

XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom I



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom I



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓŁORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący
Zastępca Przewodniczącego

Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA
Mikołaj BUSŁOWICZ
Ryszard GESSING
Jakub GUTENBAUM
Stanisław KACZANOWSKI
Janusz KACPRZYK
Józef KORBICZ
Krzysztof KOZŁOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI
Krzysztof MALINOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI
Tadeusz PUCHAŁKA
Stanisław SKOCZOWSKI
Jerzy ŚWIĄTEK
Ryszard TADEUSIEWICZ
Krzysztof TCHOŃ
Jan WĘGLARZ

Michał BIAŁKO
Władysław FINDEISEN
Henryk GÓRECKI
Jerzy JÓZEFczyk
Tadeusz KACZOREK
Jerzy KLAMKA
Zbigniew KOWALSKI
Juliusz L. KULIKOWSKI
Kazimierz MALANOWSKI
Wojciech MITKOWSKI
Władysław PEŁCZEWSKI
Leszek RUTKOWSKI
Roman SŁOWIŃSKI
Andrzej ŚWIERNIAK
Piotr TATJIEWSKI
Leszek TRYBUS
Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący
Zastępcy Przewodniczącego

Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK
Stanisław KACZANOWSKI
Tadeusz KACZOREK
Krzysztof MALINOWSKI
Roman OSTROWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA
Dariusz WAGNER
Jan STUDZIŃSKI
Jan W. OWSIŃSKI

Członkowie

Sekretarze naukowci

ISBN 83-89475-00-6

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

IDENTYFIKACJA I ROZPOZNAWANIE

REKURSYWNA IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW WIELOWYMIAROWYCH Z WYKORZYSTANIEM FUNKCJI BAZY ORTONORMALNEJ

Rafał STANISŁAWSKI*, Krzysztof LATAWIEC*

* Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki

ul. K. Sosnkowskiego 31, 45-272 Opole, e-mail: rstan@po.opole.pl, lata@po.opole.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono nowe rezultaty badań w zakresie identyfikacji obiektów wielowymiarowych z wykorzystaniem funkcji bazy ortonormalnej. Uogólniono na postać wielowymiarową modele Laguerre'a i Kautza oraz przedstawiono koncepcję wielowymiarowego modelowania odwrotnego z zastosowaniem filtrów ortonormalnych. Przeprowadzone eksperymenty potwierdzą użyteczność i efektywność wprowadzonych modeli.

Słowa kluczowe: Identyfikacja, funkcje bazy ortonormalnej, systemy wielowymiarowe (MIMO)

1. WPROWADZENIE

Filtry ortonormalne z grupy OBF (ang. *Orthotormal Basis Functions* - OBF) skupiają ostatnio znaczne zainteresowanie w zakresie teorii i zastosowania ich do identyfikacji obiektów. Do podstawowych prac poświęconych tej tematyce należą [1, 2]. Istnieją także opracowania dotyczące rekursywnej estymacji modeli opartych na filtrach Laguerre'a i Kautza należących do klasy OBF [7, 8], jak również modeli opartych na koncepcji modelowania odwrotnego OBF wprowadzonej przez grupę prof. Latawca [4, 6]. Prace te dotyczą jedynie modeli jedno wejście – jedno wyjście (SISO). Niniejszy artykuł podejmuje próbę uogólnienia algorytmów rekursywnej identyfikacji obiektów liniowych opartych na OBF, na obiekty wielowymiarowe (MIMO) oraz podaje przykład ich praktycznego zastosowania.

2. STRUKTURA OBIEKTU

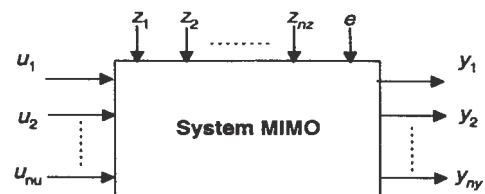
Rozpatrywany system wielowymiarowy ma nu wejść $u_i(t)$, $i=1,2,\dots,nu$, ny wyjść $y_i(t)$, $i=1,2,\dots,ny$, oraz nz zakłóceń mierzalnych $z_i(t)$, $i=1,2,\dots,nz$, które można odpowiednio przedstawić w formie wektorowej

$$Y(t) = [y_1(t) \quad y_2(t) \quad \dots \quad y_{ny}(t)]^T \quad (1a)$$

$$U(t) = [u_1(t) \quad u_2(t) \quad \dots \quad u_{nu}(t)]^T \quad (1b)$$

$$Z(t) = [z_1(t) \quad z_2(t) \quad \dots \quad z_{nz}(t)]^T \quad (1c)$$

Badany obiekt został przedstawiony na rys.1.



Rys. 1. Wielowymiarowy obiekt z mierzalnymi zakłóceniami.

3. WIELOWYMIAROWE MODELE LAGUERRE'A I KAUTZA

Liniowy stabilny obiekt dyskretny z rys. 1. może być opisany następującym równaniem [10]

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{M_z} C_i^z L_i(q^{-1}) Z(t) + \sum_{i=1}^{M_u} C_i^u L_i(q^{-1}) U(t) + e(t) \quad (2)$$

albo

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{M_u} C_i^u v_i^u(t) + \sum_{i=1}^{M_z} C_i^z v_i^z(t) + e(t) \quad (3)$$

gdzie $L_i(q^{-1})$ jest transmitancją i -tego ortonormalnego filtru Laguerre'a

$$L_i(z) = \frac{K_L}{z-p} \left[\frac{1-pz}{z-p} \right]^{i-1} \quad i=1,\dots,M \quad (4)$$

przy czym $K_L = \sqrt{1-p^2}$, C_i^u oraz C_i^z są macierzami współczynników o wymiarach odpowiednio $ny \times nu$ oraz $ny \times nz$. Taki zapis jest zwarty i czytelny, jednak uniemożliwia dobór różnych wartości M_u , M_z oraz biegunów p dla odrębnych torów obiektu. Stanowi to pewne ograniczenie, które okazało się nie być istotnym w naszym przypadku. Ostatecznie równanie modelu może zostać przedstawione w postaci liniowego równania regresji na dwa sposoby. Pierwszy sposób jest szeroko opisywany w literaturze i przyjmuje formę

$$\hat{Y}(t) = \Phi^T(t)\theta \quad (5)$$

gdzie θ jest wektorem nieznanymi parametrów modelu

$$\theta = [\theta^1 \dots \theta^i \dots \theta^{ny}]^T \quad (6a)$$

$$\theta^i = \begin{bmatrix} cu_1^{i,1} \dots cu_{M_i^u}^{i,1} \dots cu_1^{i,nu} \dots cu_{M_i^{nu}}^{i,nu} \dots cz_1^{i,1} \dots \\ \dots cz_{M_i^z}^{i,1} \dots cz_1^{i,nz} \dots cz_{M_i^{nz}}^{i,nz} \dots \end{bmatrix}^T \quad (6b)$$

a regresor $\Phi(t)$ jest następującą diagonalną macierzą blokową

$$\Phi^T(t) = \begin{bmatrix} \varphi_1(t) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \varphi_{ny}(t) \end{bmatrix} \quad (7a)$$

$$\varphi_i(t) = \begin{bmatrix} L_1(q^{-1}, p_{i,1}^u)u_1(t) \dots L_{M_i^u}(q^{-1}, p_{i,1}^u)u_1(t) \dots \\ L_1(q^{-1}, p_{i,nu}^u)u_{nu}(t) \dots L_{M_i^{nu}}(q^{-1}, p_{i,nu}^u)u_{nu}(t) \\ L_1(q^{-1}, p_{i,1}^z)z_1(t) \dots L_{M_i^z}(q^{-1}, p_{i,1}^z)z_1(t) \dots \\ L_1(q^{-1}, p_{i,nz}^z)z_{nz}(t) \dots L_{M_i^{nz}}(q^{-1}, p_{i,nz}^z)z_{nz}(t) \end{bmatrix} \quad (7b)$$

W przypadku, kiedy wykorzystywane jest równanie regresji w postaci (5) można w dowolny sposób dobierać liczbę kolejnych rozwinięć filtrów Laguerre'a dla każdego toru wejściowo-wyjściowego. Wadą takiego zapisu jest fakt, że regresor $\Phi(t)$ jest macierzą rzadką. Duża liczba zer w regresorze negatywnie wpływa na właściwości macierzy kowariancyjnej przy estymacji parametrów algorytmem RLS/ALS, co z kolei pogarsza jakość identyfikacji.

Lepsze właściwości mają modele opisane za pomocą następującego równania [3]

$$\hat{Y}(t) = \theta^T \Phi(t) \quad (8)$$

gdzie θ jest macierzą nieznanymi parametrów, która może być przedstawiona w postaci

$$\theta = \begin{bmatrix} cu_1^{1,1} \dots cu_{M_1^u}^{1,1} \dots cu_1^{1,nu} \dots cu_{M_1^{nu}}^{1,nu} \\ \vdots \\ cu_1^{ny,1} \dots cu_{M_1^{ny}}^{ny,1} \dots cu_1^{ny,nu} \dots cu_{M_1^{ny,nu}}^{ny,nu} \\ \dots cz_1^{1,1} \dots cz_{M_1^z}^{1,1} \dots cz_1^{1,nz} \dots cz_{M_1^{nz}}^{1,nz} \\ \vdots \\ cz_1^{ny,1} \dots cz_{M_1^{ny}}^{ny,1} \dots cz_1^{ny,nz} \dots cz_{M_1^{ny,nz}}^{ny,nz} \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

a regresor $\Phi(t)$ (wektor) jest następujący

$$\Phi(t) = \begin{bmatrix} L_1(q^{-1}, p_1^u)u_1(t) \dots L_{M_1^u}(q^{-1}, p_1^u)u_1(t) \dots \\ \dots L_1(q^{-1}, p_{nu}^u)u_{nu}(t) \dots L_{M_{nu}^u}(q^{-1}, p_{nu}^u)u_{nu}(t) \\ L_1(q^{-1}, p_1^z)z_1(t) \dots L_{M_1^z}(q^{-1}, p_1^z)z_1(t) \dots \\ L_1(q^{-1}, p_{nz}^z)z_{nz}(t) \dots L_{M_{nz}^z}(q^{-1}, p_{nz}^z)z_{nz}(t) \end{bmatrix}^T \quad (10)$$

Wielowymiarowy model Kautza jest bardzo podobny do opisanego wcześniej modelu Laguerre'a. Jediną różnicą jest zastąpienie w nim filtrów Laguerre'a filtrami Kautza o następujących transmitancjach

$$K_{2k-1}(z) = \frac{\sqrt{1-c^2}(z-b)}{z^2+b(c-1)z-c} \left(\frac{-cz^2+b(c-1)z+1}{z^2+b(c-1)z-c} \right)^{k-1} \quad (11a)$$

$$K_{2k}(z) = \frac{\sqrt{1-c^2}\sqrt{1-b^2}}{z^2+b(c-1)z-c} \left(\frac{-cz^2+b(c-1)z+1}{z^2+b(c-1)z-c} \right)^{k-1} \quad (11b)$$

gdzie stałe b oraz c wyliczane są z zależności: $c = -p_1 p_2$, $b = \frac{p_1 + p_2}{1 + p_1 p_2}$, przy czym p_1, p_2 są zespolonymi, sprzężonymi biegunami własnymi układu ($p_1 = p_2^*$).

Model obiektu może być opisany zależnością (2b), w której $v_i^u(t) = K_i(q^{-1})U(t)$ oraz $v_i^z(t) = K_i(q^{-1})Z(t)$. Równania regresji takiego modelu mają analogiczny regresor oraz wektory nieznanymi parametrów, jak w przedstawionym wcześniej w modelu Laguerre'a (zależności: (6b) i (7b) dla równania regresji (5) oraz (9), (10) dla równania regresji (8)).

Głównymi zaletami modelowania za pomocą modeli Laguerre'a i Kautza są 1) struktura błędu wyjściowego modelu oraz 2) specyficzna struktura ortonormalnych wszech-przepustowych filtrów. Zapewniają one dobre uwarunkowanie numeryczne macierzy kowariancyjnej (w algorytmach RLS/ALS), dające błędy estymacji parametrów o niskich wariancjach oraz niewielkie obciążenia obliczeniowe wynikające z relatywnie małej liczby estymowanych parametrów.

4. WIELOWYMIAROWE ODWROTNE MODELE LAGUERRE'A

Koncepcja modelowania odwrotnego została wprowadzona dla obiektów jedno wejście – jedno wyjście [4, 6]. Modele wykorzystujące tę koncepcję są w szczególności rekomendowane do modelowania systemów znajdujących się w pobliżu granicy stabilności i systemów niestabilnych, a także systemów nieliniowych.

W postaci wielowymiarowej wyjście systemu przedstawionego na rys.1 wyznacza następujące równanie

$$Y(t) = G_u(q^{-1})U(t) + G_z(q^{-1})Z(t) + e(t) \quad (12)$$

gdzie macierze transmitancji $G_u(q^{-1})$ i $G_z(q^{-1})$ są pełnego normalnego rzędu. Równanie systemu (12) prowadzi do równania modelu

$$\hat{G}_u^+(q^{-1})\hat{Y}(t) = U(t) + \hat{G}_z^+(q^{-1})G_z(q^{-1})Z(t) \quad (13a)$$

albo

$$\hat{G}_z^+(q^{-1})\hat{Y}(t) = \hat{G}_z^+(q^{-1})\hat{G}_u(q^{-1})U(t) + Z(t) \quad (13b)$$

gdzie $G_u^+(q^{-1})$ i $G_z^+(q^{-1})$ są prawo- lub lewostronnymi inwersjami macierzy transmitancji odpowiednio $G_u(q^{-1})$ i $G_z(q^{-1})$ (które mogą być, ogólnie, niekwadratowe) [3, 9].

Przy założeniu, że wypadkowa macierz transmitancji wynosi $\hat{G}_{uz}^+(q^{-1}) = \hat{G}_u^+(q^{-1})\hat{G}_z(q^{-1})$ w pierwszym

równaniu (13a), natomiast $\hat{G}_{ZU}(q^{-1}) = \hat{G}_Z^+(q^{-1})\hat{G}_U(q^{-1})$ w drugim równaniu (13b) i dodatkowo $R_U(q^{-1}) = \hat{G}_U^+(q^{-1})$ oraz $R_Z(q^{-1}) = \hat{G}_Z^+(q^{-1})$, równania modeli mogą zostać przedstawione następująco

$$R_U(q^{-1})\hat{Y}(t) = U(t) + \hat{G}_{UZ}(q^{-1})Z(t) \quad (14a)$$

albo

$$R_Z(q^{-1})\hat{Y}(t) = \hat{G}_{ZU}(q^{-1})U(t) + Z(t) \quad (14b)$$

przy czym $R_U(q^{-1})$ z równania (14a) oraz $R_Z(q^{-1})$ z (14b) mogą być aproksymowane w analogiczny sposób, jak w układzie SISO [4, 6], tj. $R_U(q) = R_0^U q^{d_u} + R_1^U q^{d_u-1} + \dots + R_{d_u}^U + R_{d_u+1}^U q^{-1} + \dots + R_{L_U-1}^U q^{-L_U+d_u+1}$ oraz $R_Z(q) = R_0^Z q^{d_z} + R_1^Z q^{d_z-1} + \dots + R_{d_z}^Z + R_{d_z+1}^Z q^{-1} + \dots + R_{L_Z-1}^Z q^{-L_Z+d_z+1}$. Transmittancje $\hat{G}_{UZ}(q^{-1})$ oraz $\hat{G}_{ZU}(q^{-1})$ mogą teraz być opisane za pomocą modelu OBF, w szczególności Laguerre'a. Ostatecznie odwrotne modele Laguerre'a są następujące [10]

$$\hat{Y}(t) = -\sum_{i=1}^{M_Y} C_i^Y L_i(q^{-1}, p_Y) Y(t) + \beta_0 U(t - d_u) + \sum_{i=1}^{M_Z} C_i^Z L_i(q^{-1}, p_Z) Z(t - d_z) \quad (15a)$$

gdzie $\beta_0 = (R_0^U)_0^+$, albo

$$\hat{Y}(t) = -\sum_{i=1}^{M_Y} C_i^Y L_i(q^{-1}, p_Y) Y(t) + \beta_0 Z(t - d_z) + \sum_{i=1}^{M_U} C_i^U L_i(q^{-1}, p_U) U(t - d_u) \quad (15b)$$

gdzie $\beta_0 = (R_0^Z)_0^+$, przy czym $(R_0)_0^+$ jest prawostronną inwersją minimalnonormową lub lewostronną inwersją minimalnokwadratową współczynnika macierzowego R_0 [3, 9]. Równania (15a) i (15b) mogą ponownie zostać przedstawione w formie regresji liniowej zarówno (5), jak i (8).

Uwagi:

1) Zauważmy, że przy finalnym wykorzystaniu modeli (15a) i (15b) do estymacji, nie ma potrzeby posługiwania się żadnymi inwersjami uogólnionymi. Faktycznie, estymacji podlegają bezpośrednio parametry filtrów Laguerre'a i współczynnik β_0 , niezależnie od tego, jakie są ich związki z parametrami wielomianów macierzowych $R_U(q^{-1})$ i $R_Z(q^{-1})$ (oraz $G_U(q^{-1})$ i $G_Z(q^{-1})$).

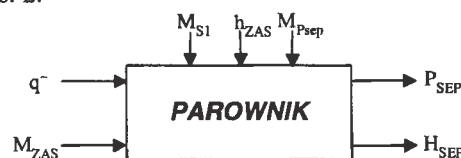
2) W praktyce ostateczny wybór jednego z modeli (15a) lub (15b) zależy od tego, które z wymuszeń, tj. wejście U czy zakłócenie mierzalne Z , jest bardziej zasumione. Jeśli wariancja sygnału wejściowego jest większa niż wariancja zakłóceń mierzalnych, wówczas wybieramy model (15a) (unikamy obecności większej liczby mocno zasumionych pomiarów wejścia w regresorze). Jeśli natomiast wariancja zakłóceń mierzalnych jest większa od sygnału wejściowego, wówczas wybieramy model (15b).

Przy identyfikacji systemu na bazie odwrotnych modeli Laguerre'a, oprócz założenia biegunów wiodących p dla

obu grup filtrów Laguerre'a, należy dobrać opóźnienia w torach $U \rightarrow Y$ (opóźnienie d_u) oraz $Z \rightarrow Y$ (opóźnienie d_z). Stanowi to utrudnienie zadania identyfikacji, jednak nawet bardzo zgrubny i niedokładny dobór parametrów może zapewniać dobre rezultaty otrzymywane za pomocą omawianego modelu [4-6, 10].

5. PRZYKŁAD IDENTYFIKACJI

Opracowane modele zastosowano do identyfikacji parownika kotła energetycznego BP-1150 pracującego w Elektrowni Opole S.A. Dane pomiarowe otrzymano podczas normalnej eksploatacji tego obiektu. Model wejściowo-wyjściowy parownika został przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Schemat parownika jako obiektu identyfikacji.

Sygnały wejściowe to q^{\sim} oraz M_{zas} oznaczające odpowiednio względną wartość strumienia cieplnego oraz masowy przepływ wody zasilającej. Przepływ masowy pary pobieranej z parownika M_{Psep} , przepływ masowy wody pobieranej do schładzaczy pary M_{sl} oraz entalpia wody zasilającej h_{zas} są mierzalnymi zakłóceniami systemu. Natomiast wyjścia modelu to ciśnienie pary P_{sep} oraz wysokość słupa wody w separatorze H_{sep} .

Przedstawione powyżej modele poddawane były analizie podczas zadania identyfikacji *on-line*, przy estymacji parametrów rekursywną metodą najmniejszych kwadratów (ang. *Recursive Least Squares* - RLS) i adaptacyjną metodą najmniejszych kwadratów (ang. *Adaptive Least Squares* - ALS), a także metody najmniejszych średnich kwadratów (ang. *Least Mean Squares* - LMS) [10].

Jako główny parametr oceny jakości wyznaczonych modeli zastosowano skumulowany błąd predykcji, wyznaczany odrębnie dla różnych wyjść systemu

$$I = \sum_{t=1}^{I_{nop}} (y_i(t) - \hat{y}_i(t))^2 \quad \text{dla } i=1,2 \quad (16)$$

Tabela 1. Wyniki identyfikacji RLS/ALS

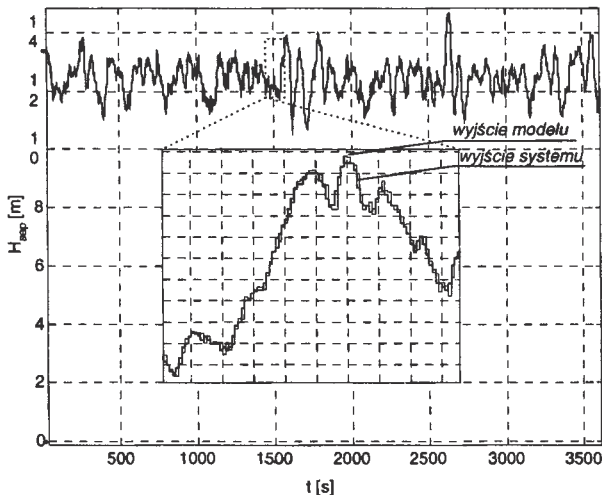
Modele	Wyjścia	$\lambda=1$	$\lambda=0.999$
		I	I
Laguerre'a	P_{sep}	291.7	189.2
	H_{sep}	89.67	65.03
Kautza	P_{sep}	3007	1243
	H_{sep}	208.5	124.6
Inv.Laguerre ¹⁾	P_{sep}	34.02	33.5
	H_{sep}	7.284	7.307
Inv.Laguerre ²⁾	P_{sep}	34.6	34.03
	H_{sep}	7.145	7.193

1) odwrotny model Laguerre'a opisany równaniem 15b,

2) odwrotny model Laguerre'a opisany równaniem 15a.

Model Kautza wykazuje bardzo duże błędy predykcji dla $\lambda \approx 1$. Co prawda błędy te znacznie zmniejszają się dla mniejszych wartości współczynnika zapominania,

jednak i tak zawsze są większe w porównaniu do wyników otrzymywanych za pomocą modelu Laguerre'a. W modelu Laguerre'a błędy predykcji są zdecydowanie mniejsze od błędów generowanych przez model Katuza, jednak i tak są znacząco większe niż dla modeli odwrotnych Laguerre'a. Najlepsze rezultaty dają odwrotne modele Laguerre'a. Model opisany równaniem (15b) nieco lepiej modeluje wolnozmienny tor P_{sep} , natomiast (15a), daje nieznacznie mniejsze błędy predykcji dla H_{sep} . Na rys. 3 zestawiono porównanie przebiegu czasowego jednego z wyjść (H_{sep}) – rzeczywistego i predykowanego przez odwrotny model Laguerre'a opisany równaniem (15a).



Rys. 3. Przebieg czasowy zmian poziomu wody w separatorze H_{sep} rzeczywistego oraz modelowanego za pomocą odwrotnego modelu Laguerre'a.

6. WNIOSKI

W pracy przedstawiono nowe rezultaty identyfikacji parametrycznej obiektów wielowymiarowych w dziedzinie czasu dyskretnego, przy wykorzystaniu modeli opartych na funkcjach bazy ortonormalnej. Uogólniono na postać wielowymiarową modele Laguerre'a i Kautz'a. Uogólniono również na postać wielowymiarową, z uwzględnieniem dwóch rodzajów wejść systemu, koncepcję modelowania odwrotnego OBF, wprowadzając dwa odwrotne modele Laguerre'a. Algorytmy zaimplementowano w programie MATLAB®/SIMULINK i zastosowano do identyfikacji parownika kotła BP-1150. W przypadku „zwykłych” modeli OBF, dość znaczne różnice w błędach predykcji i znacznie łatwiejsze dobieranie bieguna rzeczywistego niż zespolonych sprawiają, że spośród ortonormalnych funkcji bazowych rekomenduje się w praktyce funkcje Laguerre'a. Z badań wynika, że odwrotne modele Laguerre'a mogą dawać jeszcze lepsze dobre rezultaty i małe błędy predykcji, w porównaniu do „zwykłych” modeli Laguerre'a.

RECURSIVE IDENTIFICATION OF MIMO SYSTEMS USING ORTHONORMAL BASIS FUNCTIONS

Abstract: The paper presents new results in recursive identification of multivariable systems using orthonormal basis functions (OBF). Laguerre and Kautz models are extended to the multivariable case as well as a concept of multivariable inverse OBF modeling is introduced. Experimental case study confirms the usefulness of the new models in the identification problem.

Literatura

- [1] Bokor J., Heuberger P., Ninness B., Oliveira de Silva, T., Van den Hof, P., Wahlberg, B. (1999) Modelling and identification with orthogonal basis functions, in: *Proc. Preconference Workshop, 14th IFAC World Congress, Beijing, P.R. China.*
- [2] Van den Hof, P.M.J, Heuberger, P.S.C., Bokor, J. (1995) System identification with generalized orthonormal basis functions. *Automatica*, **31**, 1821-1834.
- [3] Latawiec K. (1998) Contributions to Advanced Control and Estimation for Linear Discrete-Time MIMO systems. *OW Politechniki Opolskiej, seria: Studia i Monografie*, 102.
- [4] Latawiec K.J., Marciak C., Hunek W., Stanisławski R. (2003) A new analytical design methodology for adaptive control of nonlinear block-oriented systems, in: *Proc. the 7th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, Florida, USA, 2003, XI*, 215-220.
- [5] Latawiec K., Marciak C., Stanisławski R., Hunek W. (2004) Adaptive noise cancellation experiments using Laguerre filters, in: *Proc. XXVII IC SPETO, Niedzica, 26-29 May 2004*, **2**, 453-456.
- [6] Latawiec K., Marciak C., Stanisławski R., Oliveira G.H.C. (2004) The mode separability principle in modeling of linear and nonlinear block-oriented systems, in: *Proc. of 10th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2004)*, 30 August - 2 September, Miedzyzdroje, Poland, 479-484.
- [7] Latawiec K.J, Rojek R., Marciak C., Oliveira G.H.C. (2000) Adaptive estimation of Laguerre models with time-varying delay, in: *Proc. 2nd IFAC Workshop on Linear Time Delay Systems, Ancona, Italy*, 163-167.
- [8] Latawiec K.J., Rojek R., Oliveira G.H.C., Marciak C. (2000) Adaptive parameter estimation of OBF models, in: *Proc. 6th MMAR Conference, Miedzyzdroje, Poland*, 927-932.
- [9] Rao C.R., Mitra S.K. (1971) *Generalised Inverse of Matrices and its Applications*. John Wiley & Sons, New York, 1971.
- [10] Stanisławski R. (2005) Identyfikacja systemów dynamicznych o złożonej strukturze na przykładzie obiektu energetycznego (praca doktorska). Politechnika Opolska, Opole.



**Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk**

ISBN 83-89475-02-2