

Sławomir GRZYB, Przemysław ORŁOWSKI
ZACHODNIOPOMORSKI UNIwersYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE,
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Zastosowanie uproszczonych charakterystyk częstotliwościowych do analizy kanału komunikacyjnego o zmiennych w czasie parametrach

Mgr inż. Sławomir GRZYB

Doktorant na Wydziale Elektrycznym Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w Katedrze Sterowania i Pomiarów. Od ponad dziesięciu lat zajmuje się problematyką sieci komputerowych. Pracuje jako starszy specjalista ds. informatyki w Enea Centrum sp. z o.o. Prowadzi wykłady i laboratoria z technologii sieciowych w szczecińskiej fundacji uczelnia.it.



e-mail: grzyb@zut.edu.pl

Dr hab. inż. Przemysław ORŁOWSKI

Uzyskał dyplom magistra inżyniera elektronika oraz magistra inżyniera elektryka w roku 1999 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał na tym samym Wydziale w roku 2002. W roku 2012 uzyskał stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie automatyka i robotyka. Główne kierunki badań naukowych to analiza i synteza układów sterowania, w szczególności układy dyskretne, układy niestacjonarne, układy nieliniowe i układy niepewne.



e-mail: przemyslaw.orlowski@zut.edu.pl

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania uproszczonych charakterystyk częstotliwościowych do analizy dyskretnego, niestacjonarnego modelu kanału komunikacyjnego. W pierwszej części artykułu zaprezentowano przegląd literatury oraz skrócony opis modelu matematycznego zatoru w sieciach komputerowych. W dalszej części pracy zapisano uogólniony model układu przy pomocy notacji operatorowej oraz zastosowano metodę do wyznaczania przybliżonych charakterystyk częstotliwościowych: amplitudowej i fazowej. W ostatniej części pracy wyznaczono dla przyjętych wartości macierzy układu uproszczone charakterystyki częstotliwościowe oraz przebiegi czasowe.

Słowa kluczowe: układ dyskretny, układ niestacjonarny, model kanału komunikacyjnego, zmienne opóźnienie, analiza częstotliwościowa.

The use of simplified frequency characteristics for analysis of communication channels with time-varying parameters

Abstract

The purpose of this paper is to present the possibilities of applying simplified frequency characteristics to the analysis of a discrete, non-stationary model of the communication channel. In the first part of the paper a review of the literature and a brief description of the mathematical model of congestion in computer networks are presented. The model is a linear, non-stationary, discrete dynamical system model that allows modelling of delays for any long duration. Such a model stored in the state variables enables the use of existing synthesis methods of control to avoid congestion and minimize their effects. It is presented in equations (3)-(4). The following part delivers a generalized model of the system using the operator notation and the method determining the approximate frequency characteristics: amplitude and phase. It is described by relations (6)-(11). The last section is focused on delivering the simplified frequency characteristics. The results of calculations are presented in Fig. 2. The waveforms for the assumed values of the system matrix can be seen in Figs. 4, 5 and 6.

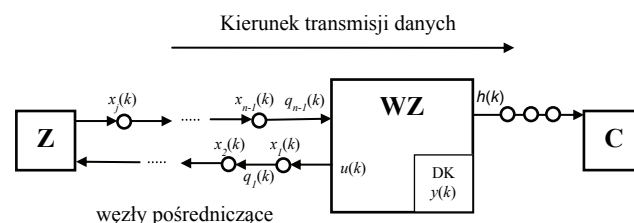
Keywords: congestion, time-varying systems, communication channel, variable delay, discrete-time systems.

1. Wstęp

Powszechne występowanie zatorów komunikacyjnych w istniejących sieciach jest związane zarówno z ograniczoną przepustowością łącz jak i skończonymi zasobami sprzętowymi węzłów biorących udział w przekazywaniu informacji [1]. Przynajmniej występowania zatorów szeroko omówiono w pracy [2] Rozwój algorytmów zarządzania zatorami doprowadził do zmniejszenia uciążliwości występowania tego zjawiska [3, 4, 5]. Stanowi ono jednak nadal poważny problem zarówno dla poszczególnych organizacji, regionów jak również w skali globalnej. Jednym z kierunków zmierzających do rozwiązania tego problemu jest

modyfikacja istniejących bądź stworzenie nowych algorytmów oraz sprawdzenie skuteczności rozwiązań po wdrożeniu w pracującym środowisku [6, 7]. W pracy [8] został zaproponowany kanał transmisyjny, stanowiący wycinek sieci rozległej.

W przedstawionym na rys. 1 schemacie, będącym rozszerzeniem modelu rozważanego w pracy [9], pakiety wysyłane są ze źródła Z w kierunku celu C poprzez węzeł zatłoczony WZ.



Rys. 1. Schemat blokowy kanału komunikacyjnego z występującymi zatorami
Fig. 1. Block diagram of a communication channel with congestions

Jeżeli ze względu na ograniczone zasoby sieciowe dane nie mogą być przesłane z WZ do C, wówczas magazynowane są w buforze wyjściowym DK. WZ steruje ilością otrzymywanych od Z pakietów za pomocą sprzężenia zwrotnego zrealizowanego poprzez skończoną liczbę węzłów pośredniczących x_j . Informacje sterujące od WZ do Z oraz pakiety od Z do WZ przesyłane są poprzez węzły pośredniczące x_j . W węzłach tych mogą występować blokady, tzn. w wypadku wystąpienia blokady w j -tym węzle pośredniczącym w chwili czasu k , żadne informacje nie zostaną przesłane do węzła x_{j+1} a pakiety oczekujące na wysyłkę zostaną zmagazynowane w buforze wyjściowym węzła x_j . Jeżeli jednak w dowolnym następnym momencie czasu będzie możliwość przesłania pakietów, wszystkie zbuforowane pakiety zostaną przesłane do kolejnego węzła pośredniczącego.

2. Model matematyczny sieci

W modelu rozpatrywanym w pracy [8] ilość danych, które mogą być wysłane z węzła zatłoczonego WZ w kierunku celu C, opisana została jako nieznaną, z góry ograniczoną funkcją czasu $h(k)$. Jest ona zależna od przepustowości chwilowej $d(k)$ oraz od ilości pakietów znajdujących się w buforze wyjściowym $y(k)$, przy czym spełnione są poniższe nierówności

$$0 \leq h(k) \leq d(k) \leq d_{\max} \quad (1)$$

oraz

$$0 \leq h(k) \leq y(k) \quad (2)$$

Zarówno z punktu widzenia wydajności jak i sterowania, bardzo ważnym jest utrzymanie określonej ilości pakietów w buforze wyjściowym węzła zatłoczonego, niezależnie od chwilowej przepustowości łącza pomiędzy WZ i C. Unika się wówczas sytuacji, w której bufor zostanie przepelniony bądź całkowicie opróżniony.

Liniowy dyskretny niestacjonarny model został podany szczegółowo w pracy [8]. W ogólności można go przedstawić w notacji wektorowo-macierzowej w postaci następującego modelu w przestrzeni zmiennych stanu:

$$\mathbf{x}(k+1) = \begin{bmatrix} q_1(k) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \bar{q}_1(k) & q_2(k) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \bar{q}_2(k) & q_3(k) & 0 & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & q_{n-1}(k) & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} h(k) \quad (3)$$

$$y(k) = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1] \mathbf{x}(k) \quad (4)$$

gdzie: $q_j(k)$ – jest współczynnikiem kolejkwania w j -tym węźle sieci w chwili czasu k ; przyjmuje on wartość *falsz* $q_j(k) = 0$, gdy nie ma blokady i węzeł x_j może przesłać zawartość swojego bufora do węzła x_{j+1} w chwili k , lub wartość *prawda* $q_j(k) = 1$, gdy następuje blokada i żadne dane nie zostaną przesłane od x_j do x_{j+1} , $\bar{q}_j(k)$ – jest negacją logiczną współczynnika $q_j(k)$, tj. $\bar{q}_j(k) = 1 - q_j(k)$, $x_j(k)$ – ilość pakietów zgromadzonych w węźle pośredniczącym j w chwili czasu k , $u(k)$ – sygnał sterujący wysyłany przez WZ w kierunku źródła Z, aby dostosować ilości danych do warunków panujących w sieci, $h(k)$ – ilość pakietów przesłanych z WZ w kierunku C, $\mathbf{x}(k)$ – wektor odwziewierający ilość pakietów zgromadzonych w węzłach pośredniczących w chwili czasu k , n – ilość węzłów pośredniczących, $j = 1, 2, \dots, n-1$, $k \in \mathbb{N}$.

Długość kolejki w węźle zatłoczonym WZ jest sterowana za pomocą regulatora. Wektor stanu dany jest w następującej postaci:

$$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T \quad (5)$$

Powyższy model sieci jest liniowym, niestacjonarnym, dyskretnym modelem układu dynamicznego, dla którego można stosować metody podane m.in. w pracach [10, 11, 12, 13, 14].

3. Notacja operatorowa i analiza częstotliwościowa kanału komunikacyjnego

Do opisu liniowego dyskretnego układu z parametrami zmiennymi w czasie można wykorzystać notację operatorową [12, 13]. Zależności (3)-(4) można wówczas zapisać w następującej formie:

$$\hat{\mathbf{y}} = \hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{N}}\hat{\mathbf{x}}_0 + \hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{B}}_u\hat{\mathbf{u}} + \hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{B}}_h\hat{\mathbf{h}} \quad (6)$$

Operatory $\hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{B}}_u$, $\hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{B}}_h$ oraz $\hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{N}}$ mogą zostać zdefiniowane w postaci iloczynów macierzy blokowych w następujący sposób:

$$\hat{\mathbf{C}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \ddots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{C} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{L}} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{I} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}(1) & \mathbf{I} & \mathbf{0} & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}(N-2) \dots \mathbf{A}(1) & \dots & \mathbf{A}(N-2) & \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\hat{\mathbf{B}}_u = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_u & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \ddots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{B}_u \end{bmatrix}, \hat{\mathbf{B}}_h = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_h & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \ddots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{B}_h \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{N}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{A}(0) \\ \vdots \\ \mathbf{A}(N-2) \dots \mathbf{A}(0) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Operatory $\hat{\mathbf{B}}$ i $\hat{\mathbf{C}}$ mają postać blokową diagonalną, natomiast sygnały muszą być zapisane w postaci wektorów blokowych:

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(0) \\ \vdots \\ \mathbf{x}(N-1) \end{bmatrix}, \hat{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}(0) \\ \vdots \\ \mathbf{y}(N-1) \end{bmatrix} \\ \hat{\mathbf{u}} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}(0) \\ \vdots \\ \mathbf{u}(N-1) \end{bmatrix}, \hat{\mathbf{h}} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}(0) \\ \vdots \\ \mathbf{h}(N-1) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Operator $\hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{B}}_u$ jest operatorem Hilberta-Schmidta z przestrzeni l_2 w przestrzeń l_2 i odwzorowuje ograniczone sygnały $\mathbf{u}(k) \in \mathbb{U} = l_2[0, N]$ w ograniczone sygnały $y \in \mathbb{Y}$, przy czym układ (3)-(4) jest równoważny układowi (6)-(11) [10, 11].

Elementy analizy częstotliwościowej, wykorzystane w niniejszej pracy opierają się na rozkładzie według wartości szczególnych operatorów układu [10, 12, 13].

Operator może być zapisany jako iloczyn trzech macierzy $\hat{\mathbf{C}}\hat{\mathbf{L}}\hat{\mathbf{B}}_u = \mathbf{U}\mathbf{S}\mathbf{V}^T$, gdzie $\mathbf{S} = \text{diag}(\sigma_i)$ jest macierzą diagonalną, a σ_i to i -ta wartość szczególna rozkładu według wartości szczególnych. Macierze ortonormalne \mathbf{U} , \mathbf{V} to odpowiednio macierze wyjścia i wejścia rozkładu. Złożone są z kolumnowych wektorów własnych, odpowiednio \mathbf{u}_i i \mathbf{v}_i , czyli i -tych wektorów szczególnych rozkładu według wartości szczególnych.

Przybliżone charakterystyki amplitudowe i fazowe dyskretnego układu niestacjonarnego określonego na skończonym horyzoncie czasowym $k=0, 1, \dots, N-1$ dane są następującymi zależnościami [10, 11, 14, 15]:

$$|G(\omega_k)| = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N \sigma_j^2 \cdot |\text{DFT}_k[\mathbf{u}_j]|^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left| \sigma_i \cdot \sum_{n=1}^N u_{ni} \cdot e^{-j2\pi(k-1)(n-1)/N} \right|^2} \quad (12)$$

$$\varphi(\omega_k) = \arg \left(\sum_{j=1}^N \sigma_j \cdot \frac{\text{DFT}_k[\mathbf{u}_j]}{\text{DFT}_k[\mathbf{v}_j]} \right) = \arg \left(\sum_{i=1}^N \left(\frac{\sum_{n=1}^N u_{ni} \cdot e^{-j2\pi(k-1)(n-1)/N}}{\sum_{n=1}^N v_{ni} \cdot e^{-j2\pi(k-1)(n-1)/N}} \right) \right) \quad (13)$$

4. Przykład obliczeniowy

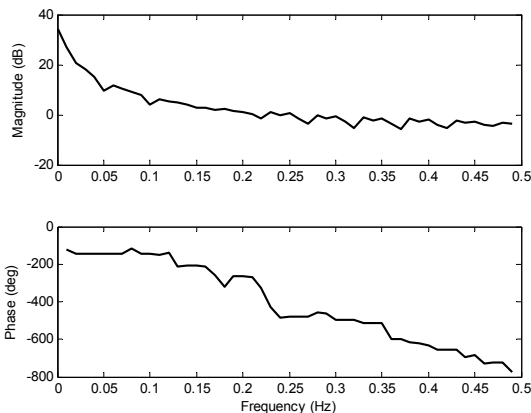
W przykładzie dokonano analizy dla dyskretnego liniowego niestacjonarnego układu określonego na skończonym horyzoncie czasowym. Układ został zdefiniowany w oparciu o model (6)-(11). Na potrzeby symulacji numerycznej przyjęto następujące wartości macierzy układu:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A}(k) &= \mathbf{A}_\kappa, \\
 \mathbf{B}_u &= [1 \ 0 \ 0 \ 0]^T, \\
 \mathbf{B}_h &= [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T, \\
 \mathbf{C} &= [0 \ 0 \ 0 \ 1]
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

gdzie:

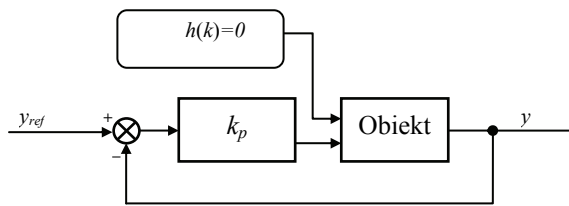
$$\begin{aligned}
 \mathbf{A}_0 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \\
 \mathbf{A}_2 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\
 \kappa &= \text{floor}\left(\text{rem}\left(\frac{k}{\varepsilon}, 4\right)\right)
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Dla powyższego modelu z wartością $\varepsilon=10$ oraz $N=100$ dokonano przybliżonej analizy częstotliwościowej układu niestacjonarnego w oparciu o metodę podaną w pracy [10] i zależności (12)-(13). W jej wyniku otrzymano charakterystyki: amplitudową i fazową. Rezultaty obliczeń zostały zilustrowane na rys. 2.



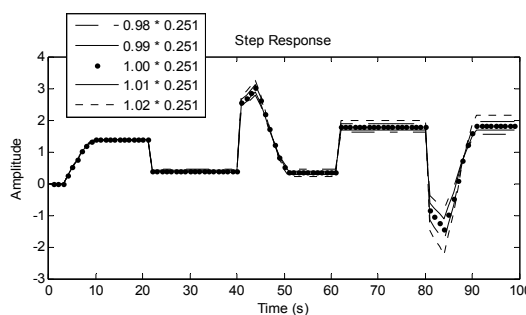
Rys. 2. Aproxymowane charakterystyki częstotliwościowe układu: amplitudowa i fazowa dla $\varepsilon=10$
 Fig. 2. Approximated Bode diagrams for $\varepsilon=10$

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk amplitudowej i fazowej można wnioskować, że układ ma charakterystykę amplitudową w przybliżeniu monotonicznie malejącą. Maksymalne wzmocnienie układ osiąga dla składowej stałej, a częstotliwości rezonansowe nie występują. Charakterystyka fazowa potwierdza występujące w układzie opóźnienia pomiędzy źródłem i węzłem zatłoczonym. W dalszej części przykładu przeprowadzono analizę czasową dla zamkniętego układu sterowania pokazanego na rys. 3. z regulatorem proporcjonalnym o trzech wybranych na podstawie rys. 2. wartościach wzmocnienia: -12dB, -30dB oraz -18dB.



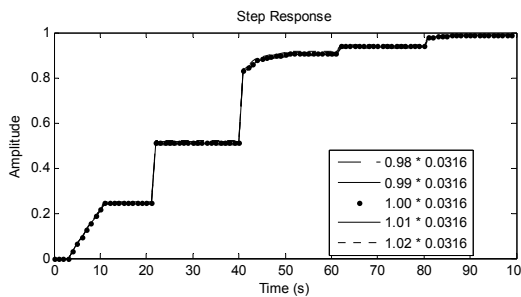
Rys. 3. Schemat blokowy systemu sterowania długością kolejki dla układu (3)-(4) w ujemnym sprzężeniu zwrotnym z regulatorem proporcjonalnym
 Fig. 3. Block diagram of the system controlling the queue length for the system (3)-(4) with feedback and proportional controller

Na rys. 4 przedstawiono odpowiedzi układu regulacji na skok jednostkowy przy założeniu $h=0$ w całym horyzoncie czasowym symulacji i wartości wzmocnienia -12dB, co odpowiada wartości nominalnej $k_p=0,251$ oraz wartości odchylnych od wartości nominalnej o $\pm 1\%$ i $\pm 2\%$. Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować o niestabilnym charakterze układu regulacji w sprzężeniu zwrotnym.



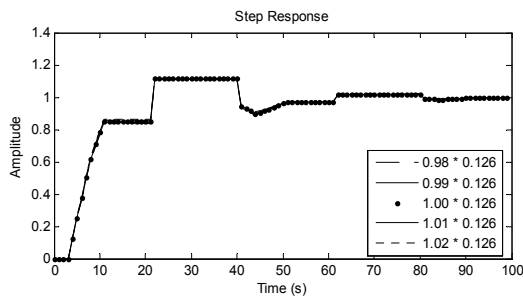
Rys. 4. Odpowiedź skok. układu z regulatorem prop. o wzmocnieniu -12dB
 Fig. 4. Step response of the system with proportional controller with -12dB gain

Na rys. 5. zamieszczone zostały odpowiedzi skokowe układu z regulatorem o wzmocnieniu nominalnym -30dB, co odpowiada $k_p=0,0316$ oraz wartości odchylnych od wartości nominalnej o $\pm 1\%$ i $\pm 2\%$. Analiza odpowiedzi skokowej pokazuje, że układ osiąga wartość zadaną po około 80 krokach czasowych.



Rys. 5. Odpowiedź skokowa układu za proporcjonalnym regulatorem o wzmocnieniu -30dB
 Fig. 5. Step response of the system with proportional controller with -30dB gain

Poprawę czasu ustalania można osiągnąć poprzez dobór wzmocnienia regulatora na poziomie -18dB co odpowiada $k_p=0,126$ oraz wartości odchylnych od wartości nominalnej o $\pm 1\%$ i $\pm 2\%$. Układ osiąga wartość zadaną już po około 50 krokach czasowych, co zostało zilustrowane na rys. 6.



Rys. 6. Odpowiedź skokowa układu za proporcjonalnym regulatorem o wzmacnieniu -18dB

Fig. 6. Step response of the system with proportional controller with -18dB gain

5. Wnioski

Zastosowanie uproszczonych narzędzi częstotliwościowych do analizy kanału komunikacyjnego o zmiennych w czasie parametrach ułatwia syntezę sterowania. Przeprowadzone symulacje komputerowe pokazują, że zastosowanie w analizowanym układzie regulatora z odpowiednio dobraną wartością wzmacnienia pozwala na utrzymanie wartości kolejki w węzle zatłoczonym na przyjętym, z góry poziomie. Układ wykazuje dobrą odporność na zaburzenia nastawy regulatora. W niniejszej pracy uwzględniony został jedynie wpływ źródła danych. W ramach dalszych prac planowane jest uwzględnienie zakłóceń związanych ze zmianą przepustowości łącza wyjściowego oraz adaptacja regulatora w zależności od warunków panujących w sieci.

6. Literatura

- [1] Jain Raj, Ramakrishnan K. and Dah-Ming Chiu: Congestion avoidance in computer networks with a connectionless network layer. arXiv preprint cs/9809094, 1998.
- [2] Grzyb S., Orłowski P.: Mechanizmy powstawania zatorów i blokad komunikacyjnych w sieciach o zmiennych w czasie parametrach, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 59, nr 7, s. 704-707, 2013.
- [3] Stevens W.: TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms, RFC 2001, IETF, 1997.

- [4] Paxson V., Allman M.: Computing TCP's Retransmission Timer, RFC 2988, IETF, 2000.
- [5] Brakmo L., Peterson L.: Tcp Vegas: end to end congestion avoidance on a global internet, *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on, 13(8):1465-1480, 1995.
- [6] Floyd S., Henderson T.: The NewReno Modification to TCP's Fast Recovery Algorithm, RFC 2582, IETF, 1999.
- [7] Mathis M., Mahdavi J., Floyd S. and Romanow A.: TCP Selective Acknowledgement Options, RFC 2018, 1996.
- [8] Grzyb S., Orłowski P.: Model matematyczny kanału komunikacyjnego z zatorem w sieciach o zmiennych w czasie parametrach, *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 59, nr 11, s. 1151-1154, 2013.
- [9] Ignaciuk P., Bartoszewicz A.: Linear quadratic optimal sliding mode controllers for a single virtual circuit in a connection-oriented communication network, *Proceedings of the 13th IEEE/IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*, Szczecin, Poland, pp. 121-128, August 2007.
- [10] Orłowski P.: Zastosowania dekompozycji SVD-DFT. Część 1: Wprowadzenie do analizy częstotliwościowej dla układów niestacjonarnych. *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 2, s. 39-43, 2007.
- [11] Orłowski P.: Zastosowania dekompozycji SVD-DFT. Część 2: Analiza stabilności układów niestacjonarnych w sprzężeniu zwrotnym. *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 2, pp. 44-47, 2007.
- [12] Orłowski P.: An Introduction to SVD-DFT frequency analysis for time-varying systems. *Proc. of 9th IEEE International Conference. MMAR. Międzyzdroje*, 455-460, 2003.
- [13] Orłowski P.: Extension of SVD-DFT frequency analysis for a class of non-linear systems. *Proc. International Conference Control 2006*. Glasgow, Scotland.
- [14] Orłowski P.: Frequency Domain Analysis of Uncertain Time-Varying Discrete-Time Systems. *Circuits, Systems and Signal Processing* vol. 26, no. 3, pp. 293-310, 2007
- [15] Orłowski P.: Selected problems of frequency analysis for time-varying discrete-time systems using singular value decomposition and discrete Fourier transform. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 278, Issues 4-5, pp. 903-921, 2004.
- [16] Orłowski P.: Frequency Domain Analysis of Uncertain Time-Varying Discrete-Time Systems. *Circuits, Systems and Signal Processing* vol. 26, no. 3, pp. 293-310, 2007.

otrzymano / received: 06.02.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.04.2014

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczane:

- spis treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.