

# Usługa głosowa w sieciach ATM

Andrzej Szymański, Krzysztof Wajda  
*Katedra Telekomunikacji*  
*Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*  
{wajda,szyman}@kt.agh.edu.pl

## Streszczenie

Referat przedstawia zarówno standardowe rozwiązania związane z przesyłaniem głosu przez sieci ATM jak i wyniki badań ilustrujących uzyskiwane parametry jakościowe transmisji. Przedstawiono problemy kompresji głosu, usuwania ciszy i specyfikację wymagań jakościowych QoS dla usługi transmisji głosu.

## Wprowadzenie

Mimo obserwowanego szybkiego rozwoju usług transmisji danych i usług multimedialnych, usługa głosowa wciąż pozostaje najważniejszą, najczęściej świadczoną i przynoszącą największe zyski operatorom. Przyjmuje się, że obecnie jeszcze 85% obrotu na rynku telekomunikacyjnym jest związane z klasyczną telefonią lub usługami podstawowymi typu komutacji łączy. Rozwój wąskopasmowej sieci ISDN odbywa się w tempie daleko niższym niż przewidywany przed laty, mimo tego, że to środowisko jest w stanie realizować praktycznie koncepcję integracji usług.

Wzrasta zapotrzebowanie na transmisję danych ze strony użytkowników komercyjnych i usługi dostępu do sieci Internet ze strony wszystkich użytkowników.

Operatorzy telekomunikacyjni stają przed problemem modernizacji tradycyjnych sieci publicznych w celu dostosowania ich do nowych potrzeb. Zmiany wymuszają zarówno użytkownicy, oczekujący dostępu do usług o wyższej jakości i niższych cenach, jak i rosnąca konkurencja. Wzrastający popyt na transmisję danych, zwłaszcza Internetowych, ujawnia niedostatki tradycyjnych sieci telekomunikacyjnych, zorientowanych na świadczenie klasycznych usług telefonicznych.

## Usługa głosowa w sieci zintegrowanej

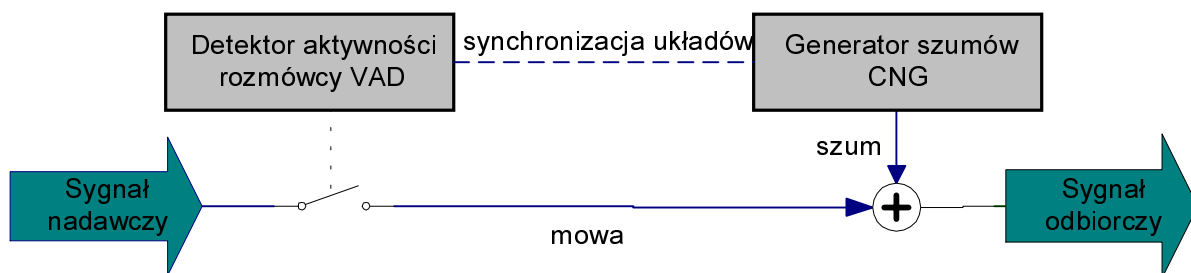
Usługa głosowa dzisiaj, to już nie tylko powszechnie znana usługa telefoniczna, polegająca na połączeniu dwóch abonentów wyposażonych w aparaty telefoniczne, ale także np. rozmowa dwóch użytkowników wyposażonych w komputer i odpowiednie oprogramowanie (*telephony to the desktop*) przez sieć komputerową. Od pewnego czasu można zaobserwować też dążenie do

integracji usług, tzn. przesyłania danych i głosu jedną siecią. Wynika ono z faktu, że użytkowanie dwóch sieci, oddzielnej do prowadzenia rozmów telefonicznych i oddzielnej do przesyłania danych, jest dużo droższe od korzystania z jednej sieci. Sieć taka powinna być łatwo konfigurowalna i wykazywać zdolności adaptacji do zmieniających się potrzeb i żądań użytkowników. Możliwości takie stwarza sieć cyfrowa, w której głos przesyłany jest jako strumień pakietów przełączanych i dostarczanych w czasie rzeczywistym z kontrolowanymi opóźnieniami.

W celu pełnego wykorzystania możliwości takiej sieci potrzebne są nowe rozwiązania kodowania i transmisji. Dotychczas najczęściej stosowaną metodą kodowania głosu było kodowanie PCM. Polega ono na próbkowaniu głosu z częstotliwością 8 kHz i zapisie każdej próbki na 8 bitach. Powstaje w ten sposób podstawowy kanał PCM o stałej przepływności 64 kbit/s. Tego typu kodowanie jest mało skomplikowane i uzyskuje się głos o dobrej jakości, ale wymaga relatywnie wysokiej przepływności. Dąży się do zawężenia potrzebnego pasma, przy zachowaniu jak najwyższej jakości głosu. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie nowych metod kodowania i kompresji oraz mechanizmów detekcji i wycinania ciszy. Zwolnione w ten sposób pasmo może zostać wykorzystane do świadczenia innych usług np. transmisji danych lub do zwiększenia liczby kanałów przesyłanych w danym paśmie. Umożliwia to obniżenie kosztów eksploatacji sieci.

### Detekcja i wycinanie ciszy

Mechanizm detekcji i wycinania ciszy bazuje na specyficznych właściwościach mowy ludzkiej. W rozmowie dwóch osób występuje wiele przerw między poszczególnymi zdaniem, słowami oraz chwil, w których rozmówcy zastanawiają się. Inną jej ważną cechą jest interakcja, tzn. jedna osoba mówi, a druga słucha. Działanie układu polega na tym, że w trakcie ciszy przesyłana jest tylko minimalna informacja, potrzebna do podtrzymania połączenia. Realizowane jest to przy pomocy detektora aktywności rozmówcy VAD (*Voice Activity Detector*) i generatora szumu CNG (*Comfort Noise Generator*). Układ VAD, umiejscowiony od strony nadawczej, ma na celu zdecydować, czy wejściowym sygnałem jest mowa czy cisza. W przypadku wykrycia ciszy układ wstrzymuje wysyłanie próbek dźwięku. Natomiast układ CNG, założony od strony odbiorczej, służy do generacji szumu tła w przypadku ciszy od strony nadawczej. Stosowanie tego układu podnosi komfort rozmowy - szum tła upewnia rozmówcę, że połączenie nie zostało nagle zerwane. Na rys. 1 pokazujemy schemat działania tych układów.



Rys. 1 Uproszczony schemat transmisji głosu z układami VAD i CNG

Stosując mechanizmy detekcji ciszy w kanale rozmównym i jej wycinania można osiągnąć duże oszczędności w paśmie, średnio rzędu 50%.

### **Wymagania jakościowe**

Charakter rozmowy telefonicznej nakłada na transmisję głosu stosunkowo rygorystyczne wymagania jakościowe, choć wydaje się, że szybkość 64kbps nie jest duża. Usługa głosowa wymaga przesyłania próbek dźwięku w czasie rzeczywistym. Transmisja taka podatna jest przede wszystkim na opóźnienia. Badania dowodzą, że opóźnienia większe od 150 ms w jednym kierunku są już zauważalne przez rozmówców i przeszkadzają w rozmowie. Stąd powstaje potrzeba kontroli opóźnień. Podstawą oceny jakości transmisji głosu są dwie wielkości:

- opóźnienia średnie,
- fluktuacje opóźnień.

Na ich wartość wpływają:

- opóźnienia związane z oczekiwaniem na wypełnienie ramki transmisyjnej,
- opóźnienia związane z zastosowaną techniką kodowania,
- opóźnienia powstające w kanale transmisyjnym, związane z propagacją sygnału w medium fizycznym,
- opóźnienia związane z przetwarzaniem danych w węzłach sieci – doбором trasy (routing), przełączaniem oraz buforowaniem.

Opóźnienia związane z oczekiwaniem na wypełnienie ramki transmisyjnej należą do kategorii opóźnień stałych, i są tym większe, im stosowane ramki są dłuższe. Wynika to z faktu, że nadajnik musi czekać na skompletowanie ramki z pojedynczych próbek przed jej wysłaniem przez sieć. Nasuwa się tutaj prosty wniosek, że dla obniżenia wartości tego opóźnienia należy stosować krótkie ramki. Niestety, każda ramka zawiera również nagłówek o ustalonej długości. W przypadku skracania ramek następuje obniżenie wydajności transmisji.

Do opóźnień stałych należą również opóźnienia związane z zastosowaną techniką kodowania, jak też opóźnienia związane z propagacją sygnału w medium transmisyjnym. Wartość pierwszego z nich zależy od zastosowanego algorytmu, oraz od mocy obliczeniowej urządzeń kodujących. Drugie związane są z ograniczoną prędkością rozchodzenia się sygnału i zależą wprost od długości medium.

Inny charakter mają opóźnienia związane z przetwarzaniem danych w węzłach sieci. O ile czas potrzebny na dobór trasy czy przełączanie jest mniej więcej stały dla danego typu urządzeń, o tyle czas przebywania ramki w buforach zależy od aktualnego obciążenia sieci. Wspomniane wcześniej fluktuacje opóźnień są spowodowane właśnie tym faktem.

W przypadku zbyt dużych opóźnień (powyżej 30 ms) odczuwalny staje się efekt echa, którego źródłem są przeniki w pętli abonenckiej. Zachodzi wtedy konieczność stosowania układów kasowania echa. Zgodnie z zaleceniami powinny być one umieszczone na obrzeżach sieci telekomunikacyjnej w urządzeniach obsługujących końcowych użytkowników.

## Przesyłanie głosu w sieci ATM

### Realizacja wymagań jakościowych przy transmisji głosu

ATM jest nowoczesną siecią zintegrowaną, zdolną do świadczenia usługi głosowej. Staje się podstawową techniką sieci szerokopasmowych. Decydują o tym następujące cechy:

- skalowalność - jej efektem jest możliwość negocjowania kanału wirtualnego praktycznie o dowolnej przepustowości
- kontrola jakości obsługi - QoS (*Quality of Service*). Jakość usługi zdefiniowana jest przez cztery parametry. Są to:
  - stopa utraty komórek (CLR),
  - maksymalne opóźnienie transmisji komórki (MaxCTD),
  - średnie odchylenie opóźnienia komórki (MeanCDV),
  - międzyszczytowe odchylenie opóźnienia komórek (peak-to-peak CDV).

Dzięki zdefiniowaniu parametrów QoS aplikacje mogą np. przerwać połączenie (w przypadku, gdy jakość transmisji będzie niewystarczająca) lub też odrzucać pakiety, które nadeszły ze zbyt dużym opóźnieniem. Ostatnia cecha ma duże znaczenie w przypadku przesyłania strumienia izochronicznego jakim jest głos. Znacznie korzystniej jest odrzucić opóźniony lub wadliwy pakiet (czego efektem będzie co najwyżej delikatny trzask w słuchawce), niż go ponownie retransmitować. Większość dotychczasowych protokołów przesyłania danych (np. TCP) nie jest dostosowana do przesyłania głosu, gdyż zawsze retransmitowała uszkodzone pakiety, bez względu na wprowadzane opóźnienia.

Informacje w sieci ATM przesyłane są w kanałach wirtualnych. Każdy z nich należy do jednej z wielu dostępnych kategorii ruchowych. Dwie spośród nich nadają się szczególnie dobrze do przesyłania głosu. Są to kategorie:

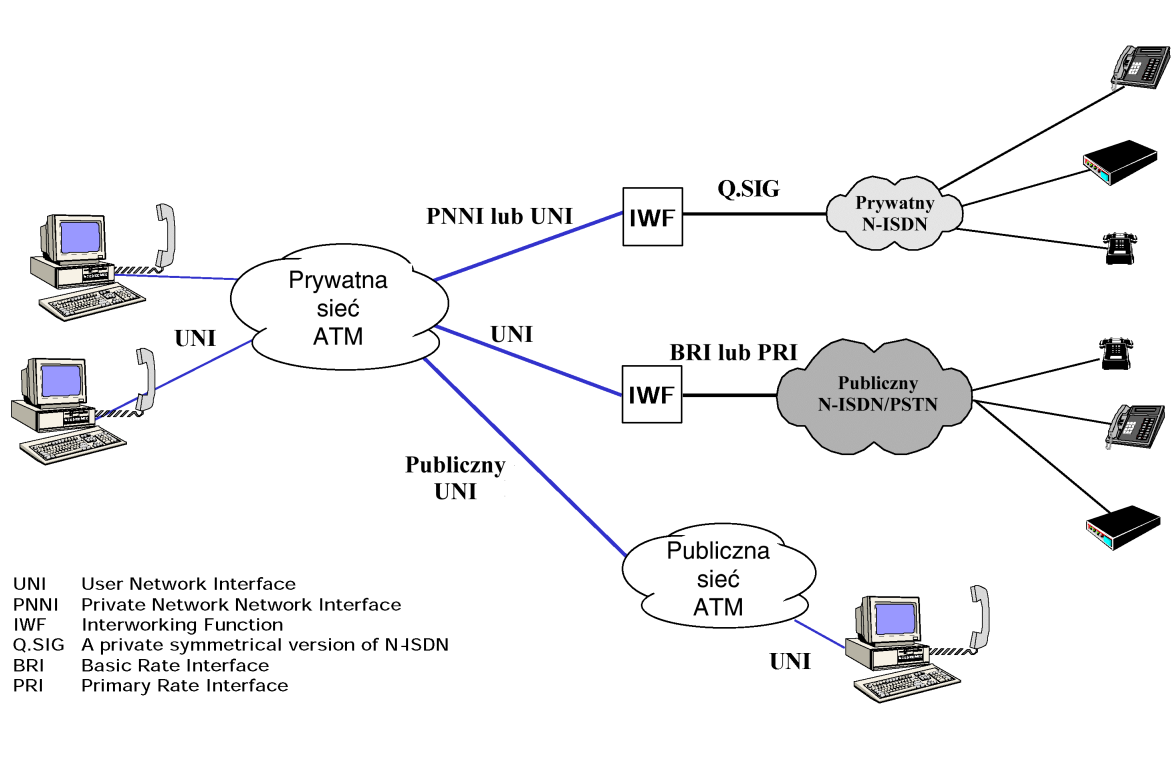
- a) CBR (*Constant Bit Rate*) - stosowany do usług o stałej przepływności bitowej. Zapewnia ciągły przepływ bitów ze stałą, wynegocjowaną podczas zestawiania połączenia szybkością bitową. W tym celu rezerwowane jest odpowiednie pasmo na cały czas istnienia kanału wirtualnego. Realizację kategorii CBR zapewnia w praktyce warstwa adaptacyjna AAL1.
- b) VBR-rt (*Variable Bit Rate - real time*) - ma zastosowanie w przypadku usług wymagających zmiennych przepływności. Podczas nawiązywania połączenia negocjowane są parametry charakteryzujące przesyłany strumień informacji - jego zmienność, średnia i maksymalna przepływność, maksymalna wielkość paczki danych (*burst'u*) itd. Podczas trwania sesji gwarancję dotarcia do odbiorcy mają tylko te pakiety, które spełniają założenia dotyczące wynegocjowanego profilu ruchu. W przeciwieństwie do kategorii CBR, nie ma rezerwacji pasma dla kanału wirtualnego (w ścisłym tego słowa znaczeniu). W efekcie, gdy w danej chwili strumień danych zmaleje lub całkowicie ustanie, zwolnione pasmo mogą wykorzystać inne kanały (nie tylko VBR). Określenie *real time* oznacza, że pakiety, które posiadają opóźnienie większe od zakładanego mają niższy priorytet i w razie natłoku w węźle – są usuwane.

Oprócz wyboru kategorii ruchowej przy realizacji usług głosowych można wykorzystać różne wersje warstwy AAL: AAL1, AAL2, AAL5. Dobór odpowiedniej warstwy zależy głównie od sposobu kodowania głosu, a ściślej parametrów generowanego strumienia danych (CBR, VBR).

Warstwa AAL1 umożliwia transmisję danych w kategorii ruchowej CBR. Jest to najprostsza implementacja usługi głosowej w sieci ATM - pozwala bowiem na przesyłanie podstawowego strumienia PCM o przepływności 64 kbps. Możliwe jest także wykorzystanie tych algorytmów kompresji głosu, które generują na wyjściu strumień bitowy o stałej przepływności.

W zależności od potrzeb możliwe jest przesyłanie w jednym kanale wirtualnym pojedynczej rozmowy lub grupy rozmów. To ostatnie rozwiązanie jest stosowane wyłącznie przy wykorzystaniu sieci ATM do połączeń skrośnych PBX-PBX. Jego zaletą są niskie opóźnienia pakietyzacji, oraz możliwość stosowania bardzo uproszczonej sygnalizacji (w skrajnym przypadku jej brak) - przy wykorzystaniu kanałów stałych. PVC (*Permanent Virtual Connection*).

Związanie jednej rozmowy z jednym kanałem wirtualnym umożliwia znacznie szersze wykorzystanie sieci ATM do transmisji głosu. Możliwe są wówczas nie tylko połączenia typu PBX-PBX ale też połączenia wykorzystujące komutację wewnątrz sieci ATM - co ilustruje poniżej Rys. 2.



Rys. 2. Możliwe konfiguracje dostępu do usługi głosowej z wykorzystaniem sieci ATM.

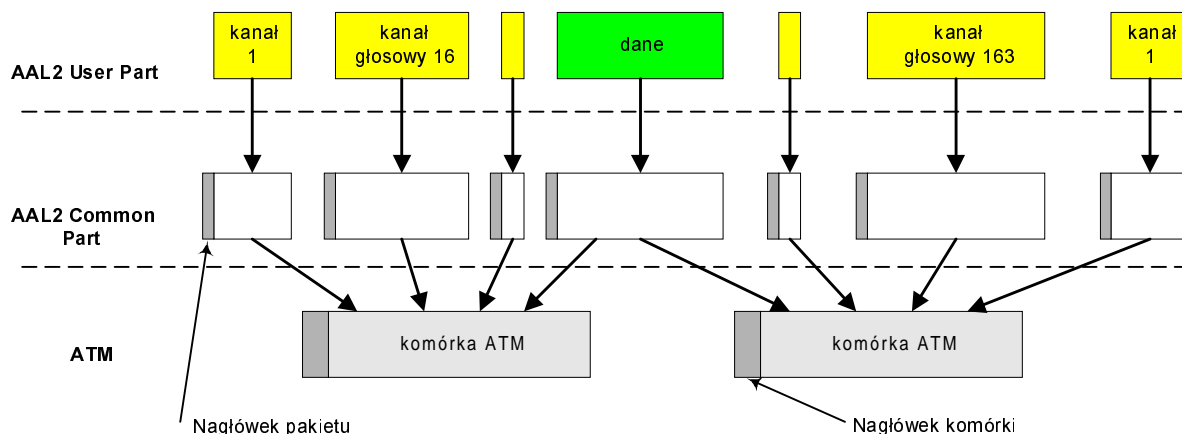
Rozwiązania oparte o kategorię ruchową CBR - mimo że najprostsze - nie są optymalne. Wystarczy podać, że przy przenoszeniu strumienia 64 kbit/s przy wykorzystaniu kanału ATM w wersji CBR i AAL1, narzut informacji wynosi 6 bajtów na każde przenoszone 47 bajtów „informacji głosowej” (zatem efektywna szybkość kanału wynosi  $64 \times [53/47]$  kbit/s). W rozmowie dwóch osób występuje wiele przerw między poszczególnymi zdaniami, słowami oraz chwil, w których rozmówcy zastanawiają się. Inną jej ważną cechą jest interakcja, tzn. jedna osoba mówi, a druga słucha. Przesyłanie głosu jako strumienia CBR w ogóle nie uwzględnia tych

zjawisk co powoduje marnotrawienie dostępnego pasma. Problem ten rozwiązuje przesyłanie głosu jako strumienia VBR-rt - możliwe przy zastosowaniu warstw AAL2 lub AAL5.

Warstwa AAL2 pozwala na przesyłanie głosu w kategorii ruchowej VBR-rt. Oznacza to dobre wykorzystanie pasma sieci. Z punktu widzenia aplikacji możliwe jest stosowanie zarówno mechanizmów kompresji głosu, jak też układów detekcji i usuwania ciszy.

Podobnie jak w poprzednio opisanej warstwie AAL1 możliwe jest przesyłanie w jednym kanale wirtualnym pojedynczej rozmowy lub grupy rozmów.

Warstwa AAL2 ma zaimplementowany mechanizm multipleksacji dynamicznej, który umożliwia przesyłanie wielu niezależnych strumieni w jednym kanale wirtualnym i każdy strumień może różnić się rodzajem przesyłanych informacji, przepływnością bitową oraz porowatością (*burstiness*) – por. Rys. 3. Mechanizm ten okazuje się szczególnie cenny przy współpracy z centralami PBX.



Rys. 2. Przesyłanie informacji z wykorzystaniem AAL2 na platformie ATM

Warstwa AAL5 umożliwia przesyłanie głosu zarówno w kategorii ruchowej CBR jak też VBR-rt. Właściwości tej warstwy są podobne jak AAL2. Zgodnie z zaleceniami ATM Forum sygnalizacja na styku Private UNI musi się odbywać z wykorzystaniem tej warstwy, stąd zastosowanie jej również do przesyłania głosu upraszcza konstrukcję terminali.

Przygotowano dwie koncepcje przesyłania głosu realizowane w oparciu o standard ATM:

- *Telephony to the Desktop* - tzn. od komputera do komputera.
- *PBX-based Instalations* - tzn. oparta na centralach PBX

### Koncepcja *Telephony to the Desktop*

Rozwiązanie to stosowane jest zazwyczaj w przypadku, gdy istnieje potrzeba rozmowy pomiędzy dwoma użytkownikami komputerów osobistych podłączonych do sieci ATM. Zapewnia ono integrację głosu z innymi usługami (transfer plików, poczta elektroniczna). Rola sieci ATM ogranicza się do zestawienia kanału wirtualnego i utrzymywania odpowiednich parametrów

transmisji dzięki wbudowanym mechanizmom QoS, natomiast do zadań terminali końcowych należy zlecenie zestawienia odpowiedniego kanału (na bazie adresów IP lub ATM) oraz wszystkie czynności związane z kodowaniem i kompresją głosu (w przypadku komputera jest to sprawa odpowiedniej aplikacji). Aby takie połączenie było realizowane wystarczy, żeby obydwaj rozmówcy zainstalowali na swoich komputerach odpowiednie oprogramowanie i mieli dostęp do sieci ATM. Do przesłania głosu może zostać wykorzystany kanał wirtualny o kategorii ruchowej CBR, lub też - o ile jest to możliwe - VBR-rt.

### **Instalacje oparte na wykorzystaniu sprzętu PBX**

W obecnych czasach często zachodzi potrzeba połączenia oddziałów korporacji zarówno siecią telefoniczną wykorzystującą centrale PBX, jak i siecią transmisji danych. Rozwiązanie oparte na sieci szkieletowej ATM jest o tyle korzystne, że pozwala zrobić to w sposób jednolity wykorzystując mechanizm integracji usług.

Wykorzystanie central PBX wiąże się z koniecznością przekazywania informacji sygnalizacyjnej pomiędzy nimi. Niestety w tej kwestii nie dopracowano się jeszcze powszechnie akceptowanego, jednolitego standardu. Dostępne są wyłącznie rozwiązania firmowe.

W przypadku tworzenia połączeń pomiędzy centralami za pomocą kanałów wirtualnych kategorii CBR różni się koncepcje:

- *Structured Frames* - PBX generuje strumień o ściśle ustalonej strukturze (np. PCM 30/32 - 32 kanały 64 kbps multipleksowane w technice TDM, w tym 30 głosowych). Strumień ten przesyłany jest następnie jednym kanałem o stałej przepływności (w przypadku PCM 30/32 - 2 Mbps). Rola sieci ogranicza się do ustanowienia tego kanału, gdyż cała informacja sygnalizacyjna zawarta jest wewnątrz przesyłanego strumienia. Rozwiązanie to charakteryzuje się bardzo niskimi opóźnieniami związanymi z wypełnianiem komórek i małymi narzutami nagłówek w stosunku do informacji użytecznej. Technika ta nie wykorzystuje jednak efektywnie pasma, gdyż w przypadku braku rozmowy w którymś z kanałów rozmównych nie może on być wykorzystany do innych celów.
- *Unstructured Frames* (Nx64kbps) - pomiędzy PBX'ami tworzonych jest N pojedynczych kanałów wirtualnych o przepływności bitowej 64 kbps każdy. Rozwiązanie to jest pod pewnymi względami mniej atrakcyjne niż *Structured Frames*, ponieważ wzrasta opóźnienie związane z wypełnianiem ramek informacją głosową. Jednak tak zestawione kanały, w momencie gdy nie są aktualnie używane do przesyłania rozmowy, można wykorzystać do innych celów np. przesyłania danych komputerowych, co nie było możliwe w poprzednim rozwiązaniu.

Obydwa powyżej opisane sposoby łączenia urządzeń PBX opierają się na tworzeniu kanałów wirtualnych o stałej przepływności bitowej (CBR) i z tym faktem wiążą się poważne ograniczenia. Pasma jest wykorzystywane nieefektywnie, nie mają zastosowania układy kompresji oraz detekcji i wycinania ciszy. Ten sposób transmisji jest już dobrze znormalizowany, wybór urządzeń jest szeroki i możliwa jest obecnie praktyczna realizacja w sieci, nawet publicznej.

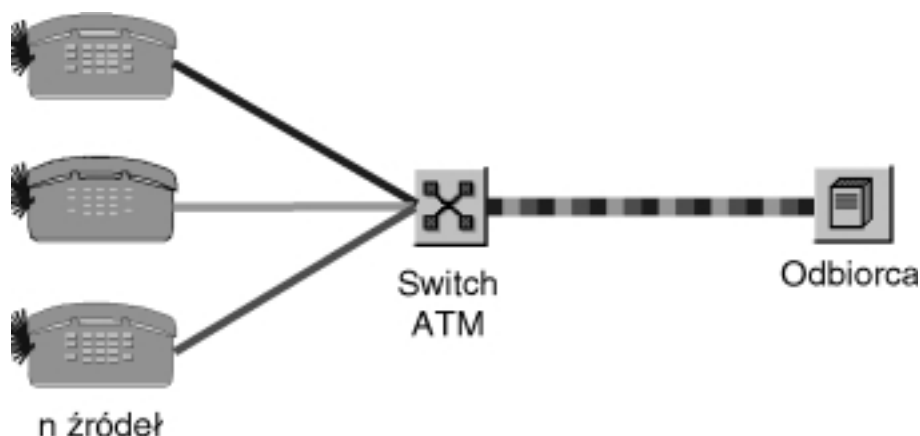
Nowe możliwości uzyskuje się przez połączenie central PBX kanałami wirtualnymi kategorii VBR. Możliwe jest zestawianie dla każdej rozmowy oddzielnego kanału wirtualnego, jak również wykorzystanie zalet multipleksacji dynamicznej oferowanej przez warstwę adaptacyjną AAL2 w połączeniu z układami detekcji i wycinania ciszy oraz kompresją. Wygospodarowane w ten sposób pasmo może być wykorzystane przez inne aplikacje.

Niestety warstwa AAL2 (a także kategoria ruchowa VBR-rt), nie jest jeszcze dobrze znormalizowana. Producenci, którzy oferują sprzęt pracujący w tej kategorii, wykorzystują rozwiązania firmowe. Szersze zastosowanie kategorii VBR możliwe będzie w przyszłości.

### Badania symulacyjne różnych koncepcji transmisji głosu

W celu zilustrowania problemów ruchowych związanych z przesyłaniem informacji głosowej przez sieć ATM przeprowadzono szereg symulacji. Symulowany był system, w którym  $n$  źródeł głosowych o charakterystyce *on/off* generowało strumienie VBR przesyłane łączem ATM o zadanej przepływności. Odpowiada to transmisji głosu z detekcją i wycinaniem ciszy.

Rys. 4 przedstawia wygląd symulowanej sieci przynoszącej informację głosową.



Rys. 3 Schemat symulacji jednostopniowej multipleksacji kanałów głosowych

Przyjęto następujące parametry źródeł:

- stan *on* (rozmówna aktywny) o czasie trwania opisanym przez rozkład wykładniczy o wartości średniej 300ms,
- stan *off* („cisza”) o czasie trwania opisanym przez rozkład wykładniczy o wartości średniej 600ms,
- w stanie *on* źródło generuje 1 bajt co 125  $\mu$ s co odpowiada specyfikacji PCM,
- w stanie *off* źródło nie generuje danych.

Założono, że transport danych odbywa się z wykorzystaniem warstwy AAL5. Dążąc do zmniejszenia opóźnień przyjęto, że w pakiecie ATM o długości 53 bajty przesyłane jest 40 bajtów danych, 8 bajtów stanowi trailer (końcówka) warstwy AAL5 a pozostałe 5 bajtów jest standardowym nagłówkiem ATM. Taka wersja wykorzystania warstwy AAL5 jest proponowana jako podstawowa w dokumencie [7] i oznacza ona realizację postulatu jednoczesnej



maksymalizacji efektywności transmisji przy zachowaniu niewielkiego poziomu opóźnienia pakietyzacji.

Symulacje wykonano wykorzystując program *Comnet III v1.3* przy następujących założeniach:

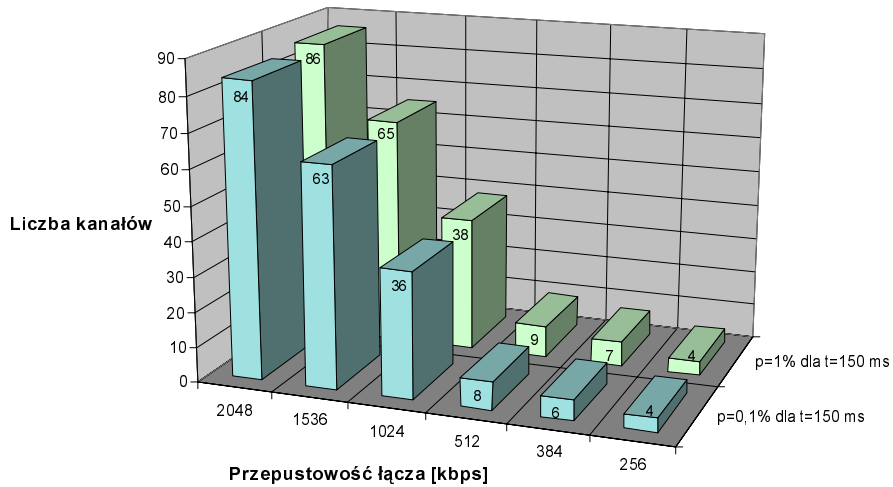
- w łączu nie występuje żaden dodatkowy ruch (ruch tła),
- pominięto opóźnienia wynikające z czasu pakietyzacji (5ms) i opóźnienia fizyczne w medium transmisyjnym, (można je dodać),
- założono brak strat w sieci, a co za tym idzie przyjęto nieograniczoną pojemność buforów w elementach komutacyjnych (*switch*),
- okres symulacji wynosi 90s + 5s rozbiegu (*warmup*) dla ustabilizowania stanu sieci; w okresie rozbiegu nie zbieramy danych.

Symulowano działanie systemu dla przepływności w zakresie od 22,8kbps do 2048kbps przyjmując zysk multipleksacji w zakresie 100 ÷ 300%. Zysk zdefiniowano jako liczbę prowadzonych rozmów, w odniesieniu do liczby kanałów PCM 64kbps możliwych do przesłania danym łączem. Przykładowo dla łącza 2048kbps zysk 100% oznacza 32 rozmowy.

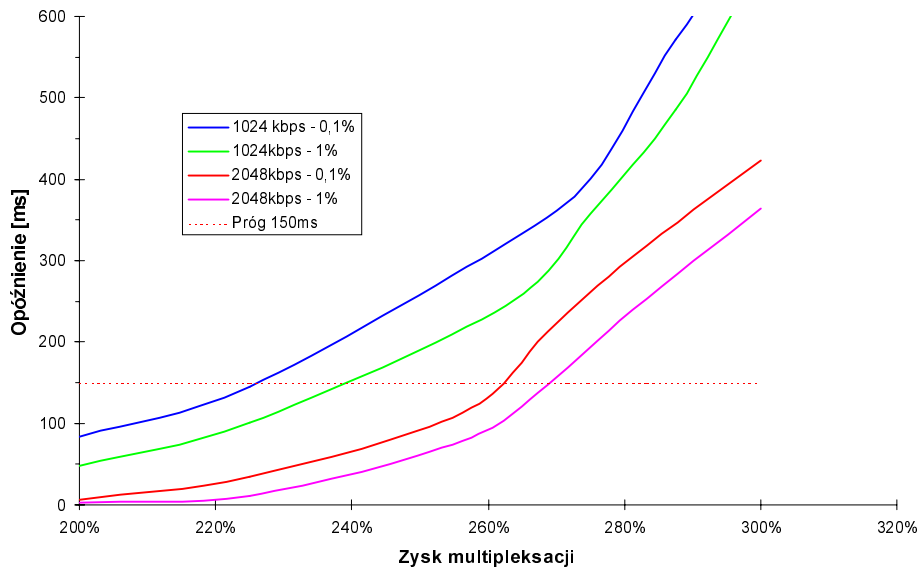
Zakres symulacji 100 ÷ 300% bierze się z faktu, że dla zysku poniżej 100% liczba kanałów możliwych do przesłania z użyciem mechanizmów wycinania ciszy jest mniejsza bądź równa ilości kanałów, przesyłanych analogicznym łączem bez tych mechanizmów (PCM). Jest więc to ekonomicznie nieopłacalne. Z kolei zysk multipleksacji powyżej 300% jest technicznie niemożliwy, gdyż przy założonych parametrach źródła generują średni strumień danych na poziomie 21,33 kbps. Zatem próba osiągnięcia zysku ponad 300% spowoduje niestabilność sieci (lawinowe przepełnienie buforów).

Początkowo, jako kryterium dopuszczenia danego wariantu, przyjmowane było opóźnienie średnie transmisji poniżej 150ms (wartość ta jest zalecana przez ITU). Przy opracowaniu wyników okazało się jednak, że opóźnienie średnie pakietu jest nieprzydatny do oceny jakości transmisji ze względu na to, że odchylenie standardowe opóźnienia było tego samego rzędu co wartość średnia. Dlatego też do ostatecznej oceny jakości transmisji w symulowanych łączach przyjęto dwa progi: łącze uznawano za przydatne do transmisji rozmów jeżeli maksymalnie 1% pakietów przychodził z opóźnieniem większym od 150 ms, za dobrej jakości zaś, jeżeli wartość opóźnienia 150 ms była przekraczana dla maksymalnie 0,1% pakietów.

Poniżej przedstawiamy uzyskane wyniki symulacji. Pominięte zostały tutaj wyniki dla przepływności kanałów w zakresie 22,8 ÷ 128kbps gdyż dla tych przepływności nie udało się uzyskać dopuszczalnych opóźnień przy zysku multipleksacji większym od 100%.



Rys. 4 Szacowana dopuszczalna liczba kanałów telefonicznych przy założeniu, że dla max.  $p$  [%] pakietów opóźnienie przekroczy  $t$  [ms]



Rys. 5 Opóźnienie przekraczane dla  $p$  [%] pakietów w zależności od przepustowości łącza i zysku multipleksacji

Pierwszy wykres (Rys. 5) odpowiada na pytanie ile rozmów telefonicznych o założonych parametrach może być jednocześnie przesłanych konkretnym łączem, drugi zaś (Rys. 6) zawiera dane o opóźnieniach pakietów dla łączy 1024kbps oraz 2048kbps. Warto zauważyć, że dopuszczalny (ze względu na opóźnienia) zysk multipleksacji rośnie szybko ze wzrostem przepustowości kanału.

Przedstawiony powyżej przypadek jest bardzo uproszczony. W praktyce sytuacje, w których ruch z n źródeł będzie koncentrowany w jednym komutatorze ATM i przesyłany łączem punkt-punkt do odbiorcy będziemy spotykać bardzo rzadko. O wiele częściej spotkamy sytuację, gdzie ruch będzie przechodził przez kilka węzłów, w których poszczególne rozmowy będą kierowane do różnych odbiorców.

## Podsumowanie

Z przedstawionych rozważań wynika, że obecnie ATM jako sieć głosowa nie jest rozwiązaniem bardzo atrakcyjnym i powszechnie akceptowanym. Kategoria CBR nie niesie ze sobą tak znaczących zysków, które mogłyby rekompensować wysoki koszt sprzętu i sieci. Wykorzystanie kategorii VBR poprawia efektywność transmisji głosu przez sieć ATM ale powstają w tym przypadku problemy związane z zaawansowanym sterowaniem ruchem i gwarantowaniem wymaganych wartości parametrów jakościowych.

Jednakże postępująca integracja usług w sieci w nieunikniony sposób prowadzi do wykorzystywania uniwersalnych terminali i zunifikowanej techniki sieciowej. Podnoszenie efektywności jest ważnym, ale nie jedynym celem integracji usług. Standard ATM jest uniwersalną i efektywną platformą integrującą usługi i dlatego przypuszczalnie już niedługo będziemy powszechnie wykorzystywać terminale multimedialne z kartą ATM i z możliwością jednoczesnej realizacji dostępu do Internetu, połączeń głosowych oraz usług wideo.

## Literatura

- [1] Ericsson Review. The Telecommunication Technology Journal 1/98 *Voice and telephony networking over ATM* (dostępny na stronie [www.ericsson.com](http://www.ericsson.com))
- [2] *Adapting Voice for ATM Networks* [www.gdc.com](http://www.gdc.com) (oficjalna strona firmy General DataComm)
- [3] dane z serwera Cisco System [www.cisco.com](http://www.cisco.com)
- [4] *Realtime speech and voice transmission on the Internet*, [Jarkko.Ahonen@iki.fi](mailto:Jarkko.Ahonen@iki.fi) & [Arttu.Laine@eunet.fi](mailto:Arttu.Laine@eunet.fi)
- [5] Rekomendacje ITU-T
- [6] ATM Forum, *Voice and Telephony Over ATM to the Desktop* af-vtoa-0083, maj 1997
- [7] ATM Forum, *ATM Trunking Using AAL1 for Narrowband Services v1.0* af-vtoa-0089, lipiec 1997