



Wykorzystanie usługi ABR dla transmisji wideo w szerokopasmowej sieci lokalnej

PIOTR ŁUBKOWSKI

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

Streszczenie. Podstawowe rodzaje usług w sieciach LAN, obejmujące transfer plików czy pocztę elektroniczną, realizowane są przy wykorzystaniu mechanizmu typu *best-effort*, umożliwiającego dynamiczny dostęp do przepustowości kosztem obniżenia jakości usług ze względu na ograniczoną przepływność informacyjną w medium transmisyjnym. Wprowadzenie usług multimedialnych, takich jak interaktywne usługi wideofoniczne, wiąże się z koniecznością wykorzystania klasy usług VBR (*Variable Bit Rate*) zdefiniowanych dla techniki ATM, charakteryzujących się zmienną prędkością transmisji komórek i wymagających określonych zasobów sieci na ich realizację. Zasoby te rezerwowane są przez użytkownika w trakcie zestawiania połączenia w formie kontraktu z siecią. Zatwierdzenie warunków kontraktu powoduje rezerwację określonych zasobów sieci niezależnie od tego, czy są one faktycznie wykorzystywane — prowadzi to do małej efektywności wykorzystania dostępnych zasobów sieci.

Zastosowanie w sieciach LAN mechanizmu transmisji typu *best-effort* umożliwia wykorzystanie także innych klas usług, takich jak ABR (*Available Bit Rate*) czy UBR (*Unspecified Bit Rate*), które podlegają znacznej degradacji w przypadku realizacji wideopłączenia za pomocą usługi typu VBR. W celu zapewnienia sprawiedliwego dostępu do zasobów, przy zachowaniu określonego poziomu jakości realizacji usługi wideofonicznej, wymagane jest informowanie źródła aplikacji wideo o aktualnie dostępnych zasobach. Możliwość taką stwarza wykorzystanie klasy usług ABR, dla której źródło usługi zmienia szybkość transmisji zależnie od sytuacji panującej w sieci. Niezbędna jest równocześnie modyfikacja zachowania źródła aplikacji wideo, polegająca na zmianie szybkości generowania ramek wideo na podstawie informacji przekazywanych przez usługę ABR. Umożliwi to efektywne wykorzystanie udostępnionych zasobów sieci, nawet w przypadku znacznego jej obciążenia.

W artykule przedstawiono mechanizm wykorzystania informacji o stanie sieci przekazywanych przez usługę ABR do modyfikacji parametrów źródła aplikacji wideo oraz jego implementację w środowisku badawczym. Zaprezentowano również wyniki uzyskane w eksperymentach realizowanych z wykorzystaniem programu symulacyjnego.

Słowa kluczowe: multimedia, transmisja wideofoniczna, ABR, symulacja

Symbol UKD: 681.324

1. Wykorzystanie usługi ABR do transmisji wideofonicznej

Usługa ABR, charakteryzująca się sterowaniem dostępną szybkością transmisji i gwarancją minimalnej szybkości transmisji MCR, może okazać się bardziej wydajna dla usług wideo i fonicznych niż usługa VBR, przewidziana dla usług czasu rzeczywistego. Skompresowany sygnał wideo (np. MPEG) można kodować z dowolną szybkością zmniejszaną do poziomu zdefiniowanego minimum. Zdefiniowanie minimalnej szybkości transmisji MCR na poziomie tegoż minimum oraz regulacja szybkości kodowania w sposób dynamiczny w zależności od informacji zwrotnej pochodzącej z sieci zapewniają uzyskanie odpowiedniej jakości obrazu wideo oraz 95% wykorzystanie kanału [11]. Z drugiej strony, jeżeli wykorzystywana jest usługa VBR, kodowanie odbywa się z ustaloną szybkością i w takim przypadku sieć powinna zagwarantować znacznie większe zasoby niż wynika ze średniego jej wykorzystania — ze względu na dużą porowatość („wybuchowość”) usługi VBR. Zastosowanie usługi VBR zapewnia wykorzystanie kanału podczas transmisji informacji wideo zakodowanej w standardzie MPEG na poziomie około 30-60% [11]. Można zatem stwierdzić, że zastosowanie usługi ABR zapewnia znacznie efektywniejsze wykorzystanie kanału przy braku (lub też przy minimalnych) strat w zakresie jakości informacji wideo.

Próby wykorzystania klasy usług ABR do transmisji informacji wideo były przedmiotem wielu prac, w tym m.in. [2, 3, 4, 13, 14, 15].

Mechanizm wykorzystany do celów adaptacji szybkości bitowej strumienia wideo do warunków panujących w sieci z wykorzystaniem usługi ABR, zaprezentowany w [14], zakłada transkodowanie strumienia wideo. Proces transkodowania realizowany jest na poziomie źródła ABR, przy czym na wejście transkodera podawany jest strumień wideo wcześniej zakodowany w jednym z powszechnie stosowanych formatów (wideo CBR, VBR lub MPEG). Celem transkodowania jest redukcja szybkości bitowej strumienia wideo na podstawie informacji o przeciążeniu, przekazywanej z sieci z wykorzystaniem komórek RM. Mechanizmem wykorzystywanym do sterowania przeciążeniem wykorzystanym w [14] jest mechanizm ERICA. W celu redukcji przeciążenia wprowadzony został bufor wygładzający na wyjściu transkodera. Zaprezentowane w [14] wyniki dowodzą, że uzyskana jakość przekazu wideo i opóźnienie end-to-end są zadowalające. Przeprowadzone badania pokazały, że opóźnienie łącza ma istotny wpływ na jakość realizacji usług ABR. Efekt ten może zostać zredukowany przez zwiększenie opóźnienia kolejkwania w buforze transkodera do wartości zbliżonej do wielkości GOP dla sekwencji wideo. Analiza otrzymanych wyników w [14] prowadzi do wniosku, że wykorzystanie dostępnej przepływności i jakość strumienia wideo przesyłanego w klasie ABR mogą być optymalizowane za pomocą transkodera wideo oraz właściwego mechanizmu sterowania przeciążeniem.

Zaletą wykorzystania usługi klasy ABR jest gwarantowanie minimalnej szybkości transmisji MCR, co umożliwia zagwarantowanie określonego (minimalnego)

poziomu jakości strumienia wideo. Zaprezentowane w [15] wyniki umożliwiają określenie minimalnej szybkości transmisji MCR na podstawie subiektywnej oceny jakości transkodowanego strumienia wideo. Celem subiektywnej oceny jest dobór subiektywnie akceptowanej jakości dla transkodowanego wideo realizowanego w klasie ABR przy różnych poziomach redukcji szybkości bitowej. Wyniki zaprezentowanych testów subiektywnych udowodniły skuteczność transkodowania wideo jako techniki kompresji dla klasy usług ABR. Poziom redukcji transkodowanego wideo może być równy 70% przy zachowaniu akceptowanej jakości obrazu. Połączenie mechanizmu sterowania przeciążeniem, jakim jest mechanizm ERICA oraz określonej subiektywnie wartości MCR umożliwia uzyskanie lepszego i bardziej efektywnego podziału zasobów pomiędzy źródła ABR. Analiza wyników przedstawionych w [15] ponownie prowadzi do wniosku, że zastosowanie transkodera jako narzędzia kompresji dla usługi ABR w sieci ATM pozwala na lepsze wykorzystanie dostępnej przepływności dla transmisji wideo ABR niż w przypadku transmisji VBR. Wprowadzenie subiektywnej wartości MCR i maksymalnego poziomu redukcji do algorytmu ERICA prowadzi do lepszego rozdziału zasobów pomiędzy źródła ABR. Podział zasobów realizowany jest z uwzględnieniem współczynnika sprawiedliwości i wielkości akceptowalnego poziomu jakości. Zaprezentowane w pracach [14, 15] średnie wartości opóźnienia kolejkowania w komutatorze ATM dla metody realizacji usługi wideo w klasie ABR z wykorzystaniem transkodowania kształtują się na poziomie od kilku do kilkunastu milisekund.

Proces adaptacji szybkości źródła wideo przedstawiony w [13] realizowany jest na poziomie warstwy aplikacji. Ideą zaprezentowanej propozycji jest wprowadzenie bufora wygładzającego pomiędzy źródłem a warstwą ATM. W ten sposób zapewniono separację dwóch mechanizmów sterowania, z których pierwszy występuje w warstwie ATM, gdzie następuje adaptacja szybkości źródła ABR do wartości ACR, a drugi występuje na poziomie źródła wideo i do adaptacji szybkości źródła wykorzystuje zajętość bufora źródłowego i wartość ACR. Dla celów sterowania przeciążeniem wykorzystywany był mechanizm ER, zakładający bezpośrednie wskazywanie szybkości transmisji.

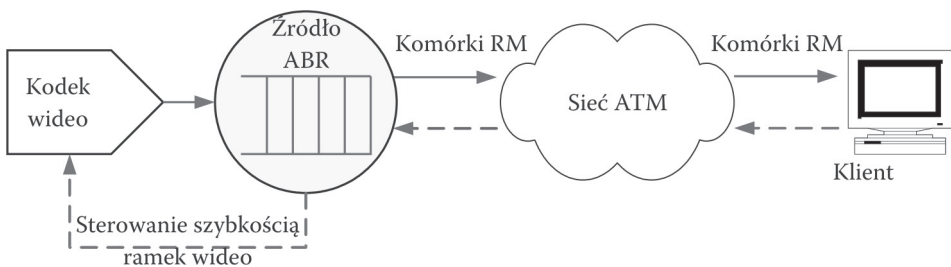
Wykorzystanie klasy ABR do transmisji wideofonicznej z wykorzystaniem adaptacji szybkości ramek wideo przedstawiono w [2]. Informacja o zajętości bufora źródła ABR wykorzystana została do celów adaptacji szybkości ramek wideo.

Ze względu na to, że szybkość ramki nie może zostać zmieniona w trakcie kodowania, do celów adaptacji wykorzystuje się informację o rozmiarze bufora, która dociera do źródła po zakończeniu kodowania ramki. Metoda ta zakłada jednak zaprzestanie transmisji w przypadkuapełnienia bufora — w celu eliminacji strat komórek. Dla celów sterowania przeciążeniem w komutatorach wykorzystany został mechanizm EPRCA, wykorzystujący średnią ACR obliczaną na podstawie średniej ważonej. Przeprowadzone w [2] eksperymenty symulacyjne pozwoliły na określenie wartości opóźnienia end-to-end, która kształtuje się na poziomie 300 msek, przy transmisji informacji wideofonicznej o średniej długości pakietów równej 800 bajtów.

Zaprezentowane powyżej sposoby wykorzystania klasy usług ABR dla transmisji informacji wideofonicznej zakładają wykorzystanie różnych mechanizmów adaptacji szybkości źródła wideo, które obejmują zmianę parametrów obrazu lub zmianę szybkości ramek wideo. Innym sposobem, który może być wykorzystany dla transmisji strumienia wideo jest hierarchiczne kodowanie informacji wideo. Idea kodowania hierarchicznego zakłada podział informacji wideo na warstwy różniące się pod względem istotnych parametrów obrazu [9, 10]. Warstwy zawierające parametry obrazu istotne z punktu widzenia jakości podstawowej przesyłane są w sieci z gwarantowaną jakością. Natomiast warstwy, których celem jest podwyższenie jakości podstawowej, przesyłane są jako dane typu *best effort*. Zaletą takiego rozwiązania jest bardziej ekonomiczna transmisja informacji wideo, jakkolwiek posiada też ono swoje wady. Jedną z nich jest mały zysk multipleksacji statystycznej, przy stosunkowo dużym prawdopodobieństwie strat komórek (10^{-2}) [9]. Problemem jest także taryfikacja połączenia, składającego się w rzeczywistości z kilku połączeń o różnych charakterystykach ruchowych i wymaganiach jakościowych.

2. Sterowanie szybkością wprowadzania informacji wideo

Podstawowym wymaganiem, jakie powinien spełniać kodek wideo jest dostosowanie szybkości strumienia informacji wideo do warunków, jakie w sieci panują, czyli uwzględnienie informacji zawartej w komórkach RM. Wymaganie to można zrealizować w układzie, który dokonuje dynamicznie zmiany szybkości ramek wideo na podstawie informacji o aktualnej szybkości transmisji. Układ ten został zaprezentowany na rysunku 1.



Rys. 1. Mechanizm sterowania szybkością generowania ramek wideo

Komórki RM przekazywane poprzez poszczególne węzły sieci, a także poprzez stację klienta, przenoszą informacje o aktualnym stanie sieci. Informacja ta wykorzystywana jest do określenia dopuszczalnej aktualnej szybkości transmisji ACR dla źródła ABR, która zawiera się w przedziale od PCR do MCR. Znajomość tej wartości wykorzystywana jest do określenia współczynnika zmiany szybkości ramek wideo dla kodeka wideo. Zaletą takiego podejścia jest to, że źródło ABR zawsze dysponuje

informacjami o aktualnym stanie sieci. Źródła ABR gwarantują także transmisję z określoną wartością minimalnej szybkości MCR, zatem przy odpowiednim jej doborze źródło będzie w stanie realizować usługę także przy bardzo ograniczonych zasobach wskazywanych przez ACR (w sytuacji gdy $ACR < MCR$). Adaptacja szybkości odbywa się w odniesieniu do źródła wideofonicznego, więc niezbędne jest przekazanie informacji o aktualnej szybkości transmisji ACR na poziom aplikacji. Przykłady realizacji takiej wymiany informacji przedstawiono w [2] i [13].

Mechanizm adaptacji szybkości ramek wideo dokonuje adaptacji wtedy, gdy aktualna szybkość transmisji ACR w sieci staje się mniejsza od wartości szczytowej szybkości PCR zadeklarowanej przez źródło ABR w fazie negocjacji połączenia. Po spełnieniu tego warunku kodek wideo dokonuje adaptacji szybkości ramek wideo f_w na podstawie określonej wartości współczynnika adaptacji szybkości WAS, zgodnie z następującą zależnością:

$$f_w = f_w * WAS. \quad (1)$$

Szybkość ramki wideo może zostać zmieniona dopiero w odniesieniu do nowej ramki, ponieważ nie jest możliwa zmiana szybkości ramki w trakcie jej kodowania. Komórka RM odbierana jest co 32 komórki danych, natomiast maksymalny rozmiar ramki wideo równy jest 120 komórkom. Tak więc w czasie trwania odpowiadającym rozmiarowi jednej ramki odebranych zostanie około 4 komórek RM. Biorąc pod uwagę powyższe, przyjęto, że w celu adaptacji szybkości ramki wykorzystana zostanie informacja zawarta w komórce B-RM, która została odebrana po przesłaniu zakodowanej ramki ze źródła wideofonicznego (poziom aplikacji) do źródła ABR (warstwa ATM). Adaptacja powinna uwzględniać zmiany ACR w stosunku do zadeklarowanej przez źródło wartości PCR. Wynika to z zasady funkcjonowania źródła ABR, które może nadawać komórki ATM z szybkością określoną przez ACR. Zmniejszenie szybkości poniżej tej wartości będzie prowadzić do nieefektywnego wykorzystania dostępnej przepływności. Przepływność niewykorzystana przez źródło ABR, zgodnie z zasadą *use-it or lose-it* opisaną w [8], zostanie przydzielona innym połączeniom ABR. Zwiększenie szybkości powyżej wartości ACR prowadzi zaś do buforowania komórek w buforze źródła ABR. W związku z tym adaptacja szybkości ramek wideo wykorzystuje bezpośrednie wskazywanie aktualnej szybkości transmisji ACR. Aktualizacja szybkości ramek występuje w chwili nadawania nowej ramki. W sytuacji gdy aktualna szybkość transmisji zmniejszy się w czasie trwania odpowiadającemu rozmiarowi ramki, komórki, w których ramka jest przenoszona, będą buforowane w buforze źródła ABR. Spotykane w literaturze rozmiary buforów źródła ABR odpowiadają rozmiarowi pojedynczej ramki I [11, 13]. W czasie odpowiadającym rozmiarowi jednej ramki aktualna szybkość transmisji ACR może także się zwiększyć. W związku z tym powstaje możliwość nadania przez źródło ABR większej liczby komórek. Właściwe zachowanie źródła ABR wymaga

zastosowania określonego mechanizmu sterowania przeciążeniem. W odniesieniu do zaproponowanej metody modyfikacji realizacji usługi wideofonicznej do celów sterowania przeciążeniem w sieci przyjęto mechanizm ERICA. Charakteryzuje się on tym, że bufony komutatorów w stanie ustalonym nie powinny być całkowicie opróżnione, aby umożliwić pełne wykorzystanie dostępnej przepływności w przypadku jej chwilowego wzrostu (szybkość ramek wideo aktualizowana jest co 4 komórki RM) [5].

Proces adaptacji szybkości ramek wideo realizowany jest do chwili, gdy wartość ACR jest większa od zadeklarowanej przez źródło wartości minimalnej szybkości transmisji MCR. Jeżeli $MCR \geq ACR$, proces adaptacji ustala szybkość ramek wideo na podstawie zadeklarowanej wartości MCR, która jest wykorzystywana do wyznaczenia współczynnika adaptacji szybkości WAS.

Ostateczna postać współczynnika adaptacji szybkości WAS przedstawiona jest następującą zależnością:

$$WAS = \begin{cases} 1 & \text{dla } PCR = ACR; \\ \frac{ACR}{PCR} & \text{dla } PCR > ACR > MCR; \\ \frac{MCR}{PCR} & \text{dla } MCR \geq ACR > 0; \\ 0 & \text{dla } ACR = MCR = 0. \end{cases} \quad (2)$$

3. Eksperyment symulacyjny

W celu wskazania skuteczności funkcjonowania zaprezentowanej metody przeprowadzone zostały eksperymenty badawcze, których celem było określenie charakterystyk jakości QoS realizowanej usługi oraz wskaźnika sprawiedliwego podziału dostępnych zasobów sieci.

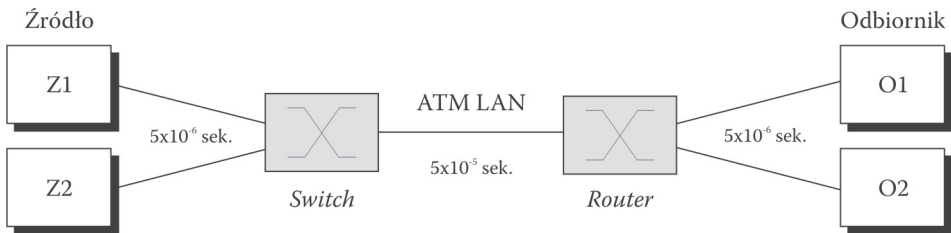
Eksperymenty badawcze przeprowadzone zostały z wykorzystaniem pakietu symulacyjnego OPNET, w którym zaimplementowano przedstawiony w artykule mechanizm sterowania szybkością generowania źródła wideo. Zaproponowany mechanizm wymaga informowania warstwy aplikacji o aktualnym stanie obciążenia sieci, tzn. przekazywania informacji o aktualnych możliwościach transmisji w sieci. Informacje te pozyskiwane są od usługi klasy ABR, która realizowana jest w warstwie ATM.

3.1. Konfiguracja

Dla potrzeb realizacji eksperymentu badawczego przyjęte zostały dwie konfiguracje testowe, z których pierwsza umożliwia określenie parametrów jakości usługi QoS dla usługi wideofonicznej realizowanej w klasie ABR, a druga służy do określenia

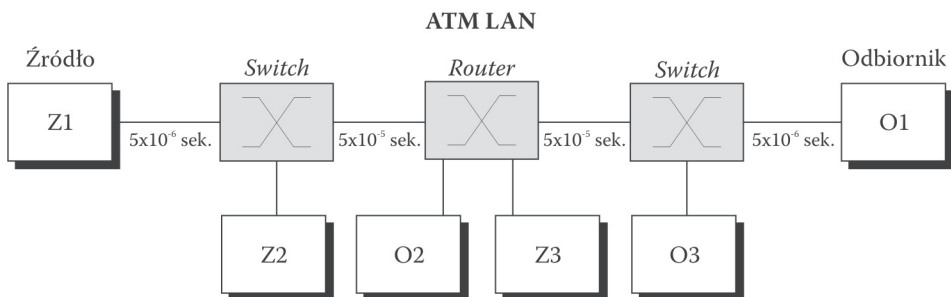
wskaźnika sprawiedliwości podczas transmisji wideofonicznej poprzez kilka węzłów sieci. Wykorzystywane konfiguracje są powszechnie znane w literaturze i stosowane podczas badania zjawisk zachodzących w sieci ATM [6, 7]. Pierwszą nazwać można konfiguracją typu wąskie gardło (*bottleneck*), gdyż umożliwia badanie zachowania sieci podczas realizacji kilku połączeń ABR. Druga, nazywana konfiguracją typu parking (*theatre parking lot*), określa zachowanie sieci podczas przesyłania danych wideofonicznych poprzez kilka łączy obciążonych ruchem podkładowym.

Konfiguracja typu wąskie gardło zaprezentowana została na rysunku 2. Występują tu dwa węzły W, dwa źródła Z i dwa odbiorniki O. Źródło Z1 reprezentuje jedną lub kilka stacji wideofonicznych, natomiast źródło Z2 reprezentuje stacje generujące ruch podkładowy. Ze źródłem Z1 skojarzony jest odbiornik O1, którym w tym przypadku jest także stacja (lub stacje) wideofoniczna, a źródło Z2 skojarzone jest z odbiornikiem O2. Źródła i odbiorniki połączone są w układzie punkt-punkt.



Rys. 2. Konfiguracja testowa typu wąskie gardło

Konfiguracja typu parking przedstawiona została na rysunku 3. Służy ona do określenia wskaźnika sprawiedliwości w systemie telekomunikacyjnym w obecności jednego źródła wideofonicznego i kilku źródeł generujących ruch podkładowy w klasie ABR. Źródło wideofoniczne Z1 przesyła strumień wideofoniczny z wykorzystaniem kanału wirtualnego VC poprzez trzy węzły sieci oraz dwa łącza, z których każde jest obciążone pewnym ruchem podkładowym (Z2-O2, Z3-O3).



Rys. 3. Konfiguracja testowa typu parking

3.2. Parametry symulacji

Dla opisu modelu usługi wideofonicznej klasy ABR realizowanej w szerokopasmowej sieci lokalnej ATM przyjęte zostały następujące założenia i uproszczenia:

- medium transmisyjne zrealizowane jest w postaci dwóch kanałów wirtualnych VC o przepływności 2048 kbit/sek,
- sieć wykorzystana do realizacji usługi wideofonicznej klasy ABR jest szerokopasmową siecią lokalną ATM,
- czas propagacji sygnałów w łączy przyjmuje wartość charakterystyczną dla lokalnej sieci komputerowej i równy jest 5×10^{-5} sek,
- struktura sieci zawiera minimum dwa węzły sieci oraz minimum 12 stacji, przy czym liczba węzłów i stacji uzależniona jest od wykorzystywanej konfiguracji,
- wszystkie stacje są równoprawne i realizują proces transmisji informacji związanych z realizacją połączenia w szerokopasmowej sieci lokalnej ATM,
- generowane żądania obsługi nie są tracone,
- stacje wyposażone są w bufor nadawczy i odbiorczy umożliwiające dwukierunkową transmisję z wykorzystaniem kanałów wirtualnych o zdefiniowanej wartości szybkości transmisji,
- węzły sieci umożliwiają dwukierunkową transmisję z wykorzystaniem zdefiniowanego medium transmisyjnego w oparciu o model obsługi kolejki WRR,
- parametry jakościowe oraz wskaźnik sprawiedliwości dla usługi wideofonicznej klasy ABR określane są w warunkach zmieniającego się obciążenia oraz zmiennej wartości minimalnej szybkości transmisji dla usługi wideofonicznej,
- wartość obciążenia (natężenie ruchu generowanego przez źródła ruchu podkładowego, tj. źródła ABR które nie realizują usługi wideofonicznej) zmienia się w zakresie od 25 do 125% przepływności łącza,
- wartość minimalnej szybkości transmisji dla usługi wideofonicznej klasy ABR, definiowana jest w kontrakcie ruchowym deklarowanym przez źródło i przyjmuje wartości 128 i 384 kbit/sek,
- wszystkie elementy modelowanej sieci w czasie realizacji eksperymentu badawczego są sprawne.

Model ruchu wideofonicznego wykorzystany podczas eksperymentu badawczego odzwierciedla przenoszenie ruchu wideo i fonicznego charakterystycznego dla aplikacji opisanych zaleceniami H.320/H.323.

3.3. Miary oszacowania

Wyniki eksperymentu przedstawione w artykule odnoszą się do jakości usługi QoS rozważanej w warstwie aplikacji, tj. określonej jako tzw. end-to-end delay. Analiza prac dotyczących realizacji transferu informacji wideo z wykorzystaniem usługi ABR prowadzi do wniosku, że parametr ten jest powszechnie wykorzystywany do oceny jakości realizacji transferu na poziomie aplikacji [2, 14]. Oprócz miar związanych

z określeniem jakości realizacji usługi wideofonicznej QoS, istotne znaczenie ma określenie tzw. wskaźnika sprawiedliwości, który wskazuje stopień sprawiedliwego podziału dostępnych zasobów pomiędzy źródła realizujące usługę ABR. Sposób wyznaczenia wskaźnika sprawiedliwości, który wykorzystywany jest powszechnie do oceny sprawiedliwego podziału zasobów pomiędzy źródła ABR i stanowi jedno z kryteriów wyboru metody realizacji usługi ABR podano w [1, 6, 12].

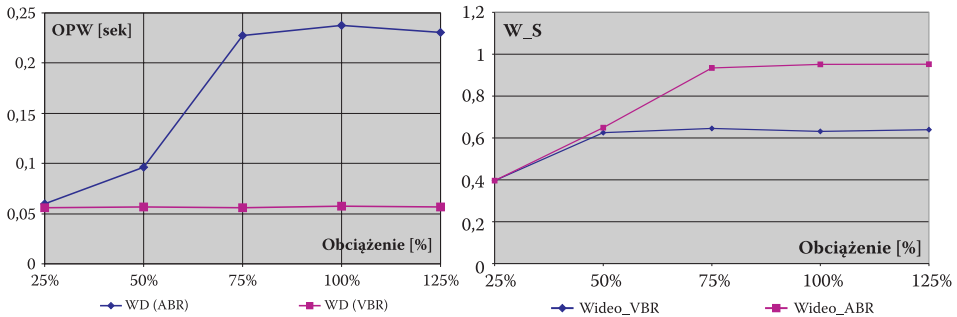
4. Wyniki symulacji

Przeprowadzenie eksperymentu badawczego zrealizowane zostało z wykorzystaniem szeregu modeli symulacyjnych, reprezentujących szerokopasmową sieć lokalną obciążoną ruchem podkładowym generowanym przez 5 (WG_5) lub 10 (WG_10) źródeł ABR. Przyjęta przepływność łącza w szerokopasmowej sieci lokalnej ATM ustalona została na poziomie $C = 2$ Mbit/sek. W odniesieniu do przyjętej przepływności ustalone zostały parametry kontraktu ruchowego dla źródła zmodyfikowanej usługi wideofonicznej klasy ABR. Parametrami istotnymi z punktu widzenia wyników symulacji są: wartość szczytowa szybkości transmisji PCR oraz wartość minimalnej szybkości transmisji MCR. Szczytowa szybkość transmisji określona została na poziomie 1 Mbit/sek dla konfiguracji wąskiego gardła, co stanowi 50% dostępnej przepływności łącza C . Minimalna szybkość transmisji przyjmuje wartość równą w przybliżeniu 1/10 przepływności łącza, tzn. 128 kbit/sek. W celu zagwarantowania wyższej jakości połączenia wideofonicznego należy zastosować większą wartość MCR. Eksperyment badawczy został zrealizowany także z uwzględnieniem tego założenia, przy MCR równej 384 kbit/sek, co stanowi 20% przepływności C .

4.1. Porównanie realizacji usługi wideofonicznej w klasie VBR i ABR

Eksperyment badawczy umożliwiający porównanie parametrów jakościowych oraz wskaźnika sprawiedliwości realizacji usługi wideofonicznej z wykorzystaniem klasy VBR i klasy ABR został przeprowadzony w konfiguracji typu „wąskie gardło”. W układzie pomiarowym wykorzystano jedno źródło usługi wideofonicznej, które generowało ruch o wartości PCR równej 2000 komórek/sek. Transmisja wideofoniczna realizowana była z wykorzystaniem klasy VBR lub ABR. Przepływność łącza pomiędzy węzłami sieci stanowiącego „wąskie gardło” przyjęto 2,048 Mbit/sek, z czasem propagacji równym 50 μ sek. Rozmiar bufora w źródle równy jest 1000 komórek, a w węzłach sieci — 10 000 komórek. Ruch podkładowy generowany był przez 5 źródeł ABR realizujących usługę WWW i wykorzystany został do zmiany obciążenia łącza stanowiącego „wąskie gardło”. Łącze obciążone jest ruchem podkładowym, którego natężenie zmienia się w zakresie od 25 do 125% przepływności łącza.

Porównanie wartości średniej całkowitego opóźnienia transmisji end-to-end oraz wskaźnika sprawiedliwości przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Porównanie wartości średniej całkowitego opóźnienia transmisji wideofonicznej end-to-end OPW i wartości średniego wskaźnika sprawiedliwości W_S przy wykorzystaniu klasy usług ABR i VBR dla transmisji wideofonicznej

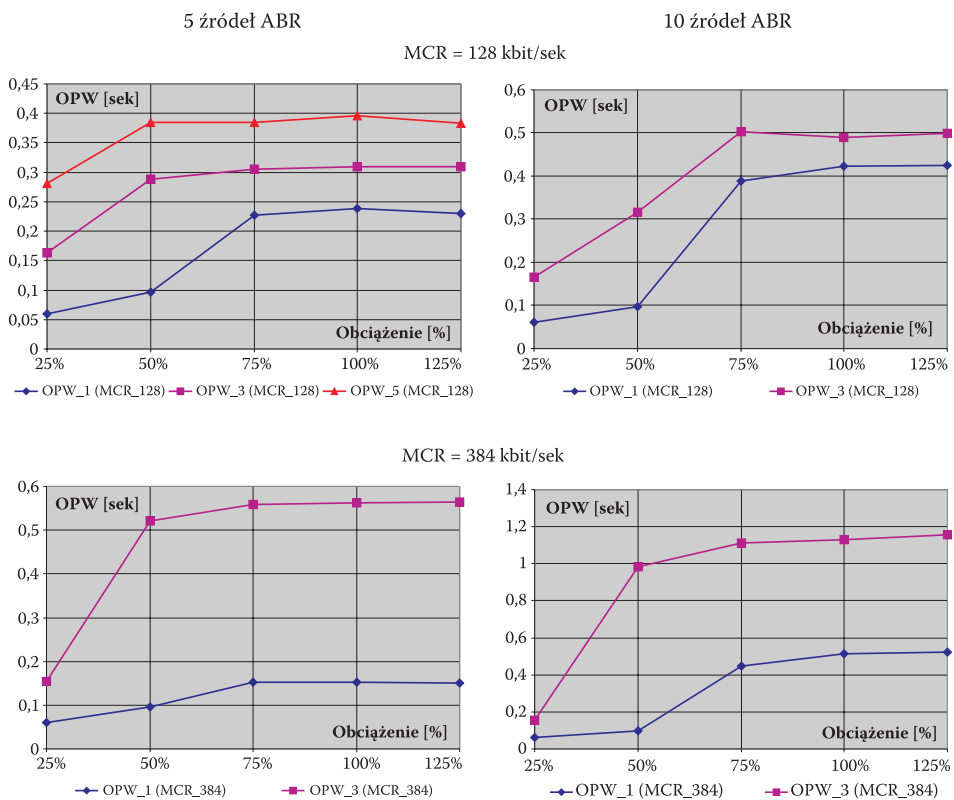
Jak można zaobserwować, wprowadzone modyfikacje prowadzą do wzrostu całkowitego opóźnienia transmisji w przypadku realizacji transmisji wideofonicznej w klasie ABR w porównaniu z realizacją tej transmisji w klasie VBR. Jest to następstwo braku rezerwacji zasobów sieci określonych wartością PCR w odniesieniu do usługi klasy ABR. W przypadku realizacji transmisji wideofonicznej w klasie VBR sieć rezerwuje przepływność około 1 Mbit/sek, która gwarantuje zachowanie stałego opóźnienia transmisji na poziomie 0,05 sek. W przypadku wykorzystania klasy ABR sytuacja taka nie występuje, albowiem źródło ABR zmienia szybkość transmisji na podstawie informacji dostarczonej w komórkach RM. Informacja ta wykorzystana jest następnie do adaptacji szybkości ramek wideo. Wielkość całkowitego opóźnienia transmisji wideofonicznej rośnie zatem wraz ze wzrostem obciążenia i ustala się na poziomie około 0,25 sek. Jest to wartość 5 razy większa niż w przypadku transmisji wideofonicznej w klasie VBR, jednakże, jak wynika z analizy parametrów jakościowych (*end-to-end delay*), zadowalająca dla realizacji usługi wideofonicznej.

Wartość wskaźnika sprawiedliwości W_S (rys. 4), który określa stopień sprawiedliwego wykorzystania zasobów, ustala się na poziomie 0,6 w sytuacji gdy do transmisji wideofonicznej wykorzystana jest klasa VBR. Jak z tego wynika, źródło klasy VBR jest faworyzowane kosztem źródeł klasy ABR. Obserwacja krzywej wskaźnika sprawiedliwości określającego stopień sprawiedliwego wykorzystania zasobów w odniesieniu do transmisji wideofonicznej realizowanej w klasie ABR pozwala stwierdzić niemal 100% sprawiedliwość przydziału zasobów. Przy wzroście całkowitego opóźnienia *end-to-end*, który zapewnia zachowanie określonego poziomu jakości dla użytkownika końcowego, w przypadku realizacji zmodyfikowanej usługi wideofonicznej w klasie ABR, uzyskano zatem bardzo wysoką wartość wskaźnika sprawiedliwości, co przekłada się na efektywniejsze wykorzystanie zasobów łącza stanowiącego „wąskie gardło”.

4.2. Całkowite opóźnienie transmisji end-to-end

Parametrem istotnym z punktu widzenia jakości realizowanej usługi wideofonicznej jest opóźnienie. Mierzone podczas eksperymentu badawczego wartości opóźnienia uwzględniają opóźnienie propagacji sieci, które dla konfiguracji wąskiego gardła przyjmuje wartość 50 μ sek.

Wyniki eksperymentu badawczego przedstawione na rysunku 5 prezentują wartości średnie całkowitego opóźnienia end-to-end transmisji wideofonicznej OPW w funkcji obciążenia łącza dla konfiguracji WG_5 i WG_10 oraz zmiennej liczby źródeł usługi wideofonicznej klasy ABR.



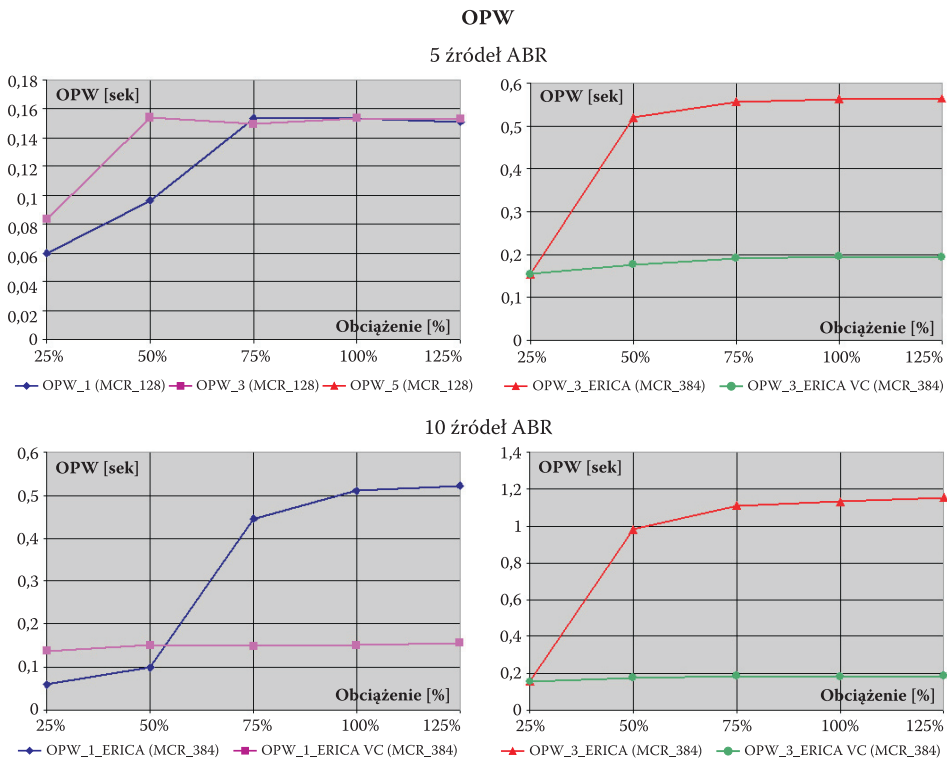
Rys. 5. Wartości średnie całkowitego opóźnienia transmisji wideofonicznej end-to-end OPW w funkcji obciążenia, liczby źródeł wideofonicznych oraz minimalnej szybkości transmisji MCR

Średnie opóźnienie pakietów uzyskane przy MCR ustalonej na poziomie 128 kbit/sec utrzymuje się na poziomie dużo niższym niż określony jako dopuszczalny dla tej klasy usług wideofonicznych. Uzyskane wielkości są zadowalające zarówno dla jednego źródła usługi wideofonicznej (OPW_1), jak i dla pięciu źródeł (OPW_5). Świadczy to o możliwości zastosowania zmodyfikowanej usługi wide-

ofonicznej klasy ABR dla transmisji informacji fonicznej i wideo przy określonym poziomie jakości.

Rezerwacja przepływności na poziomie 384 kbit/sek dla transmisji informacji wideofonicznej (konfiguracja z 1 źródłem usługi wideofonicznej) prowadzi do zmniejszenia wartości całkowitego opóźnienia end-to-end transmisji wideofonicznej i do poprawy jakości realizowanej usługi. Dla konfiguracji z trzema źródłami usługi wideofonicznej obserwujemy znaczny wzrost opóźnienia OPW, związany z opóźnieniem buforowania. Zjawisko to występuje zarówno w układzie WG_5, jak i WG_10.

Porównanie średnich wartości całkowitego opóźnienia end-to-end transmisji OPW dla metody obsługi kolejki oznaczonej ERICA i ERICA_VC przedstawione zostało na rysunku 6.



Rys. 6. Wartości średnie całkowitego opóźnienia transmisji wideofonicznej end-to-end OPW w funkcji obciążenia, liczby źródeł usługi wideofonicznej i metody obsługi strumienia ABR w węzle sieci — MCR = 384 kbit/sek

Analizując przebieg krzywych całkowitego opóźnienia end-to-end transmisji wideofonicznej, można zauważyć praktycznie niezmienną wartość OPW równą 0,2 sek przy zastosowaniu metody obsługi strumieni ERICA_VC. Jest to związane z szybkością obsługi kolejki dla pojedynczego strumienia usługi wideofonicznej wyrażonego wartością MCR = 384 kbit/sek. Otrzymane dla tej metody obsłu-

mieni ABR wartości całkowitego opóźnienia end-to-end są identyczne niezależnie od liczby źródeł usługi wideofonicznej i przyjętej konfiguracji.

Otrzymane wartości średnie całkowitego opóźnienia end-to-end dla transmisji wideofonicznej są porównywalne z wartościami uzyskanymi w [2], gdzie wartość opóźnienia end-to-end kształtowała się na poziomie 300 msek. Wykorzystana w [2] metoda adaptacji strumienia wideo wykorzystywała informację o zajętości bufora źródła ABR do sterowania szybkością ramek wideo. Także w pracy [13] wartość całkowitego opóźnienia dla transmisji wideo w klasie ABR równa jest 300 msek. Dla celów adaptacji szybkości strumienia wideo wykorzystana została informacja o ACR oraz bufor na wyjściu źródła wideo. Bufor obsługiwany był z szybkością zależną od ACR, przy założeniu modyfikacji współczynnika kwantyzacji w przypadkuapełnienia bufora. Znacznie lepsze wyniki, jeżeli chodzi o całkowite opóźnienie end-to-end transmisji wideo (od kilku do kilkunastu milisekund), uzyskano w [1]. Wykorzystany w [14] mechanizm adaptacji szybkości strumienia wideo zakładał dodatkowe transkodowanie zakodowanego strumienia wideo poprzez modyfikację współczynników kwantyzacji. Zaprezentowana w [14] metoda doskonale nadaje się więc do transmisji informacji wideofonicznych charakteryzujących się dużą zmiennością sekwencji wideo. Metoda adaptacji szybkości ramek wideo zaprezentowana w artykule powinna być stosowana do transmisji w klasie ABR informacji wideofonicznej charakteryzującej się małymi zmianami sekwencji wideo.

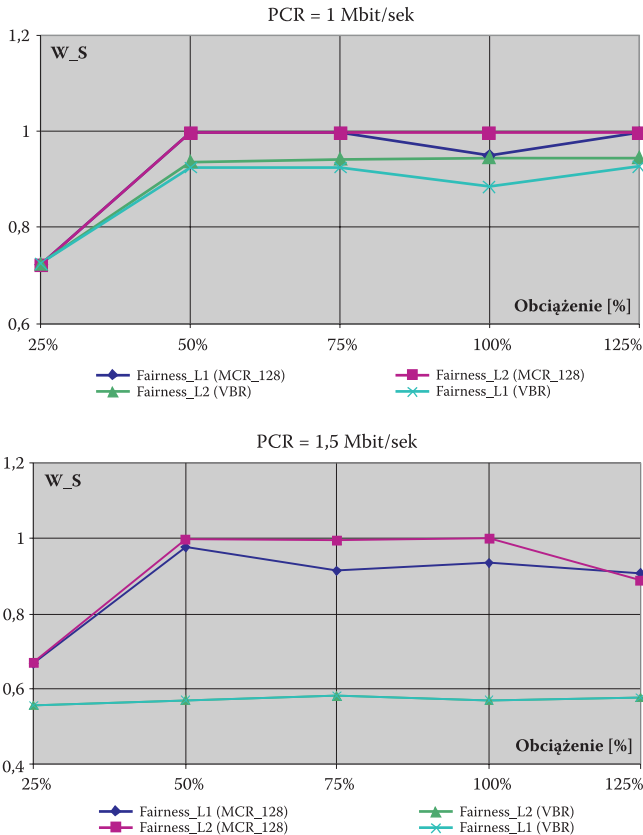
4.3. Wskaźnik sprawiedliwości

Oprócz parametrów związanych z jakością usługi, istotnym parametrem jest także wskaźnik sprawiedliwości, który umożliwia określenie stopnia sprawiedliwego podziału zasobów sieci pomiędzy aktywne źródła. Realizacja usług ABR typu *best-effort* w obecności usługi wideofonicznej klasy VBR prowadzi do znacznego pogorszenia (o ile nie niemożności realizacji) pierwszej z wymienionych grup usług. Wynika to z faktu rezerwacji zasobów sieci dla usługi VBR określonych wartością szczytową szybkości generowania komórek PCR. Zaproponowana metoda wykorzystania klasy ABR dla realizacji usługi wideofonicznej powinna doprowadzić do uzyskania wyższego wskaźnika sprawiedliwości niż ma to miejsce przy realizacji usługi wideofonicznej w klasie VBR w obecności źródeł ABR.

Eksperyment badawczy dotyczący tego zagadnienia przeprowadzony został z wykorzystaniem konfiguracji typu „parking” przedstawionej na rysunku 3. Celem eksperymentu było określenie wskaźnika sprawiedliwości podczas realizacji usługi wideofonicznej z wykorzystaniem klasy VBR oraz podczas realizacji zmodyfikowanej usługi wideofonicznej w klasie ABR. Eksperymenty zrealizowano dla dwóch wartości szybkości szczytowej generacji komórek (dla źródła usługi wideofonicznej) stanowiących 50 i 75% przepływności łącza. Łącza zostały obciążone ruchem podkładowym generowanym przez źródła ABR, którego wartość była zmieniana w czasie eksperymentu w zakresie od 25 do 125%. W czasie eksperymentu mierzone były wartości przepływności dla aktywnych źródeł, które posłużyły do wyznacze-

nia wskaźnika sprawiedliwości. Graficzna reprezentacja wyników przedstawiona została na rysunku 7.

Analizując wyniki przedstawione na rysunku 7, można stwierdzić, że średnie wartości wskaźnika sprawiedliwości dla PCR równej 1 Mbit/sek w przypadku usługi wideofonicznej klasy VBR i ABR są w przybliżeniu sobie równe dla obu analizowanych łączy, jakkolwiek można zaobserwować przewagę klasy ABR, dla której średnia wartość wskaźnika kształtuje się w okolicach 0,99. Oznacza to 99% sprawiedliwość podziału zasobów sieci pomiędzy aktywne źródła.



Rys. 7. Wskaźnik sprawiedliwości dla usługi wideofonicznej klasy ABR w funkcji obciążenia — 2 źródła ABR w łączy

Znacznie wyraźniejszą różnicę średnich wartości wskaźnika sprawiedliwości zaobserwować można, analizując przypadek z PCR ustaloną na poziomie 1,5 Mbit/sek. Średnia wartość wskaźnika sprawiedliwości uzyskana dla zmodyfikowanej usługi wideofonicznej klasy ABR kształtuje się w przedziale od 0,995 do 0,999 dla obciążenia łączy L2 przyjmującego wartości od 50 do 100%. Przy takich samych warunkach ekspe-

rymentu obliczona wartość średnia wskaźnika sprawiedliwości dla usługi wideofonicznej klasy VBR osiąga poziom poniżej 0,6. Porównując otrzymane podczas eksperymentu badawczego wyniki z wynikami zaprezentowanymi w [2], należy stwierdzić, że zaproponowana metoda bezpośredniego sterowania szybkością ramek wideo z wykorzystaniem informacji o ACR pozwala na efektywniejsze wykorzystanie dostępnych zasobów. Uzyskana w [2] wielkość wskaźnika sprawiedliwości dla sieci lokalnej przy transmisji informacji wideofonicznej (H.320/H.323) kształtuje się na poziomie 30%.

Na podstawie otrzymanych wyników można więc wnioskować, że realizacja zmodyfikowanej usługi wideofonicznej w klasie ABR z uwzględnieniem informacji o przeciążeniu prowadzi do uzyskania niemal 100% sprawiedliwości w zakresie przydziału zasobów sieci pomiędzy aktywne źródła.

5. Wnioski

W artykule przedstawiono modyfikację wybranych parametrów źródła aplikacji, umożliwiającą uwzględnienie informacji o przeciążeniu panującym w sieci. Zaproponowana modyfikacja zakłada możliwość dostosowania szybkości generowania informacji wideofonicznej bezpośrednio do aktualnej dostępnej przepływności sieci poprzez zastosowanie sprzężenia zwrotnego charakterystycznego dla klasy ABR, umożliwiającego przekazywanie informacji o aktualnej przepływności sieci. Modyfikacja parametrów źródła została zoptymalizowana pod kątem parametrów jakościowych tak, aby przy określonym obciążeniu ruchowym oraz konfiguracji sieci wymienione parametry przyjmowały wartości z określonego zbioru wartości dopuszczalnych.

Wyniki otrzymane w efekcie realizacji eksperymentu badawczego pozwalają wysnuć wniosek o poprawności przyjętego rozwiązania. Podczas eksperymentu badane były: opóźnienie end-to-end oraz wskaźnik sprawiedliwości dla wybranych konfiguracji sieci w zmieniających się warunkach obciążenia oraz przy zmiennej liczbie aktywnych źródeł usługi wideofonicznej klasy ABR. Analiza uzyskanych wyników prowadzi do wniosku, że wprowadzone modyfikacje źródła aplikacji wideofonicznej, uwzględniające informacje o aktualnym stanie sieci, umożliwiają realizację usługi z jakością zdefiniowaną dla tej klasy interaktywnych usług wideofonicznych.

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

LITERATURA

- [1] A. ARULAMBALAM, X. CHEN, N. ANSARI, *Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks*, IEEE Communication, vol. 34, no. 11, 1996.
- [2] R. BOLLOW, *Video Transmission Using the Available Bit Rate Service*, Berlin University of Technology, Master's Thesis, <http://citeseer.nj.nec.com/bollow97video.html>, 1997.

- [3] S. JACOBS, *Providing Video Services over Networks without Quality of Service Guarantees*, Columbia University New York, Submitted to the World Wide Web Consortium Workshop on Real Time Multimedia and the Web, http://www.w3.org/AudioVideo/9610_Workshop, 1996.
- [4] S. JACOBS, *Streaming Video Using Dynamic Rate Shaping and TCP Congestion Control*, Journal of Visual Communication and Image Representation, 1998.
- [5] R. JAIN, *Congestion Control in Computer Networks: Issues and Trends*, IEEE Network Magazine, 1990.
- [6] R. JAIN, A. DURRESI, G. BABIC, *Throughput Fairness Index: An Explanation*, ATM Forum/99-0045, 1995.
- [7] R. JAIN, B. VANDELORE, *A Definition of General Weighted Fairness and its Support in Explicit Rate Switch Algorithms*, In Proceedings of IEEE ICNP, 1998.
- [8] S. KALYANARAMAN, R. JAIN, *A Survey of the Use-It-Or-Lose-It Policies for the ABR Service in ATM Networks*, Department of Computer and Information Science, <http://www.cis.ohio-state.edu>, 1997.
- [9] G. KARLSSON, *Asynchronous Transfer of Video*, IEEE Communications Magazine, vol. 34, no. 8, 1996.
- [10] G. KARLSSON, *Video over ATM Networks*, Performance Evaluation and Application of ATM Networks, Kluwer Academic Publications, 1997.
- [11] L. G. ROBERTS, *Can ABR Service Replace VBR Service in ATM Networks*, COMPCON '95 Conference, Pictaway, New Jersey, 1995.
- [12] C. LAI, Y. LIN, *Interoperability of EFCI and ER Switches for ABR Services in ATM Networks*, IEEE Network, 1998.
- [13] T. V. LAKSHMAN, *Transporting Compressed Video over ATM Networks with Explicit Rate Feedback Control*, Proceedings of INFOCOMM, 1997.
- [14] E. ROSDIANA, H. AZMOODEH, M. GHANBARI, *Picture Quality Optimization in ABR Video Services*, International Packet Video Workshop, Calgliari, 2000.
- [15] E. ROSDIANA, M. GHANBARI, *Subjective Determination of MCR in ABR Video*, International Packet Video 99 Workshop, New York, USA, April 1999.

P. ŁUBKOWSKI

Effective transfer of video with using abr service in a broadband local area network environment

Abstract. Basic types of services in LAN networks include transfer of files as well as electronic mail, which are executed with the help of the “best-effort” mechanism providing dynamic access to the capacity at the expense of a decrease in service quality due to the limited flow of information in the transmission medium. Introducing multimedia services such as interactive video services requires application of Variable Bit Rate (VBR) class services defined for ATM technology which is characterized with a variable transmission speed of cells and necessary specific network resources for their implementation. The user reserves these resources during connection set up in form of a specific contract with the network. The approval of this contract conditions causes the reservation of specific network resources regardless of whether they are used, leading to low efficiency of exploitation of the available network resources.

Using the “best-effort” transmission mechanism in LAN networks allows also for using other service classes, such as ABR (Available Bit Rate) or UBR (Unspecified Bit Rate) which undergo a considerable degeneration in the case of executing a video connection with the VBR service. It is required to inform the video application source of currently available resources to guarantee fair access to resources while maintaining a specific level of quality of the video service execution. Such a possibility creates application of the ABR class service, for which the service source modifies the transmission speed depending on the situation in the network. Modifying the behaviour of video application is also essential, which consists in changing the speed of generating video frames based on the information transferred by the ABR service. This will allow for effective usage of the available network resources even in the cases of network considerable load.

The paper presents the mechanism of using network status information transferred by the ABR service for modification of the video application source parameters as well as its implementation in a testing environment. The results obtained in experiments conducted with the use of a simulation program have been shown.

Keywords: multimedia services, video transfer, ABR, simulation

Universal Decimal Classification: 681.324

