

Izabela OLSZEWSKA  
Marcin DROZDOWSKI  
Jarosław GŁOWACKI

## TRANSMISJA MOWY W ŚRODOWISKU SIECIOWYM NIE ZAPEWNIAJĄCYM MECHANIZMÓW CZASU RZECZYWISTEGO

**Streszczenie.** W pracy zawarta została analiza czasowa systemu transmisji mowy w czasie rzeczywistym oraz opracowanie wykonanych dla tego systemu pomiarów i doświadczeń dotyczących transmisji mowy za pomocą systemu sieciowego nie zapewniającego mechanizmów czasu rzeczywistego.

## SPEECH DATA TRANSMISSION IN THE NETWORK ENVIRONMENT NOT ENSURING REAL TIME MECHANISMS

**Summary.** Time domain analysis of real time speech data transmission system and the results of measurements and experiments dealing with speech data transmission on the network not ensuring real time mechanisms were presented.

## DIE SPRACH-ÜBERTRAGUNG IM NETZWERK-UMGEBUNG OHNE REALZEIT-MECHNISMEN

**Zusammenfassung.** Die Zeitanalyse von Sprach-Übertragung Systeme unter den Realzeit-Bedingtheiten und entsprechende Messungen/Experimenten in eine Netzwerk orientierte Computer System wurde in den Vortrag behandelt.

## 1. Wprowadzenie

Praca zawiera rozważania na temat istniejącego i działającego praktycznie systemu transmisji mowy [1], analizę jego funkcjonowania i dyskusję wyników testów przeprowadzonych w tym systemie.

Analizowany system transmisji mowy został opracowany dla lokalnych sieci komputerowych, których podsystem komunikacyjny opiera się na metodzie dostępu do medium transmisyjnego CSMA/CD (standard IEEE 802.3), nie zawierającej mechanizmów umożliwiających transmisję w czasie rzeczywistym [3 – 6], pracujących pod kontrolą sieciowego systemu operacyjnego NetWare 3.1x firmy NOVELL, Inc. [2, 8, 10 – 11]. Praktyczna realizacja systemu oraz przeprowadzenie badań nastąpiły dla konfiguracji opartej na tzw. „cienkim Ethernetie” (ang. thin Ethernet) – wersja 10base2, dla której transmisja odbywa się w paśmie podstawowym z prędkością do 10 Mbitów/s, w pojedynczym segmencie sieci o topologii magistrali [3]. Praktycznie dla takiej prędkości transmisji w medium podstawowym ograniczeniem dla przesyłania mowy (szerokość pasma transmitowanego sygnału została przyjęta podobnie jak w publicznej sieci telefonicznej i jest równa 3,5 kHz) jest głównie szybkość stacji, pomiędzy którymi zachodzi transmisja oraz sprawność systemu operacyjnego i programu nadzorującego transmisję. System transmisji mowy zawiera zarówno elementy sprzętowe, jak i programowe i tworzy funkcjonalną całość. Część jego elementów została opracowana i zaimplementowana bądź skonstruowana przez autorów niniejszej pracy. System ten umożliwia rejestrowanie i odtwarzanie dźwięku, przesyłanie i odczytywanie poczty głosowej oraz przeprowadzanie rozmowy pomiędzy dwoma użytkownikami sieci [1, 2]. W poszczególnych rozdziałach pracy omówiono system transmisji mowy w sieci komputerowej (rozd. 2.), analizę parametrów transmisji (rozd. 3.) oraz przeprowadzone doświadczenia (rozd. 4.).

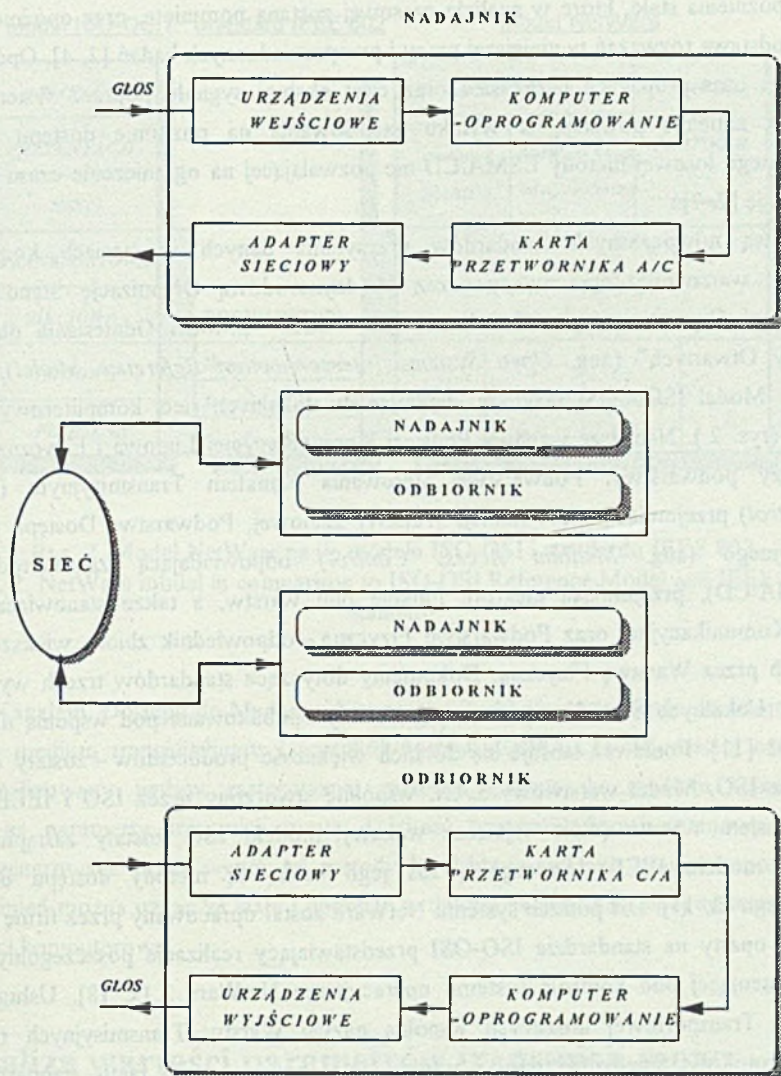
## 2. Opis systemu transmisji mowy w sieci komputerowej

Ogólne zasady i budowę systemu transmisji mowy z punktu widzenia sprzętowego ilustruje schemat blokowy przedstawiony na rys. 1.

Urządzenia wejściowe i wyjściowe służą konwersji sygnału mowy pomiędzy wejściem i wyjściem akustycznym a przetwornikami A/C i C/A. Oprogramowanie pracujące na stacji roboczej sieci steruje buforowaniem informacji, pakowaniem i rozpakowywaniem próbek oraz procesami zbierania i odtwarzania próbek oraz transmisji pakietów w sieci [1, 2].

Podczas transmisji w sieci komputerowej nieuniknione jest powstawanie całego zespołu opóźnień mających duży wpływ na jakość otrzymywanego przez odbiorcę dźwięku oraz na stopień zrozumiałości rozmowy prowadzonej za pośrednictwem stacji roboczych sieci. Na





Rys. 1. Schemat blokowy systemu transmisji mowy przez sieć komputerową [1, 4]

Fig. 1. Block diagram of speech transmission system on a computer network [1, 4]

całkowite opóźnienie składają się m.in. czas propagacji poprzez medium transmisyjne, czas potrzebny na konwersję w przetwornikach, spakowanie i rozpakowanie próbek, buforowanie, przejście przez detektor głosu, kodowanie i dekodowanie, przetwarzanie zgodne z algorytmem zastosowanych strategii obsługi wejścia i wyjścia systemu transmisji w sieci komputerowej, itd. Sumaryczny czas opóźnień nie powinien przekraczać w przypadku prowadzenia rozmowy

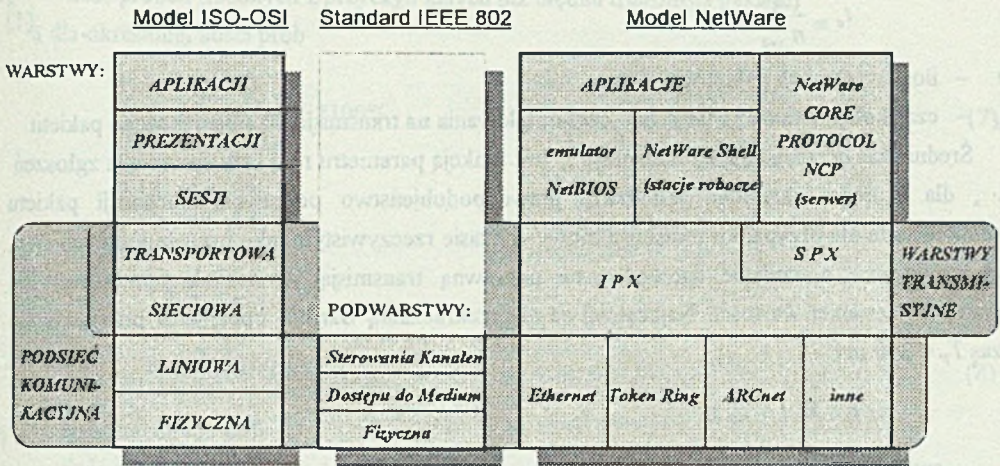


w czasie rzeczywistym 200–300 ms. Opóźnienia generowane przez system dzielą się na dwie grupy: opóźnienia stałe, które w analizie czasowej zostaną pominięte, oraz opóźnienia zmienne będące podstawą rozważań w niniejszej pracy i przeprowadzonych badań [2, 4]. Opóźnienia stałe to głównie czas propagacji przez sieć oraz czas obsługi sygnału poprzez system transmisji, opóźnienia zmienne powstają w wyniku zastosowania na poziomie dostępu do medium transmisyjnego losowej metody CSMA/CD nie pozwalającej na ograniczenie czasu oczekiwania na transmisję [2, 7].

Podstawą nowoczesnych standardów przesyłania danych w sieciach komputerowych jest model warstwowy opracowany przez Międzynarodową Organizację Standardów (ang. *International Organization for Standardization*) – ISO – „Model Odniesienia dla Łączności Systemów Otwartych” (ang. *Open Systems Interconnection Reference Model*), w skrócie OSI [10]. Model ISO – OSI ulega w wariantach dla lokalnych sieci komputerowych pewnym zmianom (rys. 2.). Najniższe warstwy Podsięci Komunikacyjnej Liniowa i Fizyczna podzielone są na trzy podwarstwy: Podwarstwę Sterowania Kanałem Transmisyjnym (ang. *Logic Link Control*) przejmującą część funkcji Warstwy Liniowej, Podwarstwę Dostępu do Medium Transmisyjnego (ang. *Medium Access Control*) odpowiadającą za metodę dostępu (np. CSMA/CD), przejmującą niektóre funkcje obu warstw, a także stanowiącą o jakości Podsięci Komunikacyjnej oraz Podwarstwę Fizyczną – odpowiednik zbioru większości funkcji spełnianych przez Warstwę Fizyczną. Dokumenty dotyczące standardów trzech wymienionych podwarstw Lokalnych Sieci Komputerowych zostały opublikowane pod wspólną nazwą IEEE Project 802 [11]. Ponieważ stosuje się do nich większość producentów – zostały one uznane także przez ISO. Model warstwowy LAN, wspólnie stworzony przez ISO i IEEE, obejmuje w sumie osiem warstw (dwie najniższe warstwy modelu ISO zostały zastąpione trzema warstwami modelu IEEE). Szczególną zaś jego cechą są metody dostępu do medium transmisyjnego [2, 11]. Dla potrzeb systemu NetWare został opracowany przez firmę NOVELL, Inc. model oparty na standardzie ISO-OSI przedstawiający realizację poszczególnych warstw dla sieci pracującej pod kontrolą systemu operacyjnego NetWare 3.1x. [8]. Usługi Warstwy Sieciowej i Transportowej noszących wspólną nazwę Warstw Transmisyjnych realizowane są przez protokoły: międzysieciowy i transportowy zgodne z de facto standardem XNS, których firmowe implementacje w ramach NetWare noszą odpowiednio nazwy: IPX (*Internetwork Packet eXchange Protocol*) i SPX (*Sequenced Packed eXchange Protocol*). Dla potrzeb systemu transmisji mowy w sieci komputerowej zostały wykorzystane mechanizmy protokołu SPX.

Transmisja mowy w sieci komputerowej realizowana jest na wszystkich poziomach przedstawionego na rys. 2. modelu warstwowego. Opóźnienia powstające w warstwie obsługiwanej przez *NetWare Shell* oraz w warstwach transmisyjnych wynikają zarówno z szybkości oprogramowania systemowego i posiadanej przez użytkownika implementacji protokołów, jak i z parametrów zastosowanej konfiguracji sprzętowej. Na poziomie podwarstw





Rys. 2. Model NetWare na tle modelu ISO-OSI i standardu IEEE 802  
 Fig. 2. NetWare model in comparison to ISO-OSI Reference Model and IEEE 802 standard

Sterowania Kanalem, Dostępu do Medium i Fizycznej o szybkości przesyłania decyduje prędkość transmisji w medium transmisyjnym i protokół dostępu CSMA/CD. W dalszej części pracy zostanie zanalizowany wpływ zastosowanej metody dostępu do medium transmisyjnego CSMA/CD na parametry transmisji mowy i jakość przeprowadzanej rozmowy, ponieważ opóźnienia generowane przez wybór tej metody kwalifikuje się jako zmienne, pozostałe zaś rodzaje opóźnień można uznać za stałe i pominąć w dalszej analizie czasowej systemu transmisji mowy w sieci komputerowej.

### 3. Analiza wartości parametrów transmisji mowy w sieci komputerowej

Metoda dostępu do medium transmisyjnego CSMA/CD jest metodą losową, nie zapewniającą w swej wersji podstawowej systemu czasu rzeczywistego. Szczegółowe opisy i analizę tej metody przedstawia wiele publikacji. Literatura [7] podaje metody ustalania parametrów protokołu dostępu CSMA/CD w przypadku, gdy rozkład źródła zgłoszeń jest rozkładem Poissona.

Parametrem charakteryzującym dostęp do medium transmisyjnego CSMA/CD jest średni czas oczekiwania na transmisję  $t_o$ .



$$\bar{t}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{o_i}, \quad (1)$$

$n$  – ilość wysłanych pakietów,

$t_o$  – czas kolejkowania na wejściu – czas oczekiwania na transmisję dla pojedynczego pakietu.

Średni czas oczekiwania na transmisję  $\bar{t}_o$  jest funkcją parametru rozkładu strumienia zgłoszeń  $\lambda$ , dla którego określone jest także prawdopodobieństwo poprawnej transmisji pakietu  $p$  definiowane dla przypadku transmisji mowy w czasie rzeczywistym jako prawdopodobieństwo, że sumaryczne opóźnienie spowodowane poprawną transmisją w sieci komputerowej nie przekroczy zadanej wartości. Najczęściej za nieprzekraczalną wartość opóźnienia przyjmuje się czas  $T_p = 300$  ms.

$$p = P(t < T_p), \quad (2)$$

$t$  – sumaryczny czas transmisji przez sieć dla pojedynczego pakietu, gdzie

$$t = t_p + t_o, \quad t_p = \text{const}, \quad (3)$$

$t_p$  – czas propagacji przez medium transmisyjne dla pojedynczego pakietu.

Czas propagacji przez medium transmisyjne dla pojedynczego pakietu jest stały w przypadku magistrali i dwóch stałych stacji roboczych.

W przypadku podejścia empirycznego, przy założeniu nieskończonej ilości prób transmisji mowy w sieci komputerowej, stałej długości pakietu ( $l = \text{const}$ ), stałego obciążenia sieci oraz, że w przypadku opóźnienia przekraczającego zadany czas  $T_p$ , cały pakiet z danymi kwalifikowany jest jako przesłany nieprawidłowo, prawdopodobieństwo poprawnej transmisji można określić jako

$$p = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{n_{om}}{n_m}, \quad (4)$$

$m$  – ilość prób,

$n_o$  – ilość odebranych pakietów podczas transmisji w próbie.

$$n = n_o + n_i, \quad (5)$$

$n_i$  – ilość traconych pakietów podczas transmisji w próbie.

Ponieważ próbki zawierające kwantowany sygnał mowy mogą być tracone nie tylko w wyniku błędnej transmisji pakietu, jako parametr określający jakość transmisji w sieci został zdefiniowany procent traconych próbek –  $v_T$ .

$$v_T = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{n_{im} * v_p + v_h}{n_m * v_p} * 100\%, \quad (6)$$

$v_p$  – ilość próbek w pakiecie,

$v_b$  – ilość próbek traconych z przyczyn innych niż błędna transmisja pakietu,  
a dla określonej ilości prób

$$v_T = \frac{n_i * v_p + v_b}{n * v_p} * 100\% \quad (7)$$

$$v_i = n_i * v_p + v_b,$$

$$v = n * v_p$$

$$v_T = \frac{v_i}{v} * 100\% , \quad (8)$$

$v_i$  – ilość traconych próbek,

$v$  – ilość próbek wysłanych.

Wprowadzając do analizy element obciążenia medium transmisyjnego, trzeba także uwzględnić pakiety transmitowane aktualnie w sieci, a nie będące pakietami zawierającymi informację głosową i nie pochodzącymi z systemu transmisji mowy w sieci komputerowej. Analizę będziemy przeprowadzać dla pojedynczego przedziału czasowego. Niech

$$N = n + s , \quad (9)$$

$s$  – ilość pakietów w sieci nie będących pakietami systemu transmisji głosu,

$N$  – ilość wszystkich pakietów w sieci,

wtedy obciążenie medium transmisyjnego –  $O$

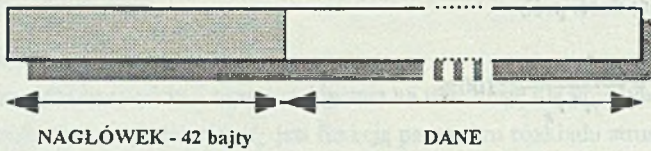
$$O = \frac{N}{S} * 100\% , \quad (10)$$

$S$  – przepustowość liczona w pakietach o przyjętej stałej długości i stała w przypadku sieci o topologii magistrali.

Średni czas oczekiwania pakietu na transmisję jest proporcjonalny do obciążenia sieci [7], a prawdopodobieństwo poprawnej transmisji odwrotnie proporcjonalne do obciążenia medium transmisyjnego. Przy przekroczeniu przez sumaryczny czas transmisji wartości  $T_p$  (sytuacja ta jest związana ze wzrostem obciążenia) prawdopodobieństwo poprawnego przesłania dla sygnału mowy jest równe 0.

Wzrost obciążenia w medium transmisyjnym jest spowodowany nie tylko transmisją nie związaną z przesyłaniem mowy, ale także zmianą długości pakietów wykorzystywanych w systemie. Ramka protokołu SPX składa się z dwóch części, którymi są nagłówki o stałej długości 42 bajtów i pole przesyłanych danych o długości nie ograniczonej przez normy (rys. 3.).





Rys.3. Schemat formatu ramki protokołu SPX  
Fig. 3. Diagram of SPX protocol frame

Powodem wzrostu obciążenia sieci, przy założeniu stałej częstotliwości próbkowania, stałego obciążenia sieci spowodowanego transmisją zewnętrzną, jest zwiększenie ilości przesyłanej informacji spowodowane zmniejszeniem długości transmitowanych ramek. Przy zmniejszeniu rozmiaru ramek wzrasta ich liczba konieczna do przesyłania tej samej ilości informacji, a tym samym ilość transmitowanych nagłówków ramek. Stosunek długości nagłówka do sumarycznej długości ramki jest określany jako nadmiarowość transmitowanej informacji  $l_D$ . Wzrost nadmiarowości powoduje wzrost obciążenia medium transmisyjnego.

$$l = l_n + l_d, \quad (11)$$

$$l_D = \frac{l_n}{l} * 100\%, \quad (12)$$

- $l$  – długość pakietu,
- $l_n$  – długość nagłówka,
- $l_d$  – długość danych.

Dla założonej stałej długości pakietu, przy pozostałych warunkach nie zmienionych, obciążenie sieci będzie wzrastać wraz ze zwiększaniem się częstotliwości próbkowania  $f$  transmitowanego sygnału mowy. Ilość przesyłanych pakietów w jednostce czasu zależy bezpośrednio od częstotliwości próbkowania.

$$n = \frac{1}{l_d} * f * b, \quad (13)$$

- $b$  – ilość bitów dla zapisu pojedynczej próbki.

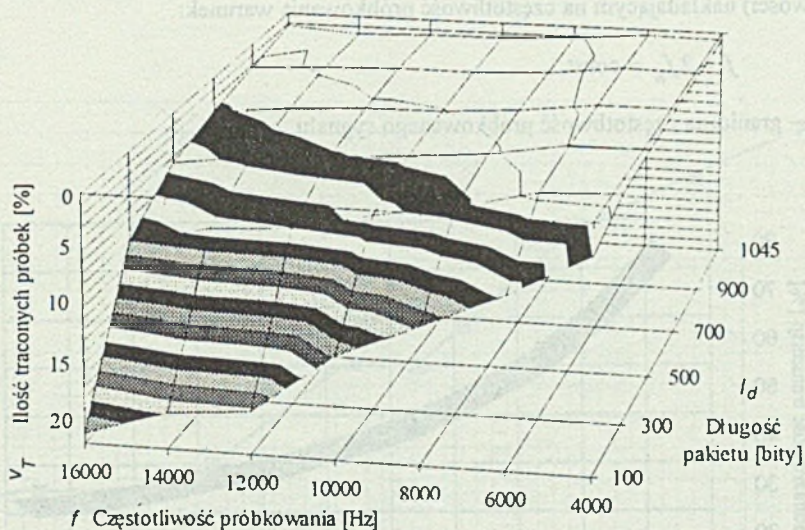


## 4. Pomiary i doświadczenia w systemie transmisji mowy w sieci komputerowej

W tym rozdziale pracy zostały przedstawione wyniki pomiarów przeprowadzonych w zrealizowanym systemie transmisji mowy w sieci komputerowej.

Wykres przedstawiony na rys. 4. ilustruje powstałe podczas przesyłania pakietów z próbkowanym sygnałem mowy przez medium transmisyjne zależności pomiędzy procentem traconych próbek  $v_T$  a długością pola danych pakietu  $l_d$  i częstotliwością próbkowania  $f$ . Parametr  $v_T$  został obliczony wg wzoru (8), gdyż ilość przeprowadzonych prób była ograniczona.

Każdemu punktowi na wykresie odpowiadają średnie wartości parametrów uzyskane jako średnie arytmetyczne wyników wielu pomiarów. Punkty na wykresie zostały połączone w celu ułatwienia interpretacji tendencji uzyskanych wartości. Przewiduje się, że dla pomiarów przy ciągłych zmianach parametrów częstotliwości próbkowania i długości pakietu wykres miałby kształt podobny do uzyskanego metodą dyskretną.



Rys. 4. Wykres zależności ilości traconych próbek w funkcji częstotliwości próbkowania i długości pakietu

Fig. 4. The number of lost samples as a function of sample frequency and packet length



Badania i pomiary w poszczególnych punktach wykresu zostały przeprowadzone dla w przybliżeniu stałej wartości parametru obciążenia medium transmisyjnego (przyjęto  $O = \text{const}$ ) i wynoszącej ze wzoru (10)

$$O = \frac{n+s}{S} * 100\%, \quad s = \text{const}, \quad n = \text{const}. \quad (14)$$

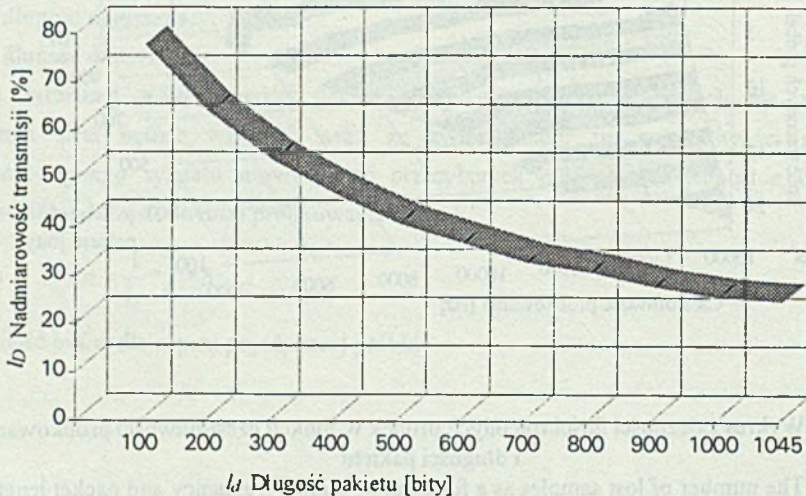
Wartość parametru  $s$  została ustalana jako w przybliżeniu wynosząca 0.

Jak wynika z rozważań teoretycznych, dla stałej długości pakietu ( $l = \text{const}$ ) wraz ze wzrostem częstotliwości próbkowania  $f$  wzrasta też procent przesyłanych próbek  $n$ . (patrz wzór (13)), a więc także i procent odrzuconych próbek  $v_r$ . Wzrost ten jest w przybliżeniu funkcją liniową. Do opóźnień transmisji (dostępu do medium) dochodzi także możliwość strat niektórych próbek na skutek braku czasu dla ich obsłużenia, ponieważ rośnie ilość napływającej do odbiornika informacji, którą należy odpowiednio przetworzyć.

Ograniczeniem dla przeprowadzanych badań praktycznych dla różnych częstotliwości próbkowania jest prędkość przetwarzania wybranych w tym celu komputerów (granica górna częstotliwości) oraz zasady umożliwiające ponowne odtworzenie z postaci dyskretnej sygnału analogowego (z dopuszczalnym błędem) sformułowane w twierdzeniu Shannona (granica dolna częstotliwości) nakładającym na częstotliwość próbkowania warunek:

$$f = 2f_g = \text{const}, \quad (15)$$

gdzie  $f_g$  – graniczna częstotliwość próbkowanego sygnału.

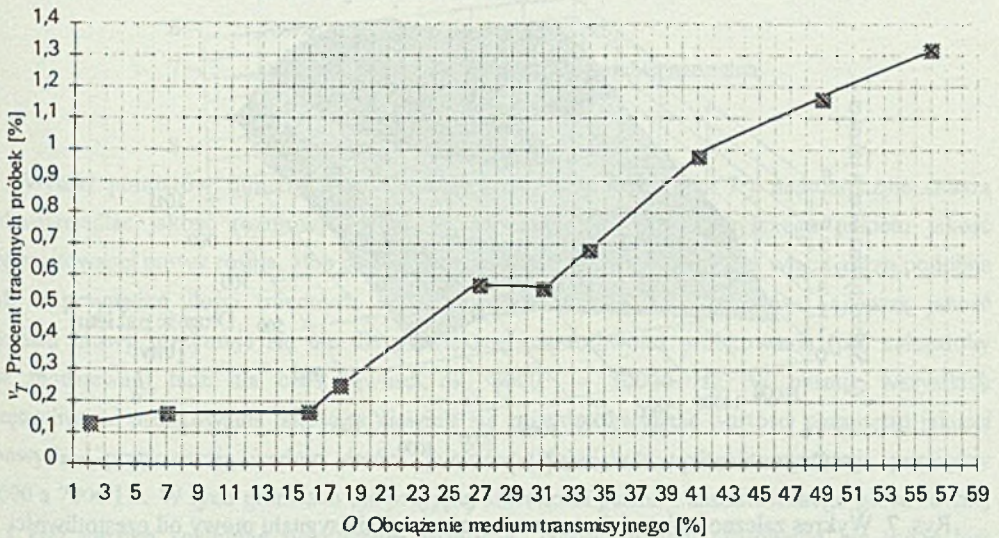


Rys. 5. Nadmiarowość transmisji w funkcji długości pakietu z danymi  
Fig.5. Transmission redundancy as a function of data packet length



Wraz ze wzrostem wartości długości pakietu  $l$  dla stałej częstotliwości próbkowania  $f$  parametry przesyłania głosu (ilość odrzuconych pakietów) poprawiają się (rys. 4.) i zależność ta jest w przybliżeniu exponencjalna. Jest to spowodowane głównie zmniejszaniem się nadmiarowości przesyłanej informacji kontrolno-sterującej zawartej w nagłówkach ramek protokołu SPX. Zależność pomiędzy nadmiarowością transmisji  $I_D$  (12) a sumaryczną długością transmitowanego pakietu ilustruje wykres na rys. 5. Najlepszą (najniższą) wartość parametru ilości odrzuconych pakietów uzyskuje się dla maksymalnej długości ramki wykorzystanej w badaniach wersji protokołu SPX – 1045 bitów danych i można przewidywać stałą poprawę dla coraz większej długości ramki. Dla większych długości pakietów zmniejsza się wrażliwość na zakłócenia w dostępie do medium, ponieważ dla pewnej ilości danych przesyłanych w jednym pakiecie sumaryczne prawdopodobieństwo kolizji w łączu jest znacznie niższe niż dla takiej samej ilości danych przesyłanych w kilku pakietach.

Wykres na rys. 6. przedstawia zależność pomiędzy procentem traconych podczas transmisji pakietów  $n_T$  a obciążeniem medium transmisyjnego  $O$ . Pomiary zostały przeprowadzone dla większej ilości różnych wartości parametru  $O$ , na wykresie przedstawiono jedynie te, dla których udało się przeprowadzić większą liczbę pomiarów i stąd zostały uznane za wielkości reprezentatywne.



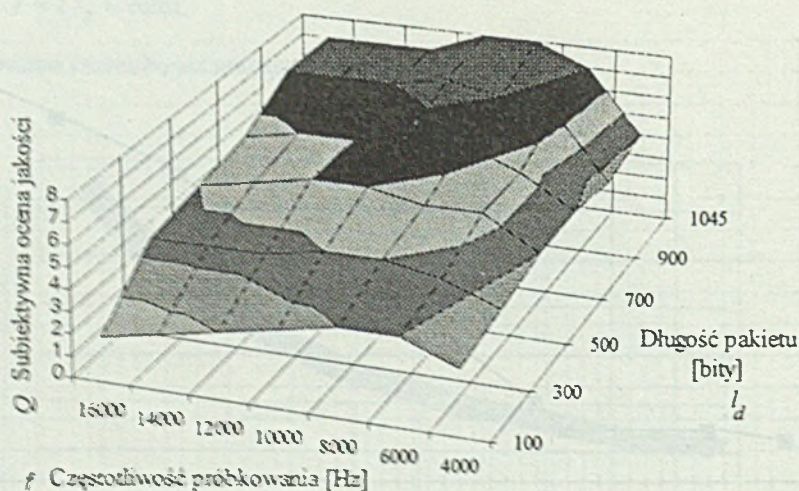
Rys. 6. Wykres zależności ilości traconych próbek od obciążenia medium transmisyjnego  
Fig. 6. The number of lost samples as a function of transmission medium load



Pomiary zostały przeprowadzone w warunkach stałej długości pakietu  $l = 1045$  bitów – jest to najdłuższa możliwa wartość parametru długości pakietu dla zastosowanego protokołu SPX oraz dla stałej częstotliwości próbkowania  $f = 16000$  Hz, która jest najwyższą możliwą do osiągnięcia przez system transmisji głosu na zastosowanych w nim do doświadczeń komputerach. Parametry te dają w warunkach pomiarowych najlepszą jakość transmisji i odbierania sygnału mowy.

Wraz ze wzrostem wielkości obciążenia medium transmisyjnego nastąpił wzrost ilości traconych podczas transmisji pakietów. Wyniki tego doświadczenia są więc praktycznym potwierdzeniem teorii, że wraz ze wzrostem obciążenia medium transmisyjnego maleje prawdopodobieństwo poprawnej transmisji pakietu. Zależność ta jest w przybliżeniu liniowa, ponieważ jako czynnik wzrostu obciążenia nie wchodzi parametr nadmiarowości transmisji – długość transmitowanych pakietów jest stała.

Jako maksymalna wartość obciążenia medium transmisyjnego zostało przyjęte 59%. Ponieważ doświadczenia przeprowadzane były w praktycznie istniejącym działającym systemie, ograniczeniami dla nich były także parametry środowiska systemu transmisji mowy w sieci komputerowej. Dla zastosowanej wersji operacyjnego systemu sieciowego NOVELL NetWare 3.11 obciążenie wynoszące ok. 60% jest już obciążeniem granicznym i dalsze jego zwiększanie może spowodować awarię systemu.



Rys. 7. Wykres zależności jakości otrzymanego na wyjściu sygnału mowy od częstotliwości próbkowania i długości pakietów

Fig. 7. The quality of the output speech signal as a function of sample frequency and packet length



Oprócz doświadczeń prowadzących do określenia ilości traconych podczas transmisji pakietów  $n_T$  zostały przeprowadzone także próby określające wartość parametru jakości otrzymanego na wyjściu sygnału mowy  $Q$ . Wyniki zobrazowano na rys. 7. Badania zostały przeprowadzone dla identycznych jak w przypadku pomiarów ilości traconych pakietów warunków. Otrzymane wyniki były jednak różne.

Ponieważ jakość głosu po obróbce cyfrowej zależy od takich czynników jak m.in. częstotliwość próbkowania, ilość poprawnie odtworzonych próbek, przerw spowodowanych nieciągłością transmisji, długości pakietów, opóźnień i in., dokonana została subiektywna ocena jakości rozmowy. Subiektywizm tej oceny opiera się na indywidualnych odczuciach określających ją osób, rozciągłości czasowej badań i długiej serii prób, która mogła spowodować stopniowe przedefiniowanie skali ocen. Przyjęta została następująca skala ocen, wg której przyznawana była odpowiednia ilość punktów:

- 1 punkt – rozmowa niezrozumiała,
- 2 punkty – można zrozumieć tylko pojedyncze słowa,
- 3 – rozmowa w większości zrozumiała,
- 4 – wszystkie słowa są zrozumiałe, ale jakość jest gorsza niż w przypadku rozmowy telefonicznej,
- 5 – rozmowa klasą odpowiadająca rozmowie za pomocą publicznej sieci telefonicznej,
- 6 – dobrze słyszalne zabarwienie dźwięku,
- 7 – jakość rozmowy porównywalna z rozmową naturalną w dobrych warunkach słyszalności,
- 8 – jakość rozmowy bardzo dobra.

Wyniki pomiarów numerycznych ilości traconych próbek (rys. 7.) niekoniecznie muszą odzwierciedlać jakość rozmowy. Wraz ze wzrostem długości przesyłanego pakietu jakość transmitowanej mowy rośnie, albo przynajmniej nie maleje. Zależności są tu więc bardzo podobne jak w przypadku ilości traconych próbek. Przy stałej długości pakietów najlepszą jakość sygnału mowy otrzymuje się nie dla największej częstotliwości próbkowania (jak należałoby się spodziewać), lecz dla częstotliwości ok. 8000 – 10000 Hz. W paśmie wszystkich częstotliwości próbkowania jakość ta niewiele się zmienia. Oscylacje wartości parametru jakości mowy nie przekraczają średnio dwóch punktów. Największe wahania występują pomiędzy 4000 a 7000 Hz. W tych granicach dla przyjętej szerokości pasma transmitowanego głosu równej 3,5 kHz nie jest spełnione twierdzenie Shanonna. Jakość sygnału głosowego nie może być dobra, jeżeli nie próbkujemy i odtwarzamy z wymaganą dla danej szerokości pasma częstotliwością. Optymalne wartości częstotliwości próbkowania mieszczą się w przedziale 8 – 10 kHz, dla którego o jakości mowy decyduje reguła wynikająca z twierdzenia Shannona. Dla wyższych częstotliwości spadek jakości mowy spowodowany jest wzrostem wartości parametru ilości traconych próbek podczas transmisji. Zwiększenie się procentu braków



odtworzanych próbek decyduje o spadku parametrów jakości rozmowy prowadzonej za pomocą systemu transmisji mowy w sieci komputerowej.

Parametry jakości systemu transmisji mowy w funkcjach uzależniających ich wartości od parametrów środowiska dobrze charakteryzują ten system. Przeznaczeniem jego jest umożliwienie prowadzenia rozmowy w sieci komputerowej pomiędzy dwoma użytkownikami tej sieci. System transmisji powinien być więc stosunkowo niezależny od zmian środowiska, w którym funkcjonuje i dostarczać niezależnie od niego usługi o satysfakcjonującej użytkownika jakości. Podstawowym niebezpieczeństwem dla systemu transmisji mowy w czasie rzeczywistym w otoczeniu nie zapewniającym mechanizmów czasu rzeczywistego są powstające podczas całościowej transmisji i przetwarzania sygnału opóźnienia, a przede wszystkim opóźnienia zmienne wynikające z losowej metody dostępu do medium transmisyjnego [1, 2]. System transmisji mowy został przebadany zarówno pod względem ilościowym (analiza ilości traconych próbek), jak i jakościowym (analiza jakości otrzymanego na wyjściu systemu głosu). Pomijając sytuacje skrajne, w których zarówno ilość traconych próbek, jak i jakość mowy nie gwarantowała należytego komfortu prowadzenia rozmowy, system zachowuje się poprawnie i może być wykorzystywany do celów, do których został przeznaczony mimo istniejącej bariery braku mechanizmów czasu rzeczywistego.



## LITERATURA

- [1] Olszewska I., Drozdowski M., Głowacki J.: *Transmisja mowy w środowisku sieciowym NOVELL NetWare*. – w druku.
- [2] Olszewska I., Drozdowski M., Głowacki J.: *Przesyłanie głosu i poczta głosowa w sieci NOVELL NetWare*. Praca Dyplomowa. Instytut Sterowania i Techniki Systemów Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
- [3] Zydorowicz T.: *PC i sieci komputerowe*. Wydawnictwo PLJ, Warszawa 1993.
- [4] Suda T., Bradley T. T.: *Packetized Voice/Data Integrated Transmission on a Token Passing Ring Local Area Network*. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS: Vol. 37. No. 3. March 1989, 238 – 244.
- [5] Gaitonde S. S., Jacobson D.W., Pohm A. V.: *Bounding Delay on a Multifarious Token Ring Network*. Communications of the ACM: January 1990. Vol. 33. No. 1., 20 – 28.
- [6] Nutt G. J., Bayer D. L.: *Performance of CSMA/CD Networks Under Combined Voice and Data Loads*. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS: Vol. Com.-30. No. 1. January 1982, 6 – 11.
- [7] Tobagi F. A., Hunt V. B.: *Performance Analysis of Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*. North-Holland Publishing Company Computer Networks 4 (1980), 245 – 259.
- [8] *Networking Technologies Course. Student Manual. Course 200*. Novell, Inc.
- [9] Rash W. Jr., Stephenson P. R.: *Novell od A do Z*. Intersoftland, Warszawa 1992.
- [10] Wolisz A.: *Podstawy lokalnych sieci komputerowych. Sprzęt sieciowy*. Tom 1. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
- [11] Wolisz A.: *Podstawy lokalnych sieci komputerowych. Oprogramowanie komunikacyjne i usługi sieciowe*. Tom 2. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992.
- [12] Basztura Cz.: *Rozmawiać z komputerem*. Wydawnictwo Prac Naukowych „FORMAT”, Wrocław 1992.

Recenzent: Dr inż. Marek Błaszczyk

Wpłynęło do Redakcji 27 października 1994 r.



## Abstract

This paper contains the description and time domain analysis of the speech data real time transmission system that enables making calls between any two users of the network. The system was worked out for local area networks, running under NOVELL network operating system NetWare 3.1x, whose communication subsystem is based on random access to transmission medium CSMA/CD (IEEE 802.3 standard). We also present some results of the measurements, experiments and tests performed on our system. The diagrams illustrate the relations between the percentage of lost samples and packet length, sample frequency, and network load during the transmission of sampled speech data packets. Considering specificity of the transmission some performance (subjective) quality tests of speech data transmission were made. The quality of transmission depends on sample frequency, the number of correctly reconstructed samples, transmission breaks and signal propagation time delays.