

IDENTYFIKACJA PARAMETRYCZNA MOBILNEGO ROBOTA AMIGOBOT

MARCIN NAWROCKI¹, ANDRZEJ BURGHARDT², ZENON HENDZEL²

1. Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych, Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, 2. Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki, Politechnika Rzeszowska
e-mail: marcin.nawrocki@agh.edu.pl, andrzejb@prz.edu.pl, zenhen@prz.edu.pl

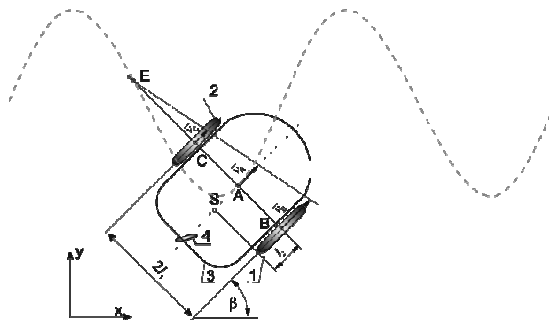
Streszczenie. W pracy przedstawiono rozwiązanie zadania identyfikacji parametrów modelu mobilnego robota. Zastosowano metodę strojonego modelu w celu uwzględnienia niepewności parametrycznych powstających w trakcie pracy obiektu. Istotnym zagadnieniem było zapewnienie formy liniowej modelu ze względu na nieznanne parametry. Zaproponowane rozwiązanie zweryfikowano w trakcie realizacji ruchu po zadanej trajektorii, podczas której rejestrowano kąty obrotu oraz prędkości kątowe kół robota, jak również sygnały sterujące. Estymację parametrów przeprowadzono metodą najmniejszych kwadratów.

1. WSTĘP

Rozwój nowoczesnych systemów informatycznych spowodował wzrost zainteresowania problematyką opisu matematycznego nieliniowych obiektów sterowania. Model obiektu jest podstawą w procesie syntezy algorytmów sterowania mobilnych robotów kołowych, które należą do grupy obiektów nieliniowych [3,5]. Opisywany robot jest konstrukcją złożoną o nieznanach parametrach masowych. W pracy przedstawiono rozwiązanie zadania identyfikacji parametrów modelu mobilnego robota. Założono, że proces estymacji tych parametrów będzie prowadzony na podstawie sygnałów zarejestrowanych w trakcie ruchu robota. Zaproponowana metodyka należy do grupy metod strojonego modelu, których cechą szczególną jest działanie w trakcie pracy obiektu.

2. MODEL PODDANY PROCESOWI IDENTYFIKACJI

Mobilny robot kołowy, którego parametry fizyczne zostały wykorzystane w procesie modelowania, to laboratoryjny robot Amigobot. Podczas modelowania został przyjęty model schematycznie pokazany na rys. 1. W modelu tym występują: rama 3, dwa koła jezdne napędzające 1 i 2, oraz koło swobodne samonastawne 4. Koła napędzane są silnikami elektrycznymi prądu stałego poprzez zespół zintegrowanych z silnikiem przekładni. Punkt S to środek masy ramy, kąt obrotu ramy zdefiniowano jako β , natomiast kąty obrotu kół o promieniach $r_1=r_2=r$, zdefiniowano odpowiednio jako α_1 i α_2 . Opis ruchu mobilnego robota kołowego zrealizowano przy założeniach braku poślizgów kół napędzających, ponadto założono, że ruch robota odbywa się po poziomym podłożu.



Rys. 1. Schemat mobilnego robota wraz z charakterystycznymi wielkościami modelu

Opis procesu modelowania równań ruchu analizowanego robota jest obszerny i został przedstawiony przez autorów niniejszej pracy w artykule [2], dlatego poniżej przedstawiono tylko równania wynikowe:

$$\begin{aligned}
 \ddot{x}_A(2m_1 + m_3) + \ddot{\beta}m_3l_2 \sin(\beta) + \dot{\beta}^2m_3l_2 \cos(\beta) &= \Pi_1 \\
 \ddot{y}_A(2m_1 + m_3) + \ddot{\beta}m_3l_2 \cos(\beta) + \dot{\beta}^2m_3l_2 \sin(\beta) &= \Pi_2 \\
 \ddot{x}_A m_3 l_2 \sin(\beta) + \ddot{y}_A m_3 l_2 \cos(\beta) + \ddot{\beta}(2m_1 l_1^2 + m_3 l_2^2 + I_{z3} + 2I_{x1}) &= \Pi_3 \\
 \ddot{\alpha}_1 I_{z1} &= \Pi_4 \\
 \ddot{\alpha}_2 I_{z2} &= \Pi_5
 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie Π_i - siły uogólnione, $i = \{1, 2, \dots, 5\}$.

Zaznaczyć należy, że kluczowym elementem wyprowadzania tych równań jest wyeliminowanie mnożników Lagrange'a. Jako narzędzie do rugowania mnożników wykorzystano formę rzutową równań Maggiego, obszerniej prezentowaną w pracach [1,2,3,5]. Ostatecznie do dalszej analizy przyjęto formę liniową ze względu na nieznanne parametry opisane równaniami:

$$\begin{aligned}
 &\ddot{\psi} a_1 + \left[\left(\frac{r}{l} \operatorname{tg}(\varphi) \right)^2 + \frac{r}{l} \dot{\varphi} \operatorname{tg}(\varphi) + \frac{r^2 \operatorname{tg}(\varphi)}{l^2 \cos^2(\varphi)} \dot{\varphi} \dot{\psi} \right] a_2 + \\
 &+ \left[2h_1^2 + \left(\frac{r}{l} \operatorname{tg}(\varphi) \right)^2 \right] \ddot{\psi} + \left(2 + \frac{1}{\cos^2(\varphi)} \right) \ddot{\psi} + \left(2h_1^2 + \frac{r^2}{l^2} \right) \frac{r^2 \operatorname{tg}(\varphi)}{l^2 \cos^2(\varphi)} \dot{\varphi} \dot{\psi} \Big] a_3 + \\
 &+ \left(l - l_2 + \frac{l_2}{\cos(\varphi)} \right) \frac{1}{l} a_5 + \left[\left(\frac{r}{l} \operatorname{tg}(\varphi) \right)^2 \ddot{\psi} + \frac{r^2 \operatorname{tg}(\varphi)}{l^2 \cos^2(\varphi)} \dot{\varphi} \dot{\psi} \right] a_4 + \\
 &+ \frac{r}{l} \operatorname{tg}(\varphi) \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}) a_6 + \dot{\varphi} \frac{r}{l} \operatorname{tg}(\varphi) a_7 = \tau_1 + \tau_2 \frac{r}{l} \operatorname{tg}(\varphi) \\
 &\left(\frac{r}{l} \ddot{\psi} \operatorname{tg}(\varphi) + \ddot{\varphi} + \frac{r}{l} \frac{1}{\cos^2(\varphi)} \dot{\varphi} \dot{\psi} \right) a_2 + \dot{\varphi} a_7 + \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}) a_6 = \tau_2
 \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

$$a_1 = (2m_1 + m_3 + m_4)r^2, \quad a_2 = I_{x4}, \quad a_3 = I_{z1},$$

$$a_4 = 2m_1l_1^2 + m_4l^2 + m_3l_2^2 + 2I_{x1} + I_{z3}, \quad a_5 = Gf, \quad a_6 = \tau_o, \quad a_7 = c$$

to nieznanne parametry poddane procesowi estymacji.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU ESTYMACJI PARAMETRÓW

Istotnym punktem w prezentowanej metodzie identyfikacji robotów jest przekształcenie równań dynamiki do postaci liniowej poprzez kombinację występujących w nich parametrów masowych. Ponadto w celu wyeliminowania kłopotliwych w procesie identyfikacji przyspieszeń występujących w równaniach dynamiki przeprowadzono filtrację tych równań. Zastosowaną metodę szczegółowo przedstawiono w artykule [4]. Do dalszej analizy równania (2) poddano filtracji, a następnie zapisano w postaci:

$$y = W(q, \dot{q})^T \cdot a \quad (3)$$

W niniejszym przypadku zastosowano filtr predykcyjny pierwszego rzędu o transmitancji:

$$G(p) = \frac{\lambda}{p + \lambda} \quad (4)$$

gdzie:

- y – jest nowym wyjściem modelu po filtracji wektora sił uogólnionych,
- a - wektorem parametrów (kombinacji),
- W - przefiltrowanym opisem obiektu,
- λ - dodatni współczynnik filtru (parametr projektowy),
- p - operator różniczkowania.

Dla modelu sformułowanego równaniem (3) można przeprowadzić estymację parametrów. Wybór metody estymacji jest kluczowy ze względu na późniejsze zastosowanie opracowanego modelu. W niniejszym przypadku założono, że model ten będzie podstawą syntezy i działania układu sterowania. Z tego powodu kluczowym wymaganiem jest śledzenie zmian parametrów modelu w czasie rzeczywistym. Głównie chodzi tutaj o opory ruchu lub zmianę przewożonej masy. Wyznaczanie modelu w każdym kroku działania układu sterowania wymaga, aby prowadzić identyfikację on-line, stąd wybrano rekursywną metodę estymacji parametrów, którą zapisano jako:

$$\hat{a}_n = a_{n-1} + P_n \cdot e \quad (5)$$

gdzie $e = y_n - u_n \cdot a_{n-1} = y_n - \hat{y}_n$ jest błędem predykcyjnym.

Występującą w równaniu (5) macierz wzmocnienia można wyznaczyć z następujących zależności:

$$P_n = V_{n-1} \cdot u_n \cdot c_n$$

$$c_n = \left(u_n^T \cdot V_{n-1} \cdot u_n^T + 1 \right)^{-1} \quad (6)$$

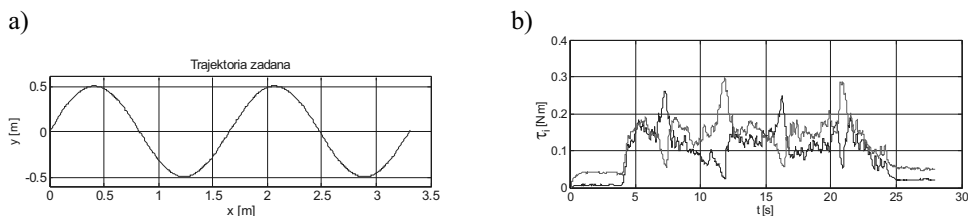
w której macierz współczynników obiektu zdefiniowano jako:

$$V_n = V_{n-1} - P_n \cdot u_n^T \cdot V_{n-1} \quad (7)$$

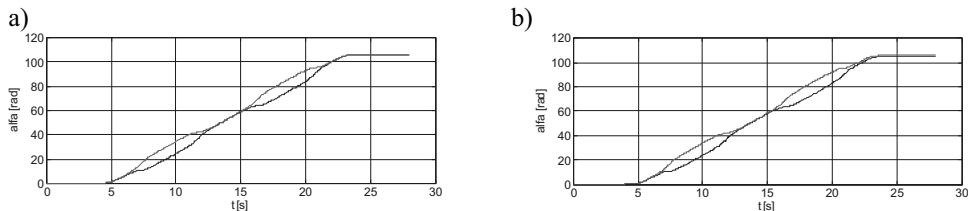
Ocenę parametrów uzyskano na podstawie sterowań i bieżących pomiarów stanu identyfikowanego obiektu, rejestrowanych w trakcie eksperymentu.

4. EKSPERYMENT POMIAROWY

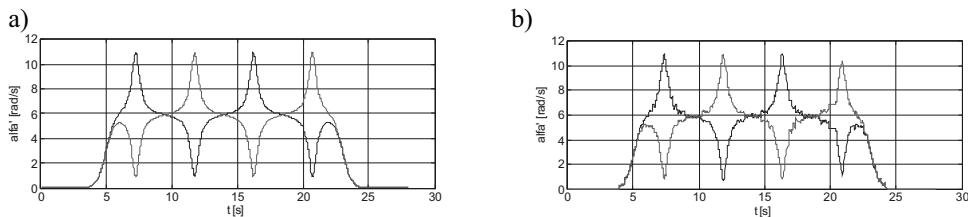
Odpowiednie pobudzenie układu zapewniono przez przejazd wybranego punktu robota (A) po trajektorii o kształcie sinusoidy (rys. 2a) o parametrach ruchu przedstawionych na rysunkach 3a i 3b. W trakcie przejazdu rejestrowano momenty napędzające poszczególne koła (rys. 2b) oraz parametry ruchu tych kół (rys. 3b i 4b). Badania przeprowadzono z wykorzystaniem środowiska Matlab/Simulink oraz autorskiej biblioteki realizującej w czasie rzeczywistym zadanie układów: kontrolno-pomiarowego, komunikacyjnego oraz rejestrującego.



Rys.2. a) Zadana trajektoria, b) momenty napędowe zarejestrowane w trakcie eksperymentu



Rys. 3. Przemieszczenie kątowne kół mobilnego robota: a) zadane, b) zrealizowane

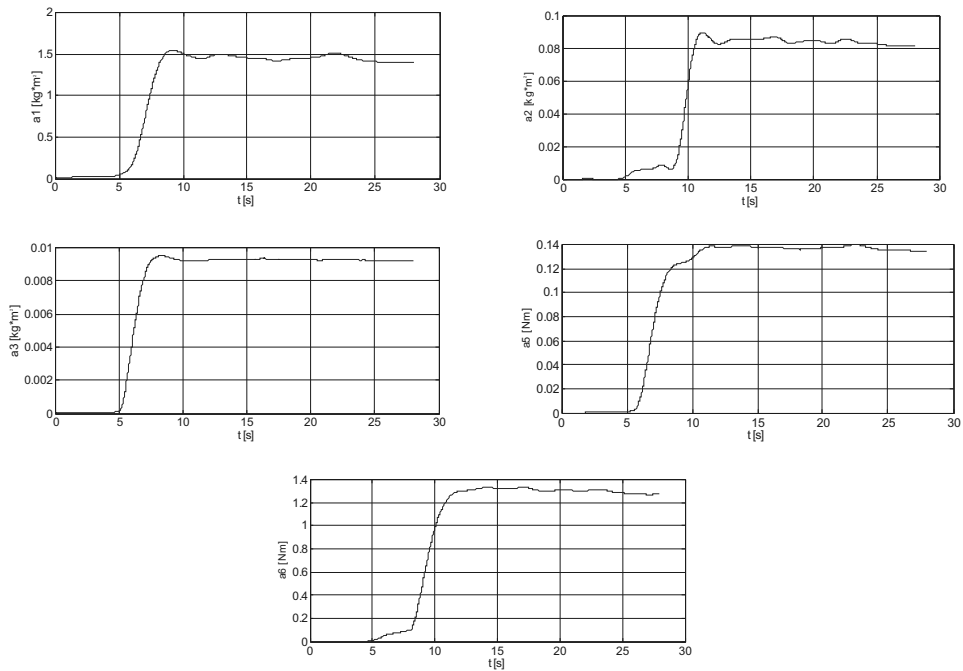


Rys. 4. Prędkości kątowne kół mobilnego robota: a) zadane, b) zrealizowane

Przedstawione na rysunkach 2b, 3b i 4b sygnały były danymi wejściowymi dla układu estymującego parametry modelu.

5. ESTYMACJA PARAMETRÓW

Estymacja parametrów obiektów rzeczywistych jest procesem trudnym. Występuje tu szereg problematycznych zagadnień, z których najważniejszym jest odpowiednie pobudzenie obiektu. W niniejszej pracy założono, że nieznanne parametry obiektu identyfikowane będą w trakcie przejazdu po zadanej trajektorii. Założenie to ogranicza zakres sygnałów pobudzających szczególnie w dziedzinie częstotliwości. Prezentowane na rys. 5 wyniki mają więc charakter informacyjny, nie można jednoznacznie stwierdzić, czy parametry zostały poprawnie pobudzone. Przykładem są tu pominięte na rysunkach estymaty parametrów a_4 i a_7 , których wartości pozostają w otoczeniu zera w trakcie trwania eksperymentu. Można stąd wnioskować, że parametry te są mało istotne ze względu na analizowany ruch robota.



Rys. 5. Przebiegi czasowe estymacji parametrów a_1 , a_2 , a_3 , a_5 i a_6

Wyniki otrzymane w procesie estymacji (rys. 5) wykazały szybką zbieżność poszukiwanych parametrów do ustalonych wartości, co jest jedną z zalet metody najmniejszych kwadratów. Niestety metoda ta jest obciążona, pamiętając o tym należy zweryfikować otrzymane wyniki. Jednym z takich testów jest porównanie odpowiedzi modelu i obiektu dla tych samych wymuszeń, choć jak wykazuje doświadczenie autorów, niezaliczenie tego testu nie przekreśla modelu w całości, dopiero działanie modelu w zamkniętym układzie regulacji różne od działania robota mobilnego całkowicie przekreśla wyniki.

6. WNIOSKI

W pracy przeprowadzono identyfikację parametrów modelu mobilnego robota kołowego. Istotnym etapem było utworzenie modelu liniowego ze względu na identyfikowane parametry. Jednak kluczowym rozwiązaniem było filtrowanie równań dynamiki filtrem predykcyjnym pierwszego rzędu. Podejście to pozwoliło na wyeliminowanie występujących w równaniach przyspieszeń i zarazem przeprowadzenie estymacji parametrów na drodze eksperymentu pomiarowego bez konieczności w sprzętowej modyfikacji robota. W procesie estymacji zastosowano rekurencyjną metodę najmniejszych kwadratów. Istotną zaletą tej metody jest mała złożoność obliczeniowa, ze względu na uproszczenie algorytmu, dzięki czemu algorytm ten znalazł szerokie zastosowanie w układach adaptacyjnych (teoria sterowania, przetwarzanie sygnałów). Wadą natomiast jest konieczność weryfikacji otrzymanych wyników. Przedstawiona metodyka identyfikacji może zostać zastosowana dla innych obiektów mechanicznych poruszających się po zadanej trajektorii.

LITERATURA

1. Blajer W.: Metody dynamiki układów wielocłonowych. Radom: Wyd. Pol. Radom., 1998.
2. Burghardt A.: Modelowanie dynamiki mobilnego robota kołowego równaniami Appella. „Acta Mechanica et Automatica” 2010, Vol.4, No.1, s. 9 – 12.
3. Giergiel M. J., Hendzel Z., Żylski W.: Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych. Warszawa: PWN, 2002.
4. Hendzel Z., Nawrocki M.: Identyfikacja parametrów modelu robota. ”Acta Mechanica et Automatica”2010, Vol.4, No.2, s. 69 – 73.
5. Żylski W.: Kinematyka i dynamika mobilnych robotów kołowych. Rzeszów: Ofic. Wyd. Pol. Rzesz., 1996.

THE PARAMETRIC IDENTIFICATION OF MOBILE ROBOT AMIGOBOT

Summary. The solution for the task of identifying the parameters of a mobile robot model was presented. The methodology used belongs to the group of the tuning model methods which are special in that they are used during object operation. The mathematical description for a robot model was derived on the basis of the Appell equations. The vital issue was to provide a linear form on account of the unknown parameters. The model was verified in a designed control-measurement environment. While a robot moved along the defined trajectory, the angular displacement and angular velocity of robot's wheels and the control signals were recorded. On the basis of these, the parameters were estimated using the least squares method. The research results show that the adopted solution is correct, and this was verified with a real object.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego nr N N501 068838 finansowanego ze środków na naukę w latach 2010-2012.