

Wybrane mechanizmy gwarantowania jakości usług w sieciach IP

Dariusz Chaładyniak, Maciej Podsiadły*

Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wybrane mechanizmy gwarantujące jakość usług w sieciach IP (FIFO, WFQ, PQ). Na potrzeby badań stworzono odpowiednie scenariusze symulacyjne w środowisku laboratoryjnym OPNET. Przedstawiono wpływ wybranych mechanizmów gwarantowania jakości usług na tak istotne parametry infrastruktury sieciowej jak: opóźnienie, odrzucenie pakietów czy zmienność opóźnienia.

Słowa kluczowe – jakość usług, opóźnienie, odrzucenie pakietów, zmienność opóźnienia

1 Wprowadzenie

QoS (ang. *Quality of Service*) jest zestawem technologii zapewniających przewidywalny poziom usług w odniesieniu do przepustowości, opóźnienia i zmienności opóźnienia. Mechanizm ten pełni bardzo ważną rolę w przypadku sieci działających w środowisku podatnym na zakłócenia, gdzie przepustowość jest zmienna i może być w różnych momentach niewystarczająca.

Istnieje szereg aplikacji multimedialnych wymagających specjalnego ich traktowania ze względu na charakterystykę działania. Aby strumień danych otrzymał

* E-mail: dchalad@wwsi.edu.pl, m_podsiadly@poczta.wwsi.edu.pl

wymaganą jakość usług, każdy węzeł w sieci musi być powiadomiony o tych wymaganiach. Stosuje się dwie metody powiadamiania o wymaganiach dotyczących jakości usług. Pierwszą z nich jest etykietowanie pakietów, czyli powiadamianie poprzez oznaczenie pakietów. Drugą jest sygnalizacja, czyli powiadamianie poprzez specjalny protokół.

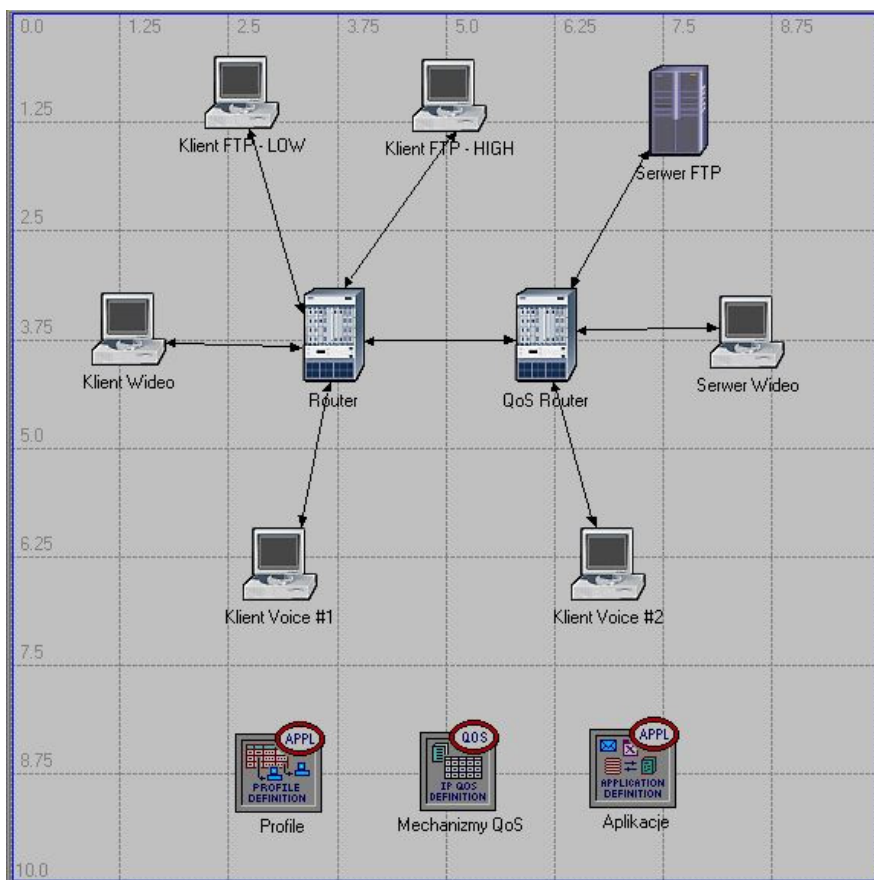
2 Analiza wybranych mechanizmów QoS w środowisku symulacyjnym OPNET

W sieciach teleinformatycznych, każdy router utrzymuje jeden lub więcej mechanizmów kolejkowania dla każdej linii wyjściowej. Jest to konieczne w momencie przybycia pakietu do interfejsu, ponieważ musi on zostać przetransferowany do innej wolnej linii.

Podstawowym mechanizmem obsługującym transfer pakietów jest FIFO (ang. *First Input First Output*), który jest łatwy do wdrożenia i traktuje wszystkie pakiety na równi. Pakiet, który przybył do interfejsu jest umieszczony na końcu kolejki i czeka na swoją kolej do wysłania.

Mechanizm ten jest wystarczający dla obsługi mało znaczących danych. Problemem są wrażliwe pakiety lub dane głosowe i wideo aplikacji. Wymagają one gwarancji usług oraz są wrażliwe na opóźnienie i zmienność opóźnienia. Jedynym wyjściem jest inne traktowanie takich pakietów po przybyciu do interfejsu. Wykorzystuje się do tego mechanizm kolejkowania WFQ (ang. *Weighted Fair Queueing*), w którym jedna kolejka jest utrzymywana dla priorytetowego ruchu. Wyznaczane są wagi – priorytety pakietów i przydzielane do danej klasy. Kolejki obsługują ruch zgodnie z daną klasą na podstawie wyznaczonej wcześniej wagi. Przydzielenie wysokiego priorytetu dla ruchu głosowego i wideo aplikacji umożliwi ich szybki transfer i nie spowoduje dużych opóźnień.

Trzecim mechanizmem jest kolejka PQ (ang. *Priority Queueing*), w której występuje pierwszeństwo obsługi pakietów priorytetowych. W momencie przybycia pakietu do interfejsu o wysokim priorytecie, ruch niższych priorytetów zostaje wstrzymany. Następuje najpierw transfer priorytetowego pakietu a dopiero później przesyłane są pakiety o niższych priorytetach.



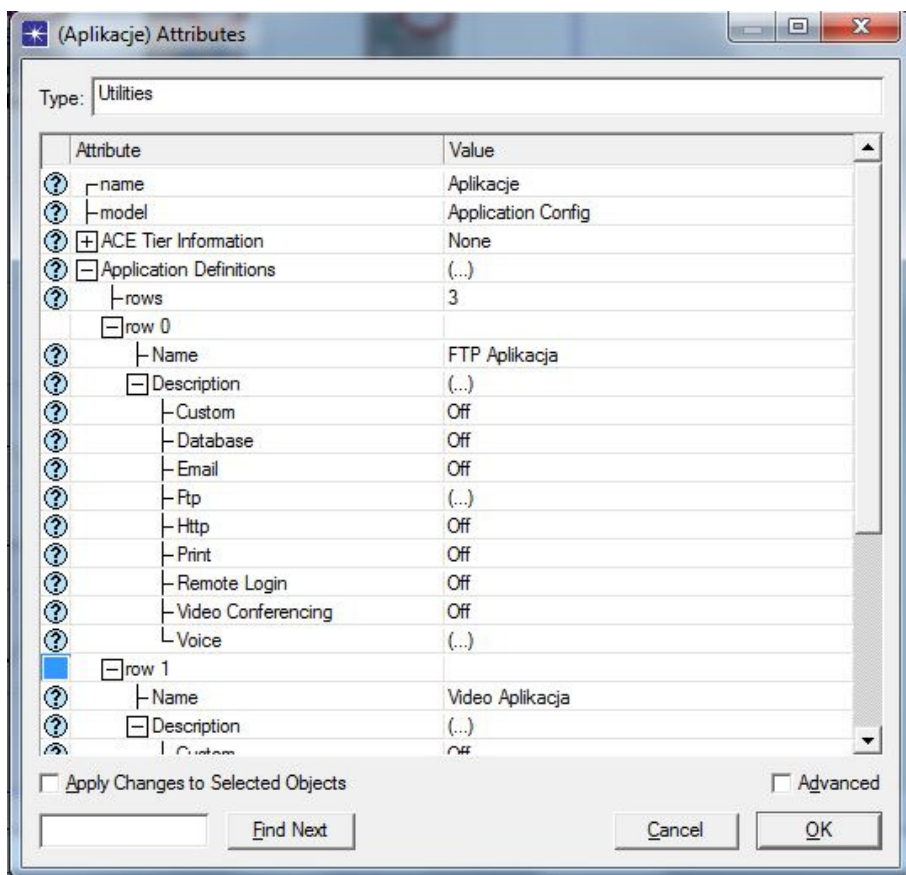
Rysunek 1. Topologia sieci w symulatorze OPNET

Na rysunku nr 1 pokazano topologię składającą się z dwóch routerów, z których jeden jest routerem z zaimplementowaną polityką. Widzimy ponadto stacje robocze, które oferują różne typy usług: FTP, wideo oraz głos. W dolnej części rysunku, znajdują się 3 magazyny ustawień: profile każdego ruchu, ustawienia aplikacji każdego ruchu oraz ustawienia mechanizmów QoS.

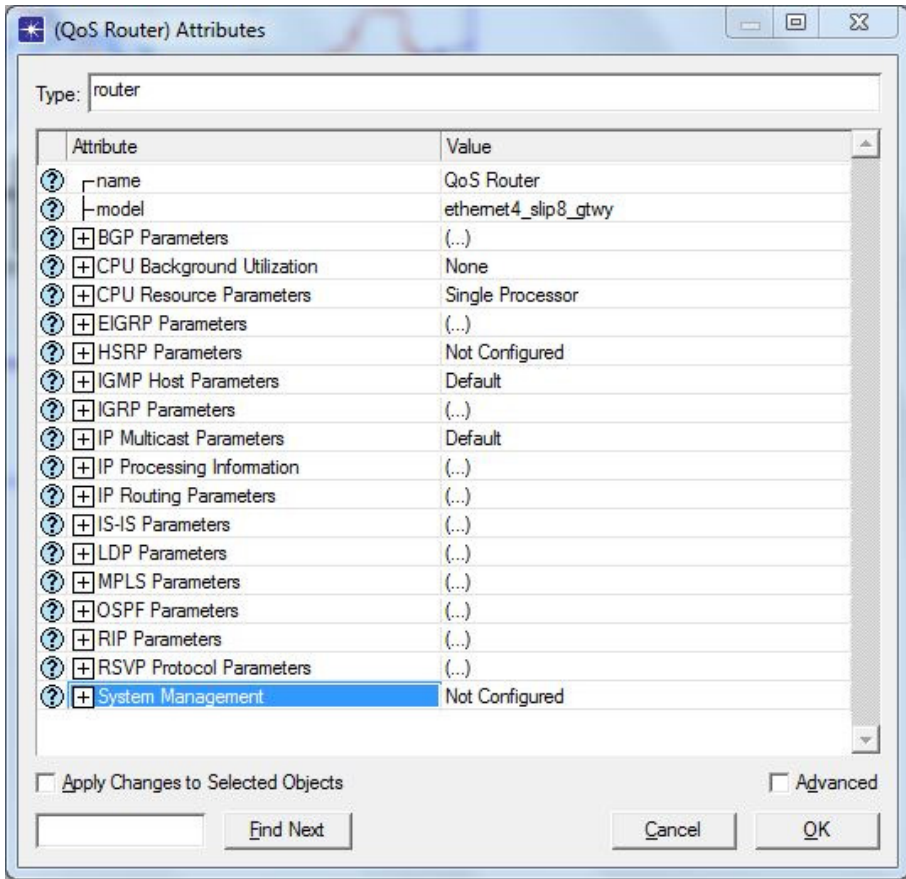
Wdrożenie polityki QoS składa się z:

- konfiguracji mechanizmu PQ na routerze QoS do obsługi ruchu FTP o różnym priorytecie;
- konfiguracji mechanizmów FIFO, PQ oraz WFQ na interfejsach oraz łączy między routerami do obsługi pozostałego ruchu.

Pierwszym etapem poprawnej konfiguracji jest utworzenie definicji każdego typu aplikacji. Utworzono trzy definicje aplikacji: FTP (ang. *File Transfer Protocol*), wideo oraz głos. Dla każdego typu usług określono wartość pola ToS (ang. *Type of Service*) oraz parametry, które umożliwią rozróżnienie ruchu przez mechanizmy kolejkowania. Kolejnym krokiem było utworzenie profilu dla każdej definicji aplikacji. Pozwoliło to przyporządkować profil, zawierający pewne ustawienia do stacji roboczej. Dodatkowo w profilu określono parametry symulacji: czas startu ustawień, okres trwania ustawień, tryb operacyjny, itp. Następnie każda stacja robocza oraz serwer zostały dodane do obsługi danego profilu i konfiguracji aplikacji.

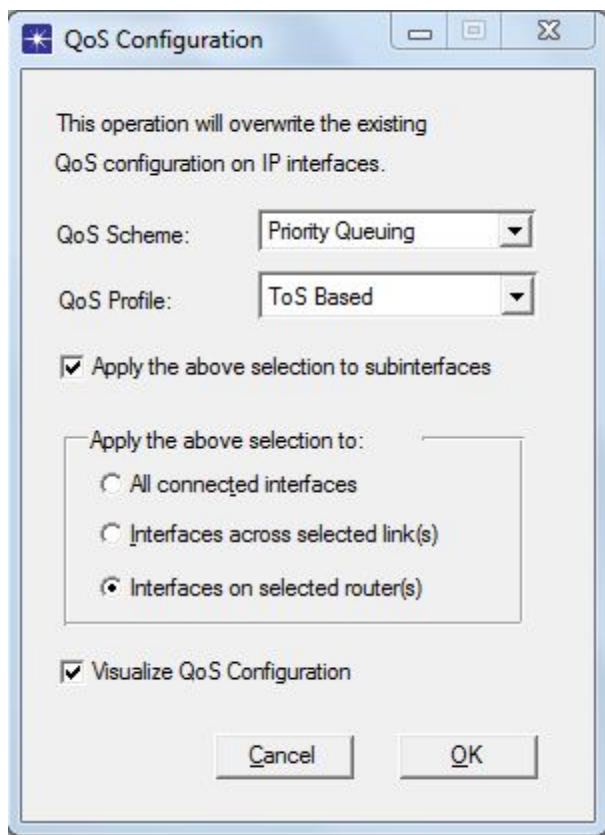


Rysunek 2. Okno atrybutów magazynu ustawień aplikacji



Rysunek 3. Okno atrybutów routera QoS

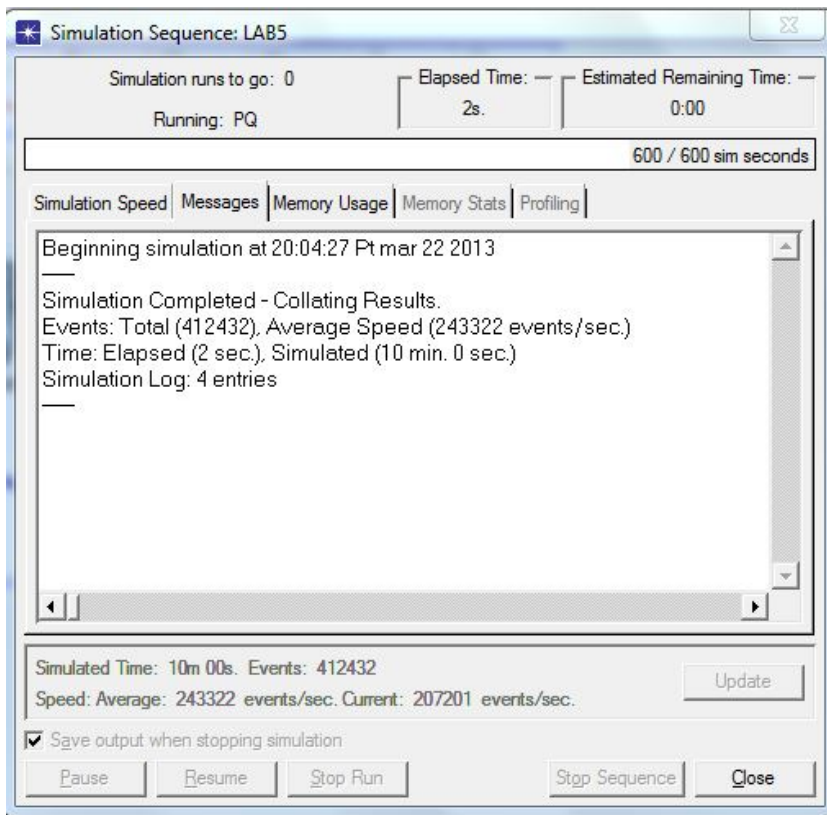
Pierwszym etapem konfiguracji obsługi parametrów QoS było ustawienie interfejsów oraz łączy routera QoS. Na każdym obsługiwany interfejsie ustawiono rozmiar bufora, mechanizm kolejkowania PQ (obsługa ruchu FTP), który jest oparty o wartości pola ToS. Następnie zaznaczając wszystkie potrzebne łącza skonfigurowano parametry implementacji usługi QoS. Z dostępnej listy mechanizmów wybrano kolejkę PQ, opartą na polu ToS. Konfigurację zaprezentowano na rysunku nr 4.



Rysunek 4. Okno konfiguracji Quality of Service

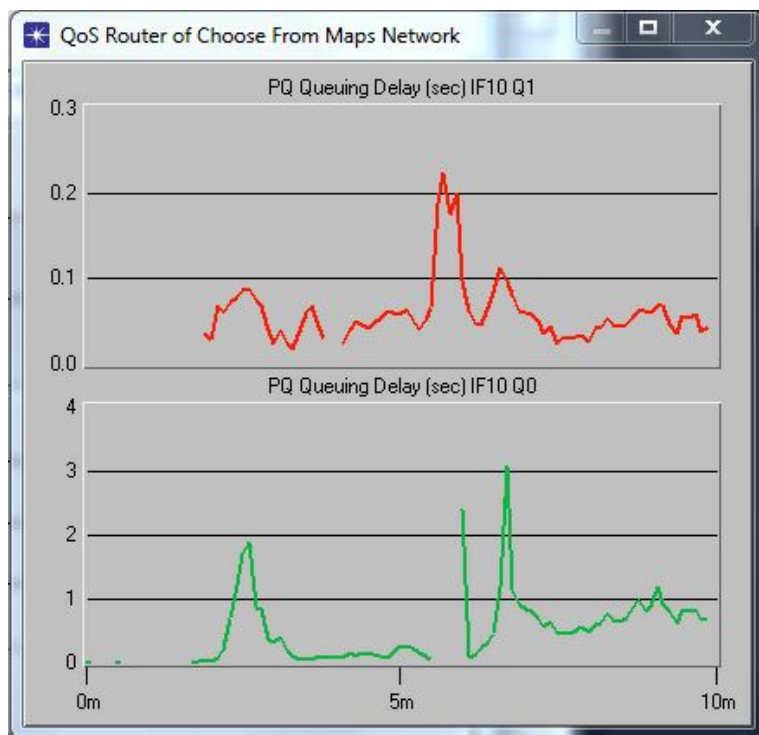
Po dokonaniu właściwej konfiguracji parametrów na każdym urządzeniu przystąpiono do wyboru indywidualnych statystyk symulacji. Po poprawnej konfiguracji sieci oraz ustawień Quality of Service wydano polecenie wykonania symulacji. Zaznaczono opcję zbierania danych w menadżerze scenariuszy. Ustawiono symulację na 600 sekund (symulacyjne sekundy, nie odnoszące się do czasu rzeczywistego trwania symulacji).

Na rysunku nr 5 pokazano przebieg procesu symulacji. Jak widać, wystąpiło ponad 400 tysięcy zdarzeń, które mogą dokładnie odwzorować rzeczywistość.



Rysunek 5. Okno przeprowadzenia symulacji

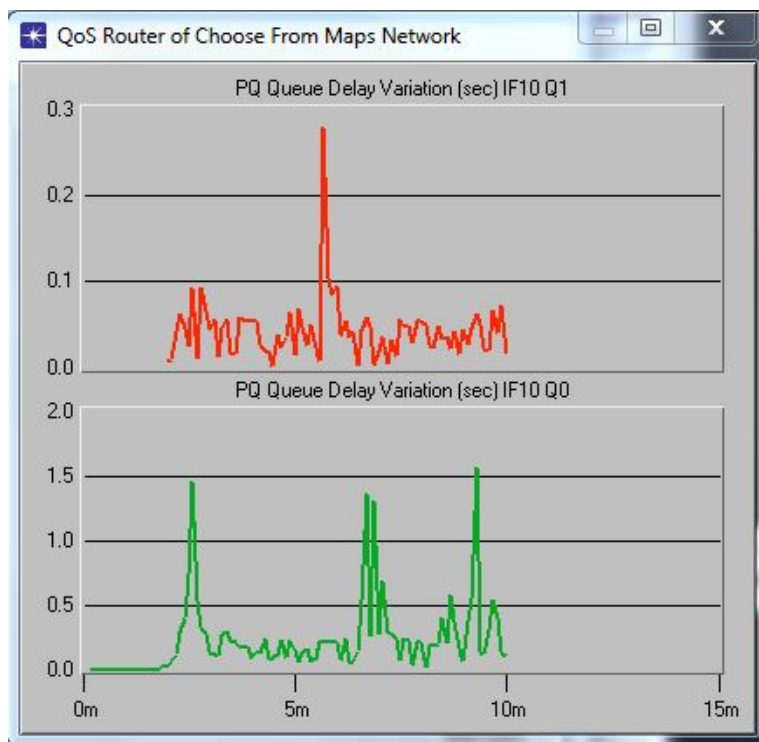
Po zakończeniu symulacji przystąpiono do analizy otrzymanych danych. Rezultaty symulacji mogą być zaprezentowane na wiele sposobów, np.: prezentacja jednej kolejki PQ dla każdego ruchu na interfejsie o innym priorytecie usługi FTP. Wykresy można dowolnie skonfigurować według ustalonych wcześniej kryteriów. Istnieje możliwość doprecyzowania zakresu czasowego i ilościowego wykresu lub przedstawienia go w różnych postaciach: histogram, wykres punktowy, średnia, zakres liniowy, różniczka, całość.



Rysunek 6. Przykład opóźnienia ruchu FTP w kolejce PQ

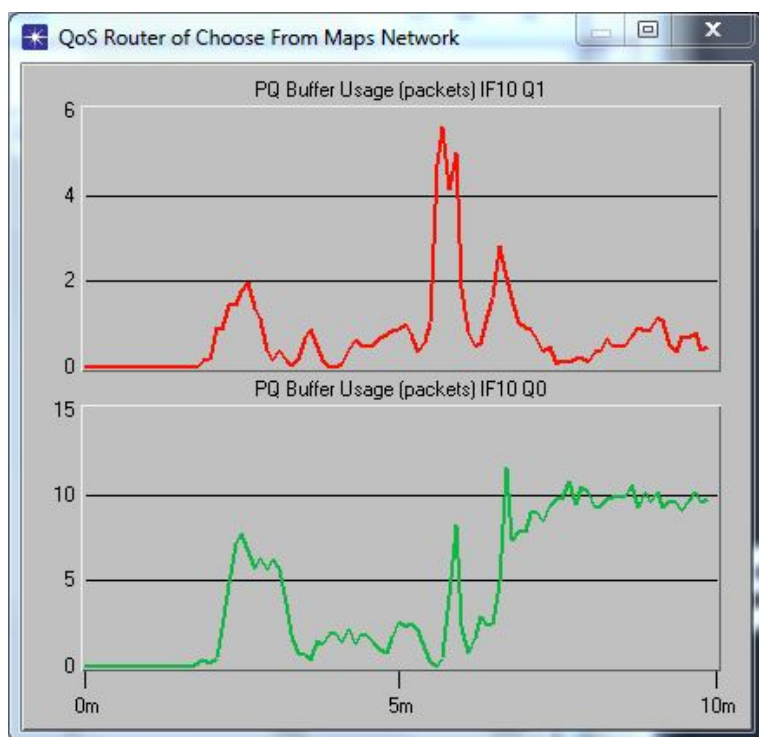
Na rysunku nr 6 wykres czerwony prezentuje sytuację na interfejsie 10 routera QoS. Q1 jest kolejką obsługującą ruch FTP o wysokim priorytecie. Zielony wykres przedstawia podobną sytuację, tylko kolejka obsługuje ruch o niskim priorytecie.

Zapewnienie jakości usług ruchu FTP polega na kolejkowaniu pakietów według mechanizmu PQ. Klasyfikacja odbywa się na bazie wartości pola ToS, im wyższa wartość, tym ważniejszy pakiet. Przez pierwsze kilkadziesiąt sekund opóźnienie jest znikome. Powodem takiej sytuacji jest wstępne zapełnienie kolejki. Później opóźnienie zwiększa się gwałtownie. Patrząc na skalę, opóźnienie ruchu priorytetowego sięga niewiele ponad 0,2 s. Porównując, opóźnienie w ruchu o niskim priorytecie sięga do 3 s. Podobna sytuacja występuje na rysunku nr 7.



Rysunek 7. Zmienność opóźnienia ruchu FTP w kolejce PQ

Wykres czerwony prezentuje zmienność opóźnienia ruchu o wyższym priorytecie od ruchu przedstawionego w kolorze zielonym. Zmienność opóźnienia podobnie jak opóźnienie przez pierwsze kilkadziesiąt sekund praktycznie nie występuje. Powód również jest taki sam, kolejka powoli się wypełnia pakietami. Pakiety priorytetowe osiągają maksymalną zmienność opóźnienia na poziomie około 0,25 s. Natomiast zmienność opóźnienia ruchu o niskim priorytecie przekracza miejscami 1,5 s.

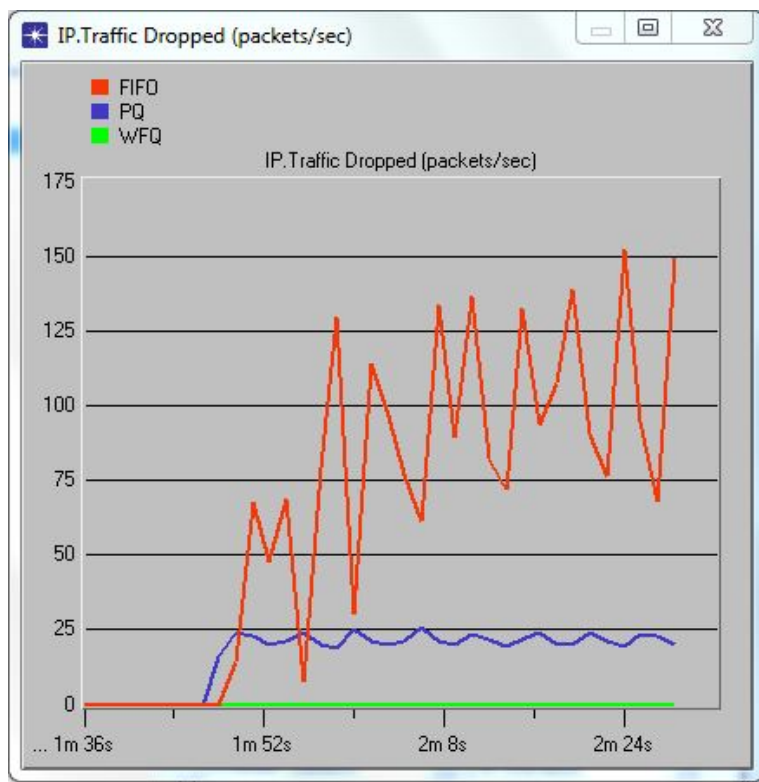


Rysunek 8. Wykorzystanie bufora ruchu FTP w kolejce PQ

Rysunek nr 8 przedstawia ilość pakietów czekających w kolejce. Wiele pakietów o niskim priorytecie przebywa w kolejce przez dłuższy czas, oczekując na transmisję. W przeciwieństwie do obsługi ruchu Low FTP, ruch o wysokim priorytecie odbywa się bez dłuższego oczekiwania pakietów w kolejce. Występująca liczba oczekujących pakietów jest stosunkowo mniejsza do ruchu niskopriorytetowego (maksymalnie 5 pakietów w ciągu całej symulacji). Pod koniec symulacji ilość pakietów oczekujących na transmisję w ruchu o niskim priorytecie przekracza wartość 9-10 pakietów.

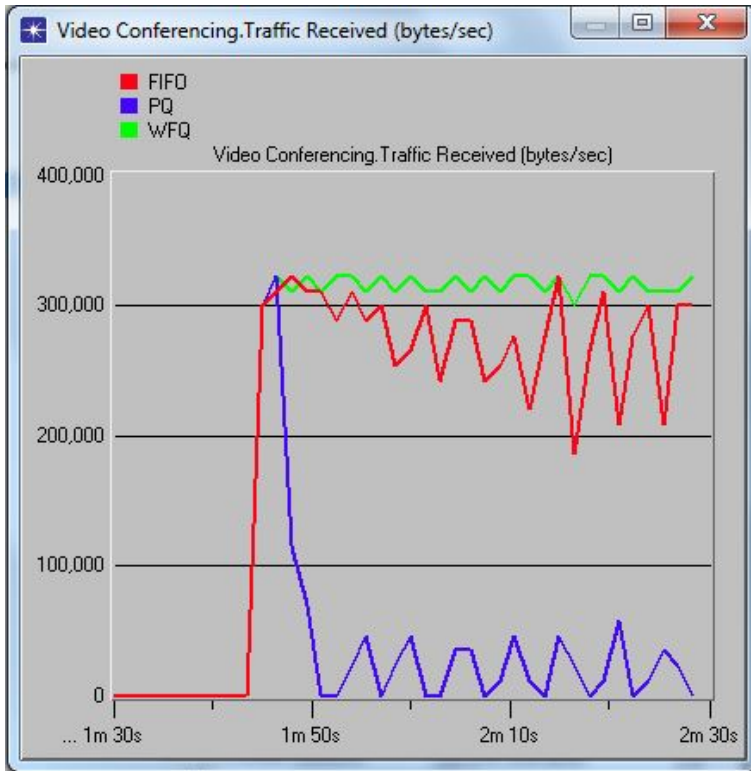
Analizując rysunek nr 9 widzimy, że czerwony wykres dokładnie oddaje zasadę kolejki FIFO „pierwszy przyszedł, pierwszy wyszedł”. Wzrost i spadek odrzucenia pakietów jest nagły i gwałtowny. Porównując to do innych mechanizmów FIFO możemy zauważyć, że nie wykorzystuje on wartości pola ToS, co powoduje największą liczbę odrzucenia pakietów – ponad 150 pakietów/s. Wykres niebieski prezentuje kolejkę PQ, gdzie pakiety zostają przydzielone do określonych kolejek. Odrzucenie

pakietów jest na stałym, niskim poziomie, nie przekraczającym 25 pakietów/s. Najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie kolejki WFQ. Odpowiednie przydzielenie pakietów do danej klasy, powoduje ich bardzo niskie odrzucenie, w tym przypadku nawet zerowe.



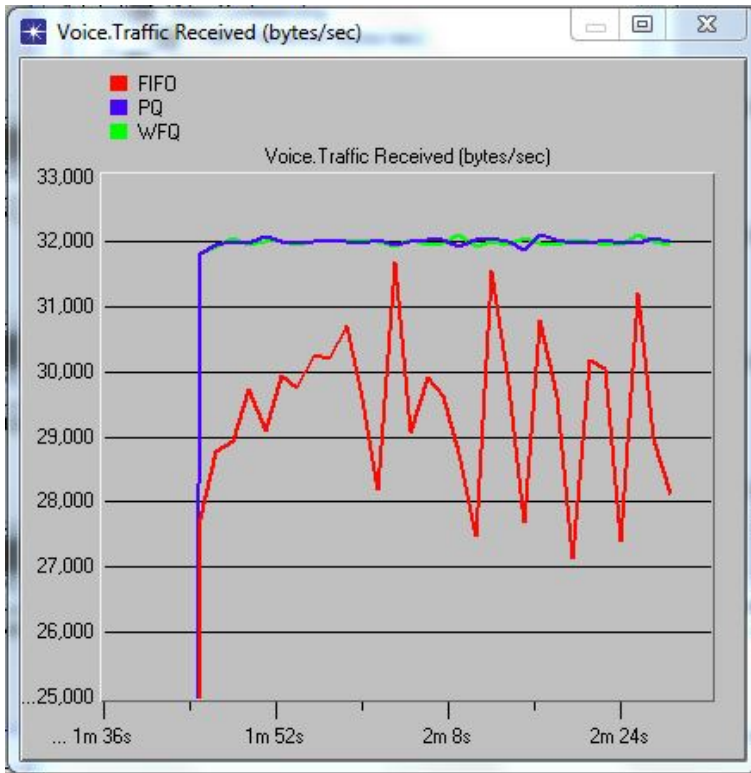
Rysunek 9. Porównanie mechanizmów kolejkowania – odrzucenie pakietów IP

Drugą metodą prezentacji wykorzystania właściwości Quality of Service jest porównanie trzech mechanizmów kolejkowania. Na kolejnych pięciu rysunkach przedstawiono kolejki FIFO, PQ oraz WFQ.



Rysunek 10. Porównanie mechanizmów kolejkowania – odebrany ruch wideo

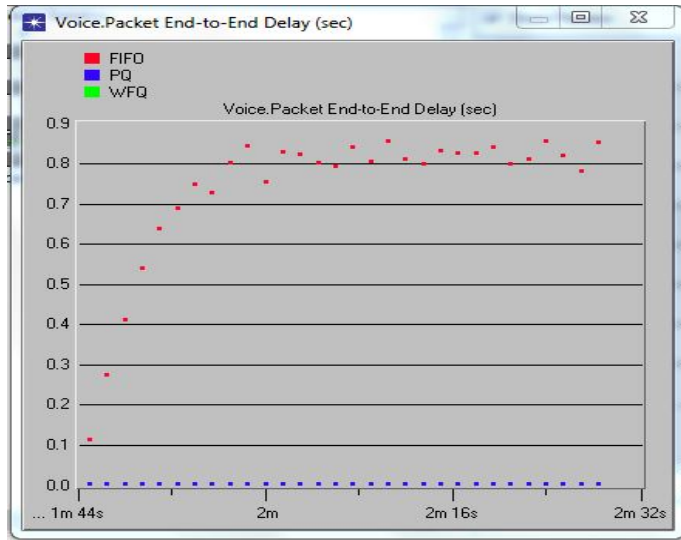
Na rysunku 10 wyraźnie widać nagły spadek odebranych pakietów przez kolejkę PQ. Powodem tego jest zbyt mała przepływność dla ruchu o nie najwyższym priorytecie. W momencie, gdy ruch wideo nie posiada najwyższego priorytetu, nie zostaje obsługiwany w pierwszej kolejności. Ruch wideo składa się z dużej ilości pakietów, które w dużym tempie napływają do interfejsu, którego kolejka PQ nie jest w stanie obsłużyć. Kolejka FIFO przez dłuższy okres czasu również nie radzi sobie z tym rodzajem ruchu. Ciągłe napływające pakiety, tworzą zator, który gwałtownie zanika po około 1m 45s i ilość pakietów odebranych diametralnie wzrasta. Podobną kolejką jest WFQ, która na początku zachowuje się jak mechanizm FIFO. Jednak w dalszej części, odbiór pakietów jest stabilny i jego ilość jest wyższa od innych kolejek.



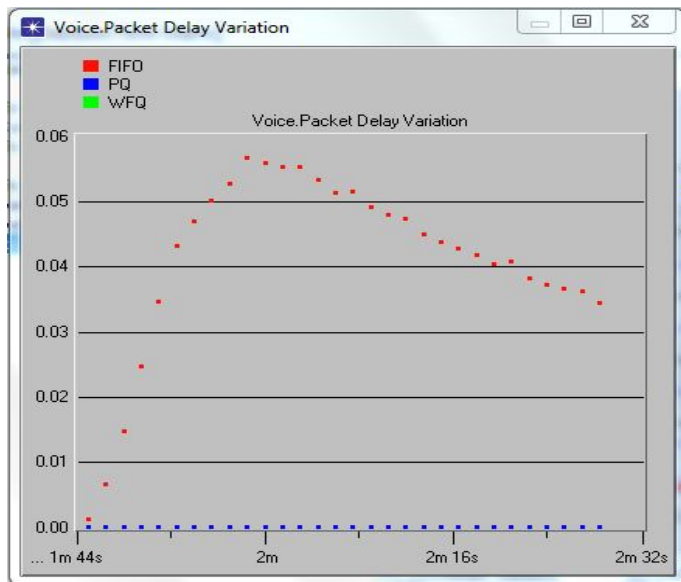
Rysunek 11. Porównanie mechanizmów kolejki – odebrany ruch voice

Sytuacja na rysunku nr 11 jest podobna do poprzedniego. Różnica przejawia się w obsłudze ruchu przez mechanizm PQ. Ruch głosowy posiada ustawione pole ToS z najwyższą wartością. Obsługa tego ruchu przez kolejkę PQ jest priorytetowa. Również mechanizm WFQ reaguje zgodnie z ustalonym priorytetem dla danej klasy, odebrane pakiety oscylują w ilości 32000 bajtów/s. Kolejka FIFO obsługuje ruch zgodnie ze swoim algorytmem, powodując nagłe skoki odebrania pakietów.

Na rysunkach 12 i 13 można zaobserwować, że opóźnienie oraz zmienność opóźnienia w kolejkach WFQ i PQ jest na takim samym, zerowym poziomie. Porównując to do poprzedniego schematu, kolejka FIFO poprzez gwałtownie niestabilny odbiór pakietów, opóźnienie oraz zmienność opóźnienia przedstawia się na wysokim poziomie.



Rysunek 12. Porównanie mechanizmów kolejkowania – opóźnienie end-to-end ruchu voice



Rysunek 13. Porównanie mechanizmów kolejkowania – zmienność opóźnienia ruchu voice

Podsumowanie

Zaimplementowanie modelu QoS powoduje zmniejszenie opóźnienia i zmienności opóźnienia pakietów różnych usług oraz zwiększa ich przepływ. Ważnym aspektem jest prawidłowa konfiguracja kolejek oraz dostosowanie ich do typu usług. Przykładem może być priorytetowa kolejka PQ, która nie radzi sobie z ruchem wideo, która ma ustawiony niższy priorytet niż ruch głosowy. Powoduje to nagły spadek odebranych pakietów. W większości przypadków wykorzystanie podstawowego mechanizmu FIFO powoduje spore opóźnienia i jego zmienność. Mimo wszystko ten algorytm jest w stanie zagwarantować wyższy poziom usług niż utworzenie sieci nie wykorzystującej żadnego mechanizmu.

Najlepszym wyborem spośród zasymulowanych trzech kolejek będzie wykorzystanie WFQ. Na każdym schemacie ten mechanizm posiada najkorzystniejszą charakterystykę odrzucania pakietów, opóźnienia, zmienności opóźnienia oraz ruchu odebranego od różnych usług.

Analizując charakterystyki opisanych mechanizmów, zakres polityki gwarantowania jakości usług może przynieść następujące korzyści:

1. Klasyfikacja ruchu i etykietowanie pakietów – mechanizmy wykorzystują różne kryteria do organizacji ruchu w sieciach IP. Pakiety cechują się różnymi właściwościami i przynależą do różnych klas i usług. Klasyfikacja i etykietowanie odbywa się na ruchu przychodzącym na interfejs.
2. Zarządzanie zatorami – dostarczenie środków do obsługi zasobów podczas przeciążenia sieci, stosowany na ruchu wychodzącym z interfejsu. Metodą zarządzania zatorami jest buforowanie pakietów, a następnie poprzez algorytm planowania transmisji, ustala się sposób przekazywania ich sekwencji.
3. Zapobieganie zatorom – poprzez monitorowanie stanu zużycia zasobów sieciowych, stosowany na ruchu wychodzącym. W momencie krytycznym, dochodzącym do utworzenia zatoru, mechanizmy aktywnie redukują ilość ruchu poprzez odrzucanie pakietów.
4. Mechanizmy kontroli ruchu – monitorują i organizują ruch wejściowy i wyjściowy.

W momencie przekroczenia maksymalnego poziomu przepływu wyznaczonego przez specyfikację, mechanizmy nakładają ograniczenia na ruch oraz dostosowują wielkość ruchu wyjściowego do zasobów sieciowych danego urządzenia. Taka kontrola może uniknąć niepotrzebnego odrzucenia pakietów oraz wystąpienia przeciążenia. Dodatkowo mechanizmy usprawniające wydajność łączy poprawiają poziom polityki QoS, zmniejszając opóźnienie w transporcie określonej usługi i dostosowując dostępne pasmo.

Analizując wyniki otrzymane w przeprowadzonych symulacjach można wyciągnąć wnioski, iż wykorzystanie różnych mechanizmów kolejkowania zagwarantuje określoną jakość usług zgodną z wymaganiami. Zaimplementowanie mechanizmów powoduje zmniejszenie opóźnień i zmienności opóźnień pakietów różnych usług oraz zwiększa ich przepływ.

Selected mechanisms of ensuring quality of services in IP Networks

Abstract

The article presents selected mechanisms of ensuring quality of services in IP networks (FIFO, WFQ, PQ). Appropriate simulation scenarios in a laboratory environment OPNET were developed. The impact of the selected mechanisms of quality of services on such important parameters of the network infrastructure as delay, packet rejection or delay variation are shown.

Keywords – quality of services, delay, packet rejection, delay variation