

Marek Natkaniec, Krzysztof Wajda
Katedra Telekomunikacji
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Transport strumieni VoD w kanale ATM kategorii CBR

Operatorzy telekomunikacyjni czynią starania w kierunku realizacji systemu VoD opartego na transmisji strumieni MPEG. Wykorzystanie kategorii ruchowej CBR do transmisji „wybuchowego” ruchu typu MPEG jest skutecznym sposobem realizacji usługi VoD. Prostota definiowania parametrów kanału CBR ułatwia negocjacje parametrów ruchowych pomiędzy użytkownikiem a operatorem sieci. Odpowiednie wygładzenie strumieni daje podobny efekt jak multipleksacja statystyczna strumieni VBR – podniesienie efektywności systemu transportu informacji MPEG.

1. Wprowadzenie

Obserwujemy obecnie wzrastające zainteresowanie firm telekomunikacyjnych dla przygotowania systemu przesyłania informacji wideo na żądanie czyli realizacją usługi VoD (Video on Demand). Inną powszechnie akceptowaną usługą związaną z transmisją skompresowanych strumieni wideo jest dystrybucja programów telewizyjnych.

Istnieje silna tendencja do implementacji nowych usług szerokopasmowych w sieciach zbudowanych z wykorzystaniem najnowszych technik sieciowych, takich jak ATM, w środowisku światłowodowym lub miedzianym (techniki xDSL).

Dysponując określonym pasmem dla usługi VoD dążymy do zagwarantowania transmisji jak największej liczby strumieni programów bez istotnego pogarszania jakości ich transmisji. Najbardziej znanymi i powszechnie używanymi standardami kodowania wideo jest MPEG w wersji 1 i 2 [1]. Koder MPEG generuje ramki o zmiennych długościach ułożone w strukturę GOP (Group of Pictures). Metodami zmniejszającymi zapotrzebowanie na przepustowość przy transmisji strumieni MPEG jest wykorzystanie buforów wygładzających oraz odpowiednia synchronizacja wzajemna strumieni.

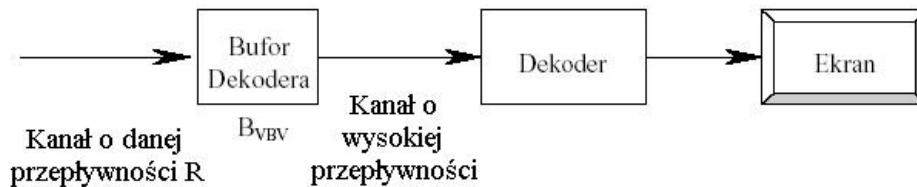
W każdym stratnym systemie kodowania istnieje związek pomiędzy prędkością transmisji kodowanych danych a zniekształceniami generowanego sygnału. Transmisja pojedynczego strumienia wideo w kanale CBR (Constant Bit Rate) wiąże się z koniecznością stosowania bufora wygładzającego gwałtowne zmiany przepływności bitowej. Zapełnianie bufora danych jest monitorowane przez tzw. kontroler przepływności zabezpieczający bufor przed przepełnieniem lub niedostatecznym wypełnieniem. W tego typu systemach kodowania koder generuje strumień bitów, którego szybkość bitowa jest stała w przeciągu długiego okresu czasu z krótko okresowymi wariacjami ograniczonymi wielkością bufora zastosowanego w koderze. Strumień bitów wytworzony w ten właśnie sposób odnosi się zwykle do strumienia CBR. Dla odróżnienia strumień bitowy, którego przepływność nie jest stała w czasie jest nazywany strumieniem VBR (Variable Bit Rate).

Do transmisji strumieni MPEG jest przeznaczona kategoria ruchowa rt-VBR jednak istnieje potrzeba przeanalizowania wpływu wykorzystania do tego celu także innych kategorii ruchowych. Prostota definiowania parametrów kanału CBR ułatwia negocjacje parametrów

ruchowych pomiędzy użytkownikiem a operatorem sieci. Pozornie trudne jest w tym przypadku osiągnięcie dużej efektywności transmisji, gdyż definiowanie jako podstawowego dla CBR parametru PCR (Peak Cell Rate) oznacza konieczność zorientowania rezerwacji na wartości maksymalne.

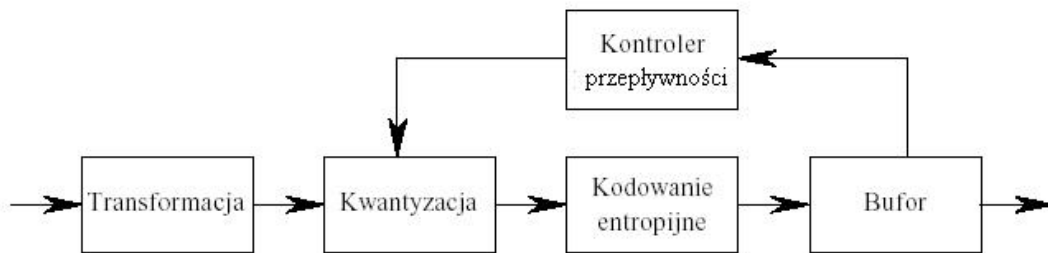
2. Wygładzanie sygnału wideo

Istnieje potrzeba wygładzenia porowatego charakteru strumienia MPEG w celu dostosowania szybkości chwilowej do przepustowości kanału transmisyjnego. Zastosowanie elementu pośredniczącego - kontrolera przepływności, umożliwia regulację szybkości kodowania przy zachowaniu zadowalającego poziomu zniekształceń. Standard MPEG określa składnię kodowanego strumienia bitowego oraz mechanizm jego dekodowania [1]. Co więcej, standard definiuje istnienie hipotetycznego dekodera zwanego weryfikatorem bufora wideo VBV (Video Buffer Verifier) pokazanego na Rys. 1.

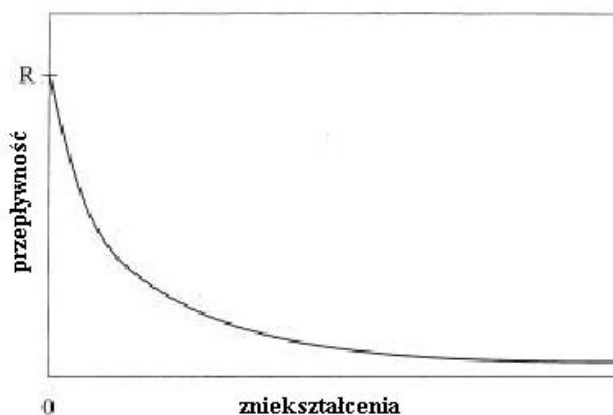


Rys. 1. Schemat blokowy weryfikatora bufora wideo.

Działanie weryfikatora bufora wideo polega na porównywaniu czy zakodowany strumień bitowy będzie dekodowalny przy określonych ograniczeniach na wielkość bufora dekodującego BVBV i wejściową przepływność bitową R . Jak pokazano na Rys. 2 wyjściowa przepływność bitowa kodera wideo może być regulowana przez zmianę poziomu kwantyzacji QS. Zwiększenie QS redukuje wyjściową przepływność bitową, ale także zmniejsza jakość kompresowanego obrazu. Podobnie, zmniejszenie QS powoduje wzrost zarówno przepływności bitowej jak i jakości kompresowanego obrazu. Rys. 3 pokazuje krzywą zależności pomiędzy przepływnością bitową oraz poziomem wprowadzanych zniekształceń. Przy braku zniekształceń źródło jest kodowane z entropią równą R . Choć QS może być używane do kontroli stopnia przepływności i zniekształceń to jednak kodowanie ze stałą wartością QS niekoniecznie oznacza zachowanie stałej przepływności bitowej lub otrzymanie stałej jakości obrazu. Oba te czynniki są również zależne od treści przekazywanego obrazu. Rozważając zdolność percepcji wizualnej człowieka zauważamy, że postrzeganie zniekształceń jest skorelowane z pewnymi własnościami przestrzennymi obrazu (sekwencji wideo).



Rys. 2 Schemat blokowy kontroli przepływności w typowym systemie kodowania wideo.



Rys. 3. Przykładowa zależność pomiędzy przepływnością a zniekształceniami dla transmisji sygnału wideo.

3. Statystyczna analiza wybranych sekwencji wideo

W celu praktycznego zbadania czynników wpływających na przesyłanie strumieni MPEG w sieci ATM, zrealizowano szereg badań symulacyjnych. Badania oparte były na wykorzystaniu trzech sekwencji filmowych zakodowanych w standardzie MPEG-1. Każda z nich posiada odmienną charakterystykę ruchową. Źródła tych filmów zostały zakodowane w Institute of Computer Science na Uniwersytecie w Würzburgu przy pomocy kodera programowego UC Berkeley MPEG-I [9]. Wszystkie sekwencje filmowe posiadają następujące parametry:

- Częstotliwość ramek: 25 ramek na sekundę;
- Każda ramka zawiera jedną porcję danych;
- GOP wg. struktury: IBBPBBPBBPBB (12 ramek);
- Skala kwantyzacji: 10(I), 14(P), 18(B);
- Poszukiwanie wektora ruchu: logarytmiczne / proste; ramka odniesienia: oryginalna;
- Wejście kodera: 384x288 pikseli z 12 bitową informacją o kolorze;
- Ilość ramek przypadających na jedną sekwencję : 40000 (około 0.5 godziny filmu).

Badania dotyczyły trzech sekwencji filmowych:

- lambs – fragment filmu „Milczenie owiec”;
- race – wyścig Formuły 1 Hockenheim/Germany 1994;
- mr. bean – trzy epizody serialu komediowego „Jaś Fasola”.

Poniżej w Tabeli 1 zostanie przedstawiona krótka statystyka wybranych filmów. Tabela 2 przedstawia dokładne statystyki opisowe ramek I, P, B wybranych sekwencji filmowych.

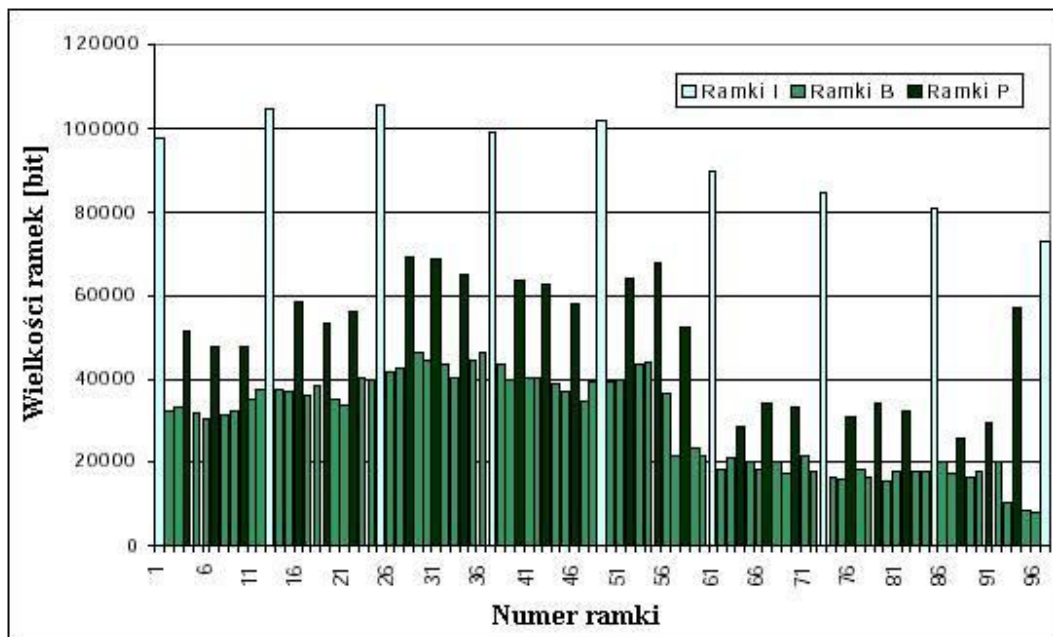
Tabela 1. Proste statystyki kodowanych sekwencji

Sekwencja	Stopień kompresji X:1	Ramki			Struktury GOP		
		Średnia [bity]	CoV	Szczyt / Średnia	Średnia [bity]	CoV	Szczyt / Średnia
Lambs	363	7,312	1.53	18.4	87,634	0.60	5.3
Mr.Bean	150	17,647	1.17	13.0	211,368	0.50	4.1
Race	86	30,749	0.69	6.6	369,060	0.38	3.6

Tabela 2. Statystyki opisowe ramek I, P, B.

Sekwencja	Lambs			Mr.Bean			Race		
	I	P	B	I	P	B	I	P	B
Rodzaj ramki									
Ilość ramek	3334	10000	26666	3334	10000	26666	3334	10000	26666
Średnia długość ramki [bity]	38023	7436	3424	75161	18282	10214	79241	38200	21891
Minimalna długość ramki [bity]	15120	528	288	14272	1720	344	36972	6040	4192
Maksymalna długość ramki [bity]	134222	88600	54976	150176	119216	129072	186048	202416	165448
Odchylenie standardowe [bity]	12813	8051	3184	19458	14318	6697	20826	18235	9997
Suma [bajty]	15846407	9295367	11415921	31323423	22852858	34046647	33023820	47750679	72971062

Rys. 4. przedstawia fragment sekwencji IBP ramek filmu Mr. BEAN (4 sekundy trwania zapisu wideo). Możemy zaobserwować tu cyklicznie powtarzającą się 12 klatkową strukturę GOP (pomiędzy jasnymi słupkami), a także wyraźne różnice w wielkości różnych typów ramek (I,P,B). Charakterystyczna jest także duża zmienność wielkości ramek tego samego typu w czasie.



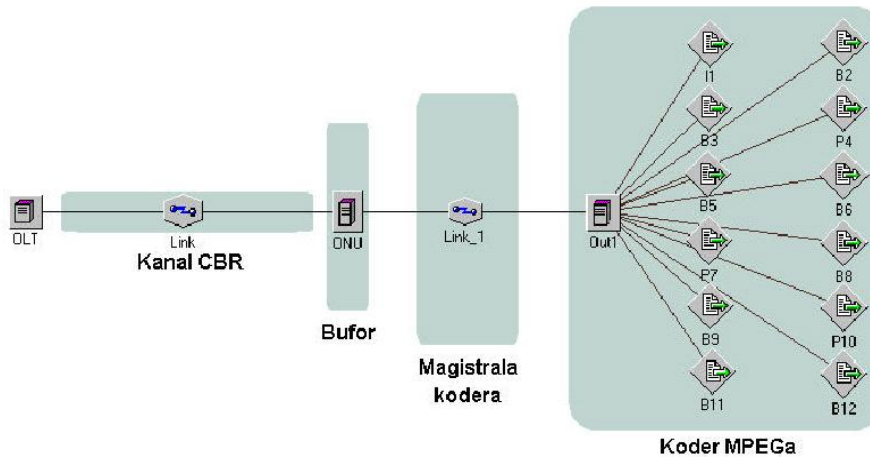
Rys. 4. Fragment sekwencji IBP ramek filmu „Mr. BEAN”.

4. Wyniki badań

Przeprowadzone badania zostały podzielone na dwa etapy. Celem pierwszego etapu było określenie jak zmienia się średnia i maksymalna zajętość bufora w zależności od zmiany szybkości transmisji w kanale CBR. Zastosowany bufor wygładza wybuchową naturę strumienia MPEG, zmniejsza zatem wymagania na szybkość łącza CBR, wprowadza jednocześnie niekorzystne opóźnienie. Druga część badań obejmowała przeprowadzenie szeregu symulacji związanych z multipleksacją 3 lub 5 strumieni różnych sekwencji filmowych MPEG. Celem tych badań było sprawdzenie jak zmienia się średnia i maksymalna zajętość bufora przy zadanej prędkości kanału CBR w przypadkach transmisji strumieni zgodnych oraz przesuniętych w fazie.

4.1 Wpływ szybkości łącza CBR na wymaganą wielkość bufora

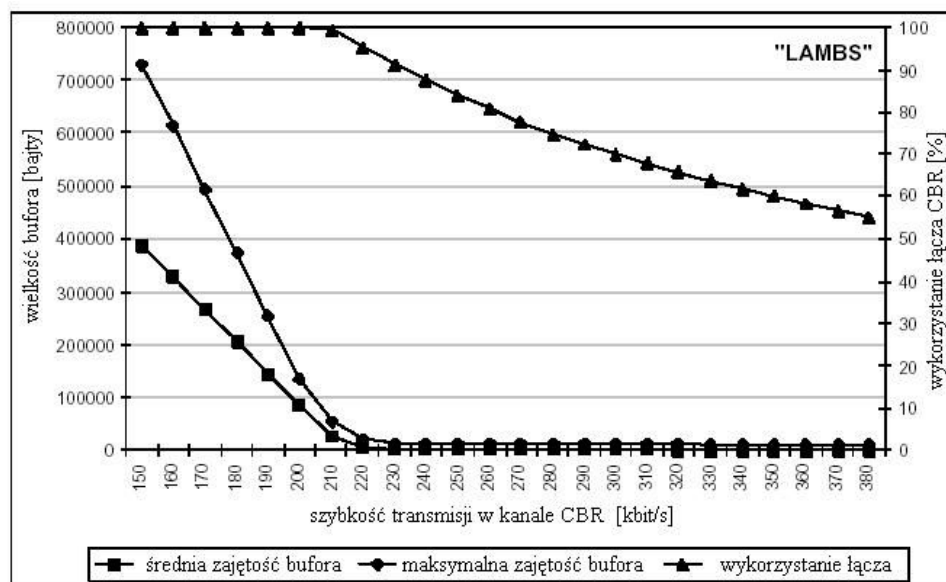
W celu zasymulowania rzeczywistego źródła MPEG-I w programie COMNET III stworzono 12 źródeł informacji tworzących strukturę GOP. Każde z tych źródeł było odpowiedzialne za generowanie ramki odpowiedniego typu (I, P, B) o odpowiedniej wielkości. Do tego celu do symulatora zostały wprowadzone rozkłady częstości występowania ramek (histogramy) rzeczywistych fragmentów filmowych. Transmisja wszystkich ramek odbywała się po łączach o odpowiednio dobranych parametrach, tak by jak najwierniej odtworzyć działanie kodera. Struktura GOP była czasowo wyzwalana co 0.5s, natomiast każda z ramek, zaczynając od ramki startowej – I była odpowiedzialna za wyzwalanie kolejnej ramki, tak by na wyjściu kodera pojawiała się struktura: IBBPBBPBBPBB. Wyjście kodera posiadało bufor o zmiennej wielkości, do którego dołączony był kanał transmisyjny CBR o zadanych parametrach. Powyższą sytuację przedstawia Rys. 5.



Rys. 5. Symulowany model kodera wraz z kanałem w programie COMNET III.

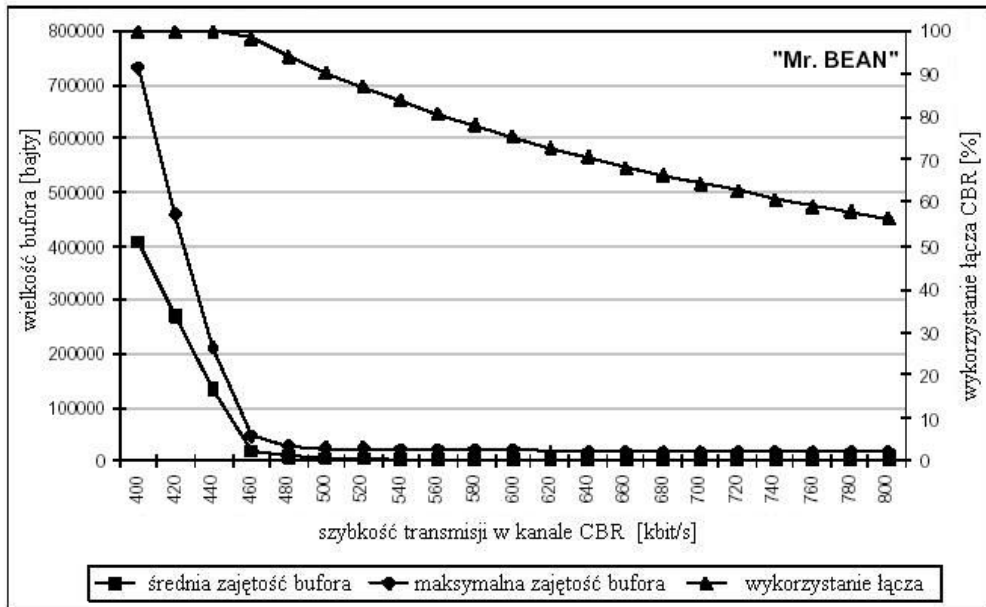
Szybkość magistrali kodera została tak dobrana, by nawet najdłuższe ramki I zdążyły opuścić źródło przed pojawieniem się następnej w kolejności ramki B. Produkowane obecnie kodery, budowane w oparciu o procesory DSP posiadają magistrale przesyłające dane z prędkością przewyższającą 1 Gbit/s. Rozważając jednak koder wewnętrzny pracujący na karcie PCI komputera PC musimy liczyć się ze spadkiem prędkości transmisji do około 100 Mbit/s. Szybkość umieszczania informacji w buforze zależy więc od zastosowanej platformy sprzętowej.

W pierwszej fazie przyjęto transmisję ramek o stałej długości, równej 400 oktetów. Wielkość ta była wybrana pod kątem przyszłego zastosowania multipleksacji statystycznej w sieci bezprzewodowej zgodnej ze standardem IEEE 802.11 [6]. W tym przypadku kanał CBR oznacza kanał o ustalonej i dedykowanej przepustowości dla transmisji strumienia MPEG. Sieć IEEE 802.11 dopuszcza transmisję ramek o zmiennej długości.

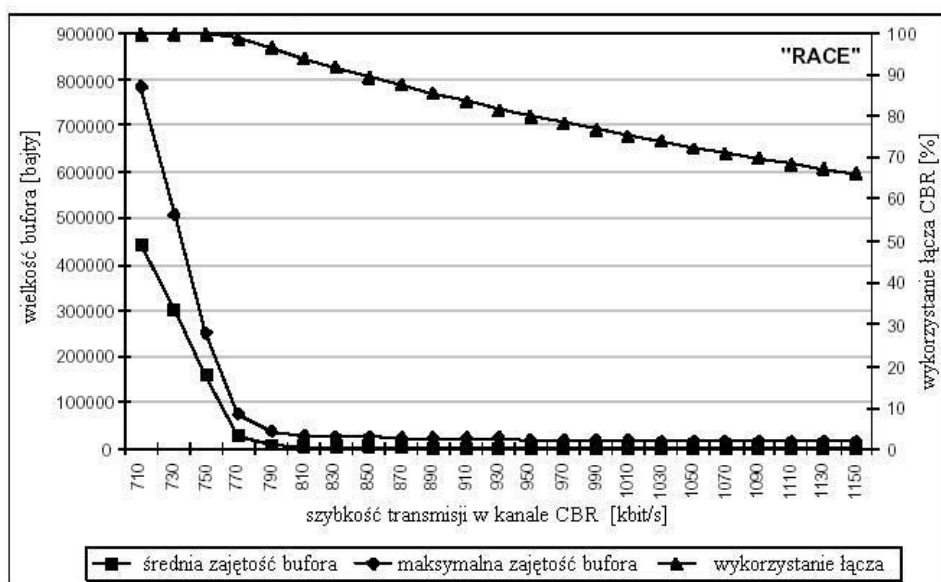


Rys. 6. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz wykorzystania łącza w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla sekwencji „LAMBS”.

Z przeprowadzonych wcześniej badań wynika, że stosowanie zarówno zbyt krótkich, jak i zbyt długich ramek wpływa niekorzystnie na wydajność sieci. Stosowanie ramek bardzo krótkich prowadzi do niepotrzebnego nadmiaru spowodowanego obecnością nagłówka, co przekłada się w większym opóźnieniu. Bardzo długie ramki wymagają stosowania dzielenia ich na krótsze pakiety, co również wprowadza niekorzystne opóźnienie. Wielkość bufora została ograniczona do 1000000 bajtów. Czas symulacji był stały dla każdej iteracji i wynosił 120s.

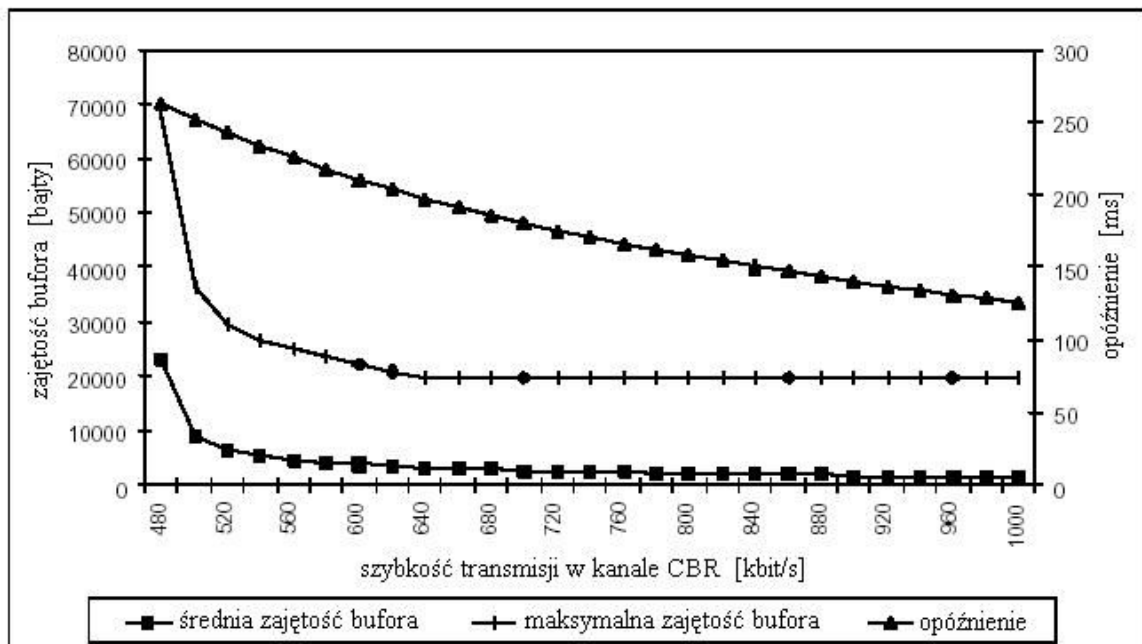


Rys. 7. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz wykorzystania łącza w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla sekwencji „Mr. BEAN”.



Rys. 8. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz wykorzystania łącza w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla sekwencji „RACE”.

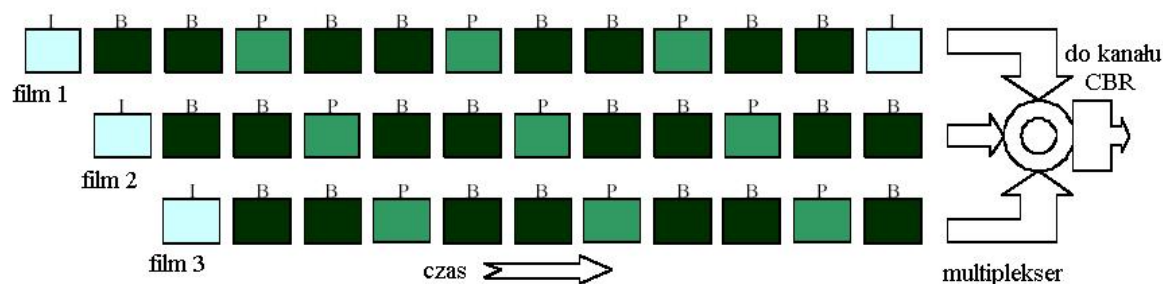
Druga faza badań obejmowała transmisję ramek ATM'owych (47 bajtów danych + 6 bajtów nagłówka, zgodnie z AAL1). W kanale CBR transmitowany był 1 strumień „Mr. Bean”. Podczas symulacji przyjęto następujące parametry: CIR=600 kbit/s, granica wybuchowości strumienia=160 kbit, przepływność GCRA1=10000 pakietów/s, granica wybuchowości GCRA1=1000 pakietów (parametr „granica wybuchowości” – burst limit - jest zdefiniowany jako wewnętrzne ustalenie w programie symulacyjnym COMNET i nie jest właściwy dla standardu ATM). Czas symulacji był stały dla każdej iteracji i wynosił 120s. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz opóźnienie transmisji w funkcji szybkości transmisji w kanale ATM-CBR dla sekwencji „Mr. BEAN”.

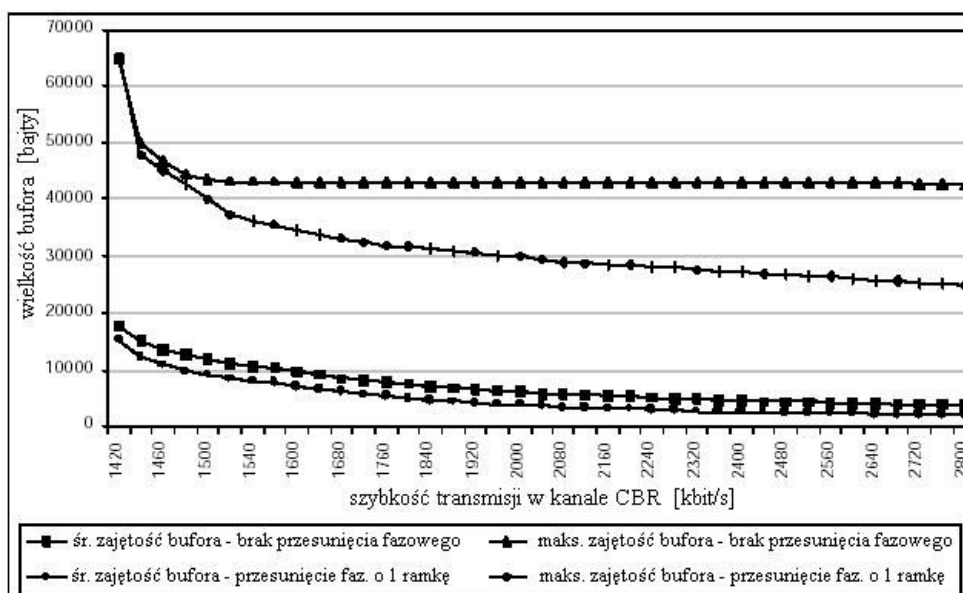
4.2 Multipleksacja oraz buforowanie strumieni MPEG

Do przeprowadzenia wszystkich symulacji związanych z multipleksacją i buforowaniem kilku strumieni MPEG wykorzystano ponownie program COMNET III firmy CACI. Struktura pojedynczego strumienia MPEG była identyczna jak w przypadku badań wpływu prędkości łącza na wymaganą wielkość bufora. 12 źródeł informacji tworzyło strukturę GOP. GOP było wyzwalane każdorazowo co 0.5 sekundy. Ramka I każdej z sekwencji filmowych rozpoczynała wyzwalanie kolejnych ramek (BBPBB...) tego samego GOP. Dodatkowo w przypadkach w których stosowano przesunięcie fazowe sekwencji filmowych służyła ona do wyzwalania kolejnych sekwencji filmowych. I tak np. ramka I pierwszej sekwencji filmowej wyzwaliała ze stałym opóźnieniem ramkę B tego samego GOP oraz ramkę I sekwencji drugiej. W ten sposób wyzwalanie kolejnych źródeł zostało opóźniane o czas trwania 1 ramki. (por. Rys. 10).

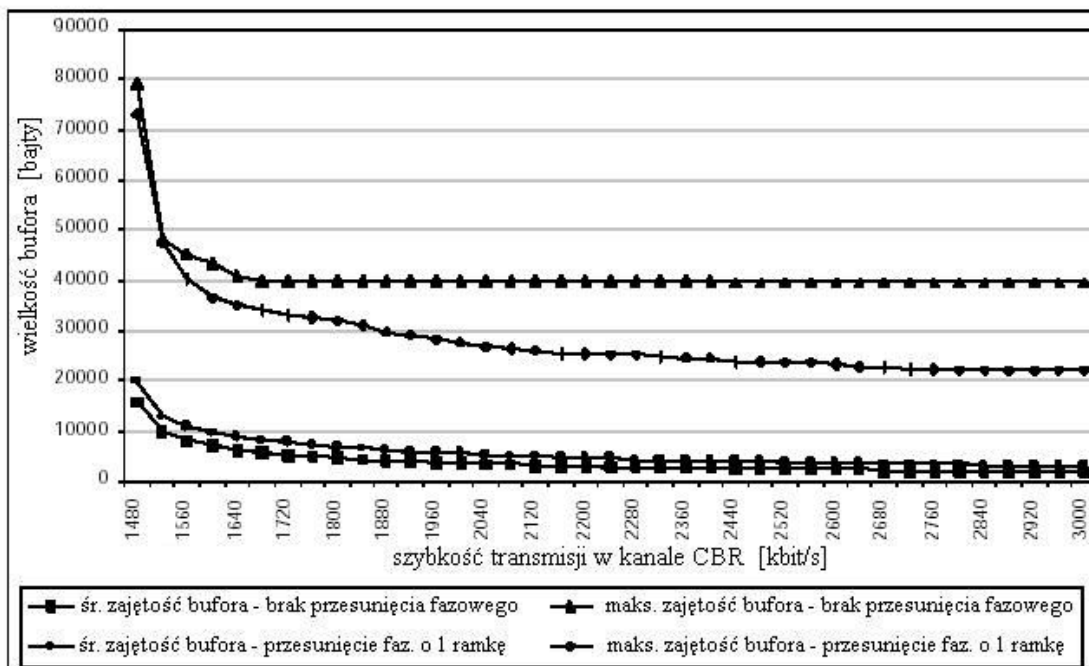


Rys. 10. Multipleksacja z przesunięciem o 1 ramkę trzech filmów o 12-ramkowej strukturze GOP.

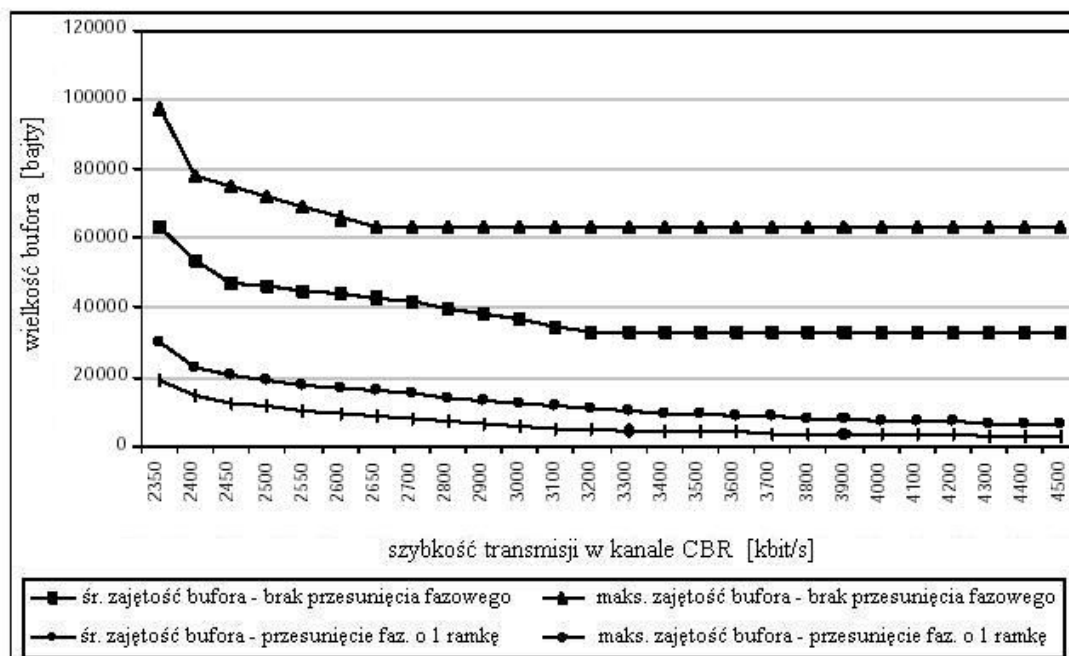
Przeprowadzone badania podzielono na dwie fazy. W pierwszej fazie symulowano multipleksację 3 oraz 5 strumieni MPEG w kanale CBR, przy transmisji ramek o stałej długości równej 400 oktetów. W odróżnieniu od modelu poprzedniego węzeł ONU posiada większy bufor oraz zapewnia złożenie 3 sygnałów w jeden strumień wprowadzany następnie do kanału CBR. Pierwsza część symulacji wiązała się ze złożeniem trzech identycznych strumieni wideo „Mr. BEAN”. Symulowano zarówno równoczesną transmisję wszystkich filmów, jak i transmisję z rozsunieniem czasowym. Czas przesunięcia transmisji każdej sekwencji odpowiadał czasowi trwania 1 ramki. Kolejne symulacje różniły się rodzajem zastosowanego materiału filmowego. Symulowano multipleksację trzech różnych strumieni: „LAMBS”, „Mr. BEAN”, „RACE” zarówno bez jak i z przesunięciem fazowym. Ostatnie badania różniły się liczbą multipleksowanych strumieni. Symulowano złożenie 5 sekwencji filmowych „Mr. BEAN” w dwóch przypadkach: bez oraz z przesunięciem fazowym. We wszystkich trzech przypadkach porównywano średnią oraz maksymalną zajętość bufora. Czas symulacji był stały dla każdej iteracji i wynosił 120s. Wyniki symulacji zostały przedstawione kolejno na Rys. 11, 12, 13.



Rys. 11. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla 3 zmultipleksowanych sekwencji „Mr. BEAN” bez przesunięcia fazowego, oraz z przesunięciem o 1 ramkę.

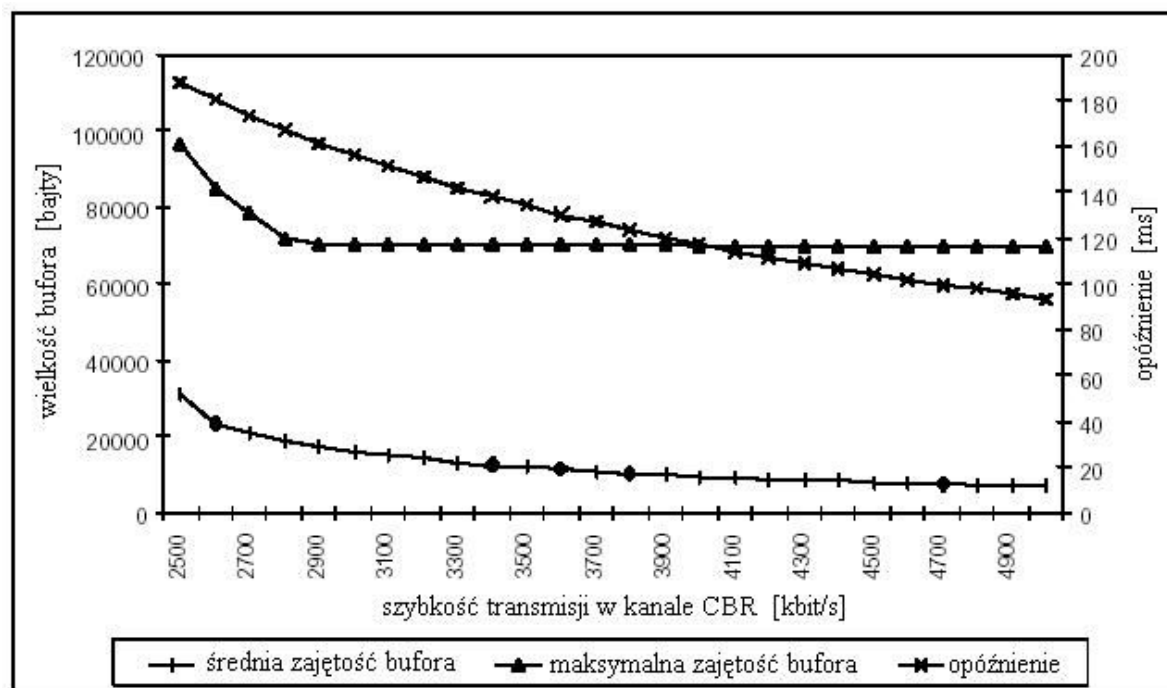


Rys. 12. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla 3 zmultipleksowanych sekwencji „LAMBS”, „Mr. BEAN” i „RACE” bez przesunięcia fazowego, oraz z przesunięciem o 1 ramkę.



Rys. 13. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla 5 zmultipleksowanych sekwencji „Mr. BEAN” bez przesunięcia fazowego, oraz z przesunięciem o 1 ramkę.

W drugiej fazie przeprowadzono multipleksację 5 strumieni MPEG „Mr. BEAN” w kanale ATM-CBR bez przesunięcia fazowego. Wszystkie parametry symulacji pozostały takie jak w przypadku transmisji pojedynczego strumienia w kanale ATM-CBR. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na Rys. 14.



Rys. 14. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz opóźnienie w funkcji szybkości transmisji w kanale ATM-CBR dla 5 zmultipleksowanych sekwencji „Mr. BEAN”.

5. Podsumowanie

Celem badań było określenie jak zmienia się średnia i maksymalna zajętość bufora w zależności od zmiany szybkości transmisji w kanale CBR zarówno dla pojedynczego strumienia jak i dla zmultipleksowanych kilku sekwencji MPEG. Nieznaczne przesunięcie w fazie transmitowanych strumieni prowadzi do zmniejszenia maksymalnej zajętości bufora, a w rezultacie do zmniejszenia wymaganej przepustowości w kanale CBR. Z uwagi na dużą czasochłonność przeprowadzanych symulacji ograniczono do pięciu maksymalną liczbę multipleksowanych sekwencji filmowych. Z obserwacji wykresów uzyskanych w pierwszej części badań możemy wyciągnąć następujące wnioski:

- Charakterystyczny jest tu punkt przegięcia na wykresach, tj. wartość szybkości transmisji w kanale CBR, przy której następuje gwałtowny spadek średniej oraz maksymalnej zajętości bufora;

- Zbyt duże zmniejszenie szybkości transmisji w kanale CBR prowadzi do powstania dużych opóźnień w przekazie obrazu filmowego (należy pamiętać o istnieniu po stronie odbiorczej dużego bufora);
- W warunkach ograniczonych zasobów sieciowych (mała pojemność kanału CBR) celowe jest ustawienie punktu pracy systemu w pobliżu punktu przegięcia. Prowadzi to powstania niekorzystnego opóźnienia, pozwala jednak maksymalnie wykorzystać możliwości zastosowanego łącza (szczególnie istotne w przypadku dzierżawy łącza, lub też wykorzystywania sieci o bardzo małej przepustowości [6]).

Druga część badań dotyczyła multipleksacji różnych rodzajów strumieni filmowych: „LAMBBS”, „Mr. BEAN”, „RACE”. Otrzymane wykresy pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Podobnie jak w pierwszej części badań spadek szybkości transmisji w kanale CBR prowadzi do wzrostu średniej oraz maksymalnej zajętości bufora. Charakterystyczny jest punkt przegięcia, powyżej którego następuje gwałtowny wzrost zajętości bufora. Otrzymane wyniki pokazują, że wykorzystanie procentowe łącza CBR powyżej punktu przegięcia wynosi 100% (nasyca się bufora);
- Średnia zajętość bufora dla multipleksacji zarówno 3 tych samych jak i różnych strumieni filmowych jest nieznacznie mniejsza dla transmisji z przesunięciem fazowym. Wyraźną różnicę widać dopiero przy multipleksacji większej liczby strumieni;
- Przy multipleksacji strumieni bez przesunięcia fazowego (nakładanie się w jednej chwili czasowej ramek typu I) niezależnie od wzrostu szybkości transmisji w kanale CBR obserwujemy stały poziom maksymalnej zajętości bufora;
- Dla dużych prędkości transmisji w kanale CBR przy multipleksacji z przesunięciem fazowym o jedną ramkę obserwujemy znaczny spadek maksymalnej zajętości bufora (do około 50%). Potwierdza to dotychczasowe rozważania teoretyczne;
- Transmisja większej liczby strumieni z przesunięciem fazowym powoduje znaczne uśrednienie ruchu (zmniejsza się wybuchowość strumienia MPEG). Jest to widoczne w zmniejszaniu się maksymalnej zajętości bufora;

Wykorzystanie kategorii ruchowej CBR do transmisji „wybuchowego” ruchu typu MPEG jest skutecznym sposobem realizacji usługi VoD. Prostota definiowania parametrów kanału CBR ułatwia negocjacje parametrów ruchowych pomiędzy użytkownikiem a operatorem sieci. Pozornie trudne jest w tym przypadku osiągnięcie dużej efektywności transmisji. W istocie odpowiednie wygładzenie strumieni daje podobny efekt jak multipleksacja statystyczna strumieni VBR – podniesienie efektywności systemu transportu informacji MPEG.

Literatura

[1] ISO-IEC / JTC1 / SC29 / WG11 / N0802. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video, November 1994. MPEG Draft Recommendation ITU-T H.262, ISO / IEC 13818-2.

[2] Krunz M., Tripathi S.: Scene-Based Characterization of VBR MPEG-Compressed Video Traffic. Department of Computer Science, University of Maryland.

- [3] Kuriacose J., Reininger D.: Source traffic smoothing for VBR MPEG encoders. Princeton, C&C Research Laboratories.
- [4] La Corte A., Lombardo A., Pallazo S.: Buffer compensation analysis for synchronization of multimedia services in wireless networks. University of Catania.
- [5] Lam S., Chow S., Yau D.: An Algorithm for Lossless Smoothing of MPEG Video. University of Texas at Austin.
- [6] Natkaniec M., Wajda K., Pach A.R.: Transmisja strumienia MPEG-I w sieci standardu IEEE 802.11 Katedra Telekomunikacji AGH, 1998.
- [7] Pacyna P. Dystrybucja strumieni MPEG w sieciach szerokopasmowych. Sprawozdanie z Projektu Badawczego 456/T11/97/12, 1998.
- [8] Reininger D.: Variable Bit Rate MPEG Video: Characteristics, Modeling and Multiplexing. C&C Research Laboratories.
- [9] Rose O.: VBR video traffic. COST242 Closing Seminar, June 4-5, 1996.
- [10] Rose O.: Discrete-time Analysis of a Finite Buffer with VBR MPEG Video Traffic Input. Report No. 150 University of Würzburg, Institute of Computer Science, 1996.
- [11] Sen S., Dey J., Kurose J., Stankovic J., Towsley D.: Online smoothing of live video transmissions. University of Massachusetts.
- [12] Vitter J., Hoang D.: Multiplexing VBR Video Sequence onto a CBR Channel with Lexicographic Optimization. Duke University, Digital Video Systems Inc.
- [13] Wajda K., Pacyna P. Statystyczne właściwości strumienia MPEG i ich wpływ na realizację usług multimedialnych. KST'97, Bydgoszcz 1997.
- [14] ATM Forum, BTM-SAA-AMS-VBRMPEG2-02.02, VBR MPEG-2 - Baseline Text, Anaheim, February 1998.