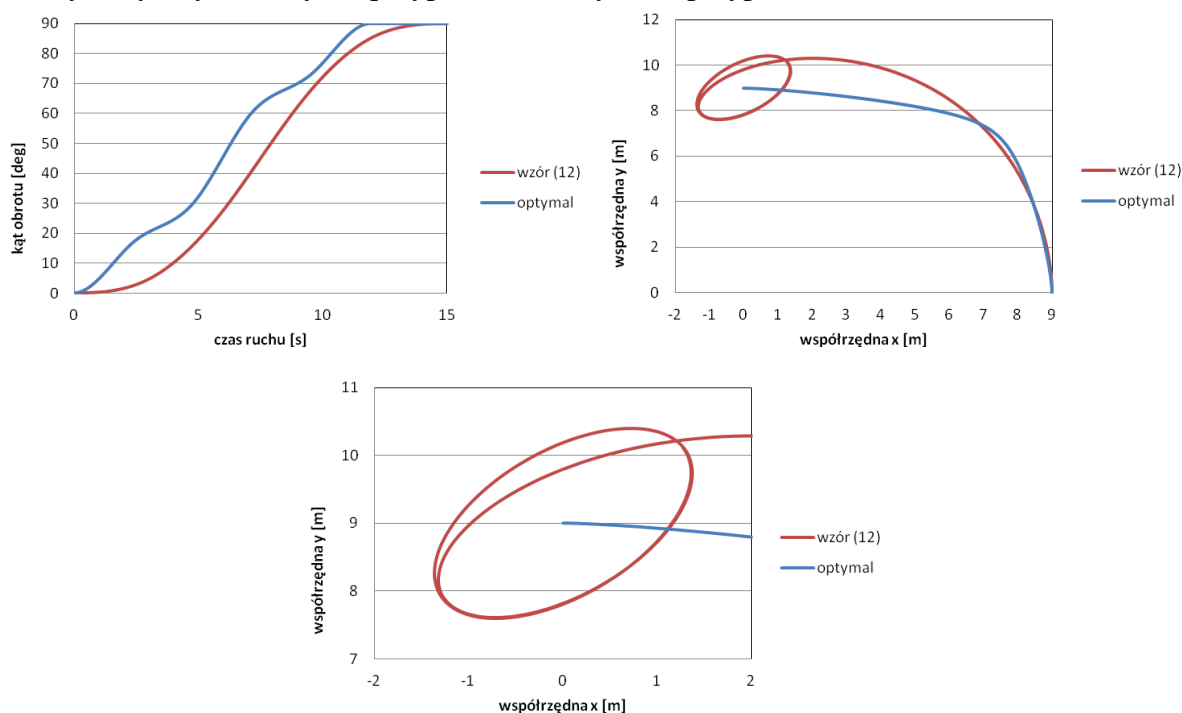
Analizując wartości parametrów sterujących przebiegiem obliczeń przedstawione w tabeli można zauważyć, że proponowane postępowanie nie wymaga zbyt licznej populacji ale jednocześnie wymaga stosunkowo wielu powtórzeń. Cechą charakterystyczną jest również to, że przyjęto większe prawdopodobieństwo wystąpienia mutacji niż wymiany na drodze krzyżowania, co jest po części konsekwencją sposobu wygenerowania populacji początkowej. Przyjęte wartości parametrów sterujących pozwoliły na skuteczne wyznaczenie czasu trwania obrotu oraz przebiegu funkcji napędowej zapewniającego oczekiwaną dokładność pozycjonowania ładunku.

3. PRZYKŁADY OBLICZEŃ

Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla przykładowego samojezdnego żurawia teleskopowego klasy 30 Mg. Masa ładunku wynosiła 5000 kg, długość wysięgnika 16 m, a kąt jego nachylenia 60° . Rozpatrywano dwa przypadki: I – obrót nadwozia o kąt 90° , II – obrót nadwozia o kąt 120° . W obu przypadkach założono, że żądana wartość wskaźnika dokładności pozycjonowania $P_{E_{\max}} = 0,005$ m. Czas τ z równania (13) powinien być tak dobrany, aby w przypadku gdyby obrót o zadany kąt był realizowany w czasie $0,5\tau$, to nie zostaną jednocześnie przekroczone maksymalne prędkości obrotu nadwozia wynikające z parametrów technicznych rzeczywistego żurawia. W prezentowanych obliczeniach przyjęto, że w przypadku I początkowy przyjmowany czas trwania obrotu wynosi $\tau = 15$ s, a w przypadku II – 18 s. Na kolejnych wykresach przedstawiono porównanie:

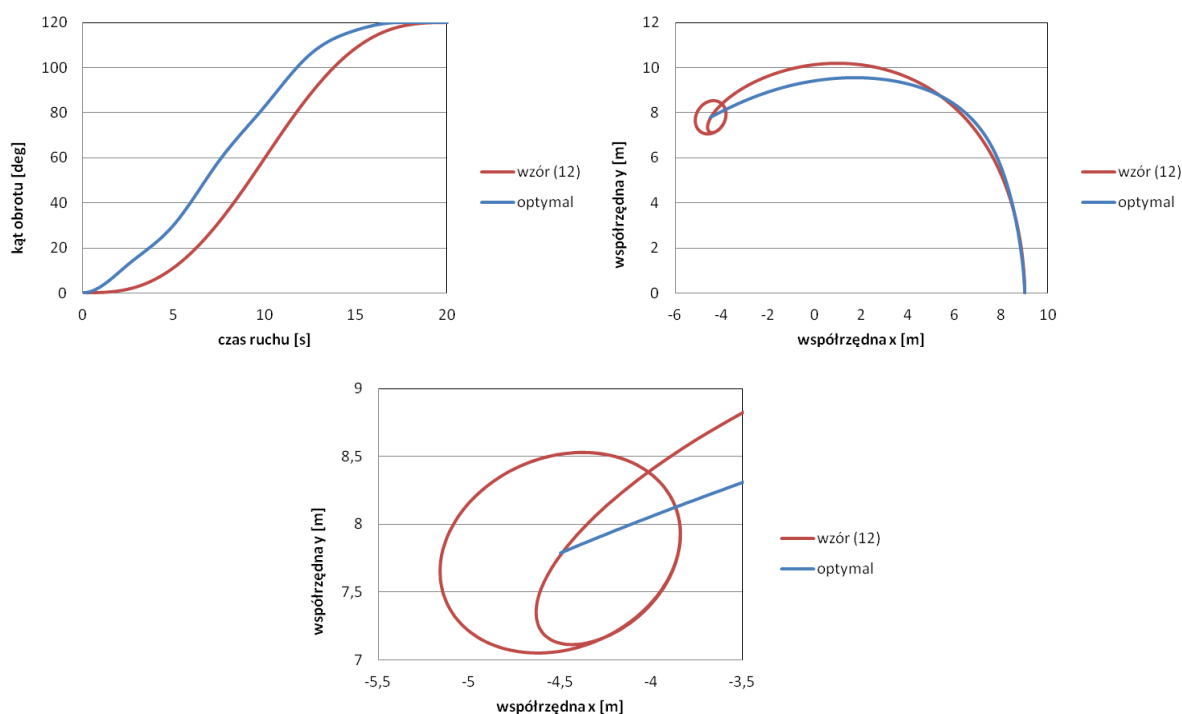
- przebiegów czasowych funkcji napędowych określonych według równania (12) i wyznaczonych przy zastosowaniu algorytmu genetycznego,
- rzutów trajektorii ładunku na płaszczyznę XY w przypadku gdy obrót nadwozia realizowany był zgodnie z równaniem (12) i wyznaczoną funkcją napędową zapewniającą minimalizację wartości funkcji celu (5),
- rzutów końcowych fragmentów trajektorii ładunku na płaszczyznę XY w przypadku gdy obrót nadwozia realizowany był zgodnie z równaniem (12) i wyznaczoną funkcją napędową zapewniającą minimalizację wartości funkcji celu (5).

Wykresy z rys. 3 dotyczą przypadku I, a z rys. 4 – przypadku II.



Rys. 3. Wyniki obliczeń dla przypadku I

Źródło: własne



Rys. 4. Wyniki obliczeń dla przypadku II

Źródło: własne

Uzyskane wyniki potwierdzają skuteczność zaproponowanej metody. W pierwszym przypadku określony a priori czas obrotu τ został zmniejszony z 15 s do 11,99 s przy jednoczesnej redukcji wskaźnika dokładności pozycjonowania P_E z 2,273 m do wartości mniejszej niż $5 \cdot 10^{-4}$ m. W przypadku II redukcje te wynosiły odpowiednio: czas obrotu z 20 s do 17,4 s, wskaźnik P_E z 1,560 m do 0,001 m.

PODSUMOWANIE

W uwagi na efektywność i bezpieczeństwo prac wykonywanych przy użyciu żurawi obrotowych ważne jest końcowe pozycjonowanie ładunku przy jednoczesnej minimalizacji czasu trwania samego ruchu roboczego. Pożądane zachowanie się układu zależy od odpowiedniego doboru przebiegu czasowego funkcji obrotu nadwozia. Zaproponowana w pracy metoda wyznaczania takiej funkcji obrotu, bazująca na zastosowaniu algorytmu genetycznego, okazała się bardzo skuteczna. Dodatkowo, w przeciwieństwie do wcześniej opracowanych przez autorów metod, w których stosowano metodę pełzającego simplexu, jest wygodna w zastosowaniu. W praktyce użytkownik podaje jedynie maksymalną dopuszczalną wartość wskaźnika PE oraz zgrubnie określony czas obrotu. Dzięki zastosowaniu metody optymalizacyjnej należącej do metod wykorzystujących sztuczną inteligencję jest ona przy tym stosunkowo mało wrażliwa na dobór wag w funkcji celu (5), co stanowiło jedną z podstawowych wad wcześniej opracowanej metody pozycjonowania przedstawionej w pracach [11,13].

BIBLIOGRAFIA

1. Abdel-Rahman E. M., Nayfeh A. H., Pendulation Reduction in Boom Cranes Using Cable Length Manipulation. *Nonlinear Dynamics*, 27 (3), 255-269, 2002
2. Adamiec-Wójcik I., Maczyński A., Wojciech S., Zastosowanie metody przekształceń jednorodnych w modelowaniu dynamiki urządzeń offshore. WKŁ, Warszawa 2008

3. Balachandran B., Li YY., Fang CC., A mechanical filter concept for control of non-linear crane-load oscillations. *Journal of Sound & Vibrations*, 228, 651-682, 1999
4. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J., Pozycjonowanie ładunku w ruchu roboczym żurawia portowego. X Konf. Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane, Z.I, 25-32, 1997
5. Brzozowski K., Maczyński A., Application of an artificial neural network to positioning of loads in slewing motion of a crane. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering* 13(3), 413-421, 2010
6. Brzozowski K., Maczyński A., The application of an artificial neural network to load positioning in slewing motion of a crane. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, vol. 13, No.3, 413-421, 2010
7. Chang C., Hsu S., Chiang K., A practical fuzzy controllers scheme of overhead crane. *Journal of Control Theory and Applications*, 3, 266-270, 2005
8. Cho H. C., Lee K. S., Adaptive control and stability analysis of nonlinear crane systems with perturbation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 22, 1091-1098, 2008
9. Kłosiński J., Sterowanie ruchami roboczymi żurawi samojezdnych zapewniające pozycjonowanie przenoszonego ładunku. *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Rozprawy naukowe, Z. 35, nr 55, Bielsko-Biała 2000*
10. Maczyński A., Suwaj S., Wskaźniki dokładności pozycjonowania ładunku żurawia obrotowego. *Problemy Maszyn Roboczych, Z. 22, 59-72, 2003*
11. Maczyński A., Wojciech S., Dynamics of a Mobile Crane and Optimisation of the Slewing Motion of its Upper Structure, *Nonlinear Dynamics*, 32, 259-290, 2003
12. Maczyński A., Load positioning and minimization of load oscillations for rotary cranes. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 41, No. 4, 873-885, 2003*
13. Maczyński A., Pozycjonowanie i stabilizacja położenia ładunku żurawi wysięgnikowych, *Rozprawa habilitacyjna. Wydawnictwo ATH, Bielsko-Biała 2005*
14. Michalewicz Z., *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. Warszawa, WNT 1999*
15. Nakazono K., Ohnishi K., Kinjo H., Yamamoto T., Vibration control of load for rotary crane system using neural network with GA-based training. *Artif Life Robotics*, 13, 98-101, 2008

GENETIC ALGORITHM IN LOAD POSITIONING IN CRANE SLEWING MOTION

Abstract

The effectiveness of reloading works performed using rotary cranes requires the working motion to be carried out in the shortest possible time. It is important, however, that at the end of the slewing motion load has reached a destination point without unnecessary fluctuations. In the paper the method of determination of drive function of crane's upper structure slewing motion is presented. The drive function ensures the quality of the final positioning of the load, simultaneously allowing to minimize the slewing motion time. The proposed method is based on a genetic algorithm. The results of numerical examples are also presented.

Autorzy:

dr hab. inż. **Krzysztof Brzozowski**, prof. ATH – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Transportu i Informatyki
 dr hab. inż. **Andrzej Maczyński**, prof. ATH – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Transportu i Informatyki