

Transmisja sygnałów telewizyjnych z wykorzystaniem protokołu IP i metody jej oceny

Alina Karwowska-Lamparska

Opisano zasady przesyłania sygnałów telewizyjnych z wykorzystaniem protokołu IP. Przedstawiono, opracowane na podstawie zaleceń ITU, wymagania techniczne dotyczące jakości odbieranego obrazu oraz parametrów sieci przesyłowej. Omówiono stosowane obiektywne i subiektywne metody pomiarowe. Podano autorską metodę ciągłej oceny, w domu abonenta, jakości obrazów przesyłanych sieciami IP, która została zgłoszona do ITU jako wkład polskiej administracji.

telewizja interaktywna, protokół IP, jakość obrazu, parametry sieci IP, metody pomiarowe obiektywne, metody pomiarowe subiektywne, metody jednobieżcowe

Wprowadzenie

Priorytetowym tematem podejmowanym przez Unię Europejską jest kształtowanie społeczeństwa informacyjnego, a głównym elementem prowadzonych w tej dziedzinie prac – stopniowe wykorzystywanie zalet techniki cyfrowej. Komisja Europejska jest więc żywo zainteresowana rozwojem telewizji cyfrowej i przyszłością całego sektora nadawania cyfrowego. W związku z tym podjęto prace nad wykorzystaniem czwartego, obok telewizji naziemnej, satelitarnej i kablowej, medium transmisyjnego – szerokopasmowych sieci telekomunikacyjnych, działających z wykorzystaniem protokołu IP. Sieci takie umożliwiają udostępnienie szerszego zakresu usług i dużo większą interaktywność (możliwość zarówno wyboru oglądanych programów, jak i wpływu na prezentowaną treść), a także dostęp do kodowanej cyfrowo treści w trybie „na żądanie”.

Definicji systemu IPTV jest wiele. Jedna z nich określa go jako jeszcze jedną formę oferowania telewizji cyfrowej, z rozbudowanymi możliwościami interakcji i usług na żądanie. Medium transmisyjnym dla niej są sieci szerokopasmowe, pracujące z wykorzystaniem protokołu IP. Wśród tych ostatnich zdecydowanie dominują sieci oparte na różnych odmianach techniki DSL, stosowanej również przez polskich operatorów telekomunikacyjnych do świadczenia w dużej skali usług szybkiego dostępu do internetu.

Zastosowanie do transmisji cyfrowych sygnałów sieci szerokopasmowych, działających z wykorzystaniem protokołu IP, stawia dodatkowe wymagania związane z jakością i liczbą przesyłanych danych. Wymagania dotyczące pojedynczej transmisji są zwielokrotniane w przypadku obsługi dużej liczby użytkowników.

Należy podkreślić, że IPTV nie polega na oglądaniu na ekranie komputera plików wizyjnych, ściągniętych z internetu lub też na korzystaniu z transmisji strumieniowej z poziomu stron WWW. System IPTV nie korzysta z internetu, a z wydzielonej części sieci, co ma dwie istotne zalety, a mianowicie: jest znacznie bezpieczniejszy z punktu widzenia zagrożeń płynących z sieci (wirusy, ataki hakerów itp.) oraz gwarantuje (teoretycznie) mniejszą podatność na zmiany dostępnej szybkości transmisji niż to występuje w internecie. Do korzystania z systemu IPTV nie jest potrzebny komputer,

wystarczy mieć telewizor dołączony do sieci za pośrednictwem przystawki telewizyjnej, tzw. *set-top-boxa*, który może być również dekoderym telewizji cyfrowej. Ponadto oglądający ma bardzo szerokie możliwości kreowania własnego programu telewizyjnego, z doбором repertuaru audycji i czasu ich emisji, a także uzyskuje dostęp do wielu dodatkowych usług, np. gier sieciowych, skrzynki pocztowej, informacji lokalnych itd.

Zasada działania

Do podstawowych procesów zachodzących w systemie IPTV należą:

- pozyskanie i przygotowanie treści wizyjnej,
- dystrybucja treści,
- dostarczanie treści odbiorcom końcowym.

Pozyskanie i przygotowanie treści wizyjnej

Źródłem treści wizyjnej i fonicznej rozprowadzanej w systemie IPTV jest aktualna emisja programowa uzyskiwana w ośrodku telewizyjnym, obejmująca programy zarówno wytwarzane w ośrodku, jak i doprowadzane drogą kablową oraz satelitarną. Sygnały te (zwykle analogowe), stanowiące transmisję „na żywo”, są następnie zamieniane w postać cyfrową do odpowiedniego formatu kodowania [9]. Stosowane są różne standardy kodowania: MPEG2, MPEG4, AVC, Media Player i inne. Zakodowane sygnały tworzą następnie strumień transportowy i po zamianie na pakiety IP są doprowadzane do sieci rozprowadzającej. Początkowo transmisję sygnałów wizyjnych i fonicznych realizowano za pomocą strumienia transportowego MPEG2 TS, teraz w nowszych rozwiązaniach stosuje się inne rodzaje strumieni transportowych.

Jednocześnie do sieci rozprowadzającej są doprowadzone, zamienione na pakiety IP, sygnały z bazy danych, stanowiącej archiwum programów, co umożliwi realizację transmisji „na żądanie”.

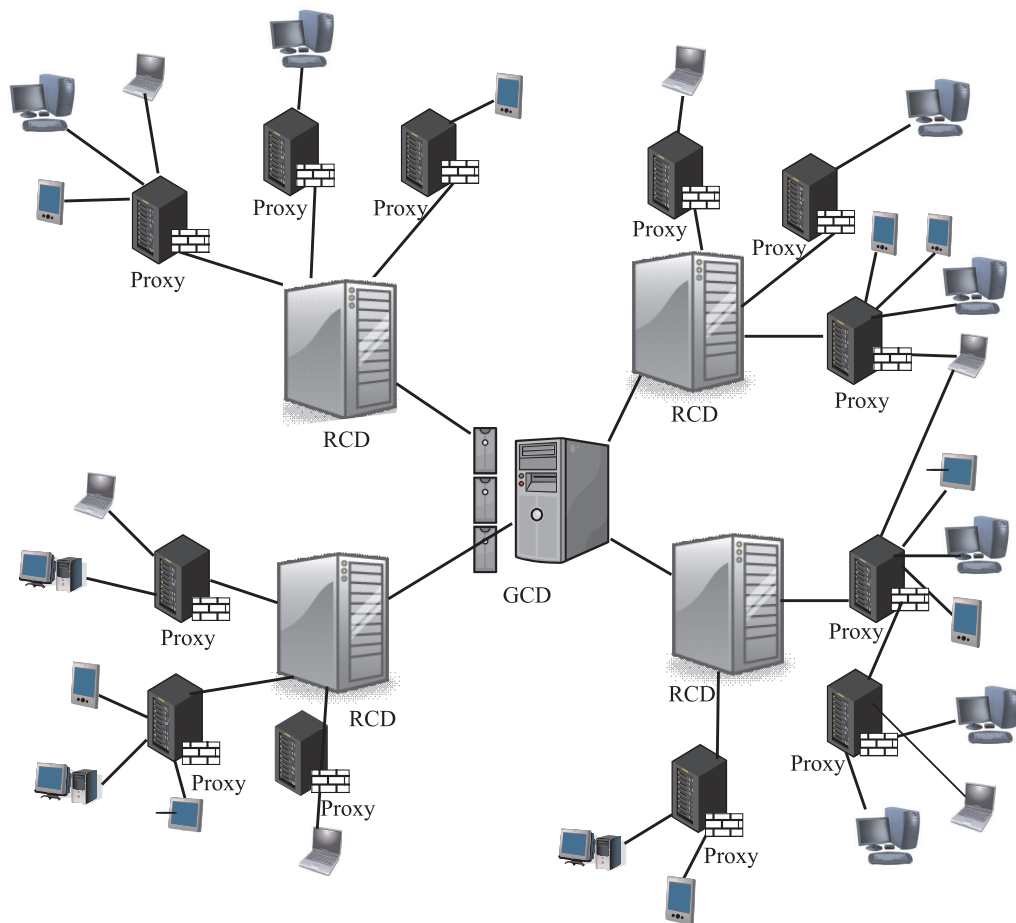
Dystrybucja treści

Treść audiowizualna jest rozprowadzana sieciami szerokopasmowymi. Systemy dystrybucji treści należą na ogół do klasy systemów hybrydowych, a konkretne rozwiązania techniczne zależą od projektanta sieci.

Poniżej zostanie podany przykład rozwiązania, opracowanego w ramach projektu celowego nr 6 T11 067 2001 C-5677 pt. „System udostępniania sygnału audiowizualnego w polskim Internecie optycznym” (iTVP) [1, 8], wykonywanego przez Telewizję Polską (TVP SA) oraz Poznańskie Centrum Superkomputerowe Sieciowe (PCSS) przy Instytucie Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk (PAN) i Akademickie Centrum Komputerowe (ACK) Cyfronet Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH), przy współpracy Instytutu Łączności (IŁ) i Politechniki Warszawskiej (PW).

System dystrybucji treści dla iTVP jest systemem hybrydowym, w którym zastosowano dystrybucję dwupoziomową (hierarchiczną), umożliwiającą rozproszenie zasobów oraz zlokalizowanie treści bliżej użytkowników (rys. 1). Główne Centrum Danych (GCD), czyli serwer główny, w którym dostawcy treści umieszczają swoje zasoby cyfrowe, dysponuje całym repozytorium treści. Sieć rozproszonych Regionalnych Centrów Danych (RCD), czyli serwerów regionalnych, stanowiących pierwszy poziom dystrybucji, przechowuje części repozytorium. Na obrzeżach sieci działają serwery pomocnicze,

tzw. serwery proxy, stanowiące drugi poziom dystrybucji, pobierające treści z serwerów regionalnych i udostępniające je bezpośrednio użytkownikom. Uzyskuje się w ten sposób wysoką skalowalność systemu, zdolnego do obsługi dużej liczby użytkowników oraz krótki czas dostępu.

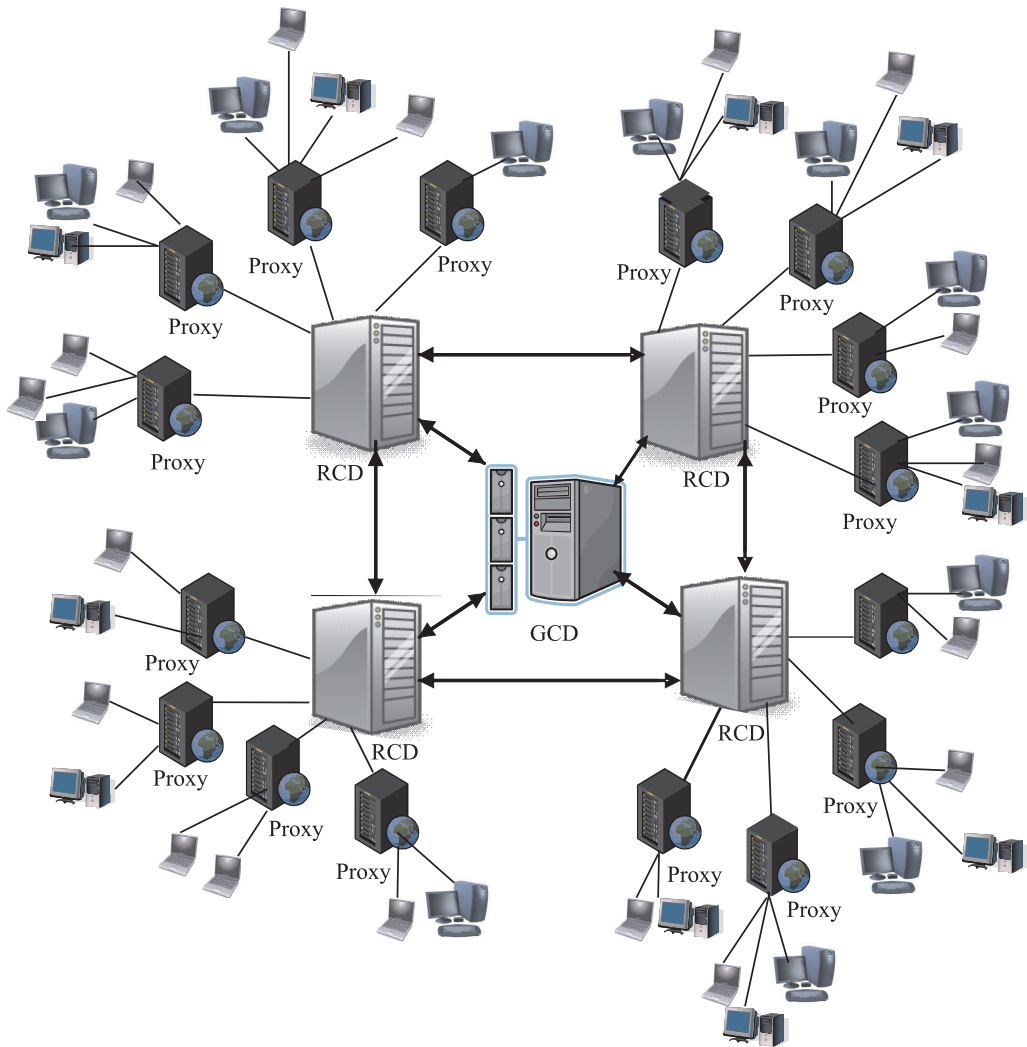


Rys. 1. Dystrybucja treści w systemie iTVP

System realizuje dwa typy transmisji: „na żywo” i „na żądanie”. Przy transmisji „na żywo” treści są przesyłane z GCD do RCD i dalej do urządzeń Proxy, przy czym jedno RCD może przysyłać strumień danych do jednego lub kilku innych RCD (rys. 2).

Przy transmisji „na żądanie” pliki treści, przechowywane w GCD, są na żądanie przesyłane z dużą większą szybkością niż wymagana do odtwarzania treści w czasie rzeczywistym. Strumieniowanie jest realizowane na ostatnim etapie przesyłania z serwera pomocniczego do użytkownika.

Dystrybucja treści odbywa się w jednym z dwóch trybów w zależności od jej popularności. Treści o dużej popularności są przesyłane z GCD do wszystkich RCD i urządzeń Proxy. Umożliwia to wprawdzie zminimalizowanie czasu dostępu, jednak odbywa się kosztem powiększenia wykorzysta-



Rys. 2. Transmisja „na żywo” w systemie iTVP

wanej liczby zasobów i dlatego nie jest stosowane w odniesieniu do wszystkich treści. Natomiast treści o małej popularności są pozyskiwane dopiero na żądanie użytkownika, przekazywane do odpowiedniego urządzenia Proxy i składowane w nadzorującym to urządzenie RCD. Dzięki temu obciążenie systemu jest mniejsze, a liczba użytkowników, których żądania mogą być zrealizowane, jest większa.

Dostarczanie treści odbiorcom końcowym

Istnieją dwie metody doprowadzania treści audiowizualnej przesyłanych sieciami IP do abonentów. Pierwsza z nich polega na doprowadzeniu jej do sieci abonenckiej, połączonej bezpośrednio

z przystawką abonencką (*set-top-boxem*), w której następuje zamiana przychodzących pakietów na sygnał telewizyjny, odbierany na odbiornikach telewizyjnych. Natomiast w drugiej metodzie treść audiowizualną doprowadza się siecią internetową bezpośrednio do abonenta, który ogląda ją na ekranie komputera stacjonarnego lub przenośnego.

Podstawowe wymagania

W przeciwieństwie do standardowej usługi szybkiego dostępu do internetu, w której większość operatorów oferuje usługę w modelu *best effort* (czyli uzyskiwanie transferu najlepszego z możliwych w danej chwili), usługi IPTV muszą mieć zagwarantowaną minimalną przepływność. W przeciwnym razie, jakość odbioru znacznie pogarsza się, mogą wystąpić efekty poklatkowe, interpolacje, utrata synchronizacji, a także przerwanie połączenia. Aby umożliwić korzystanie z usług IPTV, operatorzy muszą udostępnić widzom odpowiednio wydajne łącze internetowe i jednocześnie zagwarantować odpowiednio szybką transmisję danych przez dłuższy czas. Stawia to na zupełnie innym od dotychczasowego poziomie wiele wymagań technicznych względem sieci zarówno po stronie operatora, jak i użytkownika. Najważniejsze dotyczą większego zapotrzebowania na pasmo i sposobów ograniczania tego pasma oraz parametrów związanych z jakością usług (takich, jak stopień utraty pakietów, opróżnienie i jej degradacja).

Proponowane dalej podstawowe wymagania techniczne dla transmisji cyfrowych sygnałów telewizyjnych sieciami IP zostały opracowane przez Centralne Laboratorium Badawcze (CLB) IŁ na podstawie zaleceń ITU-R BT.1720 [4], ITU-T J.241 [6] oraz ITU-T Y.1540 [7] przy wykonywaniu projektu celowego [8].

Podstawowym parametrem, jaki należy oceniać przy transmisji sygnałów telewizyjnych, jest jakość obrazu uzyskiwanego u abonenta po przejściu przez cały tor transmisyjny (transmisja od końca do końca). Zależy ona od jakości obrazów nadawanych do abonentów, jakości sieci IP i od oddziaływania sieci IP na sygnał wizyjny.

Usługi telewizyjne przesyłane sieciami IP można sklasyfikować jako usługi strumieniowe, które muszą spełniać takie wymagania, jak:

- jakość odtwarzanego obrazu i dźwięku, oceniana subiektywnie na dobrą (4), a w wyjątkowych przypadkach na więcej niż dostateczną (3,5);
- duża dostępność;
- średnia interaktywność.

Model systemu rozprowadzania usług telewizyjnych przesyłanych sieciami IP zawiera trzy podstawowe elementy:

- źródło sygnału, w którym następuje kodowanie i obróbka transmitowanych sygnałów (wytwarzanie strumienia transportowego);
- sieć przesyłową;
- komputer odbiorczy, który dekoduje odebrany sygnał i odtwarza go na ekranie.

Sygnały telewizyjne mogą być przesyłane przez sieć IP, jeśli:

- źródło sygnału wytworzy sygnał o odpowiedniej jakości i rozdzielczości obrazu;
- komputer odbiorczy ma odpowiednie parametry;
- przepływność sieci jest większa lub równa maksymalnej szybkości bitowej sygnału wizyjnego.

Wpływ sieci przesyłowej IP na jakość przesyłanego sygnału telewizyjnego objawia się jako powstawanie zakłóceń w sieci transmisyjnej.

Zakłócenia wprowadzane przez sieć IP są określone przez następujące parametry:

- współczynnik utraty pakietu strumieniowego (PLR – *Packed Loss Ratio*), wyrażony przez stosunek liczby pakietów utraconych w sieci do całkowitej liczby przesyłanych pakietów;
- opóźnienie (*latency*), stanowiące różnicę między czasem nadawania i czasem odbioru pakietu;
- *jitter*, czyli wahania opóźnienia.

Przyjęto, że dla uzyskania co najmniej dobrej jakości odtwarzanego obrazu, dla najgorszego przypadku, wartość PLR powinna być mniejsza od 10^{-5} ($PLR < 10^{-5}$), opóźnienie może być rzędu setek milisekund oraz mogą być tolerowane wahania opóźnienia rzędu dziesiątek milisekund.

Klasyfikacja sieci IP

Przyjęto, że dla $LPR_{out} = 0,01$ usługa jest niedostępna i określono następujące klasy sieci dla transmisji sygnałów telewizji cyfrowej:

- $PLR \leq 10^{-5}$ bardzo dobra jakość usługi (ESQ);
- $PLR < 2 \cdot 10^{-4} \div 10^{-5} >$ średnia jakość usługi (ISQ);
- $PLR < PLR_{out} \div 2 \cdot 10^{-4} >$ mała jakość usługi (PSQ);
- $PLR < PLR_{out} - 1 >$ usługa niedostępna.

Podane wartości oparto na ocenie jakości usługi transmitowanej przez sieć w czasie 30 min w sesjach trwających od 1 do 5 min.

Na powyższej podstawie można zakwalifikować sieć (od początku do końca) do określonej klasy, dodając okresy czasu, w których wartość PLR mieściła się w określonych granicach w niżej przedstawiony sposób (tabl. 1).

Tabl. 1. Klasyfikacja sieci IP

Klasa	Czas [%] transmitowania usługi		
	jakości ESQ	jakości ISQ	jakości PSQ
A	$\geq 99,8$	0 – 0,2	0 – 0,1
B	$\geq 99,8$	0 – 0,1	0 – 0,2
C	$< 99,8$		

Podstawowe wymagania dla sygnałów wytworzonych w źródle

Dla sygnału wizyjnego przyjęto następujące wymagania:

- standard kodowania: Windows Media Player;
- rozdzielczość obrazu:
384 × 288 dla stosunku boków 4 : 3,
360 × 288 dla stosunku boków 5 : 4;
- częstotliwość powtarzania ramek 25 Hz.

Podstawowe wymagania dla komputera odbiorczego

Dla komputera odbiorczego przyjęto następujące wymagania:

- program zainstalowany: Windows Media Player;
- zalecana pamięć RAM, min. 512 MB;
- procesor 1,6 GHz.

Metodyka pomiarowa

Podstawowym celem, jaki należy osiągnąć w telewizji, jest zadowolenie widza z oglądanych programów. Treść programu jest niezależna od personelu technicznego i niemożliwa do zmierzenia. Pomiary dotyczą jakości obrazu, która jest funkcją nie tylko parametrów technicznych toru przesyłowego, lecz również właściwości zmysłów słuchu i wzroku widza, takich jak, np. czułość wzroku, jego własności widmowe, bezwładność wzroku i jego zdolność rozdzielcza.

W technice telewizyjnej są stosowane dwa rodzaje metod pomiarowych: obiektywne i subiektywne. Metody obiektywne polegają na pomiarze poszczególnych parametrów odtwarzanego obrazu przez pomiar sygnału wizyjnego za pomocą przyrządów pomiarowych. Uzyskane wyniki są ściśle związane z procesami przeprowadzanymi w torze oraz występującymi zniekształceniami przesyłanych sygnałów. Ich dokładność zależy przede wszystkim od dokładności stosowanych przyrządów pomiarowych. Jednakże wyniki badań obiektywnych nie dają pełnej informacji o wrażeniu, jakie odnosi widz, oglądając odtwarzany obraz.

Szczególnie w telewizji cyfrowej brak jest dokładnych korelacji między wartością zniekształcenia a wrażeniem wzrokowym, odnoszonym przez widza przy obserwacji zniekształconego obrazu. Oprócz tego istnieją specyficzne zjawiska wzrokowe, których nie można stwierdzić za pomocą pomiaru sygnałów. Należą do nich:

- zjawisko kontrastu granicznego (pozorne podkreślenie granic przylegających do siebie powierzchni o różnej luminancji);
- zjawisko kontrastu świetlnego (pozorna zmiana luminancji fragmentu obrazu w zależności od tła);
- zjawisko irradacji świetlnej (pozorne przesunięcie granicy między dwiema powierzchniami);
- zjawisko kontrastu „jednoczesnego” (zmiana wrażenia wzrokowego w zależności od bodźców wywołanych sąsiednimi kolorami);

- zjawisko kontrastu „kolejnego” (zmiana wrażenia wzrokowego wywołanego danym kolorem, spowodowana podrażnieniem nerwu wzrokowego przez poprzednio oglądany kolor);
- zjawisko percepcji szumu (szумы o stałej wartości, powodujące różne wrażenia w zależności od tła i treści obrazu).

Dlatego do oceny działania systemów telewizyjnych, a w szczególności systemów telewizji cyfrowej, w sposób ściśle związany z przewidywaną reakcją widzów obserwujących przesyłane obrazy, są stosowane metody subiektywne. Natomiast do oceny parametrów urządzeń i torów przenoszących sygnały telewizyjne stosuje się metody obiektywne.

Metody obiektywne

Metody obiektywne polegają na pomiarze poszczególnych parametrów za pomocą przyrządów pomiarowych. Uzyskane wyniki są ściśle związane z przeprowadzanymi w torze procesami oraz występującymi zakłóceniami. Ich dokładność zależy przede wszystkim od dokładności stosowanych przyrządów pomiarowych.

W przypadku transmisji sygnałów telewizyjnych sieciami IP metody obiektywne są stosowane do pomiaru parametrów sieci:

- współczynnika utraty pakietów,
- opóźnienia,
- wahania opóźnienia.

Pomiary polegają na przesłaniu przez sieć o znanej przepływności określonej liczby pakietów oraz obliczeniu na wyjściu sieci odpowiednio:

- liczby odebranych pakietów,
- opóźnienia pakietów (przez obliczenie różnicy między przesłanymi znacznikami czasu),
- wahania opóźnienia (zmiany opóźnienia w określonym przedziale czasu).

Powyższe parametry sieci mogą też być wyznaczone za pomocą specjalnych, pomiarowych programów komputerowych.

Metody subiektywne

Metody subiektywne polegają na obserwacji odtwarzanych obrazów na ekranach odbiorników kontrolnych, ich ocenie przez grupę obserwatorów i obróbce statystycznej uzyskanych wyników. Wyniki otrzymane podczas pomiarów subiektywnych są niezależne od procesów i rodzajów zakłóceń oraz zniekształceń, jakim podlegają badane sygnały.

Metodyka przeprowadzania badań subiektywnych znajduje się w programie prac Sekcji Radiokomunikacyjnej Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego ITU-R, a w szczególności Grupy Studiów SG 6 (*Broadcasting Service*), w której powołano Grupę Roboczą WP6Q (*Performance Assessment and Quality Control*), zajmującą się zagadnieniami pomiarów jakości. W ramach tej Grupy opracowano wiele zaleceń dotyczących badań subiektywnej jakości obrazu. Ogólne informacje na temat badań subiektywnej jakości obrazu podano w zaleceniu ITU-R BT.500-11 [2],

natomiast szczegóły dotyczące zastosowania tych metod dla różnych rodzajów sygnałów przedstawiono w odpowiednich innych zaleceniach ITU-R. Badania subiektywne systemów telewizji cyfrowej standardowej jakości (SDTV) powinny być zgodne z zaleceniem ITU-R BT.1129-2 [3].

Metody subiektywne polegają na ocenie jakości obrazu i dostrzegalności zniekształceń przez odpowiednią liczbę obserwatorów oraz traktowaniu tych pomiarów w sposób statystyczny. Służą one przede wszystkim do zebrania informacji na temat reakcji widzów na poszczególne rodzaje oraz wartości zniekształceń i zakłóceń. Są one stosowane do określenia dopuszczalnych parametrów systemu i urządzeń, szczególnie przy ich normalizacji. Uzyskanie porównywalnych wyników badań w skali międzynarodowej wymaga jednoznacznego ustalenia wszystkich warunków przeprowadzania badań oraz interpretacji ich wyników.

Zgodnie z określoną w zaleceniu ITU-R BT.500-11 [2] metodyką, metody oceny subiektywnej można podzielić na dwie podstawowe grupy: dwubodźcowe (wykorzystujące sygnały odniesienia) i jednobodźcowe (bez sygnałów odniesienia). Pomiary jakości obrazów telewizji iTVP przesyłanych sieciami IP należy przeprowadzać w punktach odbioru u abonentów. Muszą więc być stosowane metody jednobodźcowe.

Metody jednobodźcowe polegają na ocenie jakości obrazu lub sekwencji obrazów przez obserwatorów, którzy wystawiają im jedną ocenę bez porównywania z sygnałami odniesienia. Obecnie ITU zaleca stosowanie jednobodźcowej metody ciągłej oceny jakości obrazu (SSCQE – *Single Stimulus Continuous Quality Evaluation*) [2].

Subiektywna jednobodźcowa metoda ciągłej oceny jakości obrazu (SSCQE)

Metoda SSCQE [2] została zaproponowana przede wszystkim do subiektywnej oceny obrazu w telewizji cyfrowej, w której jakość obrazu zależy w dużym stopniu od jego treści, a powstające zniekształcenia cyfrowe (zarówno w układach kompresji sygnału, jak i torach transmisyjnych) zależą od przestrzennej i czasowej zawartości źródła obrazu. Ocena obrazu za pomocą konwencjonalnych metod dwubodźcowych jest wówczas niewystarczająca, ponieważ czas obserwacji ograniczony do 10 s jest za krótki do wydania przez obserwatora reprezentatywnej oceny rzeczywistego obrazu. Metoda jednobodźcowa natomiast została uznana za bardzo przydatną w przypadku ciągłej subiektywnej oceny jakości obrazów kodowanych cyfrowo, bez odniesienia, z zastosowaniem dłuższych sekwencji pomiarowych i obserwowaniu ich tylko raz. Umożliwia ona zatem ocenę obrazu w warunkach domowych, gdzie nie ma możliwości obserwacji obrazów odniesienia.

Możliwe są następujące rodzaje sesji pomiarowych.

- Segment programu, który odpowiada obserwacji programu jednego rodzaju (np. sport, wiadomości, teatr), przetworzonego cyfrowo, trwający co najmniej 5 min.
- Sesja pomiarowa, która obejmuje szereg jednej lub wielu kombinacji segmentów różnej jakości, nadawanych bez przerwy i w przypadkowej kolejności, trwająca od 30 do 60 min. W każdej sesji znajdują się co najmniej raz wszystkie segmenty programu i wszystkie jakości obrazu, ale niekoniecznie wszystkie ich kombinacje. Najprostszą sesję pomiarową stanowi jeden segment programu i jeden poziom jakości.
- Prezentacja pomiarowa, która obejmuje pełny zakres pomiarów. W celu oceny jakości wszystkich kombinacji segmentów programu i poziomów jakości, prezentacja może być podzielona na sesje pomiarowe o maksymalnym wymaganym czasie trwania. Jeśli liczba kombinacji jest ograniczona, do przeprowadzania pomiarów w długim czasie można powtarzać poszczególne sesje pomiarowe.

Przy przeprowadzaniu tych pomiarów można doprowadzić dźwięk towarzyszący, który powinien być wybrany z zastosowaniem tych samych kryteriów co obrazy testowe. Obserwatorzy powinni oceniać wówczas całość programu, a nie wyłącznie jakość obrazu.

Subiektywna jednobódcowa metoda ciągłej oceny jakości obrazów przesyłanych sieciami IP

Subiektywna jednobódcowa metoda ciągłej oceny jakości obrazów przesyłanych sieciami IP [5] stanowi adaptację metody SSCQE do wykonywania pomiarów jakości obrazów przesyłanych sieciami IP w warunkach domowych. Została ona opracowana w Instytucie Łączności i zgłoszona na posiedzeniu SG9 ITU-T w październiku 2007 r. jako dokument polskiej administracji: *Propozycja nowego Zalecenia ITU-T J samip* („*Subjective assessment metod for IP*”).

Przyjęto następujące założenia.

1. Jakość obrazu przesyłanego sieciami IP zależy od wielu parametrów, takich jak: jakość źródła, parametry sieci przesyłowej IP i pasmo częstotliwości przenoszone przez sieć oraz zajętość sieci, określająca szerokość pasma częstotliwości, z jakiego może korzystać użytkownik w danej chwili.
2. Warunkiem uzyskania obrazu dobrej jakości jest, aby przy wzroście rozdzielczości obrazu nadawanego wzrastała również szybkość bitowa sygnału przesyłanego.
3. Szum wprowadzany do sieci pakietowej IP jest opisywany przez następujące parametry: współczynnik utraty pakietów, opóźnienie i jitter (wahania opóźnienia). Do uzyskania transmisji dobrej jakości parametry te powinny mieć wartości zgodne z zaleceniem ITU-R BT.1720 [4].
4. Każda sieć pakietowa przenosząca sygnały IP ma określoną maksymalną szerokość pasma dla przesyłanego strumienia informacji lub szybkość pakietową dla strumienia o określonych wymiarach, maksymalną szybkość pakietową na strumień i maksymalną liczbę dostępnych strumieni informacji. Jeśli skutek zbyt dużej zajętości sieci przez innych użytkowników, szybkość bitowa dostępna dla danego użytkownika obserwującego obrazy jest mniejsza niż wymagana do tego celu, jakość odbioru znacznie pogarsza się lub następuje przerwanie połączenia.
5. Obserwacje są przeprowadzane u użytkowników w warunkach domowych na ekranach komputerów stacjonarnych albo przenośnych lub odbiorników telewizyjnych w przypadku zastosowania przystawki telewizyjnej (*set-top-box*).

Przyjęto metodę jednobódcową (bez odniesienia), w której obserwatorzy oceniają kolejno obrazy przesyłane ze źródła treści w warunkach nieco bardziej krytycznych niż podane w zaleceniu ITU-R BT.1129-2 [3] dla obserwacji domowych.

Obserwacje są przeprowadzane na obrazach programów przesyłanych sieciami IP „na żywo” oraz „na zamówienie” (zgromadzone w banku danych).

Obserwatorami są zarówno specjaliści, jak i niespecjaliści. Przed sesją pomiarową należy sprawdzić ich wzrok i w razie konieczności skorygować go za pomocą odpowiednich okularów. Zgodnie z zaleceniem ITU-R BT.500-11 [2], do uzyskania wiarygodnych wyników, obserwacje powinny być wykonywane przez co najmniej 15 obserwatorów. Jednak gdy obserwacje są przeprowadzane na ekranie komputera, można ograniczyć liczbę jednoczesnych obserwatorów do 3–5 i wykonać kilka identycznych (tzn. w tym samym miejscu i na tym samym komputerze) sesji pomiarowych, w których

różni obserwatorzy będą oceniać taki sam program, zapisany w pamięci komputera (np. mecz piłki nożnej, dyskusję panelową itp.).

Obserwatorzy powinni być dokładnie poinformowani o metodzie oceny, rodzajach występujących zniekształceń i odpowiadającej im jakości obrazu, czasie oceny itp. Ponadto powinno się przeprowadzić próbną sesję pomiarową, w której zostaną oceniane inne programy niż podczas pomiarów.

Dokonując oceny jakości usługi audiowizualnej (tj. obrazu z dźwiękiem towarzyszącym), obserwatorzy oceniają jakość całej usługi, a nie tylko obrazu.

W przypadku cyfrowego kodowania obrazów, zniekształcenia obrazów, a więc i ich jakość, zależą od treści obrazu i mogą być zmienne w czasie. Dlatego do zapewnienia rzeczywistej oceny jakości obrazu jest stosowana skala ciągła od 0 do 100, podzielona na 5 równych odcinków (bardzo dobry, dobry, mierny, dostateczny, zły). Każdy z obserwatorów przesuwając odpowiedniego suwaka, wyskalowanego od 0 do 100, z którego są pobierane co 0,5 s próbki i przesyłane do komputera pomiarowego, łącznie z informacją o treści programu.

Obserwacje powinny być przeprowadzane dla obrazów typowego programu telewizyjnego, które są częściowo bardzo krytyczne (mecz piłki nożnej), częściowo średnio krytyczne (film), a częściowo mało krytyczne (dyskusja panelowa).

Możliwe są następujące rodzaje sesji pomiarowych.

- Segment programu, który odpowiada obserwacji programu jednego rodzaju (np. sport, wiadomości, teatr), przetworzonego cyfrowo, trwający co najmniej 5 min. Przy ocenie uwzględnia się tylko jeden parametr jakości.
- Sesja pomiarowa, która obejmuje szereg jednej lub wielu kombinacji segmentów różnej jakości, nadawanych bez przerwy w przypadkowej kolejności, trwająca od 30 do 60 min. W każdej sesji znajdują się co najmniej raz wszystkie segmenty programu i wszystkie jakości obrazu, ale niekoniecznie wszystkie ich kombinacje. Najprostszą sesję pomiarową stanowi jeden segment programu i jeden poziom jakości.
- Prezentacja pomiarowa, która obejmuje pełny zakres pomiarów. W celu oceny jakości wszystkich kombinacji segmentów programu i poziomów jakości, prezentacja może być podzielona na sesje pomiarowe o określonym czasie trwania. Jeśli liczba kombinacji jest ograniczona, do przeprowadzania pomiarów w długim czasie można powtarzać poszczególne sesje pomiarowe.

Wyniki pomiarów otrzymane podczas wszystkich sesji pomiarowych są następnie sumowane i oblicza się średnie dla wszystkich obserwatorów, segmentu programu oraz całej sesji pomiarowej. Na podstawie uzyskanych danych jest obliczane prawdopodobieństwo $P(q)$ występowania danego poziomu jakości q , które z reguły jest przedstawiane na wykresie.

Zgłoszony projekt nowego zalecenia został przyjęty przez Grupę Studiów, a następnie – zgodnie z planem – został zatwierdzony na posiedzeniu SG9 ITU-T w maju 2008 r.

Zakończenie

Instytut Łączności, w ramach projektu celowego [1, 8], wykonał serię pomiarów jakości obrazów telewizyjnych przesyłanych sieciami IP. Pomiary przeprowadzono na podstawie projektu nowego

zalecenia J samip, w warunkach domowych, na wyjściu neostrady 512 kbit/s, 1024 kbit/s i 3048 kbit/s, a także na wyjściu akademickiej sieci PIONIER oraz sieci lokalnej połączonej z siecią PIONIER. Wyciągnięto następujące wnioski.

1. Jakość odtwarzanego obrazu zależy od rozdzielczości, z jaką jest nadawany, szybkości bitowej, z jaką obrazy są nadawane, a także od treści obrazu (ilości ruchu w obrazie). Według uzyskanych informacji, obrazy są nadawane z różną rozdzielczością, tworząc różne strumienie informacji (*streaming*). Oceniane obrazy miały na ogół rozdzielczość 384 x 288 i były nadawane z szybkościami: 332 kbit/s, 539 kbit/s i 755 kbit/s.
2. Dostępność usługi zależy od szybkości bitowej doprowadzonego do abonenta sygnału cyfrowego, a więc od obciążenia sieci iTVP. Strumień dochodzący do abonenta musi być co najmniej równy szybkości bitowej, z jaką obrazy są nadawane. W przypadku dużego obciążenia sieci o małej przepustowości, jeśli strumień dochodzący do abonenta jest mniejszy niż strumień nadawany, obraz zawiesza się lub w ogóle nie można go odebrać.
3. W przypadku transmisji sygnałów iTVP przez neostradę, dostępność usługi zależy od obciążenia neostrady w danym momencie. W okresach natężenia ruchu (godziny przedpołudniowe i wczesne popołudnie) obciążenie sieci we wszystkich typach neostrady jest bardzo duże i strumień dochodzący do abonenta jest mniejszy niż strumień nadawany, obraz zawiesza się lub w ogóle nie można go odebrać.
4. Ocena jakości obrazu zależy od rozdzielczości komputera odbiorczego, przy rozdzielczości większej (np. 1400 x 1500) jakość obrazu jest oceniana jako gorsza.

Bibliografia

- [1] Czyrnek M., Kuśmerek M., Mazurek C., Stroiński M.: *Architektura skalowanego systemu dystrybucji dla telewizji interaktywnej*. Materiały z Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji (KKRiT), Kraków, 2005, s. 509–513
- [2] ITU-R Rec. BT.500-11 (06/2002): *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*
- [3] ITU-R Rec. BT.1129-2 (02/1998): *Subjective assessment of standard definition digital television (SDTV) systems*
- [4] ITU-R Rec. BT.1720 (07/2005): *Quality of service ranking and measurement methods for digital video broadcasting services delivered over broadband Internet protocol networks*
- [5] ITU-T COM 9 – C 88 (09/2007): *Proposal of draft new ITU-T Recommendation J samip (Revision of COM 9 – C 74), Subjective assessment method of picture quality delivered to the home over broadband IP networks*
- [6] ITU-T Rec. J.241 (04/2005): *Quality of service ranking and measurement methods for digital video services delivered over broadband IP networks*
- [7] ITU-T Rec. Y.1540 (11/2007): *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*
- [8] *Prototyp iTVP. Opis systemu*. Opracowanie ACK Cyfronet AGH, ATM, PCSS. Warszawa, Wyd. TVP, 2005
- [9] Uhl T.: *Theoretical and practical aspects of IPTV*. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, 2007, nr 6, s. 197–204 (w jęz. ang.)

Alina Karwowska-Lamparska

Dr inż. Alina Karwowska-Lamparska (1931) – absolwentka Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej (1956); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1955); specjalny reporter Grupy SG9 ITU-T, przewodnicząca Komitetu Technicznego Nr 11 ds. Telekomunikacji, wiceprzewodnicząca WP 6Q ITU-R, członek Rady Polskiej Platformy DVB i Platformy DAB, Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN, Sekcji Telekomunikacji Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN oraz Polskiego Komitetu Normalizacyjnego II kadencji; autorka lub współautorka licznych publikacji naukowych z zakresu telewizji; długoletni redaktor oraz członek Rady Programowej wielu czasopism, m.in. *TITI*, *JTIT* oraz *Przeglądu Telekomunikacyjnego + Wiadomości Telekomunikacyjnych*; zainteresowania naukowe: telewizja, radiokomunikacja, telekomunikacja, normalizacja.
e-mail: A.Karwowska@itl.waw.pl