

Konrad Płachecki\*, Sławomir Przyłucki\*

## **Analiza efektywności przeciwdziałania przeciążeniom chwilowym przez algorytmy wczesnego wykrywania przeciążeń w sieciach TCP/IP**

### **1. Wstęp**

Problem optymalnego przesyłu danych w sieciach TCP/IP jest wypadkową zasad funkcjonowania dwóch mechanizmów [3]:

- 1) protokołu TCP,
- 2) algorytmów buforowania pakietów w przełącznikach sieciowych.

Z uwagi na zróżnicowane wymagania co do jakości transmisji poszczególnych usług, trudno jest znaleźć rozwiązanie uniwersalne oparte na najprostszych buforach FIFO (*First In First Out*). Dla zapewnienia właściwego sterowania różnych klas ruchu konieczne jest stosowanie bardziej wyrafinowanych technik obsługi pakietów w przełączniku jak:

- układy przeciwdziałania zatorom – np. RED (*Random Early Discard*), REM (*Random Exponential Marking*),
- układy rozładowywania zatorów – np. PQ (*Priority Queuing*), WFQ (*Weight Fair Queuing*).

Mechanizmy wykorzystujące cechy układów przeciwdziałania zatorom, jak i układów rozładowywania zatorów, znane są w literaturze, jako układy aktywnego zarządzania kolejkami pakietów AQM (*Active Queue Management*) [1].

Obsługa przeciążeń w węzłach sieci teleinformatycznych jest jednym z najważniejszych zadań układów aktywnego zarządzania kolejkami AQM. Zadanie to jest realizowane poprzez osiągnięcie wysokiego wykorzystania łącza transmisyjnego przy małej liczbie odrzuconych pakietów oraz krótkim czasie opóźnienia. Obecnie stosowane mechanizmy przeciwdziałania przeciążeniom (RED, REM) sterują odrzucaniem pakietów według przyjętej wstępnie stałej funkcji odrzucania, a metody konfiguracji ich parametrów są dyskutowane w wielu opracowaniach naukowych. Efektem niewłaściwej konfiguracji tych parametrów jest zła obsługa przeciążeń w przypadku występowania zmiennego obciążenia i zbyt wolna regulacja długości kolejek.

---

\* Politechnika Lubelska w Lublinie

## 2. Problem oceny wydajności układów AQM

Duża różnorodność przesyłanych danych przez sieć wymusza potrzebę uwzględniania poziomu ważności tych danych w procesie zarządzania ruchem, w przypadku wystąpienia przeciążenia w sieci. Rozróżnianie ważności danych jest możliwe dzięki mechanizmom klasyfikacji jakości usług QoS (*Quality of Service*). Klasyfikacja pakietów jest pierwszym etapem w zarządzaniu ruchem pakietów przez układy przeciwdziałania przeciążeniom AQM w sieciach TCP/IP. Zadania stawiane mechanizmom AQM wynikają z charakteru przesyłanych danych. Większość aplikacji sieciowych umożliwia określenie wydajności mechanizmów AQM w warstwie aplikacji, na podstawie przewidywanej aktywności transmisyjnej nadawcy. Ocena ilościowa tych parametrów koncentruje się głównie na określeniu: przepustowości, średnim opóźnieniu transmisji w połączeniach „end-to-end”, maksymalnych wartościach opóźnienia, zmienności czasowej opóźnienia oraz ilości utraconych pakietów. Różne wymagania stawiane przez aplikacje sieciowe pociągają konieczność znalezienia kompromisu pomiędzy bezpieczeństwem (niezawodnością) transmisji, a maksymalnym wykorzystaniem łączy transmisyjnych (uzyskiwana przepustowość) [7].

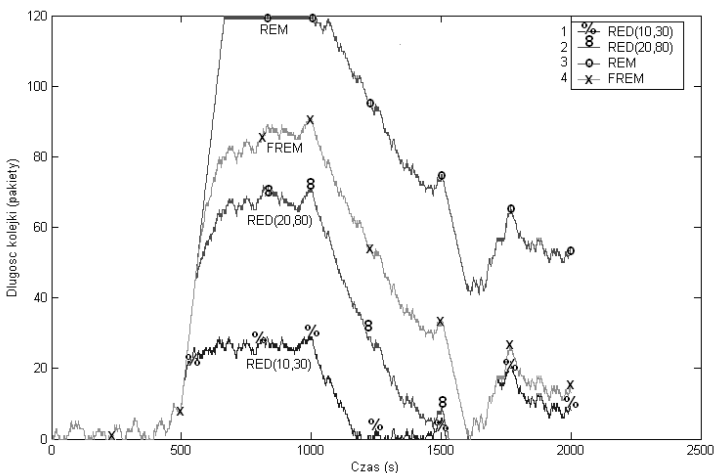
Różnorodność wymagań dla zapewnienia jakości usług zmusiła do określenia najistotniejszych parametrów charakteryzujących wydajność układów AQM [4]:

- **Opóźnienie** oraz **zmienność opóźnienia** (*delay, delay jitter*) – czas upływający od odebrania pakietu przez jeden węzeł sieci do momentu odebrania go przez inny węzeł. Opóźnienie składa się więc z dwóch czasów: czasu propagacji pakietu przez łącze komunikacyjne i czasu przetwarzania w węźle komunikacyjnym. Czas propagacji jest pomijalnie mały w stosunku do czasu przetwarzania pakietu przez węzeł sieci. Niektóre aplikacje multimedialne są czułe na zmienność opóźnienia, ponieważ przesyłane informacje są odtwarzane przez odbiorcę w czasie rzeczywistym – transmisje VoIP, VideooIP.
- **Ilość utraconych pakietów** (*packet loss rate*) – większość problemów z gubieniem pakietów wynika z sytuacji przeciążeń kolejek buforowych routerów. Ma to miejsce w przypadku ciągłego napływania pakietów przeznaczonych do transmisji przez interfejs, który jest aktualnie przeciążony. Z punktu widzenia aplikacji czasu rzeczywistego, także pakiety przybywające do odbiorcy, które przekroczyły krytyczną wartość opóźnienia (*delay bound*), są traktowane przez aplikację jako utracone. Większość aplikacji czasu rzeczywistego posiada zdefiniowany maksymalny poziom tolerancji ilości utraconych pakietów (*tolerance level*).
- **Przepustowość, pasmo** (*throughput, bandwidth*) – przepustowość w sposób bezpośredni odzwierciedla ilość informacji, którą sieć jest w stanie dostarczyć w określonym przedziale czasowym. Uogólniając można stwierdzić, że większa przepustowość zapewni lepszą jakość QoS transmisji plików. Nie można jednak przyjmować, że większa przepustowość jest „lekarstwem” na problemy związane z zapewnieniem żadanego poziomu jakości transmisji multimedialnych.

### 3. Symulacje komputerowe algorytmów wczesnego wykrywania przeciążeń

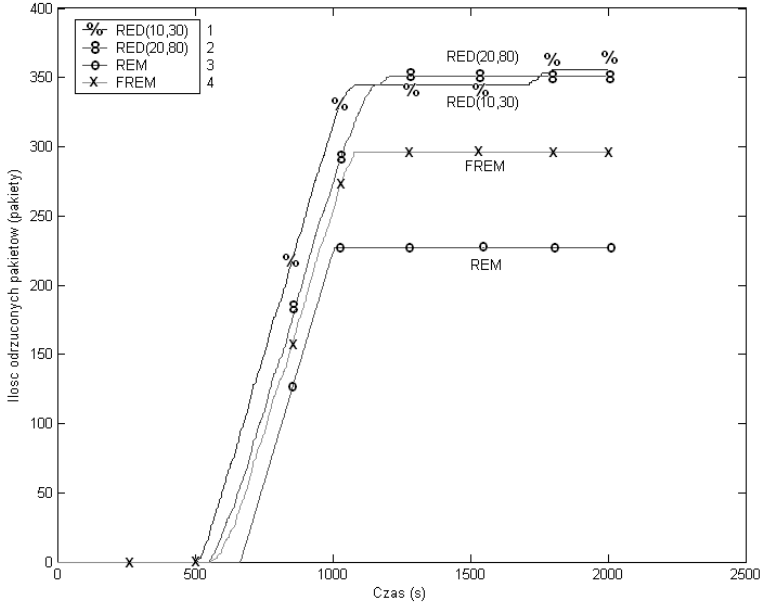
Symulacje komputerowe przeprowadzone zostały z wykorzystaniem środowiska MATLAB-Simulink. W celu przeanalizowania stopnia wykorzystania bufora poprzez algorytmy RED, REM i FREM, zostały stworzone modele symulacyjne poszczególnych algorytmów [5]. Modele te bazują na opisie analitycznym funkcjonowania poszczególnych algorytmów. Dla uzyskania lepszych informacji porównawczych symulacje przeprowadzono dla tych samych, strumieni napływających pakietów. Strumień wejściowy ruchu teleinformatycznego zamodelowane zostały jako superpozycja strumieni zdarzeń o różnych intensywnościach według rozkładu Poissona. Wygenerowany strumień zdarzeń wejściowych miał silny charakter impulsowy z intensywnością przekraczającą prędkość przetwarzania zdarzeń. Dzięki połączeniu kilku strumieni o zmiennych parametrach, uzyskano pojedynczy strumień modelujący przesył różnych transmisji w pojedynczym medium transportowym. Przeprowadzone symulacje dotyczyły zbadania wydajności wybranych algorytmów AQM w kontekście ilości odrzuconych pakietów i opóźnienia związanego z ich buforowaniem.

Pierwszy eksperyment został przeprowadzony dla algorytmu RED( $min\_th, max\_th$ ), w którym minimalny próg długości kolejki  $min\_th=20$ , a maksymalny  $max\_th=80$ . Całkowita pojemność bufora wynosi 120 pakietów. Kolejnym algorytmem był RED(10,30) z parametrami  $min\_th=10$ , a maksymalny  $max\_th=30$ . Dla porównania z algorytmami RED został wybrany algorytm REM z parametrami  $a=1.001$ ,  $\alpha=0.1$ ,  $\gamma=0.1$  [3]. Wartość ustalona długości kolejki dla algorytmu REM wynosi  $q^*=20$ . Dodatkowo autorzy zamieścili także symulacje zaproponowanego algorytmu adaptacyjnego FREM. Wyniki przeprowadzonych symulacji uwzględniające zmiany aktualnej długości kolejki w czasie przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zmiany aktualnej długości kolejki w czasie

Zmiana długości kolejki bufora w czasie jest bardzo ściśle powiązana z ilością odrzuconych pakietów przez każdy z algorytmów, co pokazane jest na rysunku 2.



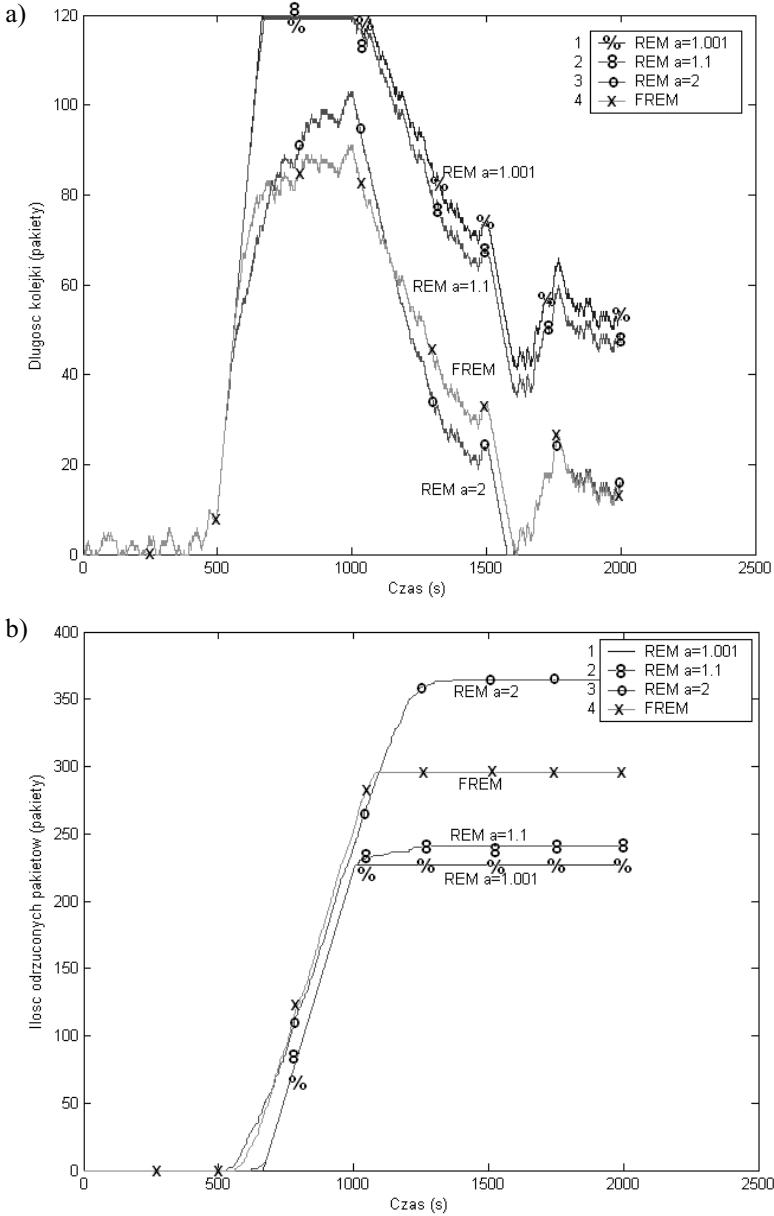
**Rys. 2.** Zmiany aktualnej długości kolejki w czasie

Analizując otrzymane wyniki, można porównać szybkość reakcji poszczególnych algorytmów na symptomy wystąpienia przeciążenia w węzle. Najbardziej rygorystyczny jest algorytm RED(10,30). Zmiana ustawień parametrów RED wpływa znacząco na zmianę profilu odrzucania pakietów. Problematiczna konfiguracja parametrów RED jest opisywana w wielu pracach, z których polecić można [2]. Niewłaściwe ustawienie tych parametrów może być przyczyną niskiej przepustowości, a oscylacje stopnia wykorzystania bufora mogą prowadzić do dużych fluktuacji kolejki.

Najwolniej na wystąpienie przeciążenia reaguje algorytm REM, który dopuszcza nawet do całkowitego zapelnienia pamięci buforowej węzła. Nasuwa się więc wniosek, że dla gwałtownie pojawiającego się ruchu, cechującego się dodatkowo dużą intensywnością, przyjęte ustawienia algorytmu REM niezapewniają poprawnej jego pracy. Algorytm REM powinien dążyć do zachowania długości kolejki w okolicach wartości 20. Nie jest to możliwe, ponieważ funkcja kosztu rośnie zbyt wolno w stosunku do wielkości występującego przeciążenia. Kłopotliwy staje się więc także dobór optymalnych parametrów algorytmu REM.

Zaproponowany przez autorów algorytm adaptacyjny FREM [6] umożliwia dopasowanie się czułości algorytmu do wielkości występującego przeciążenia.

Na rysunku 3 przedstawione zostało porównanie algorytmu adaptacyjnego z algorytmem REM o różnych ustawieniach w kontekście długości kolejki i ilości odrzuceń.



**Rys. 3.** Porównanie algorytmów REM z różnymi parametrami z algorytmem adaptacyjnych FREM w kontekście: a) długości kolejki; b) ilości odrzuconych pakietów

## 4. Podsumowanie

Gwałtowna zmiana natężenia ruchu przesyłanego przez węzeł komunikacyjny może doprowadzać do zjawiska występowania przeciążenia. Długotrwałe przeciążenie węzła może w krytycznej sytuacji, doprowadzić do zatoru. Wykorzystanie protokołu TCP umożliwia implementację mechanizmów AQM przeciwdziałających występowaniu przeciążeń. Przeprowadzone symulacje wskazały na problematyczny dobór uniwersalnych parametrów mechanizmów RED i REM, zapewniających minimalizację opóźnienia oraz ilości odrzuconych pakietów. Autorzy przedstawili możliwość zastosowania rozbudowanych algorytmów adaptacyjnych, które są znacznie prostsze w konfiguracji. Zaprezentowany algorytm FREM, w zależności od siły występującego przeciążenia, umożliwia optymalne zarządzanie odrzucaniem nowych pakietów, tak aby zminimalizować liczbę odrzuceń oraz skrócić opóźnienie przetwarzania.

## Literatura

- [1] Braden B. *et al.*, *RFC 2309: Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet*. April 1998.
- [2] Floyd S., *RED: Discussions of setting parameters*. From a November 1997 email message, <http://www.icir.org/floyd/REDparameters.txt>.
- [3] Grzech A., *Sterowanie ruchem w sieciach teleinformatycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2002.
- [4] Papir Z., *Ruch telekomunikacyjny i przeciążenia sieci pakietowych*. Warszawa, WKŁ 2001.
- [5] Płachecki K., *Cooperation AQM Mechanisms With TCP Protocol*. VIII International Workshop for Candidates for a Doctor's Degree, OWD'2006-Wisła, October 2006, 311–316.
- [6] Płachecki K., Przyłucki S., *The proposal of utilization of fuzzy logic in the AQM mechanism*. Polish Journal of Environmental Studies, 2007.
- [7] Shin J., Lee D., Kuo J., *Quality of Service for Internet Multimedia*. Prentice Hall PTR 2003.