

*Wyszczególniono metody oceny jakości przesyłanego głosu. Zaproponowano przykładowe zasady testowania i oceny przydatności sieci do świadczenia usługi VoIP. Omówiono mechanizmy, umożliwiające poprawę jakości połączeń w istniejących sieciach danych.*

**protokół IP, usługa głosowa w sieciach IP (VoIP), jakość usługi (QoS)**

## Wprowadzenie

Proces testowania i oceny przydatności sieci do usługi VoIP (*Voice over IP*) jest najważniejszym elementem skutecznego wdrożenia tej usługi w istniejących sieciach danych. Badania te powinny być zakończone, zanim zostaną poniesione nakłady na zakup i instalację urządzeń, umożliwiających świadczenie usługi VoIP.

Proces testowania sieci pod kątem przydatności do usługi VoIP jest złożony i czasochłonny. Testy powinny być dostosowane do charakteru sieci, jej budowy oraz do zastosowanych urządzeń i protokołów. Niezwykle istotne jest uwzględnienie zmienności sieci, niezbędne więc będzie wykorzystanie informacji pochodzących z systemów zarządzania i monitorowania.

Warto zatem przedstawić przykład procesu testowania sieci o dobrze ustalonej charakterystyce ruchu pod kątem jej przydatności do transmisji głosu. W zaproponowanej metodyce testów [6] zostały wyróżnione następujące etapy:

- opracowanie testu, symulującego ruch VoIP w postaci jednej lub kilku komunikacji;
- cykliczne uruchamianie testu w rzeczywistej sieci i gromadzenie wyników pomiarów parametrów wydajnościowych oraz jakościowych tej sieci;
- przegląd uzyskanych wyników i ocena jakości połączeń w sieci;
- rozwiązywanie ewentualnych problemów z poprawą jakości usług;
- ponowne uruchomienie testów oceny jakości i oszacowanie rezultatów dokonanych zmian;
- wykonanie testów wydajnościowych sieci, niezbędnych podczas projektowania i rozbudowy sieci VoIP.

Najbardziej optymalną metodą oceny sieci jest określenie jej parametrów bez stosowania urządzeń do obsługi VoIP. W dalszej części artykułu wymieniono niektóre z tych możliwości i metody ich zastosowania.

## Metody oceny jakości głosu

Jakość głosu można oceniać, stosując niżej wymienione metody, opisane w podanych normach:

- MOS (*Mean Opinion Score*) [3],
- PSQM/PSQM+ (*Perceptual Speech Quality Measure*) [4],
- MNB (*Measuring Normalized Blocks*) [4],
- PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) [5],
- PAMS (*Perceptual Analysis Measurement System*) [7],
- E-Model [1] oraz [4].

Początkowo stosowano głównie metodę **MOS** [3], na podstawie której dokonywano tzw. oceny subiektywnej jakości głosu. Metoda ta wymagała wstępnego zapisywania próbek głosu, łączenia ich w duży zbiór głosów męskich i żeńskich oraz przesyłania utworzonej tak informacji w sieci realizującej usługi VoIP z zachowaniem odpowiednich warunków. Wyniki zaprezentowano w pięciopunktowej skali MOS, gdzie „0” odpowiada najgorszej, a „5” – najlepszej jakości. Wartość „4” była zgodna z wynikami uzyskiwanymi w sieci telefonicznej.

Metodę pomiaru jakości połączeń MOS stosowano powszechnie przez długi czas, choć była ona trudna, kosztowna i czasochłonna, gdyż wymagała zaangażowania zespołu ludzi. Dążono więc do pełnej automatyzacji pomiarów, starając się stworzyć wzory zachowań ludzkich.

W zaleceniu [4] przedstawiono metodę **PSQM**, proponując zautomatyzowanie procesu testowania z wykorzystaniem algorytmu, dzięki któremu można otrzymywać rezultaty zbliżone do wyników uzyskanych w metodzie MOS. Przeprowadzono analizę przydatności opisanej metody do wykorzystania w sieciach realizujących usługi VoIP. Stwierdzono jednak, że metoda PSQM, przeznaczona dla sieci z komutacją łączy, nie uwzględnia ważnych dla telefonii IP czynników, takich jak wariacja opóźnienia, czy utrata pakietu.

Ze względu na już wymienione i inne ograniczenia metody PSQM, zaczęto szukać nowych sposobów pomiaru jakości głosu. W rezultacie opracowano metodę **PAMS** [7], zaprojektowaną przez operatora British Telecom.

Metody PSQM oraz PAMS należą wprawdzie do bardziej zaawansowanych metod pomiaru jakości głosu niż metoda MOS, jednak – ze względu na upowszechnienie metody MOS jako akceptowanego kryterium oceny jakości głosu – dostawcy sprzętu, którzy implementują wyżej podane metody, właśnie z nią korelują uzyskane wyniki.

W metodach PSQM i PAMS wykorzystuje się sygnał odniesienia przesyłany przez sieć telefoniczną, a następnie porównuje się go z sygnałem odebrany na wyjściu sieci, używając do tego algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów. Metody te są przydatne do oceny poprawności pracy indywidualnych urządzeń w warunkach laboratoryjnych (np. aparatów telefonicznych). Natomiast nie są one dostosowane do oceny jakości połączeń w sieci danych, ponieważ nie uwzględniają wpływu elementów i funkcji sieciowych.

Metody te mają następujące wady:

- nie uwzględniają specyficznych problemów sieci danych, a więc nie umożliwiają bezpośredniego odwzorowania w wynikach takich parametrów, jak opóźnienie, wariacja opóźnienia i utrata

pakietów, zatem wyniki pomiarów nie mogą wpływać na czynności zmierzające do poprawy parametrów sieci;

- nie umożliwiają określenia opóźnienia w łańcuchu „od końca do końca”;
- uzyskane wyniki dotyczą jakości określonej tylko dla jednego kierunku;
- nie ma możliwości oceny jakości wielu jednoczesnych połączeń między parą współpracujących urządzeń;
- pomiary mają charakter inwazyjny, wymagają zakupu i instalacji dodatkowych urządzeń przed rozpoczęciem pomiarów VoIP.

Do oceny przydatności sieci danych do świadczenia usług VoIP są przydatne metody obiektywne, np. metoda **E-Model**, opisana szczegółowo w zaleceniu [1]. Umożliwia ona obliczenie „wartości R”, odzwierciedlającej opóźnienie i czynniki, wynikające z niewłaściwego działania urządzeń. „Wartość R” mieści się w zakresie od 0 do 100 i może być przeliczona na wartość MOS z zakresu od 5 do 1.

Metoda E-Model zapewnia testowanie przydatności sieci w sposób wielostronny i powtarzalny. Umożliwia także ocenę dwóch czynników, wpływających na cyfrowy sygnał głosowy przesyłany przez sieć danych, czyli opóźnienie i wpływ zakłóceń pochodzących od urządzeń usytuowanych między dwoma punktami połączenia. Dla usługi VoIP tymi urządzeniami są kodeki na obydwóch końcach połączenia i wszystkie inne urządzenia sieci danych umieszczone między kodekami.

## Przygotowanie sieci danych do usługi VoIP

Jeśli wynik oceny przydatności sieci do usług VoIP jest negatywny, należy przeanalizować wyniki testów oraz ustalić przyczyny, które to powodują i miejsca ich powstawania. Należy określić najważniejszą przyczynę niskiej jakości połączeń. Może ona być spowodowana: opóźnieniem w jednym kierunku, wariacją opóźnień, utratą pakietów lub też połączeniem wymienionych czynników.

Znanych jest kilka metod, umożliwiających poprawę jakości transmisji połączeń w istniejących sieciach danych. Oprócz zapewnienia odpowiedniego pasma i właściwych urządzeń sieciowych, do transmisji głosu w sieciach komputerowych jest konieczne zastosowanie odpowiednio dobranych mechanizmów poprawy jakości usług (QoS – *Quality of Service*).

### Wymagana szerokość pasma

Zajęcie pasma przez połączenia VoIP jest szersze, niż wynika to z zasady kodowania. Przykładowo, w kodeku G.729 część użytkowa informacji zajmuje 8 kbit/s, natomiast rzeczywiste wykorzystanie pasma jest dużo większe. W przypadku wysyłania pakietów w przerwach 30-milisekundowych informacja użytkowa zajmuje 30 bajtów w datagramie. Do tego dodaje się 12 bajtów nagłówka RTP (*Real Time Protocol*), 8 bajtów nagłówka UDP (*User Datagram Protocol*), 20 bajtów nagłówka IP (*Internet Protocol*) oraz dodatkowo nagłówek warstwy drugiej, np. 18 bajtów dla Ethernet (w tym 4 bajty sumy kontrolnej CRC – *Cyclic Redundary Check*). Do 30 bajtów informacji użytkowej jest dodawane zatem 58 bajtów informacji nadmiarowej. W przypadku dwukierunkowego połączenia zużycie pasma jest dwa razy większe. W tablicy 1 przedstawiono niezbędną szerokość pasma dla poszczególnych kodeków. Z tego zestawienia wynika, że dla kodeków G.711 całkowita szerokość pasma w przypadku dwukierunkowego połączenia VoIP wynosi 160 kbit/s, a dla pozostałych kodeków o niskiej szybkości – około 50 kbit/s.

Tabl. 1. Wymagana szerokość pasma dla kodeków przy dwukierunkowych połączeniach VoIP

Kodek	Nominalna szybkość danych [kbit/s]	Rozmiar danych w pakiecie 30 ms [bajty]	Całkowity rozmiar datagramu [bajty]	Szerokość pasma (dwukierunkowe połączenie VoIP) [kbit/s]
G.711	64,0	240	298	158,93
G.729	8,3	30	88	46,93
G.723.1m	6,3	24	82	43,73
G.723.1a	5,3	20	78	41,60

W praktyce stosuje się cztery niżej wymienione techniki sterowania wykorzystaniem pasma.

- RTP z kompresją nagłówków (cRTP – compressed Real Time Protocol) – protokół RTP z zaimplementowanym mechanizmem redukcji liczby bajtów w datagramach RTP.** Kompresja nagłówka jest to rozwiązanie często stosowane w urządzeniach przeznaczonych do pracy, zwłaszcza na wolnych łączach (PPP – *Point-to-Point Protocol*; FR – *Frame Relay*; ISDN – *Integrated Services Digital Network*). Rozwiązanie polega na redukcji nagłówka do kilku bajtów, z uwzględnieniem opcji *hop-by-hop*. Mechanizm cRTP jest głównie stosowany między ruterami sieci szkieletowej. Ogólnie, mechanizm kompresji nagłówka obejmuje nie tylko protokół RTP. W rzeczywistości można zredukować 40-bajtowy nagłówek (łącznie dla protokołów RTP, UDP, IP) do 2–5 bajtów. Dzięki temu zostaje znacznie zmniejszone zużycie pasma, szczególnie gdy wykorzystuje się kodeki o małej szybkości i w sytuacjach, gdy informacja użytkowa zajmuje niewiele bajtów. W praktyce jednak należy liczyć się z tym, że mechanizm cRTP zwiększa opóźnienie transportu, będące składnikiem ogólnego opóźnienia w jednym kierunku.
- Eliminacja okresów ciszy.** Mechanizm eliminacji okresów ciszy umożliwia zmniejszenie szerokości pasma przez zmniejszenie informacji użytkowej. Zjawisko polega na wyeliminowaniu długotrwałych okresów ciszy w rozmowie, w celu zredukowania liczby przesyłanych pakietów. W efekcie, dzięki wykorzystaniu tego mechanizmu na obydwu końcach połączenia można zmniejszyć informację użytkową o ponad 50%. Z tego względu mechanizmy eliminacji ciszy stosuje się we wszystkich praktycznych rozwiązaniach transmisji głosu w sieci danych.
- Upakowanie ramek.** Mechanizm upakowania ramek umożliwia zmniejszenie szerokości pasma przez wstawienie wielu pakietów informacji użytkowej w jeden datagram, a zatem dla wielu pakietów informacji użytkowych jest wymagany tylko jeden nagłówek IP/UDP/RTP. Przy wyborze wielkości datagramu trzeba pamiętać, że choć pakiety o większym rozmiarze powodują znaczącą redukcję całkowitej szerokości pasma, to dodają opóźnienie związane z formowaniem danych w pakiety. Dla zilustrowania mechanizmu można rozpatrzeć przypadek, w którym przy zachowaniu przepływności 8 kbit/s są wysyłane ramki co 20 ms, a każdy pakiet zawiera 20 bajtów użytkowej informacji głosowej. W wyniku enkapsulacji są dokładane nagłówki protokołów: RTP (12 bajtów), UDP (8 bajtów) oraz IP (20 bajtów). Otrzymuje się zatem dodatkowo 40 bajtów (bez uwzględnienia protokołu warstwy drugiej), a więc dużo w stosunku do transmisji 20 bajtów danych użytkowych. Rozwiązaniem tego problemu jest zwiększenie rozmiaru pakietu, np. wysyłanie pakietów co 40 ms, przez co zostanie zwiększone wykorzystanie pasma. Przed podjęciem decyzji należy zweryfikować, czy powstałe w ten sposób opóźnienia mogą być akceptowane. Niekorzystnym bowiem skutkiem zastosowania tego mechanizmu jest zwiększenie opóźnienia, ponieważ datagram

nie może być dopóty wysłany, dopóki nie zostanie zebrana odpowiednia liczba pakietów. Ponadto utrata pojedynczego datagramu może oznaczać utratę wielu pakietów informacji użytkowych, co prowadzi do pogorszenia jakości połączenia.

- **Akceptacja wywołania.** Mechanizm akceptacji wywołania umożliwia ograniczanie liczby jednoczesnych połączeń VoIP. Oprogramowanie sterujące może ograniczać liczbę konkurujących o wspólne zasoby połączeń do z góry określonej wartości, aby zapobiec przeciążeniu wolnych łączy.

## Dobór urządzeń

W niektórych sytuacjach poprawa parametrów lub zastąpienie urządzeń pracujących w sieci urządzeniami bardziej wydajnymi może zapewnić dobrą jakość transmisji bez konieczności rezerwowania dodatkowej szerokości pasma. Poprawę parametrów istniejącego sprzętu można osiągnąć, podejmując odpowiednie działania, a mianowicie należy:

- huby w sieciach LAN zastąpić nowoczesnymi przełącznikami o dużej szybkości, które udostępniają mechanizmy poprawy jakości;
- wyposażyć routery odpowiedzialne za kolejzkowanie pakietów w pamięć o większej pojemności;
- zamienić *firewalle* (ściany ogniowe) realizowane wyłącznie przez oprogramowanie na dużo szybsze (zmniejszające opóźnienie transportu) *firewalle*, mające niektóre, specyficzne funkcje wspomagane sprzętowo;
- zmodyfikować strukturę sieci szkieletowej pod kątem skuteczności działania w warunkach dużego ruchu.

Ważnym zagadnieniem jest **ustawienie bufora jitter**. W większości sprzętu VoIP bufor *jitter* może być konfigurowany. Wielkość bufora powinna być ustawiona w taki sposób, aby zachować odpowiednią proporcję między opóźnieniem a jakością. Gdy bufor będzie za mały, występujące w sieci zakłócenia na skutek utraty pakietu lub wariacji opóźnienia, spowodują pogorszenie jakości głosu. Natomiast w przypadku zbyt dużego bufora, jakość głosu będzie odpowiednia, jednak – wskutek powstałego opóźnienia – komunikacja telefoniczna stanie się praktycznie niemożliwa.

Poniżej zaprezentowano jeden z możliwych sposobów określania rozmiaru bufora *jitter*. Dla danego strumienia audio trzeba zebrać następujące informacje:

- numer sekwencyjny kolejnego, przychodzącego pakietu protokołu RTP;
- czas bezwzględny przybycia pakietu;
- czas *inter-arrival*, stanowiący różnicę między czasem bezwzględnym przybycia danego pakietu a czasem bezwzględnym przybycia poprzedniego pakietu;
- opóźnienie czasu *inter-arrival*, wskazujące, jak bardzo różni się oczekiwany czas *inter-arrival* (równoważny z czasem *inter-emission*, określającym, co jaki czas jest wysyłany pakiet) od czasu wyliczonego;
- błąd, wskazujący zbiorczą sumę opóźnień czasu *inter-arrival*, dostarczający więc w ten sposób pomiar dla pożądanego bufora *jitter*; gdy wszystkie pakiety przybędą zgodnie z oczekiwaniami, wartość opóźnienia czasów *inter-arrival* będzie wynosiła 0 i będzie tożsama z wartością skumulowanego błędu; jednak gdy pakiety będą konsekwentnie przychodzić wcześniej, lub później, wartość błędu będzie rosła; wartość tego parametru pozwala emulować zachowanie bufora *jitter*, jeśli bowiem wskazany wynik przekroczy jego rozmiar, oznacza to, że pakiet zostanie utracony.

Analiza wartości opóźnienia czasów *inter-arrival* (błąd) umożliwia określenie pożądanego rozmiaru bufora *jitter*. Przy założeniu, że nie może być stracony żaden pakiet, wystarczy ustawić rozmiar bufora na maksymalną odczytaną wartość tego parametru. Natomiast przy założeniu, że bufor ma pomieścić 95% pakietów, należy przyjąć jego rozmiar na 95% wartości wskazanej przez parametr *błqd*.

Przedstawiona analiza dotyczy przypadku jednego strumienia. Dla głębszej oceny zjawiska należy zbierać dane ze wszystkich strumieni oraz wykonywać obliczenia statystyczne dla wielu strumieni z wykorzystaniem odpowiednich metod i narzędzi.

## Architektura sieci

Z punktu widzenia architektury sieci ważnym zagadnieniem jest rozmieszczenie elementów sieci i jej użytkowników. W tym celu należy rozważyć takie zagadnienia, jak:

- czy dla danego połączenia jest możliwe zastosowanie krótszych, czy bezpośrednich dróg transmisyjnych, co zapewni zredukowanie czasu propagacji i opóźnienia;
- czy jest możliwe zmniejszenie liczby węzłów w sieci, co zmniejszy czas propagacji;
- czy tworzyć wzory ruchu, tzn. określać potrzeby użytkowników, rodzaj aplikacji wykorzystywanych przez nich i ich lokalizację; należy też zastanowić się, czy serwery nie powinny być zlokalizowane bliżej klientów, co zmniejszy ruch w szkieletcie sieci, a także czy jest możliwe inne rozmieszczenie ścian ogniowych.

## Zagadnienia związane z wydajnością sieci

W dotychczasowej analizie skupiono się na problemach wydajności sieci, związanych z transmisją głosu, pomijając aspekt fazy zestawiania połączeń. Okazuje się, że proces ten również może mieć wpływ na wydajność sieci. W szczególności dotyczy to takich parametrów, jak:

- **czas zestawiania połączenia**, czyli czas liczony od momentu wysłania wiadomości zestawiania połączenia do momentu zestawienia połączenia; użytkownicy przyzwyczajeni do szybkości zestawiania połączeń w sieci z komutacją łączy oczekują podobnej wydajności od sieci realizujących usługę VoIP;
- **współczynnik skutecznych połączeń**, czyli stosunek liczby zestawionych połączeń do ogólnej liczby wywołań.

Wymienione parametry są istotne z punktu widzenia użytkowników. Natomiast dla usługodawców sieciowych jest ważna szybkość zestawienia połączenia – liczba możliwych do zestawienia połączeń w ciągu sekundy. Określa się w ten sposób górne ograniczenie wydajności urządzeń.

Testowanie i dokonywanie pomiarów ww. parametrów wymaga dokładnej analizy wiadomości protokołu Q.931, stosowanego w rozwiązaniach VoIP. Mają one pole *call reference*, dzięki któremu można odróżnić procedury zestawiania połączenia od innych danych. Wiadomości te są przeplatane transferem zwykłych danych, należy więc odfiltrować wiadomości sterujące od strumieni audio i przedstawić je w formacie zorientowanym połączeniowo (*call-oriented format*). Umożliwia to:

- analizę współczynnika skutecznych połączeń, potrzebną do kontrolowania połączeń generowanych lub otrzymywanych przez konkretny terminal;

- przeglądanie listy połączeń, pomocnej do zidentyfikowania problemów występujących dla danego połączenia;
- analizę danego połączenia, służącą do oceny zawartości przesyłanych wiadomości;
- wykonywanie statystyk wydajnościowych.

### **Techniki zapewniające jakość usług (QoS)**

Aplikacje i urządzenia sieciowe mają zaimplementowane techniki, zapewniające podział zasobów sieci pod kątem spełniania wymagań jakościowych.

Można wyróżnić dwa mechanizmy decydujące o jakości usług:

- klasyfikację rodzajów ruchu (przez co rozumie się przypisywanie klas przesyłanym w sieci rodzajom ruchu),
- sposób obsługi rodzajów ruchu.

Decyzje dotyczące tych mechanizmów stanowią ważny element techniczno-biznesowy, związany z zagadnieniem jakości usług.

#### **Klasyfikacja ruchu**

Klasyfikacja ruchu musi obowiązywać w całej sieci i powinna być wykonywana możliwie najwcześniej. W najlepszej sytuacji klasyfikacja ruchu jest realizowana przez urządzenia, które wprowadzają transmisję głosową do sieci.

Klasyfikacja ruchu na brzegu sieci jest obecnie najbardziej rozpowszechniona. Urządzenia brzegowe zarządcy szerokością pasma lub *firewall* stanowią centralne punkty administrowania zasobami. W tym przypadku można zabezpieczyć urządzenia brzegowe i zastosować stały zestaw zasad obsługi ruchu w miejscach, przez które jest przekazywana większość ruchu.

Klasyfikacja ruchu w środku sieci jest również powszechna, ale urządzenia zazwyczaj mają uboższą informację o ruchu.

Klasyfikacja ruchu jest także wykonywana przez aplikacje i urządzenia końcowe. Czy dany rodzaj klasyfikacji zostanie dalej uwzględniony (oraz w jaki sposób), czy też nie, zależy od administratora.

Można wyróżnić takie sposoby klasyfikacji ruchu, jak:

- bity *DiffServ/TOS*, umożliwiające przypisanie priorytetu na brzegu lub w środku sieci;
- sygnalizacja RSVP, służąca do rezerwacji zasobów dla połączeń;
- adresy i numery portów, zapewniające lepszą obsługę dla wyznaczonych numerów portów i adresów sieciowych;
- informacja zawarta w nagłówku RTP, umożliwiająca lepsze „traktowanie” sygnałów audio niż sygnałów wizyjnych;
- treść danych, pomocna do analizy zawartości nagłówków poszczególnych protokołów sieciowych;
- wielkość i liczba przesyłanych pakietów, służące – z zastosowaniem techniki WFQ – do przydzielania różnych priorytetów określonym przepływow;
- rozmiar bufora, umożliwiający przypisanie wyższego priorytetu małym ramkom.

**Bity DiffServ/TOS w ramach IP.** Drugi bajt w nagłówku każdej ramki IP może być wykorzystany do oznaczenia priorytetu ruchu. W dokumencie RFC 2474<sup>①</sup> bajt ten nazwano *Differentiated Services (DS)*. Pierwszych sześć bitów oznacza kod punktu. Ostatnie dwa bity tego bajtu nie są używane.

*Tabl. 2. Definicja kodu punktu w polu DiffServ*

Pole DS	Nazwa kodu punktu	Opis
000000	Best Effort	Domyślne ustawienie dla większości ruchu IP
011000	Assured Flow (lub Controlled Load)	Planowany do klasyfikowania strumienia ruchu
101000	Expedited Flow (EF) (lub Guaranteed)	Planowany do określenia poziomu priorytetu ruchu

Bity *DiffServ/TOS* mogą być wykorzystywane do:

- przekazywania informacji do urządzeń brzegowych, przykładowo, tzw. formatory ruchu (*shapers*) identyfikują określony rodzaj ruchu przychodzącego za pomocą numeru portu, a następnie ustawiają wartość bitów *DiffServ* w każdym datagramie;
- określenia priorytetu obsługi w ruterach; punkty kodowe *DiffServ Assured Flow* i *Expedited Flow* mogą być używane, odpowiednio, do oznakowania ruchu o strukturze strumieniowej i nadania wysokiego priorytetu dla określonego ruchu (np. ruchu VoIP);
- zwiększenia priorytetu obsługi oznakowanych pakietów w ruterach z zastosowaniem techniki WFQ (*Weighted Fair Queuing*); mechanizm kolejkowania WFQ sprawia, że pakiety są obsługiwane w kolejności zależnej od przydzielonej im wagi – klasy; zatem, aby zapewnić wysoką jakość usług dla transmisji głosu, jest konieczne umieszczenie pakietów głosowych w kolejce uprzywilejowanej i obsługiwanie ich w pierwszej kolejności.

**Sygnalizacja RSVP.** Protokół RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) umożliwia rezerwowanie zasobów w celu spełnienia wymagań dotyczących szerokości pasma, opóźnienia i wariacji opóźnienia dla określonych połączeń, realizowanych przy udziale wielu ruterów. Ramki tego protokołu informują, w trakcie zestawienia połączenia, pośrednie rutery o konieczności rezerwacji części swoich zasobów dla danej komunikacji. Protokół ten najlepiej stosować w sieciach korporacyjnych lub prywatnych sieciach WAN. W szczególności można go wykorzystywać do połączeń o długim czasie trwania (np. strumień wideo).

**Adresy i numery portów.** W przeciwieństwie do mechanizmu *DiffServ* i protokołu RSVP ta metoda jest najprostsza, bowiem decyzja o klasyfikacji ruchu polega na analizie adresów IP i numerów portów. Metoda ta jest szczególnie przydatna dla urządzeń znajdujących się na brzegu sieci.

**Informacja zawarta w nagłówku RTP.** Nagłówek RTP (12-bajtowy) usytuowany w datagramie UDP, zawiera znacznik czasu, który pozwala odbiornikowi zrekonstruować czas danych źródłowych i numer sekwencji, dzięki czemu odbiornik nie wnosi błędów związanych z utratą pakietów, dublowaniem, złą kolejnością. Nagłówek RTP jest często używany do strumieniowego ruchu audio i wideo o charakterze *unicast* lub *multicast*.

<sup>①</sup> RFC 2474 (12-1998): *Definition of the Differentiated Service Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers.*



**Wielkość i liczba przesyłanych pakietów.** Technika WFQ umożliwi dynamiczne wykrycie strumieni danych (FTP – *File Transfer Protocol*, połączenia VoIP, czy też wideokonferencje) i zarządzanie odrębnymi kolejkami dla każdej z nich. Wszystkie pakiety są obsługiwane w kolejności zależnej jedynie od przydzielonej im wagi – klasy. Główną ideą mechanizmu WFQ jest przyznawanie każdemu przepływowi, a co się z tym wiąże i każdej kolejce, pewnej wagi. Jest ona wyliczana na podstawie wielkości i liczby pakietów w taki sposób, że im więcej pakietów i o większej długości należy do przepływu, tym większą wagę on otrzymuje. Przepływy o większej wadze są obsługiwane rzadziej, co w konsekwencji prowadzi do równego podziału dostępnego pasma między przepływami. Do zalet mechanizmu WFQ należą: prostota zarządzania i konfiguracji, eliminacja zawłaszczania łącza przez jeden przepływ i efektywna gospodarka pasmem, a także możliwość współpracy z protokołem RSVP. Przy zastosowaniu techniki WFQ istnieje możliwość, aby pakiety głosowe, wymagające zapewnienia wysokiej jakości usług w sieci, były umieszczane w kolejce uprzywilejowanej i obsługiwane w pierwszej kolejności.

**Rozmiar bufora.** Klasyfikacji ruchu można dokonywać również za pomocą analizy rozmiaru buforów używanych do transferu danych. Przykładowo, urządzenia w środku sieci mogą być konfigurowane tak, aby poprawić obsługę małych ramek kosztem dużych ramek. Ta technika jest oparta na założeniu, że małe ramki są częścią krótkich transakcji, w których jest ważny czas odpowiedzi, natomiast duże ramki są używane w transferze zbiorów, gdzie czas odpowiedzi jest mniej istotny.

### **Obsługa klas ruchu**

Po wyborze metody klasyfikacji ruchu należy podjąć decyzję, dotyczącą techniki obsługi ruchu.

Znane są następujące techniki:

- **technika z wykorzystaniem kolejki**, składająca się z protokołu rezerwacji pasma RSVP, algorytmów zarządzania kolejkami WFQ i LLQ (*Low Latency Queuing*), a także algorytmów zarządzania odrzucaniem oraz fragmentacją pakietów LFI (*Link Fragmentation and Interleaving*), RED (*Random Early Detection*) i WRED (*Weighted Random Early Detection*);
- **technika oparta na szybkości**, stosowana zazwyczaj na brzegu sieci przez formatory ruchu lub zarządców pasma;
- **technika oparta na preferowaniu drogi**, zakładająca, że niektóre klasy ruchu zajmują preferowane drogi przez sieć IP, a inne używają dróg o charakterze *best effort* (o najwyższej możliwej jakości);
- **technika MPLS** (*Multi-Protocol Label Switching*), najbardziej popularna, bowiem ruch jest tu identyfikowany na brzegu sieci i kierowany na różne drogi w zależności od klasy.

### **Ustanowienie jakości usług w sieci**

Proces ustanawiania jakości usług w sieci jest zagadnieniem wieloaspektowym i trudnym do realizacji, ponieważ:

- klasyfikacja ruchu często zależy od polityki administratora,
- obecnie jest wiele schematów i parametrów QoS,
- obserwuje się skomplikowane współdziałanie różnych urządzeń.

Przy realizowaniu określonej polityki, nowe narzędzia (np. oprogramowanie zarządzania siecią) umożliwiają zachowanie właściwego poziomu jakości usług.

## Podsumowanie

Usługi VoIP oferują wiele nowych możliwości zarówno użytkownikom, jak i usługodawcom sieciowym. Wiązą się jednak z wieloma problemami, dotyczącymi projektowania oraz optymalizowania sieci. Ich poznanie, z jednoczesnym wykorzystaniem odpowiednich narzędzi, pozwala na lepsze zrozumienie zagadnień związanych z przesyłaniem głosu w sieciach pakietowych i szybsze wdrożenie usług VoIP.

Podstawowym zagadnieniem przy implementowaniu usługi VoIP jest zapewnienie odpowiedniej jakości transmitowania pakietów głosowych z jednoczesnym zachowaniem efektywnej wydajności sieci. Dla zagwarantowania optymalnych warunków sieciowych jest konieczne zastosowanie odpowiedniej procedury testowej, umożliwiającej określenie przystosowania sieci do świadczenia usługi VoIP.

Jeśli wynik oceny przystosowania sieci do świadczenia usług VoIP nie jest pozytywny, należy przeanalizować wyniki testów i ustalić źródło powstawania błędów. Dzięki dogłębnej analizie można wyodrębnić krytyczne elementy sieciowe, mające wpływ na niską jakość głosu i wydajność sieci. Zastosowanie odpowiednich mechanizmów, aplikacji i urządzeń sieciowych z zaimplementowanymi technikami, zapewniającymi podział zasobów sieci pod kątem spełniania wymagań jakościowych, umożliwia znaczną poprawę uzyskanych wyników testów.

## Bibliografia

- [1] ITU-T Rec. G.107 (03-2003): *The E-Model, a computational model for use in transmission planning*
- [2] ITU-T Rec. P.82 (11-1988): *Method for evaluation of service from the standpoint of speech transmission quality*
- [3] ITU-T Rec. P.800 (08-1986): *Methods for subjective determination of transmission quality*
- [4] ITU-T Rec. P.861 (02-1998): *Objective quality measurement of telephone-band (300–3400 Hz) speech codecs*
- [5] ITU-T Rec. P.862 (02-2001): *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*
- [6] *Opracowanie koncepcji sieci telekomunikacyjnej nowej generacji opartej na technologii IP, do realizacji usług głosowych (VoIP) w krajowej sieci użytku publicznego*. Warszawa, Instytut Łączności, 2002
- [7] Rix A., Hollier M.: *The perceptual analysis measurement system for robust end-to-end speech assessment*. W: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing – ICASSP, Istamboul, Turkey, 2000
- [8] Stephenson A.: *QoS: the IP solution; delivering end-to-end quality of service for the future of IP*. Lucent Technologies, WAN Systems Group, 1999
- [9] Walker J.: *A handbook for successful voip deployment: network service testing QoS and more*. NetIQ Corporation, 2000
- [10] Walker J., Hichs J.: *Evaluating data networks voice over IP*. NetIQ Corporation, 2001

**Michał Gartkiewicz**



Mgr inż. Michał Gartkiewicz (1977) – absolwent Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych na Politechnice Warszawskiej (2003); pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 2002); zainteresowania naukowe: technologia VoIP, sieci bezprzewodowe, systemy SDH.  
e-mail: M.Gartkiewicz@itl.waw.pl