

Wideokomunikacja w sieciach IP – możliwości transmisji sygnału wizji w czasie rzeczywistym

Zbigniew Hulicki, Maciej Karwan, Piotr Romaniak (e-mail: hulicki@kt.agh.edu.pl)
Katedra Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej – Kraków

STRESZCZENIE

W pracy opisano koncepcję systemu do transmisji sygnału wizji w sieci Internet. Omówiono założenia projektowe wspomnianego systemu, sprecyzowano wymagania i przeanalizowano przydatność istniejących rozwiązań strumieniowania wideo do tego celu. Następnie przedyskutowano możliwości praktycznej weryfikacji poprawności działania tworzonego systemu i przeanalizowano koszty zaproponowanego rozwiązania. Zaproponowano także listę koniecznych modyfikacji, jakie należy przeprowadzić, aby przekształcić ten system w profesjonalne rozwiązanie komercyjne.

ABSTRACT

Videocommunication in IP networks – abilities of the real time transmission

Underlying the paper are the issues those concern videocommunication in IP networks. Technical capabilities of a system proposed for the real time transmission of video signals have been examined together with its operation in a real network environment. Implementation costs of the system have been also discussed and some modifications necessary for professional solutions have been proposed too.

1. Wstęp

Obecnie, dynamicznie rozwija się różne zastosowania sieci IP, w tym m.in. do przesyłania sygnału wizji. Technologia ta znajduje coraz więcej zastosowań i coraz większe uznanie ze względu na szereg zalet oraz prostotę koncepcji. Najważniejsze korzyści, wynikające z użycia tej technologii, to oszczędność kosztów oraz duża uniwersalność. Zastosowania obejmują m.in. transmisję programów telewizyjnych na żywo, transmisję z kamer pogodowych rozmieszczanych w miastach oraz na głównych drogach, a także wymianę nagrań archiwalnych [11].

W przypadku każdego nowego systemu telewizyjnego, najważniejsze i zarazem najtrudniejsze do spełnienia wymagania dotyczą jakości przesyłanego obrazu oraz opóźnień wprowadzanych przez proces kodowania, dekodowania oraz samą transmisję sygnału. Tymczasem sieci IP są pozbawione mechanizmów gwarantujących stały poziom parametrów transmisji, tzn. przepływności i opóźnienia. Z tego właśnie powodu, system przesyłania sygnału wizji za pośrednictwem sieci Internet musi zawierać szereg elementów oraz zabezpieczeń likwidujących (lub zmniejszających) niedoskonałości i wady wynikające z użycia sieci IP [1].

Należy podkreślić, iż proponowana koncepcja dotyczy jedynie transmisji sygnału wizji do studia montażowego (ang. *video contribution*), nie dotyczy natomiast transmisji typu „*broadcast*”. Sygnał przesyłany do studia telewizyjnego musi posiadać doskonałą jakość, co oznacza konieczność zachowania stałej prędkości bitowej strumienia oraz stosowanie mechanizmów retransmisji w przypadku utraty pakietu. Uniemożliwia to zastosowanie rozwiązań przedstawionych w roz-

dziale 3, używających protokołów transportowych typu RTP/UDP, które nie dają takich gwarancji. Powyższe wymagania zdecydowały, że konieczne było użycie protokołu TCP, który nie jest powszechnie stosowany w transmisji na żywo.

Innowacyjność zaproponowanego rozwiązania opiera się o wykorzystaniu sieci IP do transmisji sygnału wizji o jakości studyjnej (doskonała jakość, stała przepływność) przy zastosowaniu protokołu TCP (gwarancja dostarczenia wszystkich pakietów) w czasie rzeczywistym. Istniejące rozwiązania stosowane obecnie w TVP3 Kraków cechują się znacznie większymi kosztami. Istniejące metody transmisji sygnału wizji w sieci IP nie gwarantują stałej jakości lub nie są przeznaczone do zastosowań w systemach czasu rzeczywistego. Zaproponowane rozwiązanie rozwiązuje wszystkie z przedstawionych problemów.

W pracy przeanalizowano przydatność istniejących rozwiązań strumieniowania wideo do przesyłania sygnału wizji i sprecyzowano wymagania, jakie musi spełnić system służący do przesyłania sygnału wizji w sieci Internet. Omówiono założenia projektowe wspomnianego systemu i opisano jego koncepcję. Następnie scharakteryzowano poszczególne etapy tworzenia systemu transmisji sygnału wizji w sieci IP i przedyskutowano możliwości praktycznej weryfikacji poprawności działania tworzonego systemu. Przeanalizowano ponadto koszty zaproponowanego rozwiązania, natomiast w zakończeniu podsumowano rozważania oraz zaproponowano listę koniecznych modyfikacji, jakie należy przeprowadzić, aby przekształcić opracowany system w rozwiązanie komercyjne i w pełni profesjonalne.

2. Metody zapisu i transmisji sygnału wizji stosowane w TVP3 Kraków

Tematyka dotycząca transmisji analogowych i cyfrowych sygnałów telewizyjnych jest stosunkowo obszerna i przed wszystkim wymaga przeglądu istniejących standardów. Podstawowe informacje dotyczące kolorowej telewizji analogowej, sposoby kodowania sygnału chrominancji oraz cyfrowe standardy zapisu sygnałów wizji przedstawiono w pracy [10]. Dokonano tam również przeglądu standardów TV analogowej (NTSC, PAL, SECAM) jak i cyfrowej oraz scharakteryzowano normy (MPEG-2, MPEG-4, DV) zapisu sygnału wizji i fonii (zob. także [1, 2, 3, 4, 5]). We wspomnianej pracy przeanalizowano również techniki przesyłania sygnału wizji, które stosuje się obecnie w TVP3 Kraków. Dokonano ich krótkiej charakterystyki, określono wady i zalety każdego z rozwiązań [10].

2.1. Łącza satelitarne

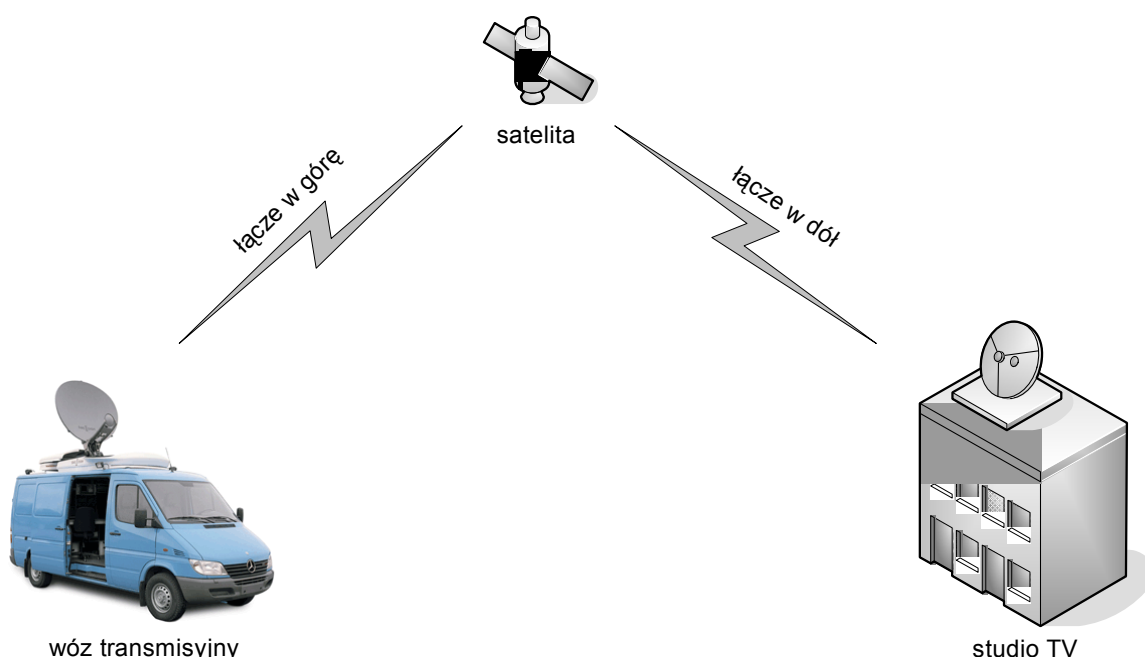
Jednym z najbardziej nowoczesnych sposobów przesyłania sygnałów telewizyjnych są łącza satelitarne. W tym celu TVP3 Kraków dzierżawi cały transponder na satelicie Eutelsat W3 oraz część transpondera na satelicie Amos 1 [10].

- dużą trwałość i niezawodność systemów – nawet kilkanaście lat;
- niewielką ilość niezbędnego personelu – 2 osoby obsługi wozu transmisyjnego;
- niewielkie (nie przekracza 1,5 s) łączne opóźnienie – składają się na nie: opóźnienie transmisji i opóźnienia wprowadzane przez urządzenia nadawcze i odbiorcze.

Wady tego rozwiązania to:

- ograniczony wybór miejsca transmisji – ograniczenia wynikają z konieczności zapewnienia widoczności satelity z miejsca transmisji; zatem nie jest możliwa transmisja pomiędzy wysokimi budynkami, w terenie zalesionym, itp.;
- wpływ warunków atmosferycznych na jakość transmisji – silne zachmurzenie, opady bardzo niekorzystnie wpływają na jakość transmisji, mogą ją nawet uniemożliwić;
- jednorazowy duży koszt – koszt zakupu satelitarnego systemu nadawczego wynosi około 1,2 mln zł [13].

Ogólną koncepcję zastosowania łączy satelitarnych do przesyłania sygnałów telewizyjnych pokazano na rysunku 1.



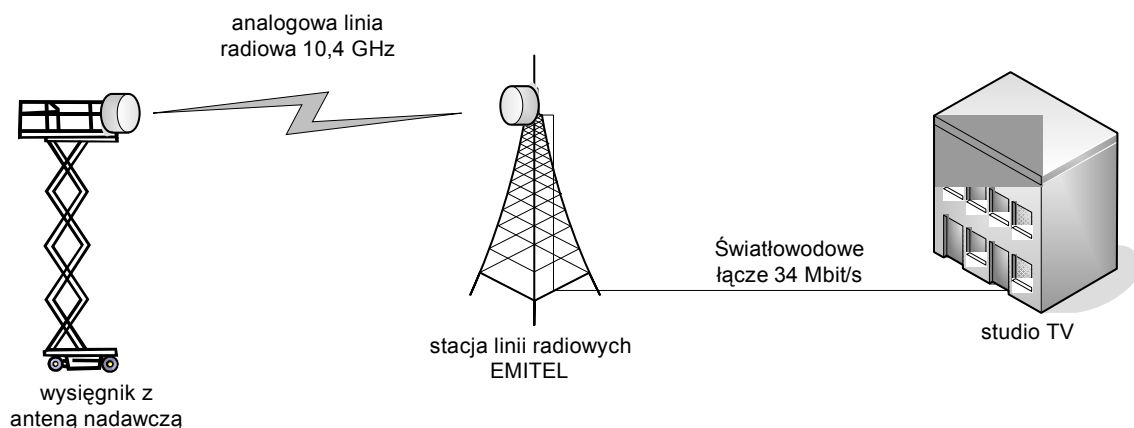
Rys. 1. Schemat zastosowania łączy satelitarnych do przesyłania sygnałów telewizyjnych

Do zalet opisanego rozwiązania można zaliczyć:

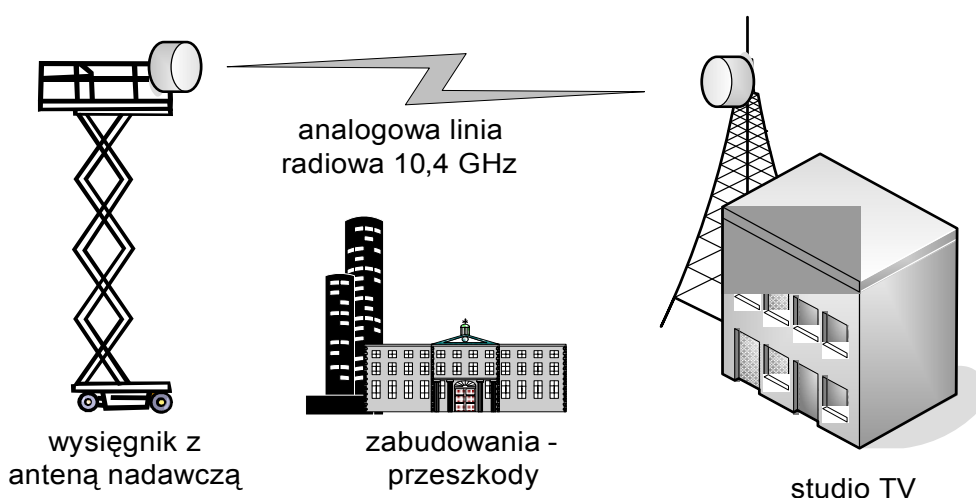
- łatwe zestawianie łączy – automatyczne zestawianie łączy, z każdego miejsca gdzie dojedzie wóz transmisyjny;
- niskie koszty eksploatacji – opłata roczna (za licencję na częstotliwość) wynosi ok. 2 000 zł [13];

2.2. Łącza światłowodowe

Obecnie, powszechnie stosowanym rozwiązaniem w systemach transmisyjnych są łącza światłowodowe. Światłowody umożliwiają przesyłanie cyfrowych sygnałów telewizyjnych na znaczne odległości. Bardzo duże przepływności takich łączy zapewniają niemal



Rys. 2. Zastosowanie dzierżawionych łączy światłowodowych do transmisji sygnału wizji



Rys. 3. Schemat wykorzystania radiolinii do przesyłania sygnału wizji

natychmiastową (brak widocznych opóźnień) transmisję sygnału telewizyjnego kodowanego w standardzie MPEG-2. Takie łącza mogą być dzierżawione na zasadzie rocznego ryczałtu, np. od firmy TP Emitel. Dostęp do tej sieci uzyskuje się zazwyczaj dzięki radiolinii zestawionej z wozu transmisyjnego do punktu dostępowego (rys. 2).

Zalety takich łączy to:

- duża (34 Mbit/s) przepustowość – możliwość zastosowania standardu DV o dużej przepływności;
- brak opóźnień.

Do ich wad można zaliczyć:

- wysokie koszty łączy zestawianych na żądanie;
- ograniczenia wynikające z infrastruktury;
- dodatkowe koszty związane z redundancją sprzętu.

2.3. Łącza radiowe – radiolinie

Radiolinie używane przez 123 Kraków to łącza analogowe, pracujące na częstotliwości 10470 MHz i 10390 MHz, która jest stała i dostępna tylko dla TVP

na całym obszarze Polski. Poprawne działanie tego typu łącza jest uwarunkowane widocznością (w linii prostej) anten nadawczej i odbiorczej¹. Schemat rozwiązania przedstawiono na rysunku 3.

Zalety takiego rozwiązania to:

- niskie koszty użytkowania – opłata roczna ok. 2 000 zł za licencję na częstotliwość [12];
- brak opóźnień.

Natomiast wady tego rozwiązania to:

- ograniczenia wynikające z konieczności wzajemnej widoczności anten;
- 4 osobowy zespół do obsługi transmisji: 2 osoby po stronie odbiorczej i 2 po stronie nadawczej;
- koszty związane z zawieszaniem anten (na wysokości);
- szkodliwy wpływ mikrofal;
- dodatkowe koszty związane z redundancją – koszt zakupu łączy mikrofalowych to około 200 000 zł. za jeden komplet.

¹ (ang. *Line of Sight*)

3. Przesyłanie sygnału wizji do studia montażowego w czasie rzeczywistym – możliwości zastosowania sieci IP

Szereg istniejących rozwiązań strumieniowania wideo przeanalizowano pod kątem przydatności do przesyłania sygnału wizji, z parametrami transmisji i jakością obrazu, które spełniają wymagania stawiane przez telewizję (studyjna jakość sygnału wizji). Do najważniejszych parametrów badanych rozwiązań zaliczono: format transmisji sygnału wizji, całkowite opóźnienie transmisji oraz jakość odbieranego obrazu. Uzyskane informacje oraz doświadczenie zdobyte podczas testowania wspomnianych rozwiązań, pomogły w pełni zrozumieć specyficzne wymagania dla transmisji sygnału wizji. Natomiast obserwacja wad oraz zalet poszczególnych rozwiązań pozwoliła opracować własną koncepcję systemu przesyłania sygnału wizji w sieci IP. Kompletny system umożliwiający transmisję „na żywo” reprezentuje *Helix DNA* firmy „RealNetworks” [6]. Na rysunku 4 przedstawiono schemat poglądowy omawianej platformy.

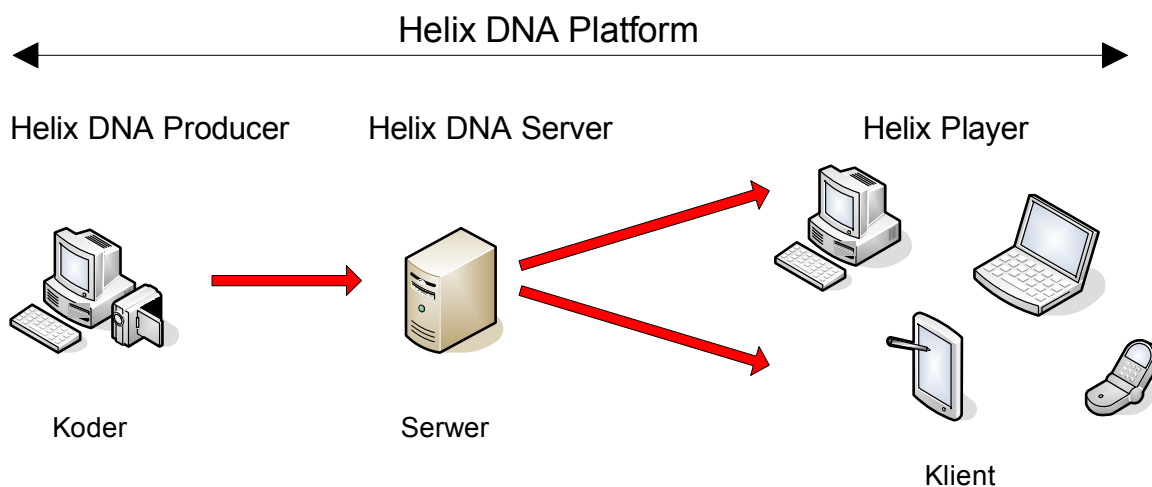
Pełny zestaw elementów platformy Helix DNA, zgodnie z rysunkiem 4, składa się z kodera, serwera strumieniującego sygnał wizji oraz klienta. W analizowanym

wideo), nie da się go jednak zastosować do kodowania analogowego sygnału kompozytowego w formacie cyfrowym: MPEG lub DV.

Bardzo podobnym rozwiązaniem, posiadającym podobne ograniczenia jest VideoLAN [14].

Wymienione rozwiązania umożliwiają przesyłanie sygnału wizji w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem sieci IP, jednak oparte są o koncepcję strumieniowania, z wykorzystaniem protokołu RTP. Uniemożliwiło to adaptację na potrzeby zaproponowanego przez autorów systemu.

Analizowano także przydatność profesjonalnego rozwiązania komercyjnego firmy Optibase [9]. *Video Contribution over IP* firmy Optibase jest kompletnym, komercyjnym systemem, który służy do przesyłania nagrań telewizyjnych pomiędzy oddalonymi ośrodkami. Producent twierdzi, że rozwiązanie to posiada wszystkie zalety wynikające z użycia sieci IP, które zostały opisane w **rozdziale 1**. Podstawową zaletą przesyłania sygnału wizji z użyciem sieci IP jest duża oszczędność kosztów, przy jednocześnie zapewnionej wysokiej jakości usług. Producent nie podaje jednak informacji dotyczących zastosowania systemu do transmisji na żywo. Większość z przedstawionych zastosowań sprowadza się do wymiany nagrań telewizyjnych w trybie *non-live*. W celu uzyskania większej ilości informacji należy odnieść się do [2].



Rys. 4. Schemat platformy *Helix DNA Platform* [6]

systemie, sygnał kompozytowy PAL przetwarza koder, następnie sygnał jest strumieniowany do serwera wideo, a z serwera, za pomocą protokołu RTSP, przesyłany do klienta.

Kolejnym rozwiązaniem jest serwer strumieniujący *Darwin Streaming Server* przez firmę Apple [8]. Posiada on dość rozbudowany i przejrzysty panel konfiguracyjny dostępny przez przeglądarkę internetową, jednak jest to tylko serwer (brak modułu przechwytyującego sygnał wizji). Jak sama nazwa wskazuje, może udostępniać i strumieniować pliki multimedialne (audio,

3.1. Wymagania TVP3 Kraków

Informacje uzyskane w ośrodku TVP3 Kraków pozwoliły określić kilka podstawowych wymagań dotyczących projektowanego systemu transmisji sygnału wizji [10]. Można do nich zaliczyć:

- niskie koszty systemu (tani) transmisji sygnału wizji w sieci,
- obraz przesyłany w czasie rzeczywistym,
- wejściowy/wyjściowy sygnał kompozytowy PAL,
- format cyfrowy: preferowany DV, ewentualnie MPEG-2,

- możliwość zastosowania systemu w przypadku kamer pogodowych i/lub przesyłania zarchiwizowanych nagrań.

3.2. Założenia projektowe systemu

Aby spełnić (opisane wyżej) wymagania stawiane systemowi do przesyłania sygnału wizji za pośrednictwem sieci IP, sprecyzowano następujące założenia projektowe [10]:

- 100% dostarczonych kadrów,
- całkowite opóźnienie, które nie przekracza 10 s,
- transmisja realizowana za pomocą protokołu TCP,
- kodowanie do formatu MPEG-2,
- priorytetyzacja danych zgodnie z techniką QoS.

4. Zasada działania oraz implementacja systemu

Projektowany system korzysta z komputerów klasy PC wyposażonych w odpowiednie karty rozszerzeń – urządzenie przechwytyjące sygnał kompozytowy PAL oraz kartę przetwarzającą z wyjściem Video [10].

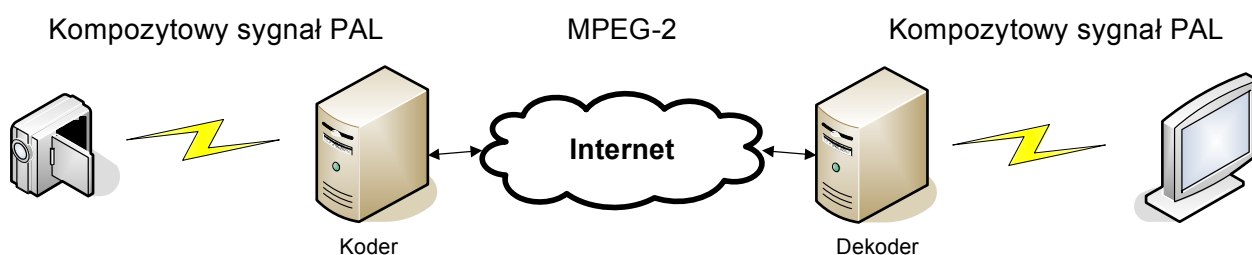
Obraz analogowy koduje się do formatu MPEG-2. Format ten wybrano ze względu na powszechną dostępność kodeków programowych na komputery PC. Ponadto, kodeki programowe są ogólnie dostępne i darmowe, w odróżnieniu od kodeków sprzętowych, a moc obliczeniowa współczesnych domowych komputerów PC jest wystarczająca, aby obsłużyć kodowanie/dekodowanie sekwencji wideo w czasie rzeczywistym [10].

Specyfika transmisji dwu-punktowej (punkt-punkt) pozwoliła uprościć architekturę systemu w porównaniu z systemem Helix DNA Platform. W projektowanym systemie sprzęt kodujący pełni jednocześnie rolę serwera strumieniującego: komputer, który realizuje kodowanie pełni równocześnie funkcje serwera wideo dla klienta, w tym przypadku ośrodka telewizji [10].

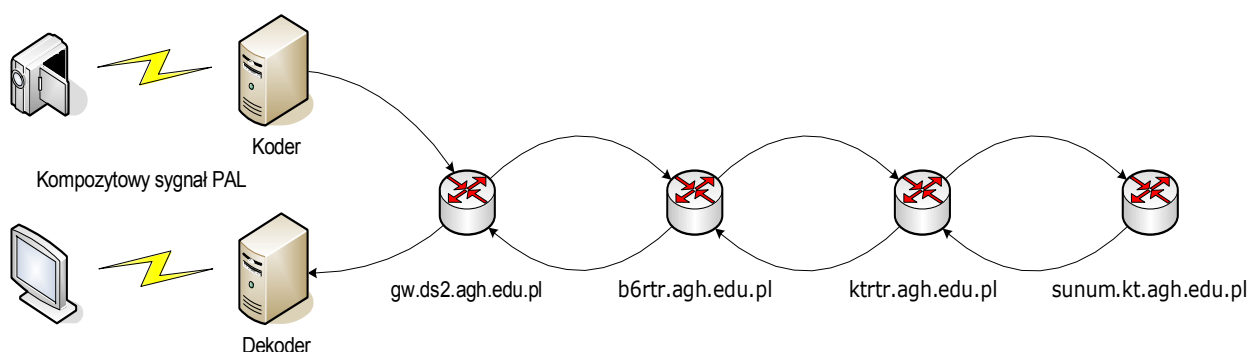
Po przesłaniu do klienta, obraz jest odtwarzany, a na wyjściu karty graficznej uzyskuje się wyjściowy sygnał kompozytowy [10]. Schemat ilustrujący strukturę oraz działanie systemu pokazano na rysunku 5.

Przedstawioną koncepcję przesyłania sygnału wizji za pośrednictwem sieci IP zrealizowano w praktyce. Szczegóły implementacji tworzonego systemu zamieszczono w poniższym zestawieniu [10]:

- serwer – aplikacja C++, odpowiedzialna za kodowanie i strumieniowanie sygnału wizji;
- klient – aplikacja C++, odpowiedzialna za odbieranie oraz składanie fragmentów cyfrowego strumienia wideo;
- program *mencoder* – koder programowy, odpowiedzialny za kodowanie sygnału analogowego do postaci cyfrowej w formacie MPEG-2;
- kamera analogowa VHS – Panasonic RX 17;
- karta przechwytyjąca – tuner telewizyjny AverMedia AVerTV 203 Studio;
- osprzęt komputera pełniącego rolę serwera – AMD Sempron 2600+, 256 MB RAM, z systemem operacyjnym Linux Fedora Core 5;
- osprzęt komputera pełniącego rolę klienta – AMD Athlon 2000 XP+, 768 MB RAM, z systemem operacyjnym Linux Fedora Core 4.



Rys. 5. Schemat systemu transmisji sygnału wizji za pośrednictwem sieci IP



Rys. 6. Architektura sieci testowej

4.1. Weryfikacja działania systemu

Poprawność działania systemu weryfikowano za pomocą testów przeprowadzonych w lokalnej sieci teleinformatycznej Akademii Górniczo-Hutniczej. Było to niezbędne do zweryfikowania poprawności działania systemu w publicznej sieci internetowej, która obsługuje ruch telekomunikacyjny generowany przez wielu użytkowników. Za pomocą połączenia tunelowanego przez ruter „sunum.kt.agh.edu.pl”, zestawiono łącze między komputerami pełniącymi rolę serwera i klienta (rys. 6) [10].

Testy zakończyły się pełnym sukcesem i potwierdziły poprawność działania systemu. Podczas transmisji notowano opóźnienia o wartości ok. 3,9 s, spowodowane istnieniem węzłów pośredniczących oraz przekierowywaniem pakietów ustawionym na serwerze sunum.kt.agh.edu.pl.

4.2. Analiza kosztów systemu

Aby określić konkurencyjność stworzonego systemu, niezbędne stało się zestawienie kosztów związanych z zastosowaniem istniejących technologii transmisji sygnału wizji. Opłaty jednorazowe i comiesięczne przedstawiono w tabeli 1 [10].

4.3. Możliwości modyfikacji oraz rozbudowy systemu

Aby stworzyć w pełni profesjonalny system do przesyłania sygnału wizji za pośrednictwem sieci IP, niezbędne jest wprowadzenie pewnych modyfikacji [11].

Konieczne jest wprowadzenie odpowiednich zabezpieczeń, które pozwoliłyby zabezpieczyć transmisję przed nieoczekiwanym i niecelowym zakończeniem. Najprostszym sposobem byłoby cykliczne sprawdzanie rozmiaru pliku wynikowego i ewentualne zatrzymywanie odtwarzania w przypadku zbyt małej ilości dostarczonych danych. Co prawda zwiększy to opóźnienie, jednak jest to niezbędne biorąc pod uwagę pewną nieprzewidywalność sieci Internet [11].

Dla systemu mogłoby być korzystne zastosowanie innego kodeka wideo. Opisany już wcześniej format DV bardziej odpowiada potrzebom telewizji. Należy również rozważyć zastosowanie kodera sprzętowego, a nie programowego, jak to ma miejsce w obecnej wersji systemu (likwidacja opóźnienia potrzebnego na programowe kodowanie sygnału wizji do pożądanego formatu cyfrowego). Naturalnym następstwem zmiany

Tabela 1.

Zestawienie kosztów dla poszczególnych technologii transmisji sygnału wizji

	Łącza satelitarne	Radiolinie	Łącza światłowodowe	Sieć IP
Koszty jednorazowe	Koszt zakupu satelitarnego systemu nadawczego: ok. 1 200 000 zł	koszt zakupu łącz mikrofalowych: ok. 200 000 zł. za jeden komplet	brak	komputery, karta przechwytyująca, karta przetwarzająca – koszt ok. 7 000 zł.
Opłaty abonamentowe	opłata roczna ok. 2 000 zł za licencję na częstotliwość + za kanał 15 Mbit/s – 8 zł/min lub za kanał 8 Mbit/s – 5 zł/min	opłata roczna ok. 2 000 zł za licencję na częstotliwość	roczny ryczałt wynosi ok. 8 000 zł + wysokie koszty łączy zestawianych na żądanie	koszt łącza ATM 5Mbit/s oraz ADSL to ok. 5 000 zł / miesiąc

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 1, rozwiązanie korzystające z sieci IP już dzisiaj może konkurować cenowo (oczywiście także jakościowo) z innymi stosowanymi obecnie rozwiązaniami. Wraz z obniżaniem opłat abonamentowych za wystarczająco szybkie łącza szerokopasmowe, omawiane systemy stanowią coraz bardziej atrakcyjną alternatywę [10].

formatu zapisu są zwiększone wymagania dotyczące pasma udostępnianego przez dostawcę usług internetowych, niezbędnego do przeprowadzenia transmisji. Niewątpliwą zaletą takiej modyfikacji jest lepsza jakość przesyłanego sygnału wizji oraz możliwość dostosowania rozdzielczości obrazu do wszelkich zastosowań, zależnie od potrzeb [11].

Aplikacje wchodzące w skład stworzonego systemu (klient oraz serwer) należy odpowiednio zmodyfikować, umożliwiając zdalną obsługę. Muszą one także posiadać odpowiednie wsparcie w postaci nowoczesnych komputerów klasy PC, wyposażonych w system operacyjny Linux [11].

Wdrożenie tak zmodyfikowanego systemu wymaga przeprowadzenia wielu testów poprawności działania, wykonanych w ośrodku TV. W pierwszym etapie, system może służyć jako łączne zapasowe. Jest to często stosowana praktyka, a w przypadku nowatorskiego systemu przyniesie podwójną korzyść [11].

5. Podsumowanie i wnioski

Wymiernym rezultatem prac jest prototypowa wersja systemu do przesyłania sygnału wizji za pośrednictwem sieci IP, w którym używa się cyfrowego formatu MPEG-2 oraz niezawodnego protokołu transportowego TCP. Rozwiązanie opracowano bez żadnych nakładów finansowych, wykorzystując głównie własne, ale także istniejące darmowe oprogramowanie (koder programowy). Użyty sprzęt (komputery, karta przechwytyująca, kamera) znajdował się w posiadaniu autorów jeszcze przed przystąpieniem do wykonania pracy. Jego jakość jest zadowalająca jedynie w przypadkach użytkowania do celów prywatnych [11].

Zdecydowana większość założeń projektu znalazła swoje odzwierciedlenie w implementacji. Opóźnienie, jedno z najważniejszych kryteriów, wyniosło około 4 sekund (sygnał w formacie MPEG-2 przy prędkości bitowej około 5 Mbit/s, tj. w jakości studyjnej), co w przypadku dostępnego dla autorów sprzętu, jest wynikiem więcej niż satysfakcjonującym [11].

Należałoby się zastanowić, czy przy obecnym poziomie usług internetowych dosyć prosty, tani w instalacji system jest w stanie konkutować cenowo ze stosowanymi obecnie technologiami. Jak wynika z tabeli 1, jednorazowe koszty są pomijalnie małe, co stanowi olbrzymią przewagę nad systemami satelitarnymi i radioliniami. Opłaty abonamentowe, związane z koniecznością zapewnienia odpowiednio szybkiego dostępu do Internetu, przewyższają jednak odpowiedniki dla pozostałych technologii. Należy zatem rozważyć, co bardziej odpowiada firmie telewizyjnej: duża opłata jednorazowa czy wyższy abonament. Należy również pamiętać o fakcie, że obecnie Polska jest jednym z najdroższych krajów pod względem dostępu do łączów internetowych i sytuacja ta prawdopodobnie ulegnie zmianie w niedalekiej przyszłości. Gdy odpowiednio szybki i tani dostęp do Internetu stanie się faktem powszechnym (tak jak ma to miejsce w krajach zachodnioeuropejskich), systemy przesyłania sygnału wizji za pośrednictwem sieci Internet staną się zdecydowanie najtańszym rozwiązaniem [11].

Literatura

- [1] Hulicki Z., red., *Interaktywne usługi multimedialne na platformie DVB*, Wyd. FPT, Kraków 1999
- [2] <http://www.dvformat.com> – DV Format, 2006 Digital Media Online
- [3] <http://www.cmlab.csie.ntu.edu.tw/cml/dsp/training/coding/mpeg1/index.html> – strona internetowa National Taiwan University, MPEG-1 Video Codec
- [4] <http://www.tamu.edu/ode/glossary.html> – strona internetowa Texas A&M University, Glossary of Distance Education Terms
- [5] <http://www.sony.ca> – DVCAM Format Overview, 2000 Sony Corporation
- [6] www.helixcommunity.org – strona internetowa grupy Helixcommunity
- [7] <http://www.ympeg.com/> – strona internetowa kodeka YMPeg – Professional MPEG-2/DV encoder
- [8] <http://www.apple.com/quicktime/streamingserver/> – strona internetowa firmy Apple
- [9] <http://www.optibase.com/> – K. Povolozky, Video Contribution over IP
- [10] Karwan M., Romaniak P.: *Analiza możliwości komunikacji oraz wzajemnej wymiany informacji pomiędzy oddalonymi systemami nieliniowego montażu sygnałów TV*. KT AGH, Kraków 2006
- [11] Rusin M.: *Systemy Transmisji – Telewizja*, Warszawa 1990
- [12] Tudor P.N.: *MPEG-2 Video Compression*. Electronics & Commun. Eng. J., 1995
- [13] Materiały udostępniane przez ośrodek TVP3 Kraków oraz dyskusje i konsultacje z pracownikami TVP3 Kraków
- [14] <http://www.videolan.org/> – VideoLAN – Free Software and Open Source video streaming solution

Zbigniew HULICKI, dr inż., adiunkt w Katedrze Telekomunikacji AGH. Specjalizuje się w modelowaniu, projektowaniu i optymalizacji sieci telekomunikacyjnych, a w szczególności systemów komunikacji multimedialnej. Jest autorem ponad 80 publikacji, w tym 6 książek. Bierze aktywny udział w realizacji międzynarodowych projektów badawczych Unii Europejskiej. Swoje doświadczenia oraz umiejętności poszerzał pracując w licznych ośrodkach naukowych i badawczych za granicą, m.in. w USA, Australii, RFN, Francji, Wielkiej Brytanii, Holandii i Szwajcarii.

Piotr Romaniak w roku 2006 uzyskał stopień mgr inż. w zakresie Telekomunikacji na wydziale EAlIE, AGH. Obecnie jest doktorantem w Katedrze Telekomunikacji AGH i zajmuje się multimediami, indeksowaniem oraz meta-danymi, a także badaniem jakości obrazów z punktu widzenia użytkownika końcowego, w tym strumieniowania wideo. Ponadto bierze aktywny udział w realizacji międzynarodowych projektów badawczych Unii Europejskiej.

Maciej Karwan w roku 2006 uzyskał stopień mgr inż. w zakresie Telekomunikacji na wydziale EAlIE, AGH. Obecnie pracuje w korporacji Motorola. Jego zainteresowania zawodowe koncentrują się na tworzeniu i projektowaniu oprogramowania dla wydajnych urządzeń sieciowych.