

Konceptcja zautomatyzowanego systemu emisji sygnałów TV

Zbigniew Hulicki, Wojciech Hubicki, Marek Solarz, Wojciech Żrebiec

(e-mail: hulicki@kt.agh.edu.pl,)

Katedra Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej – Kraków

STRESZCZENIE

W pracy zaprezentowano wstępną koncepcję projektu zautomatyzowanego systemu emisji w regionalnym ośrodku TVP. W omawianym systemie, ciężar odpowiedzialności za emisję spoczywa na rozwiązaniach sprzętowych uzupełnionych warstwą programową, a zadaniem pracowników jest jedynie obsługa systemu i kontrola poprawności jego działania. Scharakteryzowano ponadto proces ewolucji systemów emisyjnych oraz profil ośrodka TVP3 w Krakowie i jego wymagania, a następnie szczegółowo omówiono założenia projektowanego systemu i możliwości jego wdrożenia.

ABSTRACT

Design of the automated TV emission system

Design of the automated TV emission system for the regional TV center in Kraków has been considered in the paper. Development of the automated TV emission systems has been outline and the requirements of the regional TV center have been described. In the proposed system, the hardware solutions with complementary software bear the liability for the emission of TV signals and tasks of the staff concern only the maintenance and control of system operation. Implementation aspects of the system have been discussed too.

1. Wstęp

Emisję programów telewizyjnych można postrzegać jako zagadnienie techniczne lub jako tzw. proces „przepływu pracy”¹ [4]. Analizując techniczne aspekty emisji, oprócz sygnałów audiowizualnych, należy brać także pod uwagę urządzenia i oprogramowanie, którego celem jest osiągnięcie efektu ciągłości, spójności oraz atrakcyjności przekazu telewizyjnego. Emisja rozpatrywana w sensie procesu, to ogół czynności, jakie należy wykonać, aby wyprodukowany program mógł pojawić się na antenie. Ten proces jest skomplikowany i wymaga sprawnej współpracy wielu osób z różnych działów telewizji. Dlatego, oprócz warstwy sprzętowo-programowej, należy mieć również na uwadze czynnik ludzki wraz z jego ograniczeniami.

Dynamiczny rozwój techniczny branży telewizyjnej wymusza konieczność dostosowywania się do zmieniających się warunków rynkowych, tzn. aby zachować konkurencyjność nadawanych programów nadawcy muszą je ciągle modyfikować lub wprowadzać nowe. Zmianie ulega również ogólna idea funkcjonowania telewizji, zmierzająca coraz wyraźniej w kierunku usług interaktywnych [1].

Próby automatyzacji systemów emisji programów telewizyjnych pojawiły się już wiele lat temu i z biegiem czasu intensywnie się rozwijały. Początkowo opierały się tylko na specjalizowanym sprzęcie telewizyjnym, pracującym w technice analogowej. Wraz z rozwojem

tego sprzętu i wprowadzaniem na rynek urządzeń cyfrowych powstawały rozwiązania hybrydowe. Ostatecznie sprzęt analogowy został wyparty z ośrodków telewizyjnych przez bardziej wygodne i niezawodne urządzenia cyfrowe. Pozwoliło to w pełni zintegrować specjalizowane rozwiązania pochodzące z systemów emisyjnych wraz z powszechnie stosowanymi technologiami informatycznymi. W chwili obecnej, rozwiązania dostępne na rynku stanowią już trzecią generację systemów automatycznej emisji.

2. Automatyzacja systemów emisyjnych

2.1. Pierwsza generacja systemów

Systemy pierwszej generacji wspomagały emisję z wykorzystaniem kaset. Realizowały ją elektroniczno-mechaniczne urządzenia, które umożliwiały automatyczny wybór kasety z odpowiedniej półki, jej umieszczenie w magnetowidzie i zaparkowanie na określonej pozycji, a następnie uruchomienie odtwarzania we właściwym momencie. Urządzenia te określa się jako tzw. zmieniacze kaset². Systemy pierwszej generacji pozwalały odciążyć ludzi od obowiązku precyzyjnego sterowania magnetowidami oraz przygotowywania kaset. Wadą takiego rozwiązania była awaryjność sprzętu i możliwość pomyłek w zarządzaniu kasetami [3].

¹ ang. *workflow*

² ang. *cart machines*

2.2. Systemy drugiej generacji

Drugą generację systemów automatycznej emisji cechuje zastosowanie serwerów wizyjnych i magnetowidów. Są to rozwiązania hybrydowe. Audycje krótkie lub często powtarzane, stałe fragmenty programu emituje się z serwera wizyjnego, natomiast dłuższe programy odtwarza z kaset. Za emisję przygotowanych materiałów odpowiada oprogramowanie działające na komputerze zwanym serwerem urządzeń. Systemy te stanowią połączenie sprzętu używanego do emisji z oprogramowaniem sterującym. Serwery urządzeń w zaprogramowany sposób sterują magnetowidami, serwerami wizyjnymi, generatorami efektów czy routerem wideo. Do opisu kolejności emitowanych audycji oraz źródła, z którego będzie się odbywać ich emisja, służy lista emisyjna³. Na niej określa się również wydarzenia drugoplanowe⁴ (np. zmiana logo), towarzyszące emisji programu [2].

2.3. Trzecia generacja systemów

Pojawienie się systemów trzeciej generacji wiąże się z postępem informatyki, techniki komputerowej i telekomunikacji. Nowoczesne systemy emisji integruje się z innymi systemami stosowanymi w telewizji (w produkcji, montażu czy redagowaniu wiadomości). Całość tworzy złożony system informatyczny usprawniający prace ośrodka telewizyjnego. W systemach trzeciej generacji zakłada się eliminację technologii analogowych oraz minimalizację lub całkowite zaniechanie stosowania kaset. Podstawowym źródłem, z którego emituje się gotowe programy, są serwery wizyjne z dyskami o dużej pojemności, które mogą współpracować, za pomocą sieci pamięci masowych SAN (*Storage Area Network*), z urządzeniami magazynującymi dane. Gotowe programy oraz inne materiały audiowizualne mają postać plików danych. Dzięki zastosowaniu serwerów plików, przyłączonych do sieci SAN, jest możliwe współdzielenie tych samych materiałów przez wiele działów telewizji. Aby ta współpraca przebiegała według określonych reguł, nadzoruje ją oprogramowanie, które pozwala określić rodzaje uprawnień użytkowników i zdefiniować procesy (*workflow*) jakie mają miejsce w telewizji. Jednak podstawowym zadaniem nowoczesnych systemów emisji są nadal: egzekucja listy emisyjnej i sterowanie urządzeniami. Dodatkowo, do systemu emisji można jeszcze zaliczyć systemy pozyskiwania⁵ oraz systemy przechowywania i zarządzania treścią materiałów audiowizualnych⁶ [3].

2.4. Systemy czwartej generacji

Przewiduje się, że charakterystyczną cechą systemów czwartej generacji będzie możliwość realizacji usług

³ ang. *play list*

⁴ ang. *secondary events*

⁵ ang. *ingest*

⁶ ang. *content management*

interaktywnych oraz możliwość dostosowania emisji do medium (DVB-T, DVB-S, DVB-H, IPTV, VoD). Aby dostosować transmisję (przekaz) do grup, bądź do odbiorców indywidualnych, tradycyjna sekwencja zdarzeń na liście emisyjnej ustąpi miejsca nieliniowemu schematowi zdarzeń. Taki schemat umożliwi dodawanie nieskończenie wielu zdarzeń pierwszo- i drugoplanowych, w zależności od specyfiki medium lub od interakcji z widzem. Od tych systemów oczekuje się również inteligentnego przewidywania potencjalnych problemów i czytelnego diagnozowania awarii [2].

3. Profil ośrodka TVP3 w Krakowie

Regionalny oddział Telewizji Polskiej w Krakowie jest kompleksowym ośrodkiem telewizyjnym. Oznacza to, że w ramach swojej działalności może od podstaw tworzyć program telewizyjny, a następnie przygotować go do emisji w eterze. Ośrodek krakowski zajmuje się przede wszystkim współtworzeniem regionalnego kanału TVP3 i nadaje codziennie kilka godzin programu na jego antenie. Ramówkę tego programu w głównej mierze wypełniają materiały informacyjne, publicystyczne oraz relacje z wydarzeń kulturalnych, sportowych i religijnych. Krakowska stacja, jako ośrodek regionalny, współtworzy także pozostałe kanały Telewizji Polskiej. Brak konsekwentnej polityki modernizacyjnej sprawił, że dotychczasowa emisja w ośrodku była prowadzona ręcznie, przez pracowników Zespołu Emisji, na podstawie papierowego planu emisji (listy emisyjnej). Najważniejsze urządzenia używane podczas emisji programów to: zespół magnetowidów, mikser wizji i fonii, oraz krosownica, która umożliwia komutację łączy i swobodne rozprowadzanie sygnału wizji do różnych elementów systemu emisji.

3.1. Analiza wymagań

Analiza infrastruktury oraz sposobu funkcjonowania obecnego systemu emisji, a także dyskusje w ośrodku TVP3 pozwoliły zdefiniować główne czynniki, które ograniczają wydajność pracy w istniejącym systemie. Odnotowane wady mają charakter logistyczny jak i techniczny. Do problemów natury technicznej należy zaliczyć przede wszystkim:

- pracę w technice analogowej,
- powszechne stosowanie kaset jako głównych nośników materiałów multimedialnych,
- ograniczony dostęp do materiałów na kasetach,
- konieczność ręcznego wyszukiwania i ustawiania materiałów zapisanych na kasetach,
- ograniczona żywotność kasety,
- konieczność wielokrotnych konwersji pomiędzy formatami obrazu i dźwięku,
- słabe zabezpieczenia przed awarią sprzętu.

W zakresie logistyki zauważono następujące problemy:

- ręczne obliczanie planu emisji, trudności przy występowaniu opóźnień w realizacji planu emisji,

- brak systemowego wsparcia w wykonywaniu czynności emisyjnych,
- brak procedur podejmowania odpowiedzialnych decyzji,
- inne czynniki ludzkie (pomyłki, niedopatrzona, zaangażowanie pracowników do wykonywania powtarzalnych czynności).

3.2. Założenia projektowe systemu

Aby zaproponować koncepcję systemu automatycznej emisji, określono listę założeń, jakie powinien spełniać nowy system. Zadaniem wielu z nich jest wyeliminowanie problemów istniejących w dotychczasowym podejściu do procesu emitowania programów telewizyjnych w krakowskim ośrodku TVP.

Ogólne założenia systemu:

- system działający w technice cyfrowej;
- zastosowanie technologii znanych z współczesnych systemów informatycznych;
- sprzętowo-programowa implementacja systemu:
 - informacje multimedialne przechowywane w postaci plików komputerowych,
 - transmisja informacji (multimedialnych, sterujących, diagnostycznych) wewnątrz ośrodka telewizyjnego za pomocą sieci LAN i SAN,
 - zarządzanie informacjami wspomagają dedykowane aplikacje komputerowe (bazy danych, edytor planu emisji, itp.);
- preferowanie uznanych standardów telewizyjnych i informatycznych;
- modułowa architektura systemu;
- elastyczność i niezawodność rozwiązania;
- systemowe wsparcie realizacji czynności emisyjnych, które muszą być wykonywane przez człowieka;
- możliwość etapowej migracji do nowego systemu bez zakłóceń pracy obecnego systemu;
- wykorzystanie jak największej części infrastruktury obecnego systemu.

4. Koncepcja zautomatyzowanego systemu emisji

W projekcie systemu zdecydowano się zastosować podział warstwowy i organizacyjny, tzn. wyróżnia się trzy warstwy:

- 1) sprzętową,
- 2) programową,
- 3) organizacyjną.

Warstwa sprzętowa obejmuje specyfikację techniczną urządzeń stosowanych w systemie. Warstwa programowa określa możliwości oprogramowania i jego współpracę ze sprzętem. Natomiast w warstwie logicznej przedstawiono procesy, zadania użytkowników

systemu i ich relacje z oprogramowaniem oraz procedury postępowania.

W proponowanej koncepcji zastosowano także podział organizacyjny. Wyodrębniono 9 podsystemów, z których każdy odpowiada za realizację odrębnej funkcji. Funkcje te to:

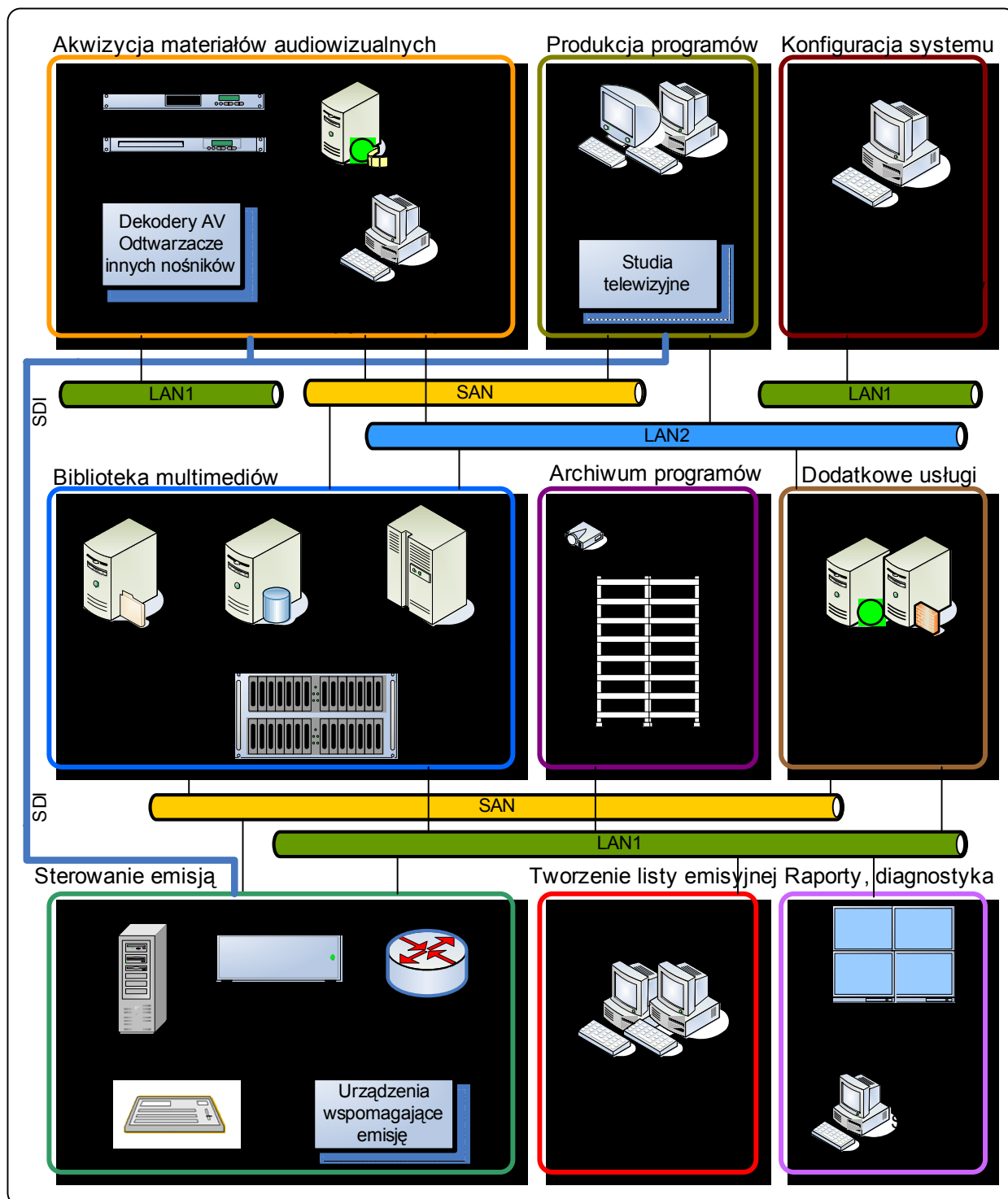
- akwizycja materiałów audiowizualnych⁷,
- gromadzenie i przechowywanie bieżących materiałów,
- archiwizacja programów, produkcja programów,
- sterowanie emisją,
- edycja listy emisyjnej,
- konfiguracja całego systemu,
- raportowanie i diagnostyka,
- realizacja dodatkowych usług.

Podsystemy realizujące powyższe funkcje i stosowane w nich urządzenia przedstawiono na rysunku 1. Część z wyodrębnionych podsystemów (np. produkcja programów) odpowiada rzeczywistym jednostkom organizacyjnym krakowskiego oddziału TVP, natomiast wydzielenie pozostałych ma charakter logiczny i może być podstawą do zmiany struktury organizacyjnej ośrodka w przyszłości. Chociaż automatyzacja emisji jest bezpośrednio związana z podsystemem sterowania emisją, to jednak jej wdrożenie wymusza wprowadzenie zmian w pozostałych podsystemach.

Na rysunku 1 zaznaczono połączenia między podsystemami. Szkielet nowego systemu stanowią: sieć pamięci masowej oraz sieci lokalne oznaczone na rysunku odpowiednio jako SAN, LAN1 i LAN2. Sieć SAN odpowiada za dystrybucję danych pomiędzy urządzeniami pamięci masowych, serwerem plików i serwerami wizyjnymi. Sieć lokalna, oznaczona na rysunku jako LAN2, służy do transmisji danych między biblioteką multimedialną, a stacjami roboczymi, których zadaniem jest wprowadzanie materiałów do systemu, produkcji, montażu nieliniowego oraz post-produkcji. Do zadań sieci LAN2 należy też transmisja mediów do innych ośrodków telewizji oraz – w przyszłości – do realizacji funkcji związanych z telewizją interaktywną. Druga z sieci LAN – LAN1 – posłuży do sterowania urządzeniami oraz nadzoru nad emisją. Ponieważ sieć LAN1 ma krytyczne znaczenie dla ciągłości emisji, to odseparowano ją od innych sieci.

Zarówno sieć SAN jak i sieci LAN powinny być wykonane z zapewnieniem pełnej redundancji połączeń. Sieci podstawowe można zbudować przy użyciu tej samej infrastruktury, natomiast sieci zapasowe, korzystające ze wspólnego okablowania powinny być poprowadzone rozdzielnie w stosunku do sieci podstawowej. Okablowanie obu sieci – włókna światłowodowe – ma uwzględniać możliwość przyszłej pracy w standardzie

⁷ ang. *media ingest*



Rys. 1. Podział organizacyjny w projektowanym systemie automatycznej emisji

10 Gbit/s Ethernet. Okablowanie strukturalne musi być wykonane w całym budynku w taki sposób, aby umożliwiać przenoszenie komponentów systemu między pomieszczeniami.

Do prowadzenia emisji „na żywo” zostanie użyte istniejące okablowanie dystrybucji sygnałów SDI wraz z krosownicą automatyczną Venus i mikserem Saturn firmy Grass Valley. W przyszłości konieczne będzie

przystosowanie tego systemu do pracy z sygnałami HD (*High Definition*), jednakże ta zmiana nie wpłynie na architekturę pozostałej części systemu emisji.

Przy planowaniu wprowadzenia telewizji interaktywnej należy wziąć pod uwagę możliwość wykorzystania łączy szerokopasmowych jako medium transmisyjnego dla sygnału telewizyjnego wysyłanego do odbiorcy oraz danych przesyłanych dwukierunkowo. Rozwiązanie

takie pozawala świadczyć usługi VoD (*Video on Demand*) czy też IPTV. W warstwie sprzętowej oznacza to dodanie serwera internetowego korzystającego bezpośrednio z zasobów biblioteki multimedialnych.

4.1. Podsystem akwizycji multimedialnych

W tym podsystemie zostanie użyta większość urządzeń stosowanych dotychczas. Zmieni się jedynie cel ich zastosowania. Poprzednio magnetowidy były stosowane jako podstawowe maszyny emisyjne. W nowym projekcie ich przeznaczeniem będzie cyfryzacja materiałów już posiadanych. Dodatkowo mogą one służyć jako półautomatyczne urządzenia odtwarzające, używane w razie awarii serwerów wizyjnych. Modernizacja istniejących urządzeń (odtwarzających, tunerów i kodeków sprzętowych) będzie polegać na dodaniu wewnętrznego lub zewnętrznego modułu konwertującego analogowy sygnał komponentowy do postaci cyfrowej, możliwej do przesłania za pomocą protokołu SDI. Nowym rozwiązaniem będzie zastosowanie serwera wizyjnego i stacji roboczych, które będą pośredniczyć (kompresować i zapisywać do plików oraz umożliwiać edycję metadanych) podczas wprowadzania i katalogowania materiałów audio i wideo do biblioteki multimedialnych. Zastosowany w rozwiązaniu serwer wizyjny będzie służyć do automatycznej (na podstawie planu) oraz ręcznej rejestracji programów.

Biblioteka multimedialnych

Biblioteka multimedialnych jest centralnym punktem gromadzenia i przechowywania wszelkiego rodzaju materiałów telewizyjnych. Materiał multimedialny, który trafia do podsystemu biblioteki, w zależności od swojego przeznaczenia, jest obsługiwany przez inny jej element. Biblioteka multimedialnych to system zbudowany z następujących urządzeń:

- serwer baz danych,
- serwer plików,
- macierz dyskowa,
- archiwum taśmowe (ang. *cart machine*),
- system czytników kodów kreskowych (w archiwum).

W zaproponowanym rozwiązaniu macierz dyskowa stanowi przestrzeń do przechowywania plików bazy danych oraz materiałów multimedialnych. Rozmiar macierzy oszacowano na 3 TB. Umożliwi to przechowywanie do ok. 80 h programów zrealizowanych w technice HDTV albo ok. 430 h programów w niższej jakości SDTV. Macierz będzie zbudowana z wielu dysków twardych pracujących w trybie RAID-5 (lub podobnym), co zapewni ochronę danych w przypadku awarii części dysków. Dodatkowo przewidziano możliwość replikacji całej zawartości macierzy do drugiego takiego urządzenia pracującego w trybie „tylko do odczytu”. Druga macierz, przyłączona do tej samej sieci

SAN, może również udostępniać dane w przypadku awarii lub dużego obciążenia macierzy podstawowej.

Archiwum taśmowe, to drugie, znacznie bardziej pojemne miejsce przechowywania zawartości multimedialnej. Proponowana pojemność podstawowa archiwum to 10 TB. Na taśmy trafiać będą materiały, z których korzysta się rzadziej. Archiwum połączone będzie z resztą biblioteki multimedialnych dzięki sieci SAN. Operator archiwum będzie mógł, w wypadku przepełnienia szafy, zdecydować które z taśm można umieścić w tradycyjnym archiwum. Do identyfikacji taśm z archiwum tradycyjnego zaleca się wdrożyć system kodów kreskowych i ich czytników, wspólny dla archiwum taśmowego i tradycyjnego. Uprości to znacząco zarządzanie nośnikami.

Serwer bazy danych i serwer plików to wydajne komputery, zapewniające użytkownikom katalog zawartości multimedialnej zgromadzonej w macierzy i archiwum taśmowym oraz udostępniające interfejsy dostępu do danych. Dyski serwera plików powinny też służyć jako pamięć podręczna dla najczęściej wykorzystywanych materiałów. Ponieważ oba serwery będą w tej samej konfiguracji, w przypadku trwałego uszkodzenia jednego z nich możliwe będzie – na czas usuwania usterki – przejście funkcji uszkodzonego serwera przez drugi komputer i realizacja obu funkcji na tym samym sprzęcie.

4.2. Podsystem emisji

Zgodnie z wcześniejszymi założeniami, podstawowym urządzeniem emisyjnym są cyfrowe serwery wizyjne, z których będzie emitowana całość programu (oprócz transmisji „na żywo”). We współpracy z serwerem emisyjnym, serwer wizyjny na podstawie listy emisyjnej pobiera z biblioteki multimedialnych potrzebne nagrania i emituje je we właściwym czasie z lokalnego dysku. W podstawowej wersji systemu przewidziano dwa serwery wizyjne, aby umożliwić obsługę serwisową jednego z nich z zachowaniem ciągłości emisji.

Głównym elementem systemu automatyki jest serwer emisyjny. Jego zadaniem jest koordynacja i sterowanie emisją na podstawie listy emisyjnej⁸ i dodawanie efektów do obrazu. W systemie przewidziano jeden podstawowy serwer emisyjny. Możliwe będzie jednak rozbudowanie systemu o serwer zapasowy.

Serwer urządzeń⁹, to urządzenie pośredniczące pomiędzy serwerem emisyjnym i urządzeniami emisyjnymi starszej generacji, sterowanymi z interfejsu RS-422 lub GPI. Jego zadaniem będzie konwersja komunikatów sterujących przesyłanych w sieci LAN1 do postaci akceptowanej przez firmowe protokoły, używane przez starsze urządzenia.

⁸ ang. *play list*

⁹ ang. *device server*

Pozostałe urządzenia, wspomagające emisję, używa się również w dotychczasowym systemie. Należą do nich: krosownica automatyczna, generatory grafiki¹⁰, mikser i generator teletekstu.

5. Wdrożenie i rozbudowa systemu

Aby pomyślnie wdrożyć cały system konieczne jest opracowanie warstwy logistycznej – czyli sporządzenie norm i zaleceń postępowania oraz określenie ról pracowników w poszczególnych podsystemach.

Przygotowane zostały dwa scenariusze wdrożenia nowego systemu. Pierwszy z nich zakłada utworzenie systemu równoległe do istniejącego rozwiązania, przetestowanie go i jednorazowe przełączenie na nowy system emisji. Drugi scenariusz przewiduje stopniową modernizację kolejnych podsystemów w ramach istniejącego systemu tak, aż zostaną zmodernizowane wszystkie jego składniki. Takie podejście umożliwia rozłożenie wydatków w dłuższym czasie, jednakże jego realizacja powoduje więcej komplikacji w związku z długim czasem trwania okresu przejściowego.

6. Zakończenie

W pracy omówiono wstępną koncepcję zautomatyzowanego systemu emisji sygnałów TV. Wdrożenie przedstawionego projektu systemu emisji byłoby dużym krokiem w modernizacji krakowskiego ośrodka TVP. Ponadto pozwoliłoby wyeliminować przyczyny niekorzystnego stanu, w jakim znajduje się obecnie ośrodek. Koncepcja, którą zastosowano w projekcie, tj. modułowa architektura systemu, w której zaproponowano elastyczne rozwiązania informatyczne i telekomunikacyjne oraz cyfryzację wszystkich informacji gromadzonych w systemie emisji, zapewnia możliwość łatwego wprowadzania zmian i ich stopniowej realizacji. To z kolei pozwala wprowadzić i skutecznie realizować politykę modernizacji systemów nadawczych w TV.

Należy ponadto zaznaczyć, że system był opracowywany z myślą o konkretnym ośrodku TV, tzn. TVP 3 Kraków, jednakże modułowa architektura systemu, umożliwi także zastosowania tego systemu (być może z pewnymi zmianami) do modernizacji systemów emisji w pozostałych ośrodkach regionalnych TVP.

Literatura

- [1]. Hulicki Z., red.: *Interaktywne usługi multimedialne na platformie DVB*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1999
- [2]. Hubicki W., Żrebic W.: *Koncepcja i wstępny projekt zautomatyzowanego systemu emisji sygnałów TV w ośrodku regionalnym TVP*. KT AGH, pr. dypl., grudzień 2006
- [3]. Maycock N.: *Broadcast automation: The next challenge*. BroadcastEngineering@, 1.09.2005
www.broadcastengineering.com
- [4]. Verner J.: *Effective workflow strategies for digital conversion*. BroadcastEngineering@, 09.2004

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.

Marek Solarz w 1989 r. uzyskał stopień mgra inż. w zakresie Elektroniki (specjalność Automatyka) na wydziale EAIiE, AGH. Od 1990 pracuje w Telewizji Polskiej, Oddział w Krakowie, gdzie od 2002 r. kieruje Wydziałem Realizacji Technicznej (m.in. emisją regionalnego programu TV).

¹⁰ ang. *on-air graphics*
