

Monika M. NYCZ

Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

Tadeusz CZACHÓRSKI

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk

MODELOWANIE DYNAMIKI PRZESYŁÓW TCP/IP Z UWZGLĘDNIENIEM MECHANIZMU RED¹

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki modelowania wybranych scenariuszy współczesnych sieci komputerowych. W badaniach zastosowano model matematyczny aproksymacji *fluid flow*, opisujący wpływ zmiennego w czasie natężenia ruchu pakietów na przełączniki sieciowe i generowanie strat pakietowych, zgodnie z założeniami mechanizmu RED stosowanego w routerach. Przeprowadzone doświadczenia obejmowały wpływ początkowych ustawień parametrów na zachowanie układu.

Słowa kluczowe: modelowanie, aproksymacja fluid flow, RED, AIMD, sieci komputerowe

MODELLING OF DYNAMICS OF TCP/IP TRANSMISSIONS WITH THE RED MECHANISM

Summary. The paper presents the results of modeling of selected modern computer networks scenarios. The study used a mathematical model of fluid flow approximation, describing the effects of time varying packet traffic on the network switches and packet loss generation by the assumptions of the RED mechanism used in routers. The carried out experiments included the influence of the parameters initial settings on the behavior of a whole system.

Keywords: modeling, fluid flow approximation, RED, AIMD, computer networks

¹ Praca finansowana przez projekt MNiSzW 4796/B/T02/2011/40 Modele dynamiki transmisji, sterowania zatłoczeniem i jakością usług w Internecie.

1. Wstęp

Współczesne sieci komputerowe, łączące ze sobą urządzenia rozmieszczone na znacznym terenie, aby sprostać wciąż rosnącym wymaganiom jej użytkowników, muszą zapewniać wysoki poziom jakości świadczonych usług. Dla sieci pakietowych jakość usług zależy nie tylko od parametrów fizycznych łącza, ale także od stosowanych w węzłach sieci, mechanizmów regulacji natężenia transmisji. Podstawowym problemem takich sieci okazują się niedoszacowania w doborze parametrów sprzętu pośredniczącego w transmisji, co czyni poszczególne punkty sieci podatnymi na negatywne zjawiska, m.in. „wąskiego gardła”.

Praca ma na celu przedstawienie wyników analizy wpływu początkowych konfiguracji routerów w wybranej topologii sieciowej na zachowanie sieci, pracującej pod kontrolą protokołu TCP/IP, z uwzględnieniem mechanizmu aktywnego przeciwdziałania przeciążeniom w węzłach. Główny nacisk w niniejszym opracowaniu został położony na modyfikacje startowego rozmiaru okna przeciążenia dla przypadku pojedynczego przełącznika oraz zmiany parametru natężenia strumienia wyjściowego w przypadku wyselekcjonowanej struktury sieciowej. Badania nad pozostałymi parametrami wejściowymi zostały zebrane m.in. w [4]. Praca wykorzystuje dobrze znaną w literaturze aproksymację ciągłą, opisaną w następnym podrozdziale. Inne możliwe sposoby opisu stanów nieustalonych w sieci – symulacja zdarzeń dyskretnych, aproksymacja dyfuzyjna, łańcuchy Markowa o bardzo wielkiej przestrzeni stanów są znacznie bardziej złożone, jeśli chodzi o opis matematyczny, czas obliczeń, niezbędną pamięć, czas programowania i trudno je stosować w przypadku dużych konfiguracji sieciowych, dla których opisywany model i oprogramowanie są przeznaczone. Dyskusję zalet i ograniczeń tych metod zawiera m.in. [5].

2. Model matematyczny aproksymacji *fluid flow*

Model matematyczny sieci w aproksymacji *fluid flow* bazuje na zależnych od siebie równaniach różniczkowych zwyczajnych pierwszego rzędu. Każde z równań odpowiada jednej z poszukiwanych niewiadomych. Niniejszy podrozdział został opracowany na podstawie publikacji [1, 2, 3].

2.1. Model pojedynczego węzła sieciowego

Każdy analizowany w modelu router v posiada bufor q_v o maksymalnej pojemności B_v pakietów lub bitów oraz natężenie strumienia wyjściowego C_v , wyrażane w pakietach na sekundę lub bitach na sekundę. Ponadto, każdy router posiada zaimplementowany algorytm

aktywnego zarządzania kolejkami (AQM, ang. *Active Queue Management*), charakteryzującą się funkcją prawdopodobieństwa odrzucenia pakietów $p_v(x_v)$. Argumentem tej funkcji jest x_v , średnia krocząca długości kolejki routera v , określona w równaniu (6). Przyjmujemy dalej, że jednostką transmisji danych jest pakiet. Jako jeden z najbardziej popularnych mechanizmów AQM, w modelu został wybrany RED (algorytm wczesnej losowej detekcji). Jego funkcja prawdopodobieństwa jest dana wzorem (1).

$$p_v(x_v) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x_v < t_{min_v} \\ \frac{x_v - t_{min_v}}{t_{max_v} - t_{min_v}} p_{max_v}, & t_{min_v} \leq x_v < t_{max_v} \\ 1, & t_{max_v} \leq x_v \leq B_v \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

t_{min} , t_{max} – wartości progowe mechanizmu,

p_{max} – prawdopodobieństwo odrzucenia pakietu na poziomie t_{max} .

Parametry t_{min} , t_{max} , p_{max} są konfigurowalne i mogą być różne dla każdego węzła v .

Pojedynczy router umożliwia także przyjmowanie ruchu z N przepływów TCP (ang. *TCP flows*). Każdy przepływ i , ($i = 1, \dots, N$) jest określony przez zmienny w czasie rozmiar okna przeciążenia W_i , wyrażony w pakietach oraz stałą wartość opóźnienia propagacyjnego Tp_i w ramach całej ścieżki połączenia. Opóźnienie propagacji, wraz z opóźnieniem kolejkowym, składa się na całkowite opóźnienie podróży pakietu w obie strony, które dla i -tego przepływu wyraża wzór (2).

$$R_i(q_v(t)) = \frac{q_v(t)}{C_v} + Tp_i \quad (2)$$

gdzie:

$q_v(t)$ – aktualna długość kolejki routera v ,

C_v – współczynnik intensywności czasu obsługi routera v ,

Tp_i – opóźnienie propagacyjne na i -tej ścieżce.

Ostateczna postać dynamiki okna przeciążenia przepływu i jest zdefiniowana za pomocą równania różniczkowego (3) [2]. Zgodnie z nim, okno przyrasta liniowo o „jeden”, co każdy czas RTT oraz wielokrotnie zmniejsza się przy wykryciu każdej utraty pakietu (algorytm AIMD). Pierwszy człon prawej strony równania (3) odpowiada części addytywnego zwiększania. Część wielokrotnego zmniejszania reprezentuje zaś drugi człon równania.

$$\frac{dW_i(t)}{dt} = \frac{1}{R_i(q(t))} - \frac{W_i(t)}{2} \cdot \underbrace{\frac{W_i(t-\tau)}{R_i(q(t-\tau))}}_{\lambda_i(t)} \cdot p(x(t-\tau)) \quad (3)$$

Powyższe równanie uzyskano stosując odpowiednie przybliżenia i przekształcenia podstawowego równania dynamiki okna [2]. Przytoczony w nim współczynnik $\lambda_i(t)$ wyraża

wskaźnik strat odebranych przez źródło w czasie t . Jednakże nadawca pakietu dowiaduje się o powstawaniu strat w routerach sieci z pewnym opóźnieniem czasowym τ . Jest to czas, w którym informacja o utracie pakietu propaguje się przez połączenie, czyli po prostu wartość RTT z czasu t_{old} . Stąd też aktualny czas może zostać wyrażony równaniem (4).

$$\begin{aligned} t &= t_{old} + R_i(q(t_{old})) \\ t_{old} &= t - \tau \end{aligned} \quad (4)$$

Upraszczając zapis równania (3) oraz przedstawiając parametr τ jako wartość czasu RTT z momentu, w którym nastąpiła strata, różniczkę rozmiaru okna można przestawić jako zależność (5):

$$\frac{dW_i(t)}{dt} = \frac{1}{R_i(t)} - \frac{W_i(t)}{2} \cdot \frac{W_i(t - R_i)}{R_i(t - R_i)} \cdot p(t - R_i) \quad (5)$$

Zawarte w powyższych wzorach prawdopodobieństwo odrzucenia pakietu $p(x(t))$ przez mechanizm AQM routera jest wyznaczane na podstawie uśrednionej długości kolejki według wzoru (6).

$$x_v(k\delta) = (1 - \alpha_v) \cdot x_v((k-1)\delta) + \alpha_v q_v(k\delta) \quad (6)$$

gdzie:

- α – parametr wagi, określający procentowy udział kolejki aktualnej q ,
- $x(t)$ – uśredniona długość kolejki, tzw. kolejka krocząca routera v ,
- $q(t)$ – aktualna długość kolejki routera v ,
- δ – kwant czasu, z jakim obliczamy średnią kroczącą.

Model dopełnia równanie różniczkowe, definiujące długość aktualnej kolejki dla pojedynczego routera, z uwzględnieniem N przepływów przez niego przepływających. Pierwszy człon równania (7) określa przyrost kolejki poprzez natężenie strumienia wejściowego, liczonego jako suma przepustowości każdego z przepływów. Drugi człon modeluje spadek długości kolejki, wywołany obsługą pakietów. Uwzględnianie natężenia strumienia wyjściowego (C_v) ma jedynie sens, jeśli kolejka nie jest pusta, dlatego też drugi człon równania (7) jest opatrzony warunkiem $\mathbf{1}(q_v(t) > 0)$. Wspomniane zastrzeżenie przyjmuje wartość „jeden”, kiedy predykat jest prawdziwy oraz wartość „zero” w przeciwnym przypadku.

$$\frac{dq_v(t)}{dt} = \sum_{i=1}^N \frac{W_i(t)}{R_i(q_v(t))} - \mathbf{1}(q_v(t) > 0) \cdot C_v \quad (7)$$

2.2. Model sieci węzłów

Rozszerzenie modelu na przypadek sieciowy wprowadza pewne zmiany do modelu sieci V , która jest skonstruowana z K routerów. Kolejki wszystkich routerów sieci zostały zebrane w wektory \mathbf{Q} i \mathbf{X} , a prawdopodobieństwa odrzucenia pakietów poszczególnych routerów

zostały zapisane w wektorze $\mathbf{P}(\mathbf{x})$. Struktura sieci V jest wyrażana poprzez binarną macierz A , której wiersze odpowiadają poszczególnym przepływowi TCP, a kolumny reprezentują pojedyncze węzły sieci. Jeśli dany przepływ i podróżuje przez konkretny węzeł sieci k , wartość elementu a_{ik} jest ustalana na „jeden”, w przeciwnym przypadku komórka ma wartość „zero”.

Na podstawie macierzy A i wektora $\mathbf{P}(\mathbf{x})$ tworzy się macierz AP według pomysłu z [1]. Wiersze macierzy AP powstają poprzez wymnożenie odpowiadających sobie elementów wektora \mathbf{P} i pojedynczych wierszy macierzy A .

Macierz AP jest wykorzystywana do obliczania łącznego prawdopodobieństwa utraty pakietu dla całego przepływu. Każdy wiersz macierzy określa poszczególne prawdopodobieństwa w routerach na trasie. W celu wyznaczenia łącznego prawdopodobieństwa należy wyznaczyć wszystkie możliwe kombinacje odrzucenia pakietu na trasie od źródła do celu. W zastępstwie wylicza się prawdopodobieństwo sukcesu, czyli pomyślnego przejścia pakietu przez wszystkie węzły ścieżki. Prawdopodobieństwo łączne zastępuje w równaniu (3) prawdopodobieństwo pojedynczego węzła. Dynamikę okna dla przypadku sieci wyraża zatem wzór (8).

$$\frac{dW_i(t)}{dt} = \frac{1}{R_i(q(t))} - \frac{W_i(t)}{2} \cdot \frac{W_i(t - R_i)}{R_i(q(t - R_i))} \cdot (1 - \prod (1 - AP(x)_i)) \quad (8)$$

Równania określające aktualną długość kolejki poszczególnego routera q_v oraz długość kolejki kroczącej x_v pozostają bez zmian. Modyfikacji podlega natomiast sposób szacowania czasu obiegu pakietu w obie strony.

Zakładając, że V_i jest uporządkowanym zbiorem połączeń (ang. *links*) między węzłami, jakie przebywają pakiety i -tego przepływu, uogólniony na wzór (2), dla i -tego połączenia przyjmuje postać:

$$R_i(q(t)) = \sum_{v \in V_i} \frac{q_v(t)}{C_v} + Tp_i \quad (9)$$

Sposób wyznaczania kolejek poszczególnych węzłów dla modelu sieciowego w stosunku do modelu pojedynczego węzła nie ulega zmianie. Należy jednak pamiętać, aby w obliczeniach kolejki w przypadku sieci uwzględniać jedynie te połączenia, które przepływają przez badany router.

Analiza rozmiarów okien wszystkich przepływów, jak i ich czasów RTT w sieciach rozległych może być stosunkowo uciążliwa. Na ogół analizy wydajnościowe sieci opiera się na przepustowości przepływu:

$$X_i(t) = \frac{W_i(t)}{R_i(t)} \quad (10)$$

3. Rezultaty obliczeń

Zaimplementowane narzędzie programowe, działające zgodnie z opisanym w poprzednim punkcie modelem [1, 2], posłużyło do przeprowadzenia serii eksperymentów, ukazujących wpływ poszczególnych parametrów modelu na funkcjonowanie mechanizmów przeciwdziałania przeciążeniom w sieci.

Badania zostały podzielone na dwa etapy. Pierwszy – obejmował analizę parametrów wejściowych modelu w odniesieniu do pojedynczego węzła sieciowego, drugi zaś prezentował wybrane problemy w sieci routerów. W niniejszej publikacji zaprezentowano po wybranym przykładzie z każdego etapu.

3.1. Analiza pojedynczego węzła

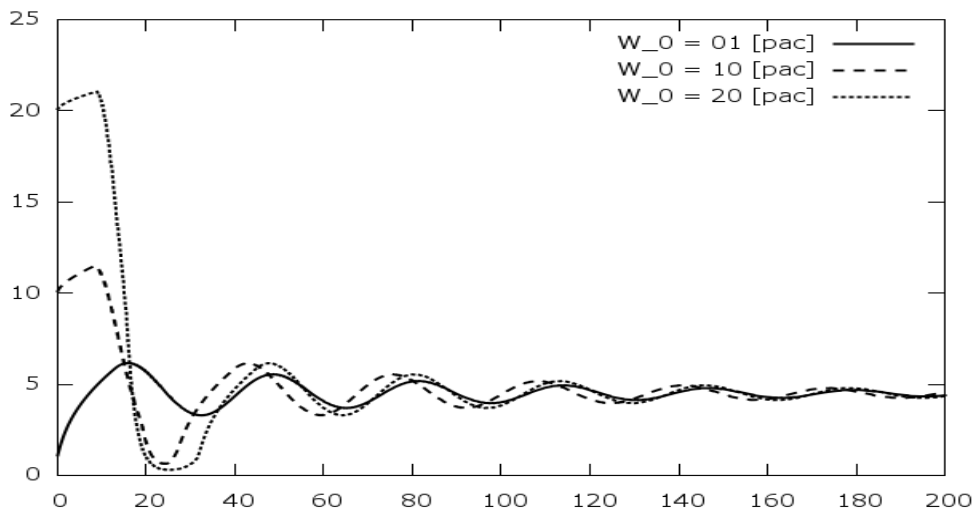
Prezentowany przykład miał na celu określenie znaczenia początkowej wartości rozmiaru okna przeciążenia (W_i) w modelu pojedynczego routera. Określanie wpływu badanego parametru polegało na wielokrotnym wykonywaniu obliczeń dla różnych jego wartości początkowych. Na wykresach zostały przedstawione wyniki dla wybranych trzech wartości startowych okna przeciążenia pojedynczego przepływu. Konfiguracja poszczególnych parametrów testowanego węzła została zebrana w tabeli 1.

Tabela 1

Konfiguracja parametrów wejściowych dla przykładu pojedynczego węzła

Parametry ogólne		Parametry RED		Parametry węzła		Parametry przepływu	
N	1	T_{max}	7.5 pac	B	15 pac	W	1; 10; 20 pac
K	1	T_{min}	2.5 pac	Q	0 pac	T_p	1 s
$Step$	0.1 s	P_{max}	0.5	C	1 pac/s		
$SimT$	200 s	α	0.05				

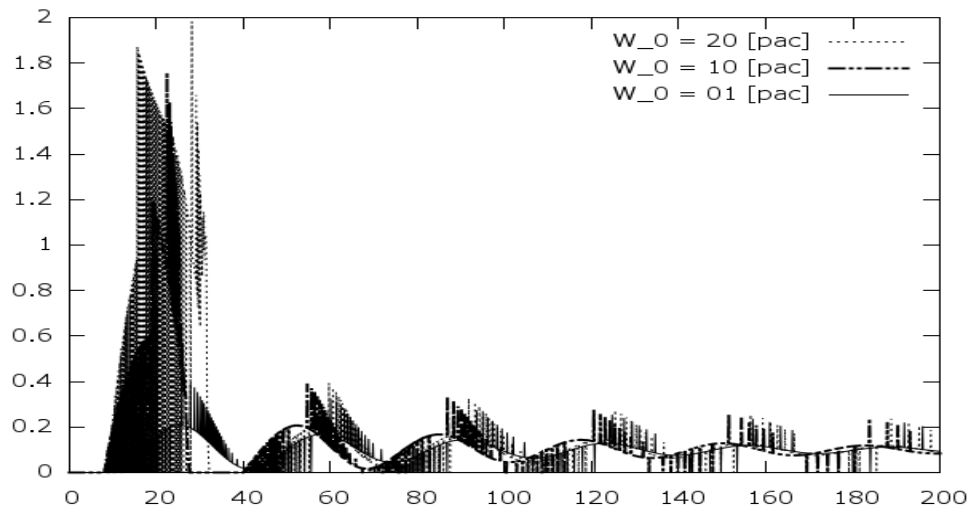
Zmiana początkowej wartości okna (rys. 1) w tym przypadku wpływa jedynie na minimalną i maksymalną amplitudę rozmiaru okna przeciążenia. Co więcej, każda z wykreślonych charakterystyk układu dąży do stanu ustalonego, określonego na jednakowym poziomie.



Rys. 1. Zmiana rozmiaru okna przeciążenia przy uwzględnieniu jego różnych wartości początkowych

Fig. 1. The change of congestion window size for its different initial values

Zmiany wartości rozmiaru okna przeciążenia wpływają bezpośrednio na sumaryczną wartość współczynnika utraconych pakietów identyfikowanych przez stronę nadającą. Wzrost startowego rozmiaru okna pociąga za sobą wzmożoną pracę mechanizmu prewencyjnego odrzucania pakietów w początkowej fazie modelowania, skutkiem czego jest wyższa wartość współczynnika strat (rys. 2). Upływ czasu powoduje jednak, że straty, podobnie jak w przypadku okna, ustalają się na zbliżonym poziomie.



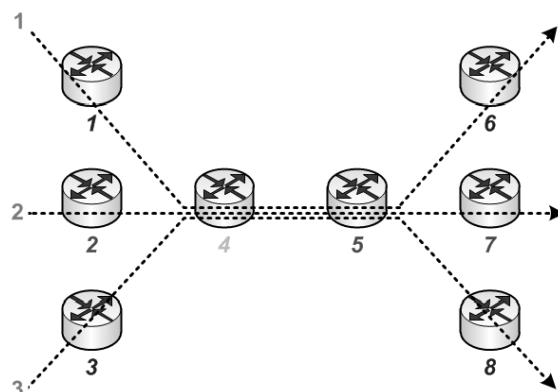
Rys. 2. Wpływ wartości początkowych rozmiaru okna przeciążenia na wartości współczynnika strat wykrywanego przez nadawcę

Fig. 2. The influence of initial congestion window size values on the loss coefficient detected by the sender

W obu sytuacjach (rys. 1 i rys. 2) różnice w wychyleniach wykresów są względnie szybko niwelowane.

3.2. Analiza sieci węzłów

Spośród przetestowanych scenariuszy sieciowych został wybrany przykład obrazujący wpływ topologii i doboru parametru intensywności czasu obsługi na wydajność pracy sieci (rys. 3), zbudowanej przy wykorzystaniu ośmiu routerów o różnych parametrach.



Rys. 3. Schemat badanej sieci

Fig. 3. Scheme of tested network

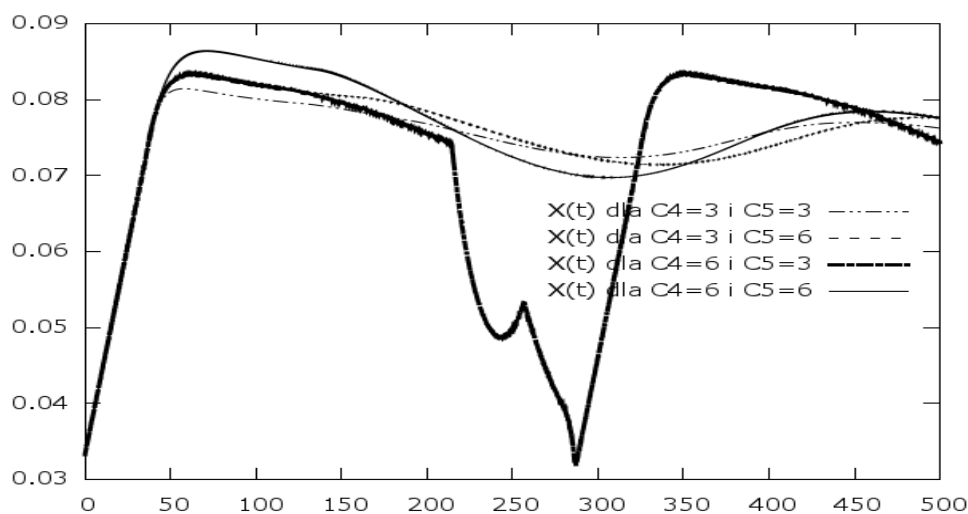
Pakiety w sieci są przesyłane w ramach trzech klas połączeń o identycznych własnościach, ale odmiennych trasach przebiegu. Klasa pierwsza i trzecia zawierają po 10 przepływów, zaś klasa druga – 20 przepływów. Konfiguracja poszczególnych elementów sieci została przedstawiona w tab. 2.

Tabela 2

Konfiguracja parametrów wejściowych sieci

Parametry węzłów									
Nr węzła	1	2	3	4	5	6	7	8	
B	30	60	30	150	60	30	60	30	[pac]
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	[pac]
C	0.75	1.5	0.75	3	3	0.75	1.5	0.75	[pac/s]
Parametry RED									
Nr węzła	1	2	3	4	5	6	7	8	
T_{max}	15	30	15	75	30	15	30	15	[pac]
T_{min}	5	10	5	25	10	5	10	5	[pac]
P_{max}	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	[-]
a	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	[-]
Parametry ogólne					Parametry przepływów				
N	40	[-]	$Step$	0.1	[s]	W	1	[pac]	
K	8	[-]	$SimT$	500	[s]	T_p	30	[s]	

W tak skonstruowanej sieci kluczowym problemem jest podatność środkowych punktów pośredniczących w transmisji na zjawisko tzw. „wąskiego gardła”. Wynika to w dużej mierze z definicji tras połączeń przesyłowych pakietów, z których wszystkie przechodzą przez oba środkowe węzły. Badania obejmowały zatem próby udrożnienia zwężenia sieci, w celu uzyskania poprawy przepustowości i lepszego wykorzystania pozostałych zasobów sieciowych.



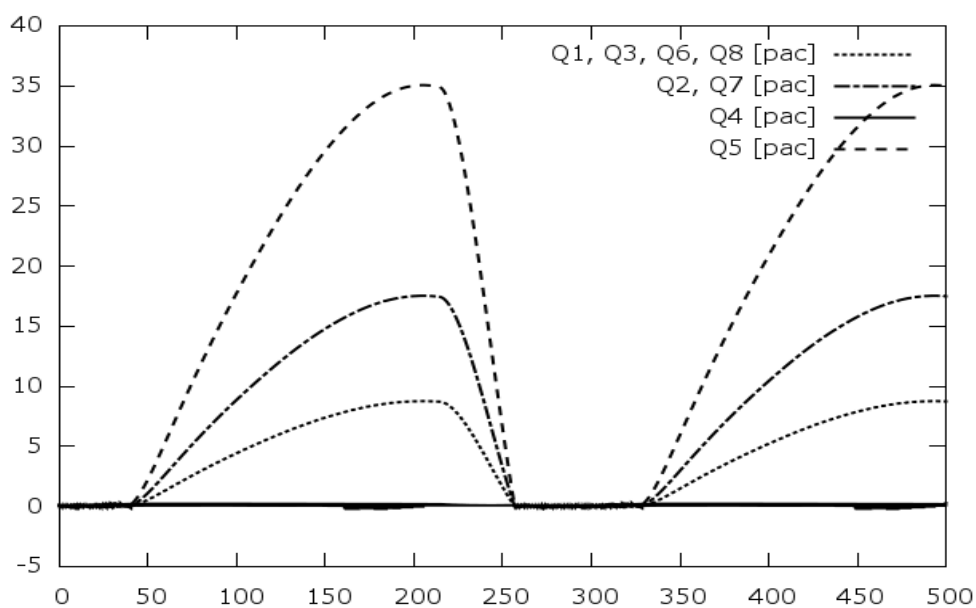
Rys. 4. Porównanie przepustowości X przepływów klas 1-3 dla różnych parametrów C_4 i C_5
 Fig. 4. The comparison of flow throughputs of classes 1-3 for different C_4 and C_5 parameters

Obliczenia modelowe przeprowadzono dla różnych parametrów C węzłów 4. i 5. Uzyskane wyniki zebrano w zestawieniu (rys. 4), przedstawiające przepustowości dla różnych wartości wspomnianego parametru.

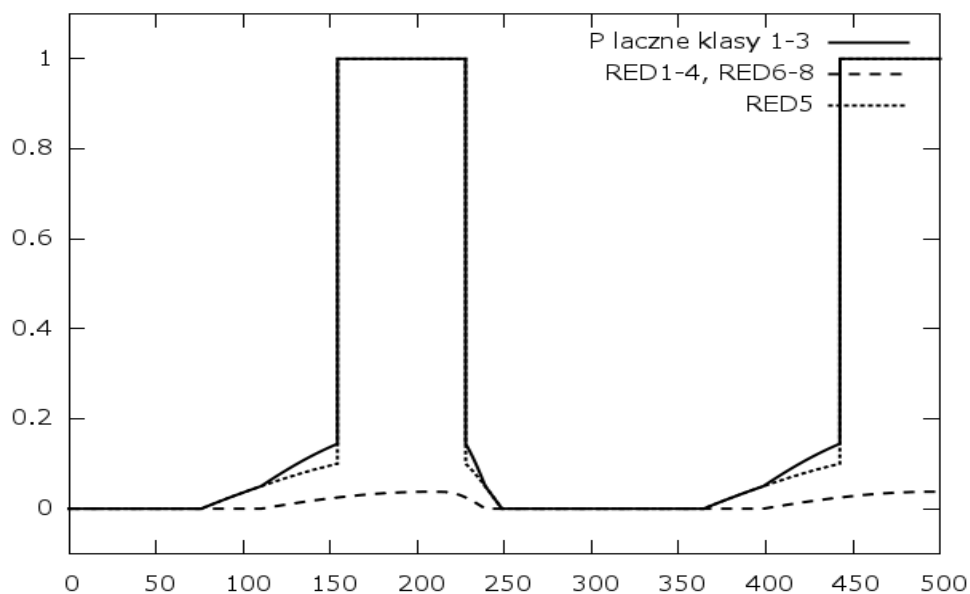
Początkowo wartość intensywności obsługi została określona na poziomie 3 pac/s dla obu węzłów. W kolejnych próbach dwukrotnie zwiększano intensywność strumienia wyjściowego dla routerów: piątego, czwartego oraz obu naraz w podanej kolejności. Dla trzeciego przypadku ($C_4 = 6$, $C_5 = 3$) uzyskano niespodziewane rezultaty. Zaobserwowano nagły i gwałtowny spadek przepustowości, powodując tym samym w przedziale czasowym (175; 325) pogorszenie przepustowości przepływów w stosunku do pierwotnej sytuacji. Przypadek uwiarydocił zatem podstawowy problem w tak (rys. 3) skonstruowanej sieci – podatność środkowych węzłów na zjawisko „wąskiego gardła” i właśnie pod tym kątem został poddany dalszej analizie. W pozostałych przypadkach intensyfikacja szybkości obsługi węzłów 4. i 5. powodowała wzrost średniej przepustowości. Największą jej wartość udało się uzyskać podczas polepszenia parametrów C obu węzłów.

Częściową odpowiedź na pytanie, dlaczego dla trzeciego z przypadków nastąpiło „załamanie przepustowości”, niesie już sama analiza wykresów kolejek w poszczególnych punktach sieci (rys. 5) oraz zestawienie prawdopodobieństw strat (rys. 6).

Zależności wykreślone na rys. 5 wykazują zbyt agresywny przyrost kolejki 5. routera (Q_5). Jest to wynikiem wzmoczonego przekazywania pakietów we wszystkich przepływach, od 4. węzła, który obsługuje przychodzące pakiety tak szybko, że nie ma konieczności ich buforowania – jego kolejka jest praktycznie zerowa. Niestety, powoduje to także natychmiastowy wzrost kolejki Q_5 do tego stopnia, że po pewnym okresie czasu poziom progu maksymalnego RED'a w węźle zostaje przekroczony i zostaje uruchomiony mechanizm całkowitego odrzucania pakietów, dzięki czemu kolejka stosunkowo szybko redukuje swoją zawartość.



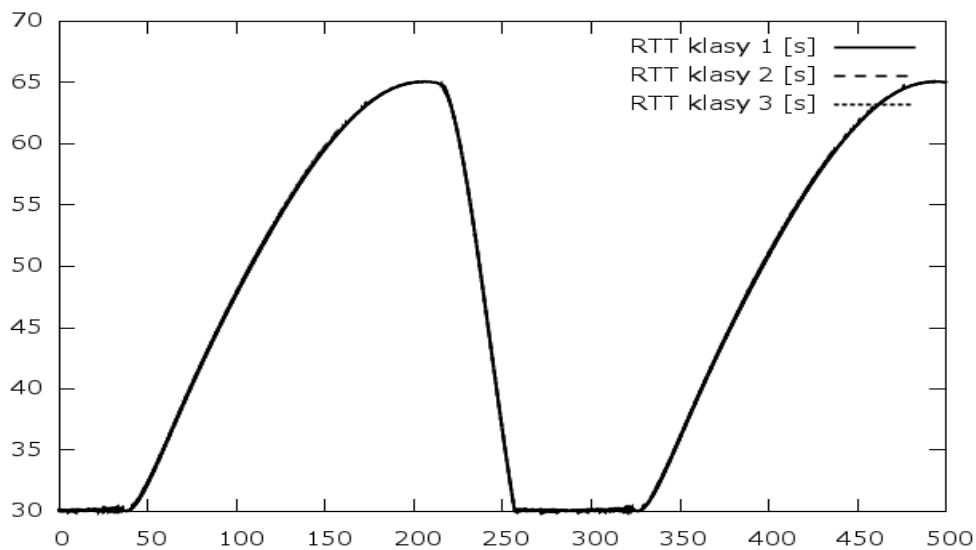
Rys. 5. Zestawienie długości kolejek węzłów sieci dla parametrów $C_4=6$ i $C_5=3$
 Fig. 5. The summary of network nodes queue lengths for parameters $C_4=6$ and $C_5=3$



Rys. 6. Zestawienie prawdopodobieństw strat w węzłach i klasach przepływów sieci dla parametrów $C_4=6$ i $C_5=3$

Fig. 6. The summary of drop probabilities in nodes and flow classes for parameters $C_4=6$ and $C_5=3$

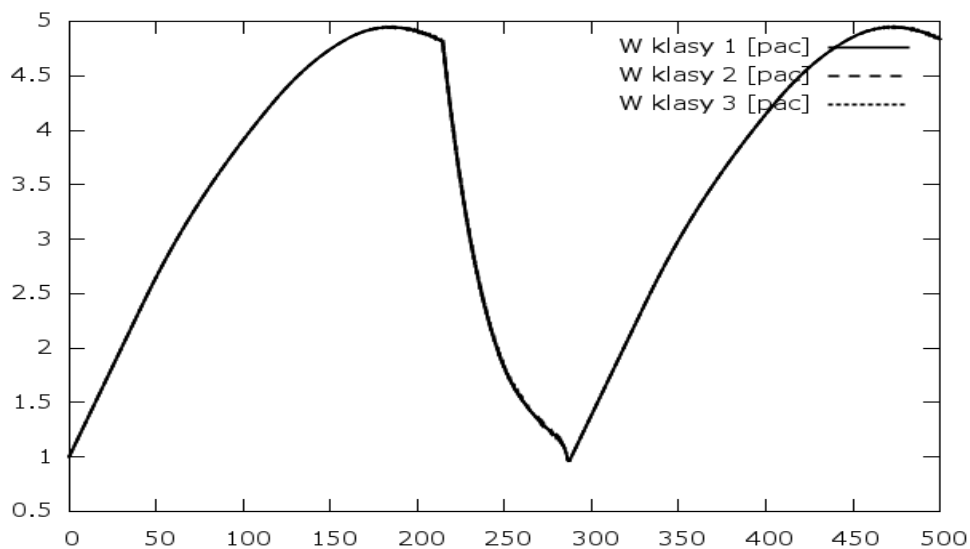
Występowanie odrzucenia wszystkich nowo przybyłych do 5. stacji pakietów potwierdza rys. 6 – prawdopodobieństwo 5. routera w stanie całkowitego przeciążenia wynosi 1. Należy także wspomnieć, że prawdopodobieństwo strat w ramach całego przepływu właściwie pokrywa się z prawdopodobieństwem strat w węzle 5. Niewielka różnica, powstała wskutek występowania strat w pozostałych węzłach, jest widoczna tylko w małych przedziałach czasu.



Rys. 7. Zestawienie czasów RTT poszczególnych klas przepływów w sieci dla parametrów $C_4=6$ i $C_5=3$

Fig. 7. The overview of the RTT time of each network flow classes for parameters $C_4=6$ and $C_5=3$

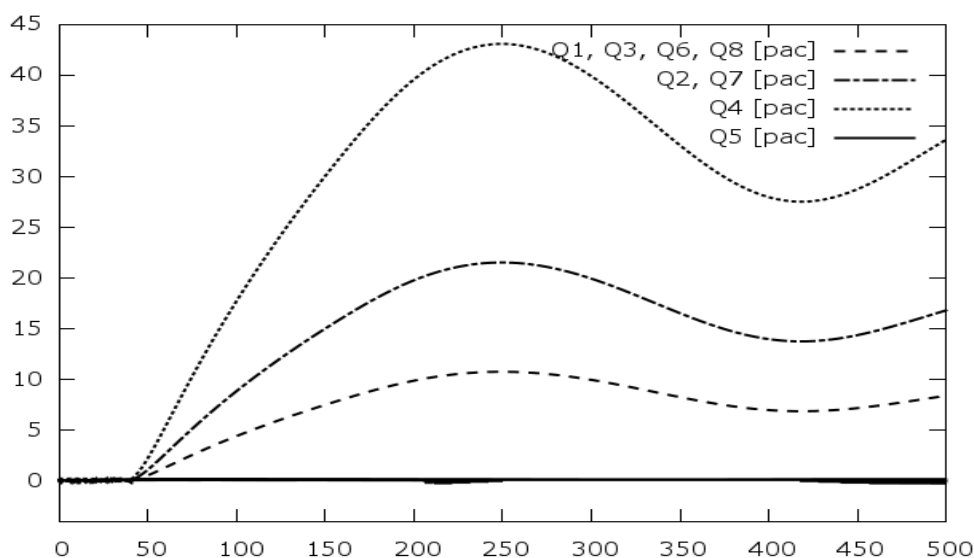
Krótki czas reakcji sieci na przeciążenie jest konsekwencją stosunkowo niedużych czasów obiegu pakietu między punktami docelowymi (rys. 7), dzięki czemu źródło dowiaduje się o stanie sieci wystarczająco szybko, aby móc zareagować zmniejszeniem swojego okna przeciążenia (rys. 8). W najgorszym przypadku okno jest obniżone do poziomu pojedynczego pakietu. Uwzględniając dodatkowo nieznaczne wartości czasów RTT, także zredukowane podczas zidentyfikowania strat, „załamanie” przepustowości okazuje się jak najbardziej oczekiwanym efektem.



Rys. 8. Zestawienie rozmiarów okien poszczególnych klas przepływów w sieci dla parametrów $C_4=6$ i $C_5=3$

Fig. 8. The summary of window sizes of each network flow classes for parameters $C_4=6$ and $C_5=3$

Analizując raz jeszcze rys. 4, zastanawiający może być brak występowania „załamania” przepustowości dla drugiej próby poprawy parametru obsługi ($C_4=3$, $C_5=6$). Główną rolę odgrywa tutaj przede wszystkim konfiguracja i położenie środkowych routerów. Mianowicie, „wolniejszy”, z perspektywy parametru C , węzeł 4. jest zlokalizowany przed „szybszym” węzłem 5., przez co przeciążenie obejmuje w pierwszej kolejności, w przeciwieństwie do trzeciej próby, węzeł „wolniejszy”. Posiada on jednak znacznie większy bufor niż węzeł 5., a zatem ma ustawione wyższe progi algorytmu RED, dzięki czemu będzie w stanie wytrzymać obciążenie (rys. 9), generując tylko niewielki odsetek strat.



Rys. 9. Zestawienie długości kolejek węzłów sieci dla parametrów $C_4=3$ i $C_5=6$
 Fig. 9. The summary of network nodes queue lengths for parameters $C_4=3$ and $C_5=6$

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazały jednoznaczny wpływ konstrukcji topologii sieciowej oraz przebiegu tras strumieni pakietów na wydajność pracy sieci oraz występowanie w strukturze tzw. „wąskich gardeł”. Za drożność ścieżki odpowiada także odpowiednia konfiguracja parametrów punktów sieci, w tym badanego w pracy parametru intensywności czasu obsługi. Nie mniej jednak niewłaściwe zwiększenie jego wartości może spowodować znaczące pogorszenie przepustowości przepływów sieciowych.

Analiza uzyskanych wyników wykazała także, że istotny wzrost rozmiaru bufora pakietowego routera może pełnić rolę mechanizmu wspomagającego proces przeciwdziałania przeciążeniom w węzle. Może także prowadzić do częściowego spadku jakości świadczonych usług w sieciach, w których kluczowym parametrem jest opóźnienie kolejkowe na trasie pakietów. W takich przypadkach buforowanie pakietów nie jest pożądanym efektem – istotne jest, aby

pakiet dotarł do celu jak najszybciej. W standardowych przypadkach może jednak stwierdzić, że dobrym rozwiązaniem jest ustalanie dla wolniejszych w obsłudze routerach, większych wartości maksymalnej długości kolejki.

Początkowe ustawienia rozmiaru okna przepływu z kolei nie wykazują zbytniego wpływu, w badanej sytuacji, na późniejszą postać charakterystyk w sieci. Oddziałują one jedynie w pierwotnym odcinku czasu na pozostałe wielkości modelu.

Zastosowanie w punktach sieci algorytmu RED usprawnia działanie całości układu. W wielu sytuacjach pozwala stosunkowo wcześniej wychwycić potencjalne zagrożenie przepelnienia buforów na trasie przepływu. Łącząc go z niewielkimi czasami obiegu pakietu, uzyskuje się spójny mechanizm szybkiego informowania źródła o aktualnym i prognozowanym stanie sieci.

Narzędzie wykorzystane w badaniach przedstawionych w bieżącym rozdziale można wykorzystać do analizowania mechanizmów protokołu TCP oraz aktywnego sterowania połączeniami. Duże możliwości konfiguracyjne pozwalają także na wykorzystanie aplikacji do badania zachowania protokołu w ściśle określonych przypadkach.

BIBLIOGRAFIA

1. Hollot K., Liu Y., Misra V., Towsley D., Gong W.-B.: Fluid methods for modeling large heterogeneous networks. NTIS, kwiecień 2005. AFRL-IF-RS-TR-2005-282.
2. Misra V., Gong W., Towsley D.: A Fluid-based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED. SIGCOMM'2000, s 151÷160.
3. Jain R., Hassan M.: Wysoko wydajne sieci TCP/IP. Helion, Gliwice 2004.
4. Nycz M. M., Czachórski T.: Modelowanie dynamiki natężenia przesyłłów TCP/IP, [w:] Zastosowania Internetu, WSB, Dąbrowa Górnicza 2012.
5. Czachórski T., Nycz M., Nycz T., Pekergin F.: Transient states of flows and router queues – a discussion of modelling methods, Proc. of International Conference on Networking and Future Internet (ICNFI 2012), Istanbul, April 25-27, 2012.

Wpłynęło do Redakcji 14 marca 2012 r.

Abstract

The paper presents the results of modeling of selected modern computer networks scenarios. The study used a mathematical model of fluid flow approximation, describing the effects

of time varying packet traffic on the network switches and packet loss generation by the assumptions of the active queuing mechanism, in this case RED, used in routers. The carried out experiments included the influence of the parameters initial settings on the behavior of a single network switch and the selected network scenario. The main emphasis was set on examining the relationship between modifications of the initial congestion window size and the transmission capacity parameter. For this purpose a program, which is an implementation of the fluid flow model and could analyze the senders' TCP control mechanisms was used.

Adresy

Monika M. NYCZ: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, monika.m.nycz@gmail.com

Tadeusz CZACHÓRSKI: Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii
Nauk, ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice, Polska, tadek@iitis.pl