

Tülin ATMACA

Institut National des Télécommunications, Francja

Tadeusz CZACHÓRSKI

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej

Rachid LAALAOUA

Institut National des Télécommunications; Alcatel CIT, Francja

## BADANIE DYNAMIKI ALGORYTMU RED

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia dwa niezależne modele, które mogą służyć analizie pracy przełącznika sieciowego wykorzystującego algorytm RED losowego usuwania pakietów w przypadku, gdy długość ich kolejki w przełączniku przekroczy ustalony poziom. Uważa się obecnie, że zastosowanie tego algorytmu podwyższa jakość usług sieciowych. Przedstawione modele wykorzystują łańcuchy Markowa oraz aproksymację dyfuzyjną.

## INVESTIGATION OF RED MECHANISM DYNAMICS

**Summary.** We present two approaches which may be used in evaluation of dynamics and efficiency of RED mechanism implemented at network switches for random discarding packets in case of congestion. It is believed that Random Early Detection will alleviate problems related to synchronisation of flows and improve quality of services. Analytical models developed here make use of Markov chains and diffusion approximation.

### 1. Wstęp

W sieci takiej jak Internet, której zasoby są dzielone pomiędzy wiele połączeń, końcowi użytkownicy powinni reagować na wystąpienie zatłoczenia dostosowując natężenie generowanego ruchu do aktualnych możliwości sieci. Użyteczność i trwałość tradycyjnego

protokołu TCP zasada się w dużej mierze na jego okienkowym mechanizmie kontrolnym, w którym natężenie wysyłanego ruchu w ramach danego połączenia jest kontrolowane przez okno, określające liczbę pakietów w ruchu. Rozmiar tego okna jest powiększany addytywnie, gdy nie ma zakłóceń, i zmniejszany multiplikatywnie (np. o połowę), gdy wystąpi utrata pakietu [3]. Trzeba jednak nie tylko reagować na przeciążenia, ale je uprzedzać, wprowadzono więc dodatkowo mechanizm *Explicit Congestion Notification* (ECN) [17], w ramach którego odbiorca może informować wysyłającego o powstałych w drodze zatłoczeniach, zapisując tę informację na dwu eksperymentalnych bitach w nagłówku pakietu TCP; wymaga to pomocy rutera na poziomie warstwy IP.

Tradycyjny sposób reakcji rutera na przeciążenie to gubienie pakietów po przepełnieniu się bufora, co nazywamy polityką *Tail Drop*. Ma to pewne wady. Ruch w warstwie TCP ma charakter „wybuchowy” (*bursty*) [16], tzn. okresy słabego natężenia ruchu są przemieszane z okresami o dużym natężeniu, co powoduje, że wystąpienie przeciążenia pociąga za sobą całą lawinę utraconych pakietów, degradując obsługę połączeń. Niektóre aplikacje, takie jak interaktywne połączenia audio, nie chcą się poddać użyciu mechanizmów kontrolnych TCP i wysyłają dane z natężeniem niezależnym od stanu sieci, zawłaszczając całe dostępne pasmo. Zwiększa to niebezpieczeństwo powstania zatłoczenia na dużym obszarze sieci.

Jednym z mechanizmów, który wcześniej informowałby o powstających zatłoczeniach, jest implementacja w routerze polityki losowego usuwania pakietów w momencie, gdy kolejka rośnie, choć nie wypełniła jeszcze całego bufora, zwanej *Random Early Detection* (RED), [7].

Artykuł przedstawia dwa analityczne podejścia, które mogą być wykorzystane przy ocenie działania RED: łańcuchy Markowa z ciągłym czasem i aproksymację dyfuzyjną. Wybrane przykłady demonstrują ich użyteczność w badaniu wpływu RED na współczynnik strat wynikających z przepełnienia buforów i na średnie opóźnienie przesyłu. Więcej wyników można znaleźć w [10, 11, 1].

## 2. Zasady algorytmu RED

Zasady RED jako polityki aktywnego zarządzania kolejkami (*Active Queue Management*, AQM) z uwzględnieniem sprzężenia zwrotnego zostały sformułowane w [7]; praca [2] zaproponowała implementację RED w routerach IP. Uważa się, że wprowadzone przez RED inteligentne odrzucanie pakietów złagodzi problemy synchronizacji strumieni przesyłanych danych i podwyższy jakość usług.

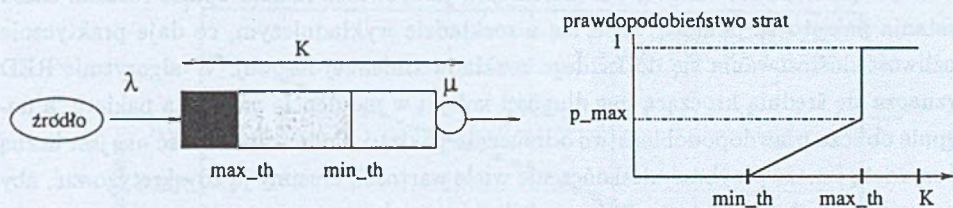
Zasada algorytmu jest następująca. Rozważmy bufor o rozmiarze  $K$  zarządzany zgodnie z algorytmem RED, rys. 1.a. Załóżmy, że strumień wejściowy ma intensywność  $\lambda$

pakietów na jednostkę czasu, zaś analiza pakietów i ich dalszy przesył odbywają się w tempie  $\mu$  pakietów na jednostkę czasu. Średnia krocząca  $avg$  długości kolejki jest obliczana w momencie nadejścia nowego pakietu jako:

$$avg = \begin{cases} (1-w) * avg + w * n & \text{jeżeli kolejka nie jest pusta} \\ (1-w)^{\frac{1}{K}} * avg & \text{jeżeli kolejka jest pusta,} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie  $w$  jest parametrem, a  $n$  bieżącym rozmiarem kolejki liczonym w pakietach. Wyróżnione są dwa progi  $min_{th}$  i  $max_{th}$ . Prawdopodobieństwo  $p_d$  odrzucenia pakietu narasta liniowo od 0 do  $p_{max}$  wraz z wartością  $avg$  zmieniającą się w przedziale  $[min_{th}, max_{th}]$ , a następnie przybiera skokowo wartość 1, rys. 1b.

$$p_d(avg) = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } avg \leq min_{th} \\ \frac{avg - min_{th}}{max_{th} - min_{th}} * p_{max} & \text{jeżeli } min_{th} < avg \leq max_{th} \\ 1 & \text{jeżeli } max_{th} < avg \end{cases} \quad (2)$$



Rys. 1. Bufor z algorytmem RED

Fig. 1. A buffer implementing RED algorithm

Przedstawiano już różne warianty algorytmu, np. [15, 5, 12], a ich licznosc wyini- kala byc moze z braku dobrego zrozumienia dynamiki jego dzialania. Strojenie para- metrow RED wciadz pozostaje sztuka, co zniecheca niektorych do jego stosowania [9, 13]. W [6] autorzy starali sie podac proste reguly doboru parametrow algorytmu i rekomendo- wac pewne ich wartosci. W [13] podano uproszczony model analityczny RED, zakladajacy to samo prawdopodobieństwo utraty pakietu dla wszystkich pakietow nalezacych do tego samego okresu duzego nasilenia ruchu.

## 2.1. Model Markowa

Niech bedzie dany lancuch Markowa z ciaglym czasem  $t$  i przestrzenia stanow  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Jezeli  $X(t) = i$ , to proces jest w stanie  $i$ . Oznaczmy  $p_i(t) = P[X(t) = i]$ . Dla

jednorodnych łańcuchów Markowa prawdopodobieństwa  $p_i(t)$  są określone przez układ równań różniczkowych

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_j p_j(t)q_{ij} \quad \text{lub, w zapisie macierzowym,} \quad \frac{dp(t)}{dt} = Q^T p(t). \quad (3)$$

Współczynnik  $q_{ij}$  jest intensywnością przejścia ze stanu  $i$  do stanu  $j$ ,  $p(t)$  jest wektorem prawdopodobieństw stanu w chwili  $t$ , a  $Q$  jest infinitezymalnym generatorem. Rozmiar  $Q$  odpowiada liczbie stanów. W stanie ustalonym zachodzi  $p(t) = p$ , a równania (3) przybierają postać  $Q^T p = 0$ .

Zalóżmy dla uproszczenia w poniższym markowowskim modelu kolejki z algorytmem RED, że strumień wejściowy jest poissonowski z parametrem  $\lambda$ , a czas obsługi pakietów jest wykładniczy z parametrem  $\mu$ . Oba te założenia można uogólnić kosztem zwiększenia liczby stanów procesu Markowa, np. opisać strumień wejściowy za pomocą superpozycji źródeł on-off (generujących strumień poissonowski w fazie *on* i milczących w fazie *off*, przełączanie między fazami jest sterowane dwustanowym łańcuchem Markowa), które dobrze oddają charakter natężenia ruchu internetowego, łącznie z jego losowymi właściwościami (samopodobieństwo, autokorelacja), jak również można opisać rozkład czasu wysłania pakietu za pomocą wielu faz o rozkładzie wykładniczym, co daje praktycznie możliwość dostosowania się do każdego rozkładu zmiennej losowej. W algorytmie RED wyznacza się średnią krocącą *avg* długości kolejki w momencie nadejścia pakietu, a następnie oblicza prawdopodobieństwo odrzucenia pakietu. Ponieważ wartość *avg* jest liczbą rzeczywistą i może przybrać nieskończenie wiele wartości, musimy ją zdyskretyzować, aby utworzyć łańcuch Markowa o skończonej liczbie stanów.

W zaproponowanym modelu zachowanie kolejki jest opisane łańcuchem  $X(t)$  o stanach zdefiniowanych przez wektor  $V = (n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6)$ , gdzie  $n_1$  jest liczbą pakietów w kolejce,  $n_2$  jest całkowitą częścią  $[avg]$  średniej kroczącej kolejki, a  $n_i$  ( $\forall i \in \{3, 4, 5, 6\}$ ) są flagami przybliżającymi wartość ułamkową średniej  $avg - [avg]$  w następujący sposób

$$n_i = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } (i - 3) * 0.25 \leq avg - [avg] < ((i - 3) + 1) * 0.25 \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach.} \end{cases}$$

$$(\forall i \in \{3, 4, 5, 6\})$$

Nadejście nowego pakietu odpowiada tranzycji

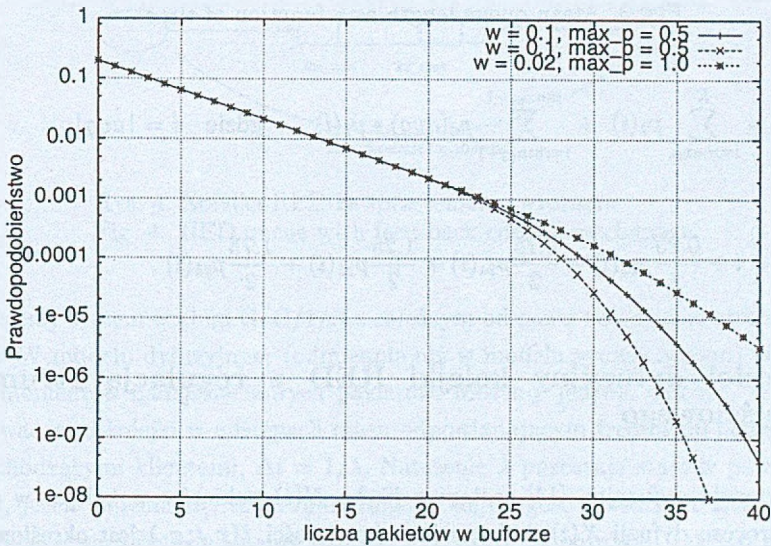
$$(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6) \rightarrow (n_1 + 1, n_2^*, n_3^*, n_4^*, n_5^*, n_6^*)$$

dokonanej z intensywnością  $\lambda * [1 - p_d(avg)]$ . Nowa wartość *avg* jest obliczona zgodnie z równaniem (1) i jej przybliżenie jest zapisane w elementach  $n_2^*, \dots, n_6^*$ . Wysłanie pakietu oznacza przejście ze stanu  $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6)$  do stanu  $(n_1 - 1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6)$  z intensywnością  $\mu$ .

## 2.2. Wyniki numeryczne

W poniższych przykładach numerycznych przyjęto następujące wartości parametrów: rozmiar bufora  $K = 40$  pakietów,  $min_{th} = 20$ ,  $max_{th} = 35$ . Otrzymane równania typu (1), określające prawdopodobieństwa stanów zostały rozwiązane numerycznie przy wykorzystaniu metody Arnoldiego [18]. Oznaczmy przez  $p = p_{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6}$  prawdopodobieństwo stanu  $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6)$ . Prawdopodobieństwo brzegowe  $p_1(k) = \sum p_{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6}$  (suma po wszystkich stanach, takich że  $n_1 = k$ ) jest stacjonarnym rozkładem liczby pakietów w kolejce. Prawdopodobieństwa  $p_2(k) = \sum p_{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6}$  (suma po wszystkich stanach, takich że  $n_2 = k$ ) wyznaczają stacjonarny rozkład średniej kroczącej  $avg$  kolejki.

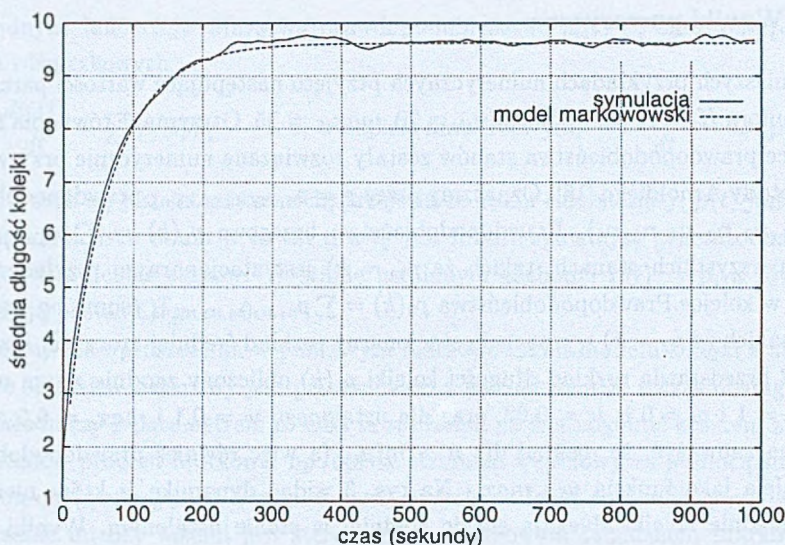
Rys. 2 przedstawia rozkład długości kolejki  $p_1(k)$  obliczony zgodnie z tym modelem dla  $max_p = 1$  i  $w = 0.1$ ,  $w = 0.02$ , oraz dla ustalonego  $w = 0.1$  i  $max_p = 0.5$ ,  $max_p = 1.0$ . Można zauważyć, że rozkład dla  $n > min_{th}$  (a więc również prawdopodobieństwo strat) maleją jako funkcja  $w$  i  $max_p$ . Na rys. 3 widać dynamikę, z którą nieustalone wartości średnie kolejki zbiegają się do średniej w stanie ustalonym. Wyniki modelu markowskiego porównane są z wynikami symulacji (wykorzystanie systemu  $\rho = 0.95$ ).



Rys. 2. Rozkład długości kolejki dla różnych wartości  $w$  i  $max_p$

Fig. 2. Queue distribution for various values of  $w$  and  $max_p$

Oznaczmy jeszcze  $p_{2j}(k) = \sum p_{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6}$  (suma po wszystkich stanach, takich że  $n_2 = k$  i  $n_j = 1$ ,  $j \in \{3, 4, 5, 6\}$ ). Obliczamy przybliżone prawdopodobieństwo utraty pakietów  $P_{LR}$  w routerze RED jako



Rys. 3. Średnia długość kolejki jako funkcja czasu

Fig. 3. Mean queue length as a function of time

$$\cdot P_{LR} = \sum_{i=\max_{t_h}}^K p_2(i) + \sum_{i=\min_{t_h}+1}^{\max_{t_h}-1} p_d(\text{avg}) * p_2(i) \quad \text{gdzie } i = \lfloor \text{avg} \rfloor, \quad (4)$$

gdzie

$$\text{avg} = i + \frac{0.25}{2} p_{23}(i) + \frac{0.75}{2} p_{24}(i) + \frac{1.25}{2} p_{25}(i) + \frac{1.75}{2} p_{26}(i).$$

### 3. Model dyfuzyjny kolejki RED z regulacją strumienia wejściowego

Aproksymacja dyfuzyjna [14] zastępuje liczbę  $N(t)$  pakietów w kolejce w chwili  $t$  wartością procesu dyfuzji  $X(t)$ , którego funkcja gęstości  $f(x, t; x_0)$  jest określona przez równanie dyfuzji

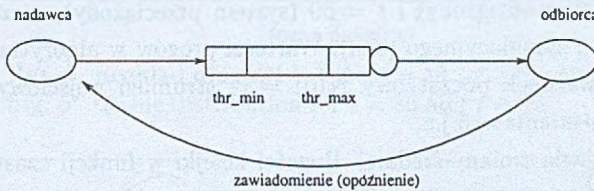
$$\frac{\partial f(x, t; x_0)}{\partial t} = \frac{\alpha}{2} \frac{\partial^2 f(x, t; x_0)}{\partial x^2} - \beta \frac{\partial f(x, t; x_0)}{\partial x} \quad (5)$$

i aproksymuje rozkład długości kolejki:  $f(n, t; n_0) \approx p(n, t; n_0) = Pr\{N(t) = n | N(0) = n_0\}$ . Parametry dyfuzji  $\alpha$ ,  $\beta$  odzwierciedlają charakterystykę strumienia wejściowego i rozkład czasu obsługi. W przypadku modelu stanowiska G/G/1 lub G/G/1/N, gdzie  $1/\lambda$ ,  $\sigma_A^2$  są średnią i wariancją rozkładu  $A(x)$  czasu pomiędzy nadejściem klientów, a

$1/\mu$ ,  $\sigma_B^2$  są średnią i wariancją rozkładu  $B(x)$  czasu obsługi, parametry  $\alpha$ ,  $\beta$  oblicza się jako [8]

$$\beta = \lambda - \mu, \quad \alpha = \sigma_A^2 \lambda^3 + \sigma_B^2 \mu^3 = C_A^2 \lambda + C_B^2 \mu. \quad (6)$$

Model dyfuzyjny stanowiska  $G/G/1/N$  zawierający warunki brzegowe w postaci dwu barier z powrotami został zaproponowany przez Gelenbego [8], wraz z podanym rozwiązaniem w stanie ustalonym. Proces dyfuzji ma dwie bariery ograniczające w  $x = 0$  i  $x = N$ . Gdy proces dochodzi do bariery w  $x = 0$ , pozostaje w niej przez czas odpowiadający okresowi beczynnemu stanowiska, a następnie przeskakuje do  $x = 1$  rozpoczynając nowy okres czynny. Podobnie, dochodząc do bariery w  $x = N$  proces pozostaje tam przez czas odpowiadający okresowi, w którym kolejka jest pełna, po czym przeskakuje do  $x = N - 1$ . W celu uzyskania rozwiązania dla stanu nieustalonego postępujemy tutaj podobnie jak w [4] (gdzie podano szczegółowe rozwiązanie), przedstawiając funkcję gęstości procesu dyfuzji z powrotami jako superpozycję funkcji gęstości procesu dyfuzji z barierami pochłaniającymi w  $x = 0$  i  $x = N$ .



Rys. 4. Kolejka RED ze sprzężeniem zwrotnym

Fig. 4. RED queue with feed-back control mechanism

Rozważmy system obsługi  $G/G/1/N$  z zależnym od czasu natężeniem strumienia wejściowego. W modelu dyfuzyjnym (odmiennie niż w modelu symulacyjnym) nie możemy określić momentów nadejścia nowych pakietów. Możemy jedynie założyć, że będziemy rozpatrywać stan kolejki w odstępach czasu odpowiadającym średniemu odstępowi między nadchodzącymi klientami,  $\Delta t = 1/\lambda$ . Natężenie  $\lambda$  pozostaje stałe w pewnym okresie czasu, jeżeli zmienia się, to również zmienia się długość przedziału  $1/\lambda$ , po którym modyfikujemy wartość *avg*. Znamy rozkład  $f(x, t; x_0)$  na początku takiego przedziału. Znamy też rozkład  $r(x, t)$  czasu odpowiedzi kolejki. Załóżmy, że  $T$  jest całkowitym czasem opóźnienia pomiędzy momentem opuszczenia przez pakiet kolejki RED a nadejściem strumienia wejściowego ze zmienioną przez źródło, na skutek ostrzeżenia mechanizmu RED, intensywnością, rys. 4.

Na początku przedziału  $i$  model oblicza średnią wartość długości kolejki  $E[N_i] = 1 + \sum_{n=1}^N p_i(n)n$  i kroczącą średnią *avg*

$$avg_i = (1 - w)avg_{i-1}p_i(0) + [1 - p_i(0)][(1 - w)avg_{i-1} + wE[N_i]]$$

a następnie określa używając funkcji  $d(avg)$  prawdopodobieństwo zaznaczenia pakietu jako nadmiarowego i wynika z tego zmiany natężenia strumienia wejściowego:

$$\lambda_{new} = [1 - d(avg)](\lambda_{old} + \Delta\lambda) + d(avg)\lambda_{old}/a$$

Dla uniknięcia zbyt częstych interwencji modyfikacja strumienia natępuje w przypadku, gdy od ostatnich zmian upłynął określony *przedział milczenia*. Zwiększenie strumienia ma charakter addytywny, o  $\Delta\lambda$ , a zmniejszanie strumienia ma charakter multiplikatywny, ze współczynnikiem  $1/a$ . Nowe natężenie  $\lambda_{new}$  nadejdzie do kolejki po czasie  $T + E[N_i] \cdot 1/\mu$ .

### 3.1. Przykłady numeryczne

Rys. 5 – 8 przedstawiają kilka typowych wyników. Założono stały czas obsługi i przyjęto jego wartość  $1/\mu = 1$  jako jednostkę czasu (jc). Przyjęto pojemność bufora  $N = 40$ . Rys. 5 przedstawia przykładowe porównanie rozkładu długości kolejki, dla czasów  $t = 30$  (system słabo obciążony) i  $t = 60$  (system przeciążony), otrzymane z modelu dyfuzyjnego (diff) i symulacyjnego (sim). Wartości progów w algorytmie RED:  $th_{min} = 25$ ,  $th_{max} = 35$ , warunek początkowy  $N(0) = 0$ , strumień wejściowy Poissona, *okres milczenia* = 0, *opóźnienie* = 5 j.c.

Rys. 6 przedstawia zmiany średniej długości kolejki w funkcji czasu, a rys. 7 odpowiadające im zmiany prawdopodobieństwa zaznaczenia pakietu.

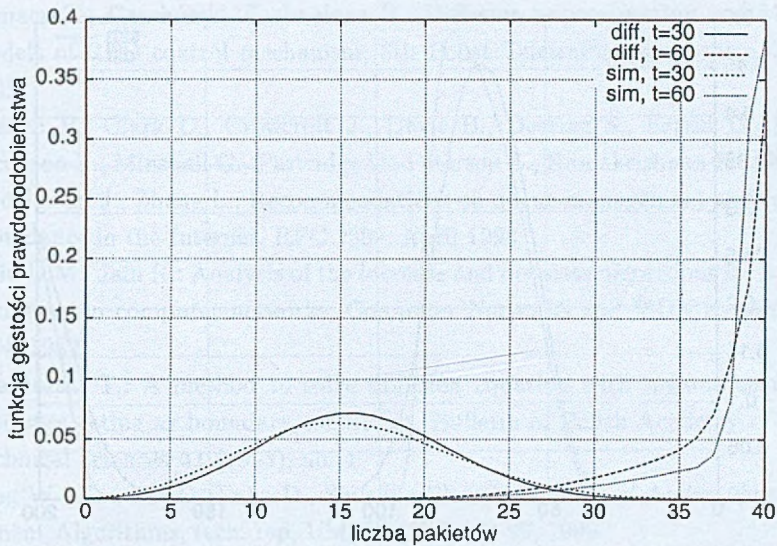
Rys. 8 przedstawia zachowanie kolejki RED w dłuższym okresie czasu. Pokazano średnią długość kolejki oraz wartość średniej kroczącej  $avg$  dla parametrów (1)  $w = 0.002$ ,  $p_{max} = 0.02$  oraz (2)  $w = 0.2$ ,  $p_{max} = 0.5$ ; *okres milczenia* = 0.

Wartość  $w$  to waga, z którą uwzględnia się bieżącą wartość kolejki przy obliczaniu  $avg$ . Dla pierwszego zbioru parametrów straty są wysokie (średnia długość kolejki wynosi prawie 35 pakietów) i praktycznie nie zależą od opóźnienia, dla drugiego zbioru parametrów straty są niższe. Oscylacje widoczne na poprzednich wykresach, wynikające z warunków początkowych, wygasają z czasem.

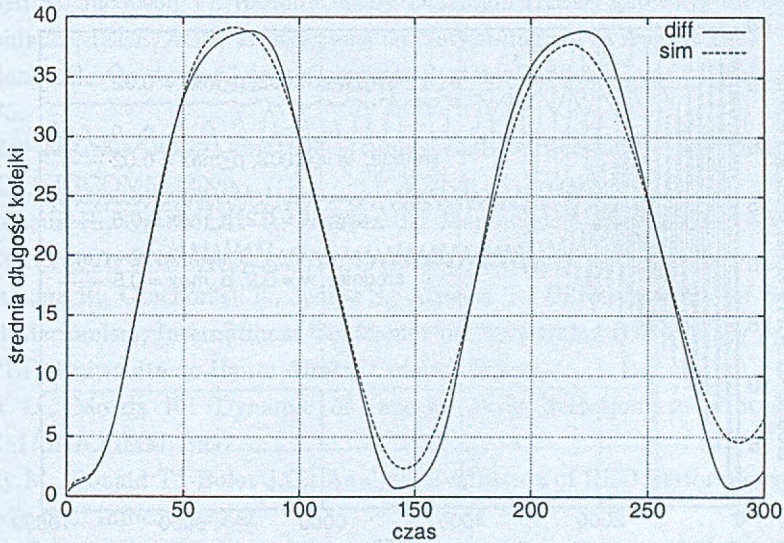
## 4. Wnioski

Wydaje się, o czym świadczą przedstawione przykłady numeryczne, że oba typy modeli — markowskie i oparte na aproksymacji dyfuzyjnej — dobrze potrafią oddać dynamikę zachowań algorytmu RED i mogą być przydatne w analizie jego własności.

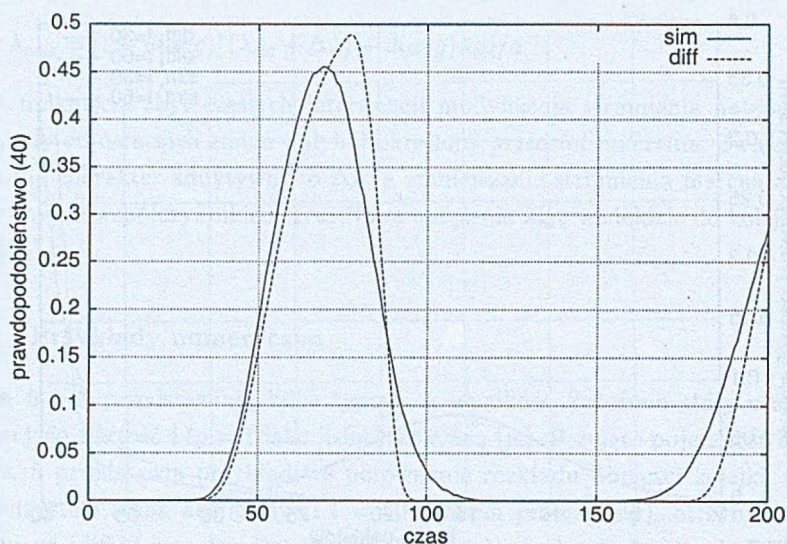




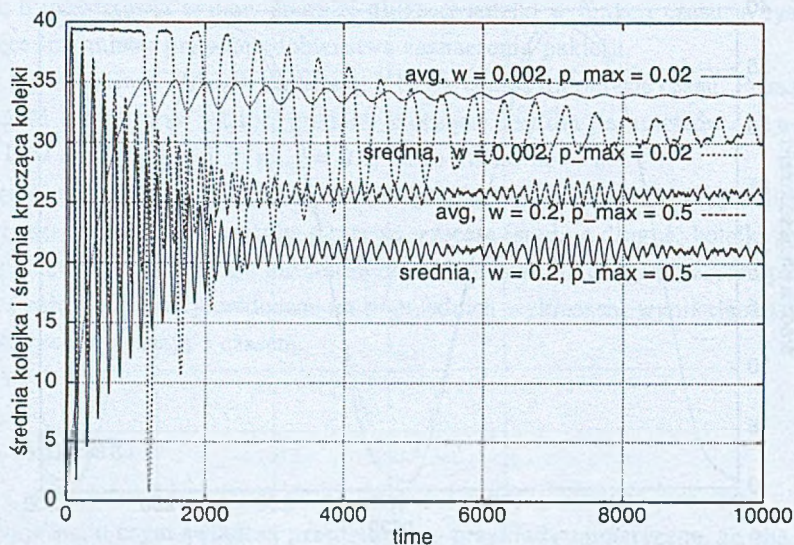
Rys. 5. Rozkład długości kolejki,  $t = 30$  j.c. i  $t = 60$  j.c.  
 Fig. 5. Queue distribution for  $t = 30$  and  $t = 60$



Rys. 6. Średnia długość kolejki w funkcji czasu  
 Fig. 6. Mean queue length as a function of time



Rys. 7. Prawdopodobieństwo straty jako funkcja czasu  
 Fig. 7. Loss probability as a function of time



Rys. 8. Zmiany kolejki RED w długim okresie czasu  
 Fig. 8. Long scale performance of RED

## LITERATURA

1. Atmaca T., Czachórski T., Laaloua R.: Diffusion approximation and Markovian models of RED control mechanism, 8th Polist Teletraffic Symposium, Zakopane 2001.
2. Braden B., Clark D., Crowcroft J., Davie B., Deering S., Estrin D., Floyd S., Jacobson V., Minshall G., Partridge C., Peterson L., Ramakrishnan K., Shenker S., Wroclawski J., Zhang L.: Recommendations on queue management and congestion avoidance in the Internet, RFC 2309, April 1998.
3. Chiu D.M., Jain R.: Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks, *Computer Networks and ISDN Systems*, 17(1): 1-14, 1989.
4. Czachórski T.: A method to solve diffusion equation with instantaneous return processes acting as boundary conditions. *Bulletin of Polish Academy of Sciences, Technical Sciences* 41 (1993), no. 4.
5. Feng W., Kandlur D., Saha D., Shin K.: Blue: New Class of Active Queue Management Algorithms, tech. rep, UM CSE-TR-387-99, 1999.
6. Firoiu V., Borden M.: A Study od active queue management for congestion control, in *Proceedings of Infocom*, 2000.
7. Floyd S., Jacobson V.: Random Early Detection (RED) gateways for congestion avoidance, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol 1, August 1997.
8. Gelenbe E.: On Approximate Computer Systems Models. *J. ACM*, vol. 22, no. 2, 1975.
9. Jeffay M.C.K, Ott D., Smith F.: Tuning Red for web traffic, in *Proceedings of ACM/SIGCOMM*, 2000.
10. Laaloua R., Czachórski T., Atmaca T.: Markovian Model of RED Mechanism. *CCGrid'2001*, Brisbane Australia, 15-18 May 2001.
11. Laaloua R., Czachórski T., Jedruś S., Atmaca T.: Diffusion Model of RED Control Mechanism, *International Conference on Networking ICN01*, July 9-13, 2001, CREF, Université de Haute Alsace, Colmar, France.
12. Lin D., Morris R.: Dynamic of random early detection, in *Proceedings of ACM/SIGCOMM*, 1997.
13. May M., Bonald T., Bolot J.C.: Analytic Evaluation of RED Performance, in *Proceedings of Infocom*, 2000.
14. Newell G. F.: *Applications of Queueing Theory*. Chapman and Hall, London 1971.
15. Ott T.J., Lakshman T.V., Wong L.H.: SRED: Stabilized RED, in *Proceedings of Infocom*, 1999.
16. Paxson V., Floyd S.: Wide area traffic: the faillure of Poisson modeling, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol 3, June 1995.

17. Ramakrishnan K., Floyd S.: A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP, RFC 2481, <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc2481.txt>.
18. Stewart W.J.: An Introduction to the Numerical Solution of Markov Chains, Princeton Academic Press, 1994.

Recenzent: Dr inż. Marcin Skowronek

Wpłynęło do Redakcji 24 kwietnia 2002 r.

### Abstract

The IP networks are faced today with difficult task of satisfying the needs of connections requiring different QoS by sharing the same physical resources, e.g. bandwidth and buffers. Buffers are a key component of packet-switched network, as they absorb burst arrivals of packets and hence reduce losses. Larger buffers can absorb larger bursts but they tend to build up long queues and increase queueing delays. It is believed that RED (Random Early Detection) will alleviate problems related to synchronisation of flows and improve QoS by intelligent dropping. In this paper, we develop two types of analytical models (Markovian and diffusion approximation) for the RED buffer management schemes, and use these models to quantify the benefits brought by RED. In particular, we examine the impact of RED on the loss rate and the mean delay. We analyse transient and stationary states. We show that the loss probability is the same for TCP and UDP traffics if RED algorithm is used. This loss rate of a flow going through a RED router does not depend of the burstiness of this flow but only on the load it generates.