

Walenty ONISZCZUK

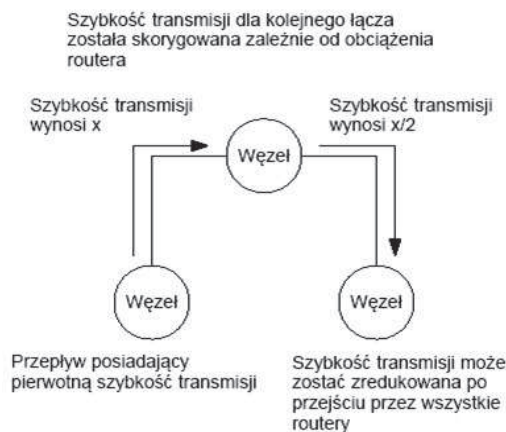
Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A,
E-mail: walenty@wi.pb.edu.pl

Symulator sieciowy do badania algorytmów protokołu TCP

1 Wstęp

Modelowanie protokołu TCP związane jest z rozwojem Internetu i rozpowszechnianiem się TCP jako dominującego protokołu transportowego. Protokół TCP/IP jest standardowym środkiem globalnej łączności internetowej, umożliwiającym komunikowanie się różnych lokalnych urządzeń oraz sieci. Protokół ten podlega ciągłej ewolucji, gdyż pojawiają się coraz to nowe problemy związane z jego wydajnością. Nieustannie ukazują się coraz to nowsze modele skupiające się na określonych aspektach protokołu lub opisujące jego działania w sposób bardziej ogólny [1-3]. Dążąc do przyspieszenia działania Internetu jako całości i poszukując nowych rozwiązań, należy tu odwołać się do modeli matematycznych opisujących jego działanie, a dokładniej do tworzenia symulatorów jego pracy. Takie symulatory, tworzone w oparciu o istniejące modele matematyczne protokołu TCP, umożliwiają badanie wpływu określonych parametrów wejściowych na działanie sieci jako całości.

2 Model przepływowy



Rys.1. Symulacja oparta na przepływach.
Fig.1. Fluid simulation

Modelowanie matematyczne protokołu TCP jest jedną z technik oceny ich wydajności, a co za tym idzie wydajności całej sieci TCP. Model taki powinien odwzorować procesy zachodzące w sieci, a więc: dynamikę okna i proces odrzucania pakietów. Wielkość okna, w czasie poprawnego dostarczania pakietów rośnie liniowo, zaś w przypadku utraty pakietów, zmniejszana dwukrotnie, itd. Proces utraty pakietów, z reguły modeluje się za pomocą teorii procesów stochastycznych, biorąc pod uwagę prawdopodobieństwo utraty pakietu lub modelując czas między kolejnymi odrzuceniami. Ta informacja jest podstawą działania algorytmów zmniejszania rozmiarów okna TCP.

Symulator przedstawiony w pracy opiera się na matematycznym modelu przedstawiającym ruch sieciowy, jako zbiór przepływów, a nie na odwzorowaniu ruchu pojedynczych pakietów (rys. 1). Przepływem nazywana jest grupa pakietów o jednakowych charakterystykach [4-6]. Pakiety te pochodzą z tego samego źródła, mają jednakowy rozmiar okna i przesyłane są do tego samego węzła.

Dla dowolnego węzła sieci (rutera), podstawowymi parametrami przepływów TCP są [4, 5]:

1. Opóźnienie podróży pakietu w obie strony RTT:

$$R(t) = d_p + \frac{q(t)}{C} \quad (1)$$

gdzie:

d_p – opóźnienie propagacji ścieżki połączenia,
 $q(t)$ – liczba pakietów przebywających w kolejce wzdłuż całej ścieżki,
 C – pojemność łącza.

2. Dynamika rozmiaru okna dla przepływu $W(t)$:

$$dW(t) = \frac{dt}{R(q(t))} - \frac{W(t)}{2} dN(t) \quad (2)$$

gdzie, $N(t)$ – liczba strat pakietów: proces Poissona z intensywnością $\lambda_i(t)$.

3. Dynamika liczby pakietów w kolejce $q(t)$:

$$\frac{dq(t)}{dt} = -C + \sum_{i=1}^L \frac{W_i(t)}{R_i(t)} \quad (3)$$

gdzie: L – liczba przepływów TCP przez ruter.

Procedury aktywnego zarządzania kolejkami: AQM (ang. *Active Queue Management*) posiadają następujące mechanizmy:

- prewencyjnego odrzucania pakietów,
- zwiększania prawdopodobieństwa odrzucenia wraz ze wzrostem przeciążenia.

Dla algorytmów wczesnej losowej detekcji RED (ang. *Random Early Detection*) prawdopodobieństwo $p(x)$ odrzucenia pakietu na podstawie długości kolejki x dane jest następującym wzorem:

$$p(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } 0 \leq x < \min \\ \frac{x - \min}{\max - \min} P_{drop} & \text{dla } \min \leq x \leq \max \\ 1 & \text{dla } x > \max \end{cases} \quad (4)$$

gdzie P_{drop} – prawdopodobieństwo odrzucenia pakietu.

Wyrażenia (1) – (4) zaimplementowano w symulatorze sieci TCP. Symulator sieciowy wykorzystuje, tzw. stochastyczny model przepływu, a równania różniczkowe reprezentujące modele matematyczne są rozwiązywane algorytmem Rungego-Kutty. Schemat blokowy symulatora pokazany jest na rys. 2.



Rys. 2. Algorytm procesu symulacji.

Fig. 2. Computer simulation algorithm.

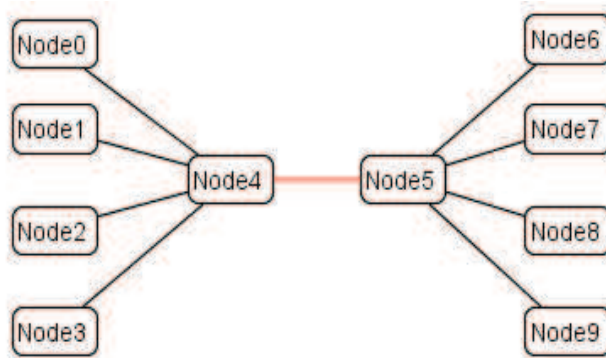
Symulator sieciowy został zaimplementowany w języku Java. Aby korzystać z aplikacji należy zainstalować wirtualną maszynę Javy, na przykład Version 6 Update 7. Aplikacja posiada możliwość śledzenia zmian następujących parametrów:

- a) przepływów: wielkość okna TCP, szybkość wysyłania pakietów, czas RTT,

- b) łączy: chwilowa długość kolejki, średnia długość kolejki, opóźnienie kolejkowania, prawdopodobieństwo odrzucenia pakietów, szybkość wysyłania pakietów.

3 Eksperymenty symulacyjne

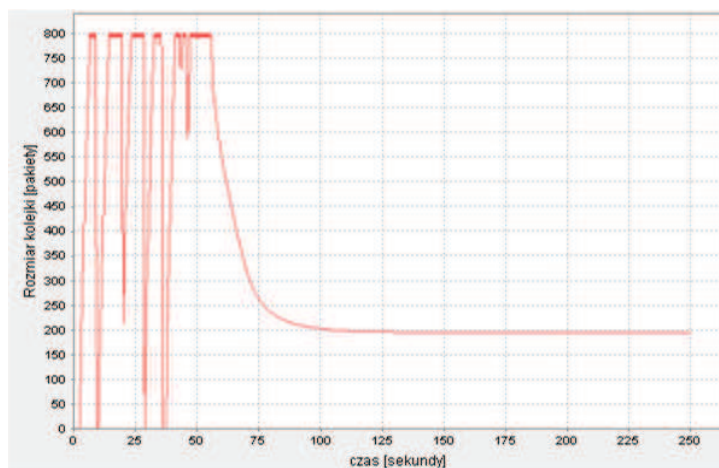
Topologia badanej sieci pokazana jest na rys. 3. W eksperymentach badano zachowanie pojedynczej kolejki będącej „wąskim gardłem” sieci, gdzie użyto algorytmu RED do odrzucania pakietów. Jest to łącze Node4 → Node5. Przepustowość tego łącza wybrano jako dziesięciokrotnie mniejszą niż pozostałych. W tym przypadku, na pozostałych nie będzie kolejkowania, a na eksperyment wpływ będzie miał tylko czas propagacji na tych łączach. Czas eksperymentu ustalono na 250 sekund, a symulację przeprowadzono z dokładnością do 2.5 ms.



Rys. 3. Uproszczona topologia sieci.

Fig. 3. Simple network topology.

Na rys. 4 pokazane są zmiany długości kolejki, jako funkcja czasu eksperymentu.

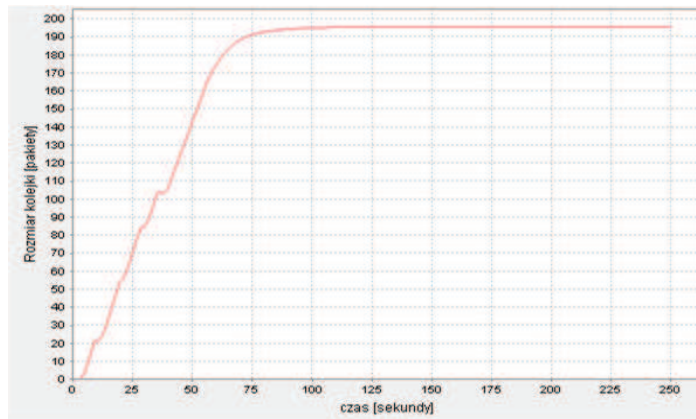


Rys. 4. Chwilowa długość kolejki.

Fig. 4. Instantaneous queue length.

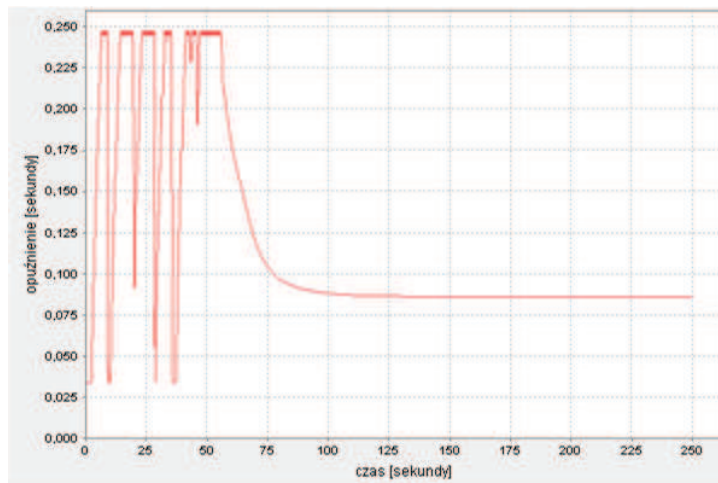
Z rysunku widać, że w początkowej fazie pracy występowały znaczne fluktuacje długości kolejki. Dochodziło tu momentami do całkowitego zapelnienia bufora, a po 60 sekundach długość kolejki zaczęła spadać aż do ustabilizowania się na poziomie 200 pakietów. Sieć przechodzi do stabilnej pracy dopiero po 125 sekundach.

Następny z rysunków pokazuje uśrednioną długość kolejki, gdzie na początku zaobserwować można ciągły jej wzrost do poziomu 196 pakietów. Nastąpiło to po ok. 100 sekundach. Dalej średnia kolejka ustabilizowała się, a początkowy stabilny wzrost związany był z jej chwilowymi fluktuacjami. Wartość średniej długości kolejki zmienia się zbyt powoli i przez to sieć reaguje na przeciążenia z dużym opóźnieniem. Jest to przyczyną zapelnienia bufora i odrzucania pakietów z prawdopodobieństwem równym 1, a w konsekwencji wstrzymaniem nadawania przez źródła.



Rys. 5. Średnia długość kolejki.

Fig. 5. Average queue length.



Rys. 6. Fluktuacje opóźnienia w kolejce.

Fig. 6. Queue delay jitter.

Na powyższym rysunku pokazane są opóźnienia generowane przez kolejkę. Tutaj minimalne opóźnienie wyniosło 34 ms, a maksymalne 245 ms. Jest to czas propagacji tego łącza. Po początkowych fluktuacjach, po około 125 sekundach, stabilizują się one na poziomie 85 ms.

Literatura

1. Altman E., Avrachenkov K., Barakat Ch.: *A stochastic model of TCP/IP with stationary random losses*. IEEE/ACM Transactions on Networking 13(2) (2005), pp. 356-369.

2. Floyd S., Jacobson V.: *Random early detection gateways for congestion avoidance*. IEEE/ACM Transactions on Networking 1(4) (1993), pp. 397-413.
3. Grzech A.: *Sterowanie ruchem w sieciach teleinformatycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2002.
4. Hassan M., Jain R.: *Wysoko wydajne sieci TCP/IP*. Helion Gliwice 2004.
5. Misra V., Gong W-B., Towsley D.: *Fluid-based analysis of a network of AQM routers supporting TCP flows with an application to RED*. ACM SIGCOMM: Computer Communication Review 30(4) (2000), pp. 151-160.
6. Misra V., Towsley D.F., Liu Y., Presti F.L., Gu Y.: *Scalable fluid models and simulations for large-scale IP networks*. ACM: Transaction on Modeling and Computer Simulation 14(3) (2004), pp. 305-324.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy modelowania sieci TCP/IP, oraz zagadnienia opisania ich dynamiki i przeciwdziałania ich przeciążeniom. Protokół TCP/IP jest standardowym środkiem globalnej łączności internetowej, umożliwiającym komunikowanie się różnych lokalnych urządzeń oraz sieci. Protokół ten podlega ciągłej ewolucji, gdyż pojawiają się coraz to nowe problemy związane z jego wydajnością. Rozwiązując aktualne problemy związane z wydajnością Internetu, należy tworzyć wyspecjalizowane modele matematyczne opisujące jego dynamikę i działanie (symulatory pracy). Takie symulatory, tworzone w oparciu o istniejące modele matematyczne protokołu TCP, umożliwiają badanie wpływu określonych parametrów wejściowych na działanie sieci jako całości.

TCP Network Protocols Simulator

Summary

Active queue management techniques have recently been proposed to both alleviate some congestion control problems for TCP/IP networks as well as provide some notation of quality of service. Modelling and analysis of such networks is important to understand their dynamics. While traditional discrete event simulations work well in general, even the most efficiently coded simulators suffer from the problem of scaling. In this paper, the author exploit fluid modelling to present a general methodology for the analysis of a network of routers supporting active queue management with TCP flows. In this simulator, the interactions of a set of TCP flows and Active Queue Management routers in a network are setting. As an application, the author models and solves a network where RED is the AQM policy. This simulator enables us to get an in-depth understanding of the RED algorithm.