

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

Mechanizmy powstawania zatorów i blokad komunikacyjnych w sieciach 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 Operator. Prowadzi wykłady i laboratoria z technologii sieciowych w szczecińskiej fundacji uczelnia.it.



e-mail: slawomir.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

W pracy omówiono zagadnienia związane z mechanizmami powstawania zatorów komunikacyjnych oraz blokad w przepływie informacji w rozległych sieciach komputerowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy zaproponowano struktury modelowe dla poszczególnych segmentów rozpatrywanego kanału komunikacyjnego. W pracy podano podstawowe zależności matematyczne niezbędne do wykorzystania zaproponowanego modelu.

Słowa kluczowe: zator, kanał komunikacyjny, układy zmienne w czasie, układy dyskretne.

Mechanisms of communication congestion and blockades in networks with time-varying parameters

Abstract

The paper describes an issue connected with mechanism of forming communication congestion and blockades in information flow. A new model structure for specific segments of the considered communication channel was proposed on the basis of the conducted analysis. The paper presents the basic mathematical relationships necessary for using the proposed model. Implementing QoS politics does not solve the problem of network congestion avoidance and congestion elimination. The main difficulty in this field is the delay in a communication channel as well as the delay jitter. Regardless of the modification of different transport protocols and increase in the links bandwidth, it is necessary to develop some mechanisms to control the packet forwarding at the network nodes if we want to utilize the full throughput of computer networks. The mechanisms of forming network congestion and blockages described in this paper allow us to create an advanced dynamic mathematical model of the communication channel with a time-varying delay. Such a model stored in the state space will enable the use of existing methods of linear-time varying systems to control the queue length in order to avoid congestions and minimize their effects. A block diagram of the network part with delay varying in time is presented in Fig. 2. The network part participating in packet forwarding may consist of a significant number of nodes. It can be considered as a set of logical nodes as shown in Fig. 5. Each logical node in a specific time can either forward all data to the next node or store it in an egress buffer.

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

1. Wstęp

Sieci komunikacyjne to zbiór połączeń utworzonych pomiędzy uczestnikami procesu komunikacji w celu przepływu informacji w czasie i w przestrzeni. Rozwój komunikacji z wykorzystaniem sygnałów elektrycznych rozpoczął się od wynalezienia telegrafu elektrycznego. Stosowana wcześniej technika przesyłania sygnałów analogowych za pomocą kanałów telefonicznych wykorzystywała podstawowe pasmo przenoszenia 300-3400 Hz. Komutacja kanałów

wymagała zestawienia dedykowanej trasy od źródła sygnału przez sieć do użytkownika docelowego [1].

Kamieniem milowym w rozwoju komunikacji było zastosowanie techniki cyfrowej do kodowania przesyłanej mowy i danych, co pozwoliło na rozszerzenie pasma transmisji oraz na zastosowanie komutacji cyfrowej. Zastosowanie modulacji kodowo-impulsowej PCM (ang. Pulse Code Modulation) pozwoliło na przekształcenie mowy na postać ciągu cyfrowych ramek a następnie zwielokrotnienia ilości kanałów w medium transmisyjnym.

Możliwe stało się również nawiązywanie wielokrotnych połączeń z wieloma klientami. Ponieważ medium transmisyjne może być dzielone pomiędzy wielu użytkowników w tym samym czasie, konieczne stało się opracowanie nowych protokołów komunikacyjnych. Zastosowanie transmisji asynchronicznej ATM (ang. Asynchronous Transfer Mode), a w transportowej warstwie optycznej systemów multipleksacji wielu sygnałów cyfrowych w jednym łączy światłowodowym z podziałem długości fali DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) zwiększyło przepustowość łączy, które mogą być wykorzystane do przesyłania treści multimedialnych. Dokonujący się obecnie proces zmian w sieciach telekomunikacyjnych, w których zacierają się różnice między klasyczną telekomunikacją, radiem, telewizją i informatyką, nazywany jest zjawiskiem konwergencji. Wiąże się to z zespoleniem wszystkich funkcji kanałów do transmisji głosu, obrazu, danych oraz aplikacji w jedną strukturę opartą na protokole IP, który jest obecnie protokołem dominującym w sieciach teleinformatycznych. Protokół IP nie ma zawartych w sobie mechanizmów pozwalających na zróżnicowanie obsługi poszczególnych strumieni danych za względu na przenoszoną treść. Konieczne zatem okazało się opracowanie mechanizmów pozwalających na zapewnienie odpowiedniej jakości świadczonej przez sieć usługi transportowej. To doprowadziło do powstania sieci nowej generacji NGN [2]. Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna zdefiniowała sieci nowej generacji, jako sieć pakietową realizującą usługi telekomunikacyjne i wykorzystującą wiele szerokopasmowych technik transportowych z gwarancją jakości usług (QoS), w której funkcje usługowe są niezależne od wykorzystywanych technik transportowych. Dziś podstawę sieci nowej generacji stanowi technologia MPLS (Multiprotocol Label Switching), zapewniająca przelazanie pakietów dowolnego protokołu trasowanego z zapewnieniem jakości usług QoS.

Bardzo istotnym zjawiskiem z punktu widzenia funkcjonowania sieci komunikacyjnych jest występowanie zatorów. W ogólności przyjmuje się, że w określonym węźle sieci występuje zator w sytuacji, gdy ilość danych wpływających do tego węzła przekracza dostępną pojemność łącza wyjściowego. Typowymi konsekwencjami wystąpienia zatoru jest w początkowym czasie gwałtowny przyrost zajętości bufora oraz długości kolejki w węźle. Dalszymi konsekwencjami jest utrata pakietów lub blokowanie połączeń przez węzeł. Zjawiska te wymuszają retransmisję pakietów, powodując jednocześnie gwałtowny przyrost przesyłanych

informacji. Może to doprowadzić do znacznego obniżenia przepustowości całej sieci, bądź w skrajnym przypadku do jej blokady.

Brak mechanizmów kontroli przeciążenia sieci doprowadził w 1986 roku do historycznej blokady sieci. Miało to miejsce zaledwie 3 lata od pierwszej implementacji stosu protokołów TCP/IP [3]. TCP jest protokołem połączeniowym, który zapewnia dostarczenie wszystkich pakietów w całości, z zachowaniem kolejności i bez ich powielania. Jest to protokół dominujący w warstwie czwartej modelu ISO/OSI. Dostosowuje on ilość przesyłanych danych do warunków panujących w torze transmisyjnym między nadawcą i odbiorcą. Wykorzystywany jest do tego mechanizm AIMD (ang. Additive Increase Multiplicative Decrease) oraz informacja o wolnym miejscu w buforze odbiorcy.

W roku 1988 zaimplementowano pierwszą wersję mechanizmu kontroli zatorów TCP Tahoe [4] pozwalającego na unikanie przeciążenia i szybkie odtwarzanie uszkodzonych lub zgubionych pakietów. Wzrost przepustowości łączy do prędkości 10Gb/s i więcej wymusza kolejne modyfikacje protokołu TCP, które umożliwią zwiększenie rozmiarów okna, co umożliwi szybszy przyrost prędkości przesyłanych danych w łączy po zestawieniu sesji TCP lub po wykryciu utraty pakietu. Zapewnia to lepsze wykorzystanie dostępnego pasma. W ostatnich latach pojawiły się prace dotyczące zarówno zagadnień modelowania [5] jak i wybranych zagadnień sterowania przepływem w sieciach komputerowych [6] w tym ATM [7]. Rozważania prowadzone w pracach [8, 9] dotyczą zagadnień unikania i kontroli zatorów. Prace [5, 10] dotyczą sieci w których występuje deterministyczne stałe w czasie opóźnienie.

Główną trudnością w unikaniu zatorów jest występowanie opóźnień komunikacyjnych. Problem zmienności opóźnienia był przedmiotem rozważań wielu prac [5, 11]. Uwzględnienie zmienności opóźnienia jest istotne ze względu na możliwość poważnego zmniejszenia wydajności, występowanie oscylacji bądź wręcz niestabilności układu [12, 13, 14].

2. Opis sieci

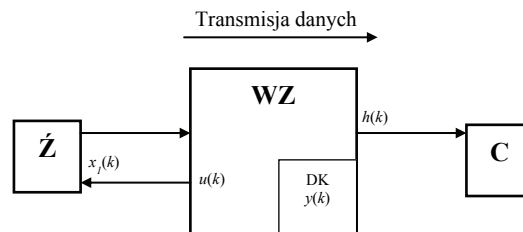
Ilość danych przesyłanych w sieciach operatorskich zwiększa się corocznie w szybkim tempie [6]. Sieci komunikacyjne, mimo szybkiego rozwoju strukturalnego i technologicznego nie są w stanie obsłużyć generowanego ruchu bez wykorzystania buforów wejściowych i wyjściowych, mających wpływ na opóźnienia. Zmiana charakteru generowanego ruchu zmierza w kierunku zwiększenia ilości i szerokości strumieni przesyłających dane czasu rzeczywistego. Tego typu dane są bardzo wrażliwe zarówno na powstające opóźnienia transmisji pakietów czy komórek, jak i na zmienność tych opóźnień w czasie. Dla zapewnienia odpowiedniej jakości obsługi konieczne jest klasyfikowanie ruchu ze względu na zawarty w nagłówku znacznik oraz zróżnicowanie obsługi poszczególnych klas ruchu przez aktywne węzły sieciowe. Grupowanie ruchu przynosi zapewnienie jakości usługi z poziomu pojedynczego połączenia do poziomu klasy połączeń [8], ale nie rozwiązuje problemu unikania i likwidowania zatorów sieciowych.

2.1. Kanał komunikacyjny w sieci o stałych opóźnieniach

Zilustrowany na rys. 1 kanał transmisyjny jest podobny do rozważanego w pracach [5, 15]. Stanowi on wycinek rzeczywistej sieci rozległej. Składa się ze źródła danych \dot{Z} (nadawcy), miejsca docelowego C (odbiorcy) oraz znajdującego się pomiędzy nimi węzła, w którym może wystąpić zator, zwanego dalej węzłem zatłoczonym WZ.

Węzeł zatłoczony WZ odbiera pakiety ze źródła \dot{Z} i przesyła w kierunku celu C . Ilość danych przesłanych w kierunku celu oznaczamy jako h . Odebrane dane, które nie mogą być przesłane dalej, ze względu na ograniczone zasoby sieciowe, są buforowane i zwiększają długość kolejki DK. Z węzła zatłoczonego w kierunku źródła wysyłane są pakiety sterujące u , zawierające żądanie

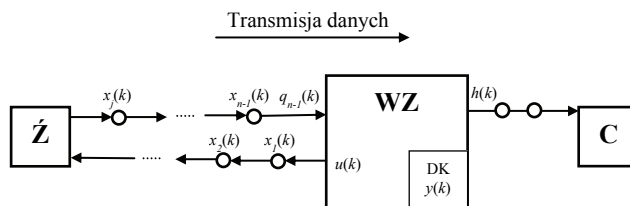
przesłania określonej ilości pakietów ze źródła do celu przez węzeł zatłoczony.



Rys. 1. Schemat blokowy wycinka sieci ze stałym w czasie opóźnieniem
Fig. 1. Block diagram of a network part with delay constant in time

2.2. Kanał komunikacyjny w sieci o zmiennych w czasie opóźnieniach

Przyjmuje się, że pomiędzy źródłem \dot{Z} a węzłem zatłoczonym WZ, mogą występować węzły pośrednie x_n . Również dane pomiędzy węzłem zatłoczonym WZ a celem C mogą przechodzić przez kolejne węzły pośrednie. Zostało to zilustrowane na rys. 2.

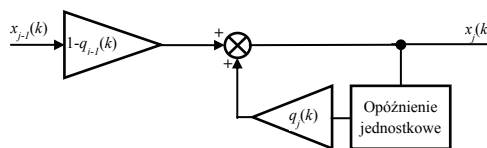


Rys. 2. Schemat blokowy wycinka sieci ze zmiennym w czasie opóźnieniem
Fig. 2. Block diagram of a network part with delay varying in time

Schemat na rys. 2 przedstawia zbiór aktywnych węzłów, które są połączone wzajemnie łączami. Przyjmuje się, że w dowolnym węzle pośredniczącym pomiędzy źródłem \dot{Z} i węzłem zatłoczonym WZ mogą wystąpić chwilowe blokady przepływu danych.

2.3. Model zmiennej w czasie blokady komunikacyjnej

Schemat blokowy węzła pośredniczącego prezentuje rys. 3. W zależności od sytuacji w sieci może wystąpić jeden z dwóch możliwych scenariuszy: blokada komunikacyjna bądź jej brak. W przypadku wystąpienia blokady łącza w j -tym węzle pośredniczącym w chwili czasu k , przyjmuje się, że w danym momencie czasu nie zostanie przesłana żadna informacja w kierunku węzła $j+1$, a napływające dane zostaną zbuforowane. Jeśli w dowolnym następnym momencie czasu blokada łącza nie wystąpi, przyjmuje się, że bufor węzła zostaje opróżniony a wszystkie zbuforowane pakiety zostaną przesłane do kolejnego węzła. Chwilowe występowanie blokad w różnych węzłach sieci powoduje, że wartość skumulowanego opóźnienia jest zmienna w czasie.



Rys. 3. Schemat szczegółowy węzła pośredniczącego
Fig. 3. Detailed diagram of an intermediate node

W przedstawionym modelu węzła pośredniczącego zastosowano współczynnik kolejkowania q . Wskazuje on, czy w danej chwili czasu k w węzle j występuje zator. Jeśli zator nie występuje, współczynnik przyjmuje wartość 0 i wszystkie zbuforowane pakiety mogą być przesłane do kolejnego węzła pośredniczącego. Jeśli zator w węzle j wystąpi ($q_j=1$), żaden pakiet nie może być przesłany dalej i dane zostaną zbuforowane. Ilość pakietów w j -tym węzle sieci w chwili czasu k jest oznaczona $x_j(k)$. Współczynnik kolejkowania w j -tym węzle sieci w chwili czasu k , może zostać określony w następujący sposób:

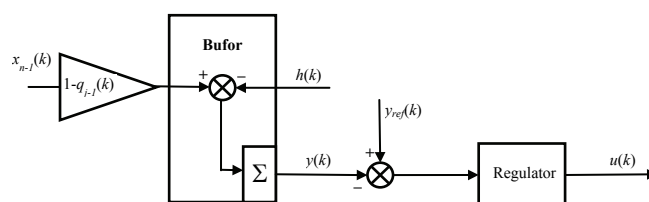
$$q_j(k) = \begin{cases} 0 & \text{- transmisja} \\ 1 & \text{- kolejkowanie} \end{cases} \quad (1)$$

Przyjęte uproszczenie jest uzasadnione zarówno w odniesieniu do ruchu o wyższym priorytecie, który musi zostać obsłużony w pierwszej kolejności jak również w sytuacji uszkodzenia warstwy fizycznej łącza lub węzła aktywnego. W sieciach komputerowych, do prawidłowego działania, konieczna jest wymiana informacji pomiędzy aktywnymi węzłami za pomocą protokołów routingu. Taki ruch ma zawsze wyższy priorytet ze względu na wagę zawartych w nim informacji dla całego segmentu sieci. Pewna część protokołów routingu oparta jest na wymianie pełnych tablic trasowania pomiędzy wszystkimi sąsiadującymi ze sobą węzłami. Wymiana ta odbywa się cyklicznie, co określoną ilość sekund i wówczas inne dane przesyłane danym łączem są zbuforowane. W momencie, gdy pakiety priorytetowe zostaną obsłużone, dany węzeł wraca do obsługi ruchu o niższym priorytecie. Wówczas wszystkie pakiety mogą być przesłane do kolejnego węzła pośredniczącego. Skutki uszkodzenia warstwy fizycznej łącza lub węzła aktywnego mogą być długotrwałe i wymagać interwencji ludzkiej. Jednak u podstaw stworzenia protokołu IP leży zapewnienie funkcjonowania środowiska sieciowego w przypadku wystąpienia awarii poszczególnego łącza, węzła lub całego segmentu sieci. Taka odporność na awarie jest zaimplementowana dziś zarówno w warstwie drugiej jak i trzeciej modelu ISO OSI. Zakłada ona stworzenie logicznej topologii sieci przy uruchamianiu poszczególnych segmentów oraz automatyczną zmianę w wypadku wykrycia braku komunikacji pomiędzy węzłami. W zależności od wielkości środowiska, technologii zastosowanych w warstwie drugiej oraz protokołów w wyższych warstwach, zmiana topologii logicznej może zająć od części sekundy do wielu minut. Przy tego typu uszkodzeniach pakiety są kolejkowane i nie opuszczają bufora wyjściowego do momentu ustąpienia przyczyny zatoru lub prze-konfigurowania środowiska. Po przywróceniu prawidłowego funkcjonowania danego segmentu wszystkie pakiety zostaną przesłane w kierunku celu.

Jak wspomniano wyżej, ruch o wyższym priorytecie na danym łączu może być przyczyną blokowania przesyłu dla pozostałych danych. W zależności od sposobu obsługi takiego ruchu przez aktywne węzły, przyjęty model powinien w przybliżeniu odwzorowywać rzeczywiste warunki. Jednym ze sposobów obsługi ważniejszych pakietów jest ustanowienie dla nich oddzielnej kolejki i blokowanie innego ruchu, dopóki w kolejce znajdują się pakiety. Przy takim podejściu do klasyfikowania obsługiwanych danych, pojawienie się ważniejszego ruchu będzie zawsze blokowało pakiety mniej ważne. Z punktu widzenia pakietów o niższym priorytecie wygląda to identycznie jak krótkotrwała awaria łącza. Całość danych zostanie skierowana do bufora, który zostanie opróżniony po ustaniu ruchu klasyfikowanego jako ważniejszy. Przy zastosowaniu kolejkowania ważonego, węzeł poświęca każdemu priorytetowi określony przedział czasowy. W takim wypadku nawet przy częściowym lub całkowitym wypełnieniu kolejki o najwyższym priorytecie, pozostały ruch jest również obsługiwany. Przyjęte uproszczenie będzie dokładnym odwzorowaniem środowiska rzeczywistego, jeżeli poświęcimy dla obsługi danej kolejki czas pozwoli na wysłanie wszystkich oczekujących pakietów do węzła następnego.

2.4. Model węzła zatłoczonego

Szczegółowa budowa węzła zatłoczonego została przedstawiona na rys. 4. Węzeł ten otrzymuje pakiety wysłane z węzła pośredniczącego x_{n-1} . Pakiety wchodzące trafiają do bufora zwiększając długość kolejki, pakiety wysłane z bufora, które zostały potwierdzone przez cel $h(k)$ zmniejszają zajętość bufora i długością kolejki. Różnica pomiędzy zadaną y_{ref} a rzeczywistą $y(k)$ długością kolejki stanowi sygnał błędny podawany na wejście regulatora. Zmienną wyjściową regulatora jest $u(k)$ – maksymalna dopuszczalna ilość pakietów, którą źródło może przesłać do celu poprzez węzeł zatłoczony.



Rys. 4. Schemat szczegółowy węzła zatłoczonego
Fig. 4. Detailed diagram of a congested node

Ilość danych, wysłanych z węzła zatłoczonego jest zależna od ilości danych w buforze wyjściowym $y(k)$ oraz ograniczona pewną, nieznaną, funkcją czasu $d(k)$, której wartość maksymalna wynika z przepustowości łącza d_{max} . Chwilowe wartości $d(k)$ podlegają wahaniom w czasie i zależą od ruchu w innych węzłach sieci znajdujących się pomiędzy węzłem zatłoczonym WZ a celem C. W ogólności spełnione są następujące nierówności:

$$0 \leq h(k) \leq d(k) \leq d_{max} \quad (2)$$

oraz

$$0 \leq h(k) \leq y(k) \quad (3)$$

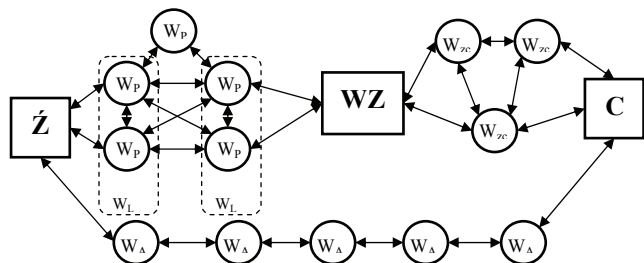
Jeżeli ilość danych w buforze wyjściowym jest wystarczająco duża $y(k) \geq d(k)$, wówczas wykorzystane zostanie całe dostępne w chwili k pasmo $d(k)$.

Z punktu widzenia sterowania w węzle zatłoczonym istotne jest utrzymanie określonej ilości danych w buforze wyjściowym, niezależnie od chwilowej przepustowości łącza pomiędzy WZ i C, tak, aby nie doszło do sytuacji, w której bufor zostanie przepełniony bądź nadmiernie opróżniony. Należy wziąć pod uwagę, że skutkiem przepełnienia bufora jest brak możliwości kolejkowania następnego pakietu i w konsekwencji jego porzucenie przez węzeł.

2.5. Topologia fizyczna i logiczna sieci rozległej

Przy wykorzystaniu dużej ilości węzłów pośredniczących pomiędzy źródłem Z i węzłem zatłoczonym WZ może występować duża ilość chwilowych lokalnych blokad i sposobów ich obsługi przez węzły pośredniczące. Każdy węzeł może to wykonywać w inny sposób. Z punktu widzenia syntezy układu sterowania istotne są jedynie skumulowane wartości opóźnień pomiędzy węzłem zatłoczonym i źródłem w obu kierunkach. Pewne grupy węzłów pośredniczących, lub pewne obszary sieci możemy traktować więc jako pojedynczy węzeł. Tego typu grupowanie pozwala na wyodrębnienie węzłów logicznych, które w modelu mogą być traktować równoważnie z węzłami rzeczywistymi.

Struktura przykładowego segmentu sieci rozległej została przedstawiona na rys. 5. Pakiety przekazywane pomiędzy źródłem, węzłem pośredniczącym i celem mogą podróżować różnymi drogami. Na rysunku można wyróżnić grupy węzłów fizycznych, które mogą być z punktu widzenia prezentowanego modelu rozpatrywane, jako logiczne węzły pośredniczące. Model poniższy jest zbliżony do rzeczywistego fragmentu sieci informatycznej.



Rys. 5. Struktura przykładowego segmentu sieci rozległej
Fig. 5. An example of the real network segment.

W_p - węzły pośredniczące

W_{zc} - węzły pośredniczące pomiędzy WZ i C

W_A - węzły na alternatywnej trasie połączenia

W_L - węzły logiczne

3. Wnioski

Niezależnie od modyfikacji poszczególnych protokołów transportowych i zwiększania szerokości pasma danego łącza, do pełnego wykorzystania przepustowości sieci komputerowych konieczne jest opracowanie pewnych mechanizmów umożliwiających kontrolę nad przesyłanymi pakietami na poziomie węzłów sieciowych. Opisanie w pracy mechanizmów powstawania zatorów i blokad sieci umożliwiającą stworzenie zaawansowanego dynamicznego modelu matematycznego kanału komunikacyjnego ze zmiennym w czasie opóźnieniem. Model taki zapisany w przestrzeni zmiennych stanu będzie umożliwiał wykorzystanie istniejących metod syntezy sterowania do unikania zatorów i minimalizacji ich skutków.

4. Literatura

- [1] Jajszycki A.: Podstawy komutacji kanałów, WNT, Warszawa 1990.
[2] Aoyama T.: A new generation network: Beyond the Internet and NGN. IEEE Communication Magazine, no. 5, 2009.

- [3] Postel J.: Transmission Control Protocol, RFC 793, IETF, wrzesień 1981.
[4] Stevens W.: TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms, RFC 2001, IETF, 1997.
[5] Bartoszewicz A.: Nonlinear flow control strategies for connection oriented communication networks, Proc. IEE Control Theory Appl., vol. 153, no. 1, pp. 21–28, 2006.
[6] Ignaciuk P. and Bartoszewicz A.: Flow control algorithm for multi-source connection oriented networks with rate dependent sampling period, Proceedings of the 4th Polish German Teletraffic Symposium, Wrocław, Poland, pp. 65-74, September 2006.
[7] Ignaciuk P. and Bartoszewicz A.: Rate dependent sampling period flow control for ATM networks, Proceedings of the 7th International Carpathian Control Conference, Rožnov, Czech Republic, pp. 197-200, May 2006.
[8] Jacobson V.: Congestion avoidance and control, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Volume 18 Issue 4, August 1988.
[9] Welzl, M.: Front Matter, in Network Congestion Control: Managing Internet Traffic, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester UK 2005.
[10] Blanchini F., Lo Cigno R. and Tempo R.: Robust rate control for integrated services packet networks, IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 10, no. 5, pp. 644–652, May 2002. 17.
[11] Quet P., Atas,lar B., Iftar A., Özbay H., Kalyanaraman S. and Kang T.: Rate-based flow controllers for communication networks in the presence of uncertain time-varying multiple time-delays, Automatica, vol.38, no. 6, pp. 917–928, 2002.
[12] Orłowski P.: System Degradation Factor for Networked Control Systems. Information Technology And Control, 2008, Vol. 37, No. 3, pp. 233-244.
[13] Orłowski P.: Zastosowania dekompozycji SVD-DFT. Część 2: Analiza stabilności układów niestacjonarnych w sprzężeniu zwrotnym. Pomiary Automatyka Kontrola, 2007, vol. 2, s. 44-47.
[14] Orłowski P.: Zastosowania notacji operatorowej i uproszczonych metod częstotliwościowych do niestacjonarnych układów dyskretnych w zagadnieniach analizy systemów i sterowania. Wydawnictwo Uczelniane ZUT w Szczecinie, Szczecin 2011.
[15] Ignaciuk P. and 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.

otrzymano / received: 19.12.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.06.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Wydawnictwo PAK

specjalizuje się w wydawaniu czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 22 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 32 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl