

Krzysztof GROCHLA, Sławomir NOWAK
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

WPŁYW MECHANIZMÓW KSZTAŁTOWANIA RUCHU NA WYDAJNOŚĆ SIECI CZYSTO OPTYCZNYCH

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wpływ zastosowania mechanizmów kształtowania ruchu na przesyłanie pakietów w sieciach czysto optycznych oraz opisano zasady przesyłania pakietów w takich sieciach. Zaproponowano własny algorytm opóźniający wprowadzenie pakietu do sieci w zależności od jej obciążenia oraz zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych.

Słowa kluczowe: sieci optyczne, kształtowanie ruchu, defleksja.

THE INFLUENCE OF TRAFFIC SHAPING MECHANISMS ON PURE OPTICAL NETWORK EFFICIENCY

Summary. The article describes the influence of introducing traffic shaping mechanisms to pure optical networks. Routing algorithms in such networks are presented. The authors propose a new traffic shaping algorithm allowing to delay insertion of a packet into the network basing on router load.

Keywords: optical network, hot potato network, traffic shaping, deflection routing.

1. Wstęp

1.1. Definicja sieci czysto optycznych

Przez sieć czysto optyczną rozumiemy sieć komputerową opartą na transmisji pakietów przy użyciu światłowodów, w której węzłach nie następuje zamiana sygnału z postaci elektrycznej na optyczną i odwrotnie. Konwersja ta następuje tylko przy wprowadzaniu pakietów do sieci po stronie nadawcy oraz przy odbieraniu pakietów z sieci po stronie odbiorcy.

Na obecnym poziomie rozwoju technologii buforowanie pakietów w węzłach takiej sieci nie jest możliwe, ponieważ nie istnieją jeszcze pamięci czysto optyczne. Możliwe jest natomiast zastosowanie pętli opóźniających, pozwalających na uzyskanie określonego czasu na analizę nagłówka pakietu i podjęcie decyzji o wyborze trasy. Tego typu sieci są określane angielskim terminem *hot potato network*, ponieważ pakiet nie może zostać zatrzymany w żadnym z węzłów sieci, a jego przekazywanie przypomina przrzucanie „gorącego ziemniaka”.

Sieć przesyła pakiety w sposób synchroniczny. Przez każde z połączeń pomiędzy przełącznikami, w poszczególnych szczelinach (slotach) czasowych, może zostać przesłana określona liczba pakietów, zależnie od jego pojemności. Pakiety znajdujące się wewnątrz sieci nie są gubione, gdyż liczba pakietów nigdy nie przekracza pojemności sieci.

1.2. Wyznaczanie trasy

Dla sieci czysto optycznych opracowano specjalne algorytmy routingu, wśród których, jako najpopularniejsze, można wymienić algorytmy z defleksją („z odbijaniem”) oraz z wyznaczoną stałą ścieżką.

W trasowaniu „z odbijaniem” (*deflection routing*) przełączniki próbują kierować pakiety najkrótszą z możliwych ścieżek, w kierunku zgodnym z ich adresem przeznaczenia. Przybywające do przełącznika pakiety muszą w następnej szczeliny czasowej zostać skierowane do kolejnego przełącznika, po ścieżce wyznaczonej zgodnie z zasadami działania algorytmu routingu. Jeśli liczba pakietów, które powinny zostać wysłane przez pojedynczą ścieżkę po najkrótszej drodze przekroczy jej maksymalną pojemność, część pakietów będzie musiała zostać skierowana do innej, wolnej ścieżki. Następuje więc „odbicie” (defleksja) z właściwego kierunku. Odbite pakiety poruszają się dłuższą trasą, co stanowi wadę tej metody, gdyż w skrajnie niekorzystnym przypadku pakiet może nigdy nie osiągnąć swojego miejsca przeznaczenia (*deadlock problem*).

Strategia routingu, zgodnie z wyznaczoną ścieżką, polega na wyznaczeniu w ramach sieci stałej trasy, obejmującej wszystkie przełączniki i tworzącej zamkniętą pętlę, po której w kolejnych slotach czasowych poruszają się pakiety. W ten sposób można zagwarantować dla wszystkich pakietów skończone opóźnienie, równe najdłuższej drodze pomiędzy dwoma przełącznikami. Wadą takiego rozwiązania jest znaczne obniżenie wydajności sieci. Istnieje wiele sposobów wyznaczania takiej trasy przy korzystaniu np. z tzw. cykli Eulera [1].

Opracowując algorytmy wyznaczania trasy w sieciach optycznych bierze się pod uwagę liczne modyfikacje wspomnianych algorytmów, łącząc na przykład strategię z odbijaniem oraz z wyznaczoną ścieżką, co pozwala na osiągnięcie dużej wydajności oraz zagwarantowanie skończonego czasu transmisji.

Niezależnie od zastosowanej strategii routingu, duży wpływ na wydajność sieci ma charakter i intensywność występującego w niej ruchu.

2. Możliwości rozszerzenia dotychczasowego schematu sieci o kształtowanie ruchu

W sieciach czysto optycznych możliwości propagacji informacji o obciążeniu węzłów są bardzo ograniczone, ponieważ przetwarzaniu podlega tylko krótki nagłówek, w którym nie można zawrzeć zbyt wielu informacji (w projektowanej realizacji ma to być 32 bajty [2]). W niniejszej pracy zakładamy również brak specjalizowanego protokołu do przekazywania wiadomości o strukturze czy obciążeniu sieci. Dlatego decyzja o regulowaniu ruchu w każdym z węzłów powinna zostać podjęta tylko na podstawie informacji zbieranych w tym węźle.

Ze względu na założenie, że w węźle nie można przechowywać pakietów, które nadeszły do niego w postaci optycznej, niemożliwe staje się wykorzystanie klasycznych algorytmów opracowanych dla przełączników z buforowaniem. Można natomiast regulować ruch przychodzący do sieci, który przed zamianą z postaci elektronicznej na optyczną może zostać przechowany w klasycznych pamięciach. Mamy tutaj dwie możliwości – opóźnienie wprowadzenia pakietu do sieci lub jego odrzucenie. W niniejszej pracy zdecydowano się na połączenie obydwu tych rozwiązań.

Wprowadziliśmy miarę obciążenia węzła (OW) rozumianą jako stosunek liczby pakietów przesłanych przez węzeł sieci w slocie czasu do liczby ścieżek wychodzących z tego węzła. Obciążenie węzła może przyjmować wartości od 0 do 1. Następnie liczymy średnią krocząca SK_{OW} obciążenia węzła w czasie transmisji według wzoru:

$$SK_{OW} = OW_n * (1 - w) + SK_{OW_{n-1}} * w \quad (1)$$

gdzie w to waga średniej kroczącej będąca parametrem algorytmu.

Proponowany mechanizm kształtowania ruchu polega na opóźnieniu wprowadzenia nowych pakietów do sieci, gdy średnia krocząca obciążenia węzła przekroczy zadaną wartość, np. 0,75. W takim wypadku nadchodzące pakiety są przechowywane w buforze aż do zmniejszenia się obciążenia węzła, przez który mają zostać wprowadzone do sieci optycznej.

Pierwszym z parametrów tego mechanizmu jest wartość granicy SK_{OW} , po przekroczeniu której następuje blokada wprowadzania nowych pakietów do sieci. Ustalenie tej wartości na 1 powoduje wyłączenie działania opisywanego mechanizmu. Jej zmniejszanie zmniejsza liczbę pakietów w sieci, tym samym obniżając liczbę defleksji. Podczas badań regulowano wartość granicy obciążenia węzła w zakresie 0,5 – 1.

Regulując wagę średniej kroczącej (w we wzorze 1) możemy wpływać na bezwładność reakcji algorytmu na zmiany obciążenia sieci. Im mniejsze w , tym szybciej krótkie przeciążenie węzła będzie powodowało zablokowanie wprowadzania nadchodzących pakietów do sieci w tym miejscu, ale również szybciej nastąpi odblokowanie wprowadzania pakietów po zmniejszeniu zajętości pasma w węźle. W przeprowadzonych symulacjach zmienialiśmy ten parametr w zakresie $1/2 - 7/8$.

Trzecim parametrem algorytmu jest rozmiar bufora na przychodzące pakiety w węźle. Jego zwiększenie powoduje zmniejszenie liczby traconych pakietów w wypadku przeciążenia sieci, jednak zbyt duży bufor może powodować duże opóźnienia.

W dosyć obszernej literaturze na temat sieci typu *hot potato* stosunkowo mało można znaleźć artykułów o kształtowaniu ruchu. Nie udało nam się znaleźć żadnych rozwiązań bazujących na obciążeniu sieci, wartym przytoczenia jest natomiast artykuł [3], którego autorzy analitycznie udowodnili zasadność opóźniania wprowadzenia pakietu do węzła, jeżeli jego wysłanie ma powodować defleksje w tym węźle.

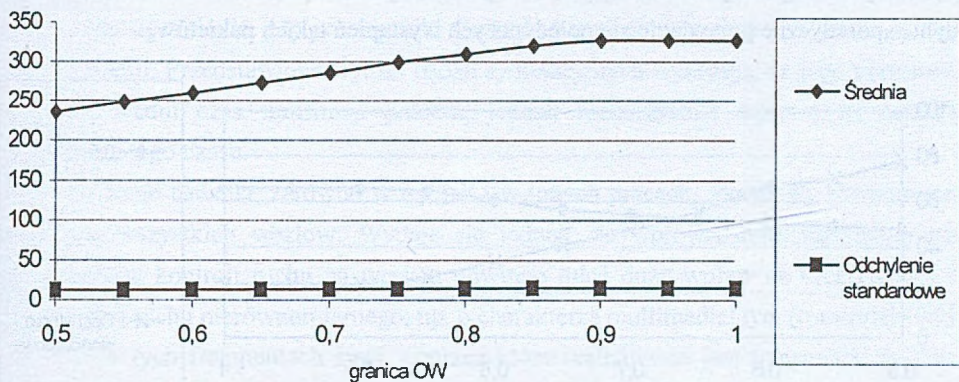
3. Model i wyniki badań symulacyjnych

W celu zbadania zaproponowanego mechanizmu kształtowania ruchu rozszerzyliśmy model sieci optycznej opracowany w IITiS PAN [1] o implementację tego algorytmu. Model został napisany przy użyciu pakietu OMNeT++ [5]. Do badań wykorzystano topologię siatki 2-wymiarowej, uważaną za najbardziej wydajną dla sieci optycznej. W modelu wyróżniona jest część optyczna, związana z ruchem pakietów przez sieć i routowaniem, w której pakiety nie są buforowane, lecz w sposób synchroniczny przesyłane pomiędzy przełącznikami, oraz część elektroniczna, związana z generacją pakietów, które oczekują w kolejce na wprowadzenia do sieci. Algorytm przekazywania pakietów przychodzących do sieci został tak zmodyfikowany, aby uwzględnić możliwość wstrzymania wprowadzenia pakietu w zależności od wielkości średniej kroczącej obciążenia węzła. Dodano również do części oprogramowania odpowiadającej optycznej części przełącznika możliwość obliczania obciążenia węzła w każdym slocie czasu.

Symulacje wykonano dla sieci 10×10 , z pojedynczym, dwukierunkowym łączem pomiędzy przełącznikami. Pakiety były generowane z źródła o charakterze wykładniczym o tak dobranych parametrach, aby sieć cały czas była lekko przeciążona (więcej pakietów było generowanych niż opuszczało sieć). Liczbę defleksji, po jakiej pakiet wchodził na ścieżkę Eklera, ustalono na 20.

Podczas pierwszej serii badań sprawdziliśmy, że zgodnie z oczekiwaniami, włączenie opisywanego mechanizmu kształtowania ruchu powodowało zmniejszenie liczby pakietów

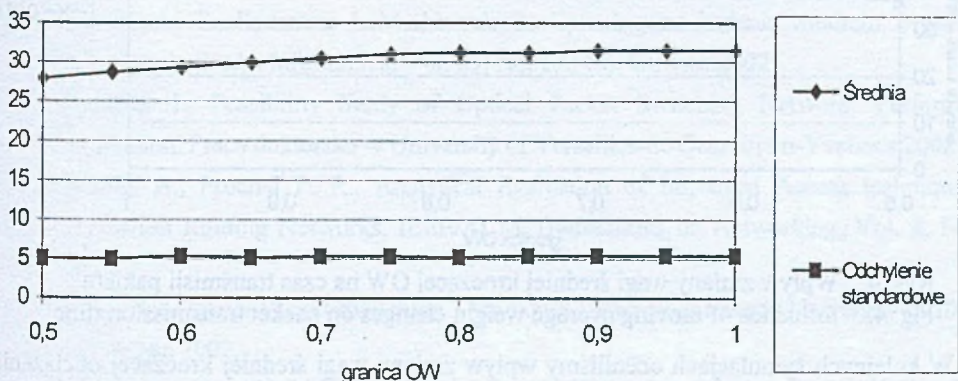
w sieci (rys. 1). Pomiary wykonano zmniejszając granicę obciążenia węzła, po przekroczeniu której blokowano wprowadzanie pakietów do sieci w węzle (oś X). Gdy ten parametr jest równy 1, opisywany mechanizm jest wyłączony.



Rys. 1. Liczba pakietów w sieci w slotcie czasu

Fig. 1. The number of packets within the network in a time slot

Wagę średniej kroczącej ustalono na 1/2. Wprowadzenie opisywanego mechanizmu powodowało niewielkie zmniejszenie średniej liczby pakietów opuszczających sieć w slotcie czasu, a tym samym przepustowości sieci (rys. 2), jednak znacznie zmniejszało średni czas transmisji pakietu ze względu na zmniejszenie liczby zachodzących defleksji (rys. 3).

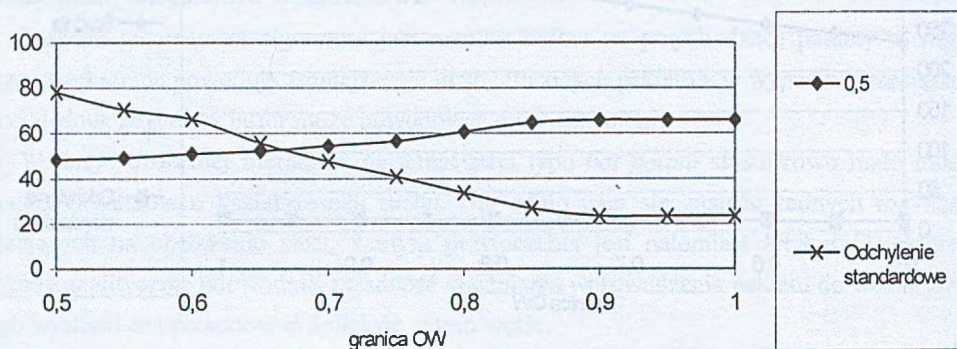


Rys. 2. Liczba pakietów opuszczających sieć w slotcie czasu

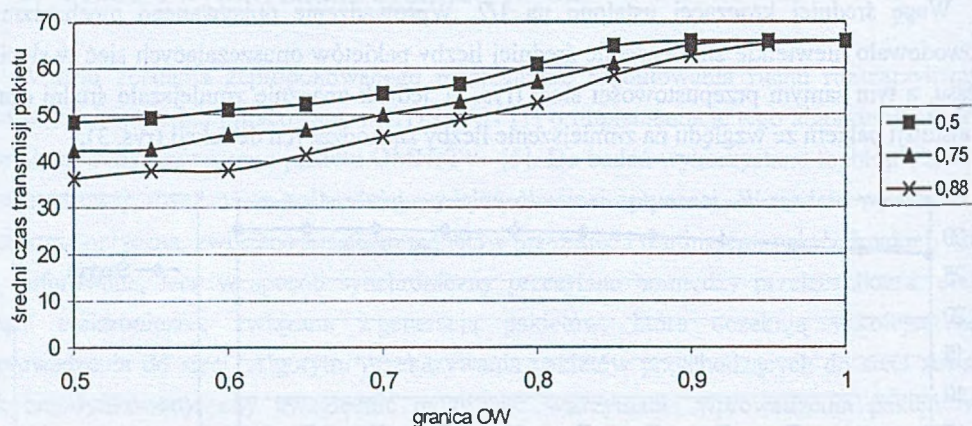
Fig. 2. The number of packets leaving the network in a time slot

Czasy transmisji prezentowane na wykresach uwzględniają zwiększony czas oczekiwania w buforze wejściowym przełącznika. Na rys. 3 widać, że zmniejszanie granicy obciążenia węzła powoduje zwiększenie odchylenia standardowego czasu transmisji pakietu. Wprowadzenie opisywanego algorytmu kształtowania ruchu umożliwia jednak zmniejszenie

średniego czasu transmisji o około 30% oraz praktycznie wyeliminowanie pakietów na ścieżce Eulera, ponieważ mniejsza liczba pakietów w sieci powoduje mniejszą liczbę defleksji. W przeprowadzonych symulacjach średnia liczba pakietów Eulerowskich spadała do poniżej 2 dla granicy OW równej 0,75, a po zmniejszeniu parametru do 0,6 obserwowano jedynie sporadyczne pojawianie się pojedynczych wystąpień takich pakietów.



Rys. 3. Czas transmisji pakietu
Fig. 3. Packet transmission time



Rys. 4. Wpływ zmiany wagi średniej kroczącej OW na czas transmisji pakietu
Fig. 4. Influence of moving average weight changes on packet transmission time

W kolejnych symulacjach oceniliśmy wpływ zmiany wagi średniej kroczącej obciążenia węzła na czas transmisji. Otrzymane wyniki są przedstawione na rys. 4. Zmiana wartości wagi nasilała obserwowane tendencje do zmniejszania średniego czasu transmisji, jednak również niekorzystnie wpływała na odchylenie standardowe tego czasu.

4. Podsumowanie i wnioski

Mechanizm kształtowania ruchu w sieciach czysto optycznych zaproponowany w tym artykule pozwala na zmniejszenie obciążenia sieci, bazując na założeniu, że jakość transmisji (QoS) może się zmienić, gdy przełączniki nie są do końca obciążone, a tym samym następuje mniej defleksji. Przedstawione wyniki badań symulacyjnych wykazują, że jego zastosowanie zmniejsza średni czas transmisji pakietu, jednak niekorzystnie wpływa na odchylenie standardowe tego czasu.

Prowadzone badania, zarówno w tej, jak i w innych pracach, dotyczyły równomiernego obciążenia wszystkich węzłów. Wydaje się jednak, że wprowadzenie zaproponowanych mechanizmów kontroli ruchu na wejściu powinno mieć duży wpływ na efektywność sieci w przypadku ruchu nierównomiernego, np. o charakterze multimedialnym (transmisje wideo). Wówczas w tych fragmentach sieci, poprzez które realizowana jest transmisja, dojdzie do zwiększenia obciążenia sieci (średnia krocząca wzrośnie), co w rezultacie zablokuje wprowadzanie nowych pakietów w tych węzłach, co z kolei pozwoli na szybkie rozładowanie nagłego wzrostu natężenia ruchu wywołanego tą transmisją. Symulacyjne badanie nierównomiernych obciążeń planowane jest w dalszych pracach.

LITERATURA

1. Czachórski T., Fourneau J. M., Nowak S.: Symulacyjne badania routingu w sieciach optycznych, *Studia Informatica*, Vol. 23, No. 2A(48), Gliwice 2002
2. Kotuliak I.: Feasibility Study of Optical Packet Switching Network: Performance Evaluation, Praca doktorska w University of Versailles-St-Quentin-en-Yvelines 2002.
3. Bononi A., Prucnal P. R., Analytical Evaluation of Improved Access techniques in Deflection Routing Networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 4, No. 5, 1996.
4. Picco W.: Optical Packet Switching Techniques, Praca doktorska w University of Illinois at Chicago 2002.
5. Varga A.: The OMNeT++ Discrete Event Simulation System, *Proceedings of the European Simulation Multiconference (ESM'2001)*, Praga 2001.

Recenzent: Dr inż. Andrzej Chydziański

Abstract

In the paper we discuss possibilities of extending the pure optical network schema by introducing traffic shaping mechanisms. In the first part the deflection routing algorithm with eulerian paths used in such networks is described. In the second chapter we introduce a measure of router load. Based on this value we propose a traffic shaping algorithm that delays insertion of an incoming packet into the network when the moving average of network node load is greater than a specified value. It allows to decrease number of packets in the network when the load is high, and decreases the number of deflections during packet's transmission.

To check influence of proposed algorithm on network traffic we wrote a model in OMNeT++ environment. The third chapter presents simulation results. The traffic shaping mechanism proposed in this article decreases the medium packet travel time, but increases standard deviation of this time. By changing the parameters of proposed algorithm user can make this influence more or less significant.

Adresy

Krzysztof GROCHLA: Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN, ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice, Polska, kgrochla@iitis.gliwice.pl

Sławomir NOWAK: Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN, ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice, Polska, emanuel@iitis.gliwice.pl