



## Koncepcja stanowiska do oceny jakości usług czasu rzeczywistego w sieciach IP

ARTUR BAJDA, MARIUSZ BEDNARCZYK, JERZY DOŁOWSKI,  
KRZYSZTOF MAŚLANKA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Telekomunikacji,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** Przedstawione w artykule stanowisko laboratoryjne umożliwia badanie jakości usług czasu rzeczywistego w sieciach IP. Podstawowym elementem stanowiska jest emulator sieci rozległej LANForge ICE firmy Candela Technologies. Jego wykorzystanie umożliwia badanie wpływu na jakość usług czasu rzeczywistego takich parametrów, jak: przepustowość sieci transmisyjnej, opóźnienie pakietów, fluktuacja opóźnień pakietów, zmiana kolejności pakietów, a także straty i duplikacja pakietów. Opisane stanowisko może zostać wykorzystane m.in. do oceny przydatności rozwiązań proponowanych mechanizmów zapewnienia jakości usług do określonych zastosowań, oceny i weryfikacji implementacji usługi VoIP oraz oceny wpływu protokołu IPSec na jakość usług czasu rzeczywistego. W artykule zostały opisane miary jakości usług czasu rzeczywistego w sieciach IP, przedstawiono przykładowe scenariusze badań oraz zaprezentowano wyniki jednego z badań.

**Słowa kluczowe:** telekomunikacja, jakość usług, VoIP

**Symbole UKD:** 621.39

### 1. Wprowadzenie

Realizacja usług czasu rzeczywistego w sieciach IP wiąże się z pewnymi ograniczeniami wynikającymi z braku wbudowanych w protokół IP mechanizmów *Quality of Service*. W związku z tym istnieje zagrożenie pogorszenia jakości świadczonych usług wskutek utraty pakietów, zamiany ich kolejności lub zbyt dużego opóźnienia transmisji.

Celem artykułu jest przedstawienie stanowiska laboratoryjnego umożliwiającego badanie jakości usług czasu rzeczywistego świadczonych w sieciach IP, w których

zapewnienie stałego i minimalnego opóźnienia transmisji nigdy nie było priorytetem i w związku z tym nie zostało odpowiednio zagwarantowane już na poziomie samego protokołu. Założono, że podstawową usługą podlegającą badaniu będzie usługa transmisji mowy. Przedstawione stanowisko badawcze umożliwi w przyszłości również badanie wpływu wprowadzonych modyfikacji protokołu IP, związanych ze zmniejszeniem opóźnienia pakietów i obsługi przeciążeń w sieci. Może także pozwolić na określenie wpływu protokołu bezpieczeństwa IPSec na jakość usług czasu rzeczywistego.

## 2. Miary jakości usług czasu rzeczywistego w sieciach IP

Do określenia poziomu jakości usług w sieciach IP należy wykorzystać miary charakteryzujące transmisję datagramów IP oraz odpowiednie metody oceny jakości usługi. Jako miary opisujące transmisję IP można wykorzystać parametry opisane w zaleceniu Y.1540 [6]. Na wstępie klasyfikuje się tam każdy przesyłany pakiet do jednej z trzech grup: dostarczony prawidłowo, dostarczony z przekłamaniami oraz utracony (czyli taki, który nie dotarł do miejsca przeznaczenia), a następnie określa się miary jakościowe transmisji IP:

- opóźnienie transmisji pojedynczego pakietu IPTD (*IP transfer delay*),
- wariancja opóźnienia *end-to-end* pakietu IPDV (*IP delay variation*),
- współczynnik przekłamanych pakietów IPER (*IP packet error ratio*),
- współczynnik utraconych pakietów IPLR (*IP packet loss ratio*),
- szybkość transmisji pakietów IP (*IP packet rate*),
- procentowy współczynnik niedostępności usługi PIU (*percent IP service unavailability*).

Przy określaniu parametrów jakości usług czasu rzeczywistego, w szczególności transmisji sygnału mowy, można wykorzystać metody stosowane w klasycznych komutowanych sieciach telekomunikacyjnych. Są to metody subiektywne oraz obiektywne.

Metody subiektywne polegają na ocenie jakości sygnału mowy przez grupę użytkowników. Są to metody kosztowne, wymagające odpowiednio przeszkolonej grupy słuchaczy i przeprowadzania wielokrotnych testów. Jedną z metod subiektywnej oceny jakości transmisji głosu jest metoda opisana w zaleceniu P.800 [4].

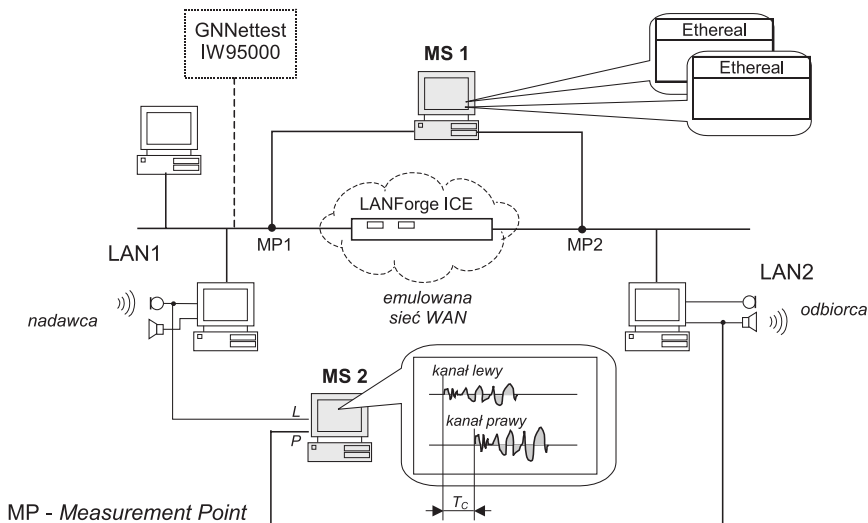
Metody obiektywne opierają się na diagnostyce i ocenie parametrów kanału telekomunikacyjnego [10]. Pozwalają one osiągnąć dużo lepsze rezultaty niż metody subiektywne, a dodatkowo pozwalają na automatyzację pomiarów. Weryfikacja metod obiektywnych musi być jednak dokonana przez badania subiektywne. Dla sieci pakietowych pewną formę metod obiektywnych stanowią testy zdefiniowane w zaleceniu RFC 2544 [8].

### 3. Opis stanowiska laboratoryjnego

Przedstawione stanowisko badawcze ma obiektywnie i z dużą wiarygodnością oceniać stosowane lub dopiero projektowane rozwiązania gwarantujące odpowiedni poziom jakości usług czasu rzeczywistego. W szczególności może ono być wykorzystane do:

- oceny przydatności rozwiązań proponowanych mechanizmów zapewnienia jakości usług w określonych zastosowaniach,
- analizy budowy strukturalnej, zasady działania i stosowanych protokołów komunikacyjnych w oferowanych rozwiązaniach systemów QoS,
- weryfikacji architektury fizycznej, funkcjonalnej i informacyjnej projektowanych rozwiązań systemów QoS,
- oceny wpływu protokołów bezpieczeństwa na jakość usług czasu rzeczywistego,
- oceny i weryfikacji implementacji usługi VoIP,
- oceny i weryfikacji mechanizmów QoS zarówno w sieciach przewodowych, jak i radiowych IP/IPv6.

Stanowisko badawcze umożliwia praktyczną ocenę systemów QoS, ale może być rozbudowane o elementy pozwalające na modelowanie i symulację systemów QoS, np. w środowisku symulacyjnym OPNET. Aplikacje symulacyjne mogą dodatkowo uwzględniać dane z systemu zarządzania siecią oraz z aplikacji monitorujących ruch telekomunikacyjny [3], a wyniki symulacji mogą zostać przeniesione do praktycznego stanowiska, w skład którego wchodzi emulator sieci rozległej. Stanowisko do badania jakości usług czasu rzeczywistego zostało przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

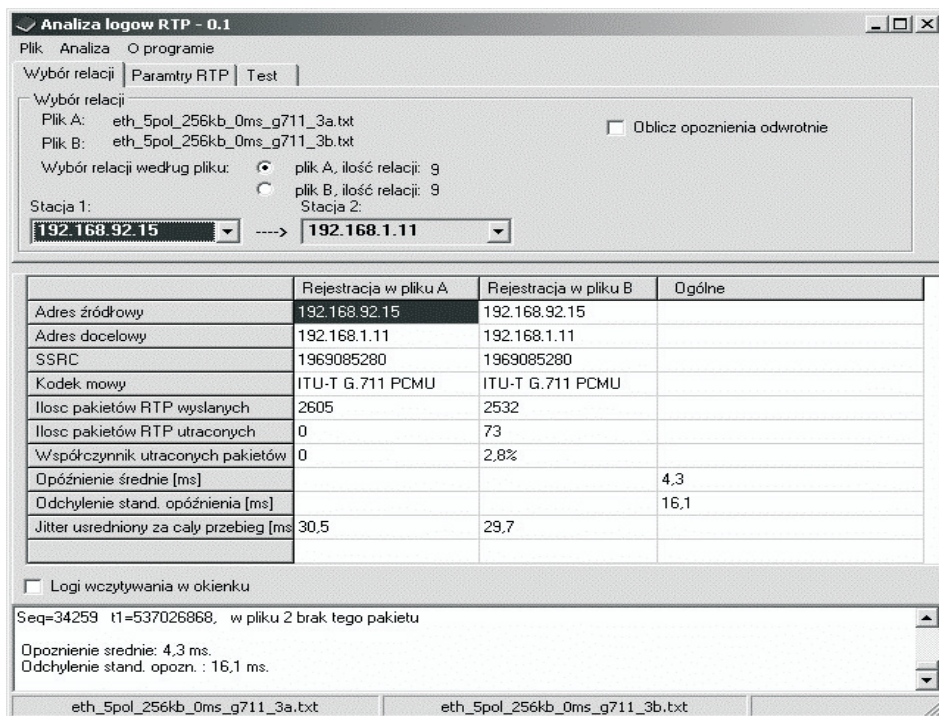
Podstawowymi elementami stanowiska badawczego są urządzenia pomiarowe oraz komputer ze specjalizowaną aplikacją, która na podstawie informacji otrzymanych z urządzeń pomiarowych pozwala na wyznaczenie wartości poszczególnych miar jakości. Zadaniem elementów pomiarowych jest odbiór, selekcja, filtrowanie i obróbka przesyłanych w sieci pakietów będących elementami realizowanej usługi czasu rzeczywistego. Bardzo ważnym elementem jest tutaj synchronizacja czasu między urządzeniami pomiarowymi. Aby możliwy był poprawny pomiar niektórych parametrów, konieczne jest dokładne określenie momentu wysyłania pakietu IP z danymi oraz momentu jego odebrania, co nie jest możliwe do zrealizowania bez odpowiedniej synchronizacji pracy urządzeń pomiarowych.

Do symulacji sieci rozległej został wykorzystany emulator sieci IP LANForge ICE firmy Candela Technologies [12]. Pozwala on na realizację połączeń, które byłyby niemożliwe do wykonania w warunkach laboratoryjnych ze względu na koszt budowy sieci czy odległości, jakie musiałyby być zapewnione pomiędzy elementami sieci. Emulator LANForge ICE pozwala na symulację pracy łączy DS1, DS3, OC-3, OC-12, Gigabit Ethernet, DSL, łączy modemowego, satelitarne, radiowego oraz innych o przepustowości od 10 bit/s do 1 Gbit/s. Poza ograniczeniem przepustowości, emulator pozwala na modyfikację parametrów pracy sieci, takich jak opóźnienie pakietów, fluktuacja opóźnienia pakietów oraz zmiana kolejności pakietów, a także straty pakietów, błędy pakietów i duplikacja pakietów w zakresie od 1 na milion do wszystkich pakietów. Poprzez możliwość definiowania różnych ścieżek w sieci rozległej emulator pozwala na badanie wpływu sieci na realizację komunikacji pakietowej pomiędzy różnymi sieciami lokalnymi IP podłączonymi do dwóch interfejsów sieciowych. Dzięki wykorzystaniu dodatkowo narzędzia ICEcap istnieje możliwość zbierania charakterystyk sieci rzeczywistej, a następnie na ich podstawie emulacja tej sieci.

### 3.1. Pomiar wybranych parametrów jakościowych ruchu w sieci IP

W przedstawionym stanowisku laboratoryjnym komputer MS1 był wyposażony w dwie identyczne karty sieciowe, z których niezależnie program Ethereal [13] przechwytywał ruch sieciowy w LAN1 oraz w LAN2 (rys. 1). Momenty odbioru poszczególnych ramek przez każdą z kart sieciowych były rejestrowane w tym samym komputerze (MS1), co pozwoliło spełnić wymóg synchronizacji czasu. Przechwycone pakiety wymagały dodatkowej analizy w celu wyszukiwania tych samych pakietów IP zarejestrowanych w punktach MP1 i MP2. W przypadku gdy pakiety IP przenoszą próbki mowy w ramach protokołu RTP, można to stosunkowo łatwo wykonać, analizując jedynie nagłówek RTP. Zawiera on między innymi informacje o czasie wystąpienia, a także numer sekwencyjny pakietu RTP. Do tego celu opracowano aplikację w środowisku Borland C++ Builder (rys. 2).

Dalsza analiza zarejestrowanych sekwencji umożliwiła wyznaczenie parametrów jakościowych ruchu, opisanych w zaleceniu Y.1540, czyli IPTD, IPER, IPLR [11],



Rys. 2 Aplikacja do analizy zarejestrowanego ruchu

szybkość transmisji pakietów (*IP packet rate*), IPDV (wyznaczony według [9]) oraz jitter dla pakietów RTP —  $J_{RTP}$  [9].

### 3.2. Pomiar opóźnienia sygnału mowy

Przedstawione stanowisko badawcze umożliwia pomiar całkowitego opóźnienia sygnału mowy (tzw. *mouth-to-ear*) w jednym kierunku (*end one-way delay*), zgodnie z [1]. W tym celu wykorzystano komputer MS2 ze stereofoniczną kartą muzyczną oraz aplikacją Audacity [7]. Istota pomiaru opóźnienia polega na jednoczesnym doprowadzeniu do karty muzycznej komputera MS2 dwóch sygnałów (rys. 1):

- w kanale lewym — monofonicznego sygnału z mikrofonu nadawcy,
- w kanale prawym — monofonicznego sygnału z głośnika odbiorcy.

Po zestawieniu połączenia między stronami, program Audacity rejestruje otrzymywany sygnał pseudostereofoniczny. Po zakończeniu rejestracji należy przeprowadzić porównanie zarejestrowanych przebiegów w obydwu kanałach, a następnie wyznaczyć różnicę czasu pomiędzy podobnymi próbkami sygnału.

## 4. Przykładowe scenariusze badań

Scenariusze zostały opracowane pod kątem badań usługi *Voice over IP*. Dodatkowo założono, że:

- a) *użyteczne połączenie VoIP* to takie połączenie, w którym opóźnienie *mouth-to-ear* ( $T_{m-e}$ ) mierzone w jednym kierunku będzie nie większe niż 400 ms [1], a jednocześnie jakość mowy będzie dobra,
- b) w sieci LAN1 i LAN2 nie będzie innego ruchu IP niż wymieniony w warunkach pomiarowych danego scenariusza,
- c) do generowania ruchu podkładowego można wykorzystać tester protokołów InterWatch 95000.

### 4.1. Scenariusz 1 — badanie wpływu szerokości dostępnego pasma

W scenariuszu tym zakłada się, że jedynym parametrem podlegającym regulacji jest przepustowość emulowanej sieci WAN oznaczonej jako  $p_{1-2}$  i  $p_{2-1}$  (dla obydwu kierunków). Celem eksperymentów jest wyznaczenie:

- a) minimalnej wartości przepustowości w sieci  $p_{1-2}$  i  $p_{2-1}$ , przy której możliwe jest jeszcze zestawienie pojedynczego *użytecznego połączenia VoIP*,
- b) wpływu przepustowości  $p_{1-2}$  i  $p_{2-1}$  na opóźnienie  $T_{m-e}$  i jakość sygnału mowy,
- c) maksymalnej liczby użytecznych połączeń VoIP możliwych do zestawienia w sieci przy określonej wartości przepustowości.

### 4.2. Scenariusz 2 — badanie wpływu opóźnienia w emulowanej sieci WAN

Parametrami sieci WAN, które będą podlegać zmianom w trakcie testów są opóźnienia pakietów IP wprowadzane w obu kierunkach. Celem badań jest określenie:

- a) wpływu opóźnienia w sieci WAN na możliwość zestawienia *użytecznego połączenia (połączeń) VoIP*,
- b) wpływu opóźnienia w sieci WAN na jakość sygnału mowy,
- c) zależności opóźnienia  $T_{m-e}$  od opóźnienia w sieci WAN.

### 4.3. Scenariusz 3 — badanie wpływu zmian opóźnienia w emulowanej sieci WAN

W emulowanej sieci WAN istnieje możliwość narzucenia wartości zmian opóźnienia pakietów IP (jitter). Celem badań jest w tym przypadku określenie:

- a) wpływu jittera na możliwość zestawienia *użytecznego połączenia VoIP*,
- b) wpływu jittera na opóźnienie  $T_{m-e}$  oraz na jakość sygnału mowy.



#### 4.4. Scenariusz 4 — badanie wpływu utraty pakietów IP w emulowanej sieci WAN

Emulator sieci WAN umożliwia sterowanie wielkością traconych pakietów IP. Pozwala to na przeprowadzanie testów, których celem jest określenie:

- wpływu utraconych pakietów na możliwość zestawienia *użytecznego połączenia VoIP*, w tym wyznaczenie granicznej wartości współczynnika utraconych pakietów, przy której możliwe jest jeszcze zestawienie *użytecznego połączenia VoIP*,
- wpływu utraconych pakietów na opóźnienie  $T_{m-e}$  oraz jakość sygnału mowy.

#### 4.5. Scenariusz 5 — badanie wpływu zmiany kolejności transmitowanych pakietów

W emulowanej sieci WAN istnieje możliwość przestawienia transmitowanych pakietów IP (ang. *reordering*). Celem badań jest w tym przypadku określenie wpływu zmian kolejności transmitowanych pakietów IP na:

- możliwość zestawienia *użytecznego połączenia VoIP*,
- opóźnienie  $T_{m-e}$  oraz jakość sygnału mowy,
- jitter dla pakietów RTP.

#### 4.6. Przykładowe wyniki pomiarów

W celu weryfikacji poprawności zbudowanego stanowiska pomiarowego wykonano przykładowe pomiary jakości usługi VoIP. Emulowana sieć WAN posiadała parametry przedstawione w tabeli 4.1.

Parametry emulowanej sieci WAN

TABELA 4.1

Parametr	Kierunek:	
	LAN1 -> LAN2	LAN2 -> LAN1
Przepustowość [bit/s]	256 000	256 000
Opóźnienie [ms]	0	0
Jitter [ms]	0	0
Współczynnik utraconych pakietów	0	0
Współczynnik przestawionych pakietów	0	0

Jako terminal VoIP został wykorzystany program NetMeeting 3.0 z kodekiem G.711. W czasie testu, pomiędzy sieciami LAN 1 oraz LAN 2 zostało zestawionych jednocześnie pięć połączeń H.323 i oceniono każde z nich. Wyniki przeprowadzonych pomiarów zostały przedstawione w tabeli 4.2.

TABELA 4.2

Wyniki pomiarów dla pięciu jednocześnie zestawionych połączeń

Nr połączenia VoIP	1	2	3	4	5
Jakość mowy	dobra*	dobra*	niezadow.*	dobra*	niezadow.*
$T_{m-e}$ [ms]	350	321	305	320	390
$J_{RTP}$ [ms]	2,7	30,5	3,4	3,1	4,1
IPLR	0,3%	2,8%	1,2%	2,7%	1,3%
IPTD [ms]	1,6	4,3	5,3	1,6	6,2
IPDV [ms]	0,4	16,1	19,6	0,4	21,2

\* jakość mowy według subiektywnej oceny autorów

Na podstawie wykonanych pomiarów można stwierdzić, że całkowite opóźnienie sygnału mowy było na granicy wartości dopuszczalnej, która zgodnie z [1, 2] wynosi 400 ms. Jitter  $J_{RTP}$  przekraczał wartość dopuszczalną (1 ms). Jednocześnie wartość średnia zmierzonego opóźnienia transmisji pakietów IP (IPTD) była wielokrotnie mniejsza niż opóźnienie  $T_{m-e}$ . Przyczyną tak dużego opóźnienia  $T_{m-e}$  jest prawdopodobnie sama aplikacja, w tym przypadku program NetMeeting.

## 5. Wnioski

Dynamiczny wzrost zapotrzebowania na usługi czasu rzeczywistego oraz często konieczność ich świadczenia w warunkach ograniczenia przepustowości i dostępności zasobów sieci stymulują potrzebę opracowania nie tylko nowych, efektywnych mechanizmów zapewnienia ich jakości, ale także stworzenie jednolitego środowiska do testowania wpływu proponowanych rozwiązań na zaspokojenie oczekiwań użytkowników. Opracowane stanowisko laboratoryjne pozwala w stosunkowo prosty sposób oceniać wpływ parametrów sieci rozległej na jakość usług czasu rzeczywistego.

Potrzeba opracowania takiego stanowiska wynika z tego, że podczas transmisji usług przez sieć IP, pojawiają się dodatkowe, liczne czynniki degradujące jakość usługi, które łącznie ze stosowanymi technikami kompresji powodują, że jakość danej usługi może być dla użytkownika niezadowolająca. Otrzymane wyniki badań pozwalają na oszacowanie granicznych wartości szerokości pasma niezbędnego dla realizacji usługi, określenie wpływu opóźnienia i fluktuacji opóźnienia pakietów, zmiany kolejności przybywania pakietów, a także wpływu straconych i zduplikowanych pakietów na jakość usługi. Otrzymane wyniki pomiarów mogą również służyć jako dane wejściowe do dalszych złożonych badań prowadzonych metodą symulacji przy użyciu pakietu OPNET.

Artykuł wpłynął do redakcji 19.07.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 26.09.2006 r.



## LITERATURA

- [1] ITU-T Recommendation G.114, *One-way transmission time*, 05/2003.
- [2] ITU-T Recommendation G.1010, *End-user multimedia QoS*, 11/2001.
- [3] ITU-T Recommendation G.1020, *Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks*, 11/2003.
- [4] ITU-T Recommendation P.800, *Methods for subjective determination of transmission quality*, 08/1996.
- [5] ITU-T Recommendation P.861, *Objective quality measurement of telephone-band (300-3400 Hz) speech codecs*, 02/1998.
- [6] ITU-T Recommendation Y.1540, *Internet protocol data communication service — IP packet transfer and availability performance parameters*, 12/2002.
- [7] Strona domowa programu Audacity, <http://audacity.sourceforge.net/>
- [8] S. BRADNER, J. MCQUAID, *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices*, RFC 2544, 3/1999.
- [9] H. SCHULZRINNE, S. CASNER, R. FREDERICK, V. JACOBSON, *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, RFC 3550, 7/2003.
- [10] S. BRACHMAŃSKI, S. KULA, *Badania jakości mowy w połączeniach głosowych. Stara usługa — nowe problemy*, KST, Bydgoszcz, 2003.
- [11] G. SIEMEK, *Pomiary jakości połączeń VoIP w sieci Netia Telekom S.A.*, Przegląd Telekomunikacyjny, nr 8-9, 2003, 439-443.
- [12] LANForge Documentation, [http://www.candelatech.com/lanforge\\_v3/doc.html](http://www.candelatech.com/lanforge_v3/doc.html).

A. BAJDA, M. BEDNARCZYK, J. DOŁOWSKI, K. MAŚLANKA

**Testbed concept development for quality evaluation of delay-sensitive services in IP networks**

**Abstract.** This paper provides an overview of QoS (quality of services), discusses the need for QoS and presents the QoS toolset. QoS is defined as a measure of performance for a transmission system that reflects its transmission quality and service availability. Service availability is a crucial element of QoS. Before any QoS is implemented successfully, the network infrastructure must be designed to be highly available. The transmission quality is determined by the following factors: loss, delay, and delay variation. There is presented how to examine the impact of these factors on voice performance.

This paper presents a testbed for evaluation of quality of delay-sensitive services in IP networks. Major testbed components are: LANForge ICE Network Emulator for creating IP network impairments, InterWatch 95000 Protocol Tester for generating backbone traffic, NetMeeting PC software for conveying calls, Ethereal PC software for network protocol analyzing, and an application for estimating quality of the transmission. The LANForge ICE is able to emulate networks of various latency, jitter, throughput (up to 1 Gbps) and packet degradation (loss, duplication, reordering). In consequence, it allows for testing the impact of these factors on the delay-sensitive services performance. In the paper, an exemplary testing scenario for quality of voice traffic evaluation is presented. During the test, focused on addressing the QoS needs of voice traffic, you should keep the following in mind:

- loss should be less than 1%,
- one-way latency should be less than 150-200 ms,
- average jitter should be less than 30 ms,
- 21-106 kbps of guaranteed priority bandwidth is required per call (depending on the sampling rate, codec and Layer 2 overhead),

- 150 bps (+ Layer 2 overhead) per phone of guaranteed bandwidth is required for Voice Control traffic.

It is possible to check if the network conditions meet these requirements. The necessity and importance of assuring delay-sensitive services quality is well understood so, the need of such a testbed is obvious. This is because voice, video and mission critical data have stringent service requirements from the network infrastructure. The testbed allows for assessing practical, in simple way, delay-sensitive services quality under various network conditions. The results can be used as input data to large systems simulation.

**Keywords:** communication, quality of services, Voice over IP networks

**Universal Decimal Classification:** 621.39