

Teraźniejszość i przyszłość telewizji cyfrowej

- aspekty techniczne

Alina Karwowska-Lamparska

Omówiono aktualną sytuację i rozwój nowoczesnych systemów telewizyjnych. Opisano kolejność cyfryzacji toru telewizyjnego. Szczególny nacisk położono na systemy emisyjne pierwszej i drugiej generacji.

telewizja cyfrowa, kompresja, MPEG-2, AVC/H264, DVB-C, DVB-S, DVB-T, DVB-C2, DVB-S2, DVB-T2

Wprowadzenie

Inspiracją do napisania tego artykułu, poświęconego aspektom technicznym stanu aktualnego i przyszłości telewizji cyfrowej, była ostatnia konferencja Media Forum zorganizowana przez niezależne Forum Operatorów Kablowych w Starych Jabłonkach w pierwszym półroczu 2011 r. Na zaproszenie organizatorów autorka niniejszego opracowania wzięła udział w Konferencji – była jedną z dyskusantek panelu. Tematyka artykułu obejmuje jedynie zagadnienia będące przedmiotem dyskusji na Forum.

Systemy cyfrowe[11] w porównaniu ze stosowanymi poprzednio systemami analogowymi mają szereg zalet, dzięki którym były one wprowadzane sukcesywnie we wszystkie obszary telekomunikacji. Wypierają one również stopniowo systemy analogowe w technice telewizyjnej.

W technice studyjnej cyfrowe przetwarzanie sygnałów umożliwia:

- łatwiejsze przeprowadzanie wielu procesów eksploatacyjnych (np. przetwarzanie standardów telewizyjnych, korekcję apertury),
- przebieg różnych procesów z dużą dokładnością, co było niemożliwe w technice analogowej (np. synchronizowanie sygnałów pochodzących z różnych źródeł),
- wprowadzanie nowych efektów specjalnych (np. efektów lustrzanych, śledzenie ruchu),
- łatwiejszą rejestrację sygnałów, dzięki możliwości przechowywania sygnału w układzie pamięci cyfrowej, a następnie odczytywania go w dowolnym czasie z dowolną szybkością,
- dużą stabilność pracy i niezawodność urządzeń, a także uniknięcie ich strojenia w czasie eksploatacji.

Przy emisji i transmisji sygnałów istotna jest ich bardzo duża odporność na szумы i zakłócenia, możliwość regeneracji sygnału, lepsze wykorzystanie pasma przesyłowego w danym kanale, zwiększenie liczby dostępnych kanałów oraz możliwość prostego zwielokrotniania sygnałów metodą podziału czasowego. Technika cyfrowa umożliwiła przyjęcie standardu emisyjnego, opartego na modulacji COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), a więc budowę sieci jednoczęstotliwościowej (SFN – *Single Frequency Network*).

Z punktu widzenia racjonalnego wykorzystania widma elektromagnetycznego wydaje się, że najważniejszą zaletą cyfryzacji transmisji telewizji w wolnej przestrzeni jest możliwość uwolnienia znacznych obszarów częstotliwościowych i przeznaczenia ich na dalszy rozwój telewizji programowej oraz na inne cele, w tym szerokopasmowego internetu.

Po stronie odbiorczej technika cyfrowa zapewnia możliwość uzyskiwania lepszej jakości odtwarzanych obrazów.

Wprowadzanie techniki cyfrowej do telewizji

Pełna cyfryzacja toru telewizyjnego [11] obejmuje docelowo cały tor telewizyjny od analizy sceny nadawanej do odtwarzania obrazu w odbiorniku abonentkim.

Wprowadzanie techniki cyfrowej do telewizji rozpoczęto od ośrodków studyjnych.^① Pierwszym istotnym krokiem w kierunku pełnej ich cyfryzacji było przyjęcie przez organizacje międzynarodowe (CCIR, obecnie UIT-R i OIRT) tzw. bazowego standardu telewizji cyfrowej dla studia, określającego podstawowe parametry wizyjnych sygnałów cyfrowych (1982, 1983 r.), a także standardu dla styków równoległych i szeregowych (1986, 1987 r.) oraz przyjęcie w 1986 r. standardu zapisu cyfrowego formatu D1 (na kasecie z taśmą 19 mm). W latach tych zbudowano też pierwsze cyfrowe studia telewizyjne. Obecnie wszystkie ośrodki studyjne są w pełni cyfrowe.

Przesyłanie cyfrowych sygnałów wizyjnych na większe odległości, ze względu na początkowo wymaganą znacznie większą niż dla sygnałów analogowych szerokość pasma częstotliwości toru transmisyjnego, było uzależnione od znalezienia sposobu ograniczenia strumienia informacji (szybkości bitowej) przy zachowaniu jakości odtwarzanego obrazu analogowego. Prace podjęte w tym zakresie dotyczyły tzw. kompresji sygnału. Kompresja sygnału wizyjnego jest procesem polegającym na usunięciu z niego nadmiaru informacji (redundancji), czyli elementów mało istotnych w odtwarzanym obrazie informacji, w celu przesłania go za pomocą mniejszej liczby bitów. Jeśli wszystkie usunięte informacje mogą być odtworzone po stronie odbiorczej kompresja jest procesem odwracalnym, zwykle jednak część z tych informacji jest bezpowrotnie tracona i kompresja jest wówczas procesem nieodwracalnym.

Podstawą kompresji jest oszczędne kodowanie. Opracowano wiele różnych podstawowych metod oszczędnego kodowania, jak np. kodowanie różnicowe, transformacyjne, hybrydowe, blokowe, płaszczyzn, wektorowe, piramidalne, interpolacyjne, subpasmowe, kodowanie krawędzi-wzorów, ciągu symboli i inne i ich kombinacje oraz kody zmniejszające szybkość bitową sygnału i kody o zmiennej długości słowa [8], [11].

Prace nad kompresją sygnałów wizyjnych rozpoczęto w końcu lat osiemdziesiątych, kiedy międzynarodowa organizacja normalizacyjna ISO (*International Organization for Standardization*) powołała grupy robocze JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) do opracowania standardu kompresji obrazów nieruchomych i MPEG (*Moving Picture Experts Group*) do opracowania standardów kompresji obrazów ruchomych [8]. Prace grupy MPEG trwają do dziś. Opracowywane standardy dotyczą metod nieodwracalnych. Standardy MPEG opierają się na przyjęciu modelu obrazu telewizyjnego w postaci trójwymiarowego zbioru elementów, przy czym dwa wymiary są związane z treścią obrazu, a trzeci stanowi funkcję czasu.

^① W Polsce ustawa o wdrożeniu naziemnej telewizji cyfrowej [23], zakłada, że przed końcem 2013 r. nastąpi całkowite zaprzestanie nadawania analogowego. Pociąga to za sobą sukcesywne przechodzenie na nadawanie cyfrowe na wybranych obszarach Polski. Ustawa narzuca pewne obowiązki dotyczące prowadzenia związanej z tym kampanii informacyjnej, oraz określa obowiązki przedsiębiorców zajmujących się sprzedażą odbiorników telewizyjnych.

Obecnie przy transmisji są stosowane dwa standardy kodowania sygnału wizyjnego: MPEG2 i AVC/H264 zwany również potocznie MPEG4. Określają one metody kompresji i kodowania sygnału wizyjnego, fonii i danych dodatkowych. Metody kompresji stosowane w tych standardach wykorzystują: korelację przestrzenną (kodowanie transformacyjne), korelację czasową (prognozowanie z kompensacją ruchu), właściwości ludzkiego oka, właściwości statystyczne programu (kodowanie ze zmienną długością słowa). Powyższe właściwości są wykorzystywane w stosowanych standardach w różny sposób, co umożliwia realizowanie wariantów różniących się parametrami technicznymi.

Tak więc opracowany w 1993 roku standard MPEG 2 [5] umożliwia zarówno transmisję obrazów wytwarzanych w standardzie europejskim 625 linii/50 Hz, jak i amerykańskim 525 linii/60 Hz, dopuszczalne są w nim także różne formaty obrazu, w tym 4:3 i 16:9, wybieranie może być międzyliniowe lub kolejnoliniowe. Standard ten może być wykorzystywany do kodowania obrazów o różnej rozdzielczości przy zastosowaniu różnych wariantów kompresji sygnałów. Standard AVC/H264 [6] jest naturalnym sukcesorem, cieszącym się dużym powodzeniem, standardu MPEG 2. Wykorzystuje on bardziej zaawansowane techniki kompresji oraz wiele dodatkowych narzędzi umożliwiających kodowanie i przetwarzanie sygnałów, jak adaptacyjny podział makrobloków do 4x4 próbek luminancji i specjalne tryby ich rekonstrukcji, kodowanie adaptacyjne sekwencji wizyjnych, zaawansowane prognozowanie wewnątrz- i międzyobrazowe i wieloobrazową kompensację ruchu.

Przesyłanie telewizyjnych sygnałów cyfrowych

Zapewnienie transmisji telewizyjnych sygnałów cyfrowych o określonej dla danej służby jakości i rozdzielczości wymaga odpowiedniej przepływności bitowej toru przesyłowego. Szybkość bitowa uzyskiwana w wyniku kompresji jest więc podstawowym parametrem systemu wpływającym na jakość odtwarzanego obrazu [12].

Metody przesyłania cyfrowych sygnałów wizyjnych na duże odległości zależą od wykorzystywanego medium transmisyjnego. Obecnie do transmisji sygnałów telewizji cyfrowej wykorzystywane są cztery rodzaje mediów transmisyjnych, charakterystycznych dla transmisji satelitarnej, transmisji kablowej, transmisji naziemnej i transmisji z wykorzystaniem protokołu IP (*Internet Protocol*).

W Europie systemy emisyjne telewizji cyfrowej: naziemnej, satelitarnej i kablowej zostały opracowane i znormalizowane w ramach projektu DVB (*Digital Video Broadcasting*). Opracowanie jednakowego systemu dla różnych środków przesyłowych było praktycznie niemożliwe, istnieją bowiem różnice między potrzebami i wymaganiami, wynikające ze specyfiki mediów transmisyjnych.

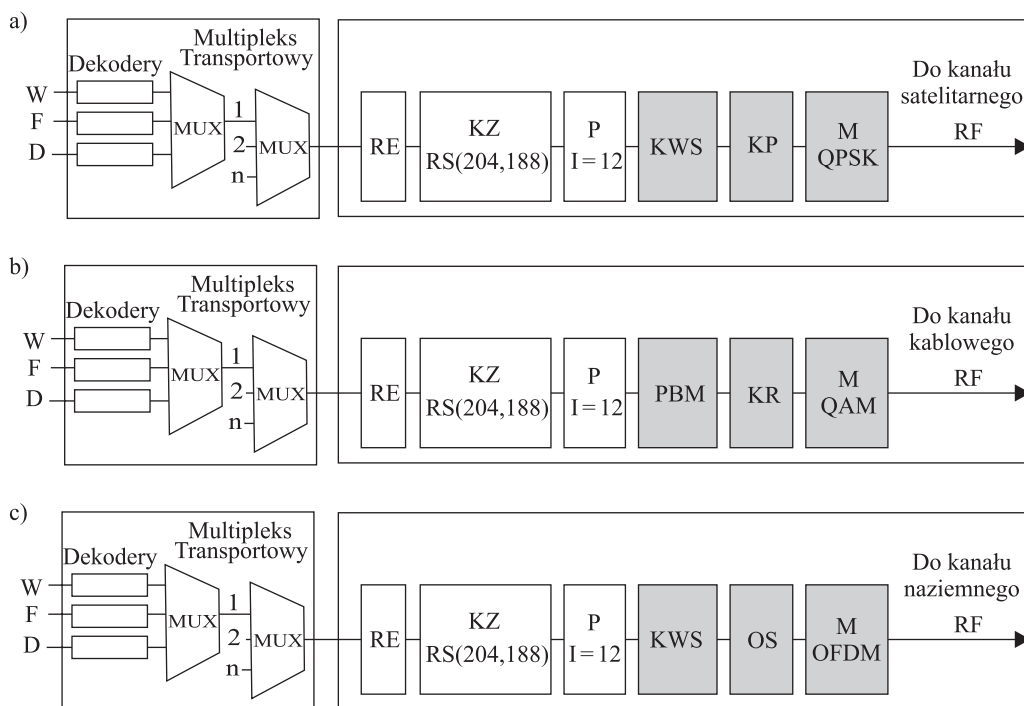
Dla systemów naziemnych założono, że kanały częstotliwościowe, w których emituje się sygnały telewizji cyfrowej, są identyczne z przyjętymi dla telewizji analogowej, a więc w Europie dla przeznaczonych do tego celu IV i V zakresach częstotliwości mają one szerokość 8 MHz. W systemach tych jest wymagana stosunkowo duża moc emitowana (w porównaniu z mocą wymaganą w pozostałych systemach). Są one ponadto wrażliwe na odbiór wielodrożny.

Systemy satelitarne umożliwiają wykorzystanie stosunkowo szerokiego pasma częstotliwości (ok. 20 MHz) oraz mniejszej mocy emitowanej. Występują w nich największe szумы. Są jednak prawie niewrażliwe na odbiór wielodrożny. Kanały telewizji kablowej mają, tradycyjnie, szerokość taką jak kanały telewizji naziemnej i mniejsze szумы. Systemy różnią się natomiast między sobą rozwiązaniem, budową i zasięgiem. Powstała więc potrzeba opracowania systemu, który miałby możliwie najwięcej elementów wspólnych w wymienionych trzech środkach transmisji, tj. jednakową metodę kodowania źródłowego i systemu zwielokrotniania sygnałów, a także zabezpieczenia przed skutkami

błędów cyfrowych pierwszego stopnia oraz specyficzne dla danego środka transmisji kodowanie kanałowe i system modulacji.

Przyjęto zatem, że powyższe trzy systemy wykorzystują system kodowania sygnałów wizyjnych i fonicznych według standardu MPEG. Sygnały źródłowe tworzą strumień transportowy MPEG 2-TS o strukturze multipleksu z podziałem czasowym, w którym oprócz skompresowanych sygnałów wizyjnych i fonicznych są przenoszone inne dane różnych służb. W systemach DVB stosuje się wspólną informację SI, niosącą szczegóły o systemie transmisyjnym i parametrach aktualnego przekazu. Zwielowokrotnianie strumienia transportowego o strukturze pakietowej stanowi podstawową cechę architektury tego systemu. Do korekcji błędów pierwszego stopnia stosuje się kody korekcyjne Reeda Solomona i przeplatanie bitów.

Przy wyborze metod kodowania kanałowego i systemów modulacji uwzględniono wymagania różnych mediów transmisyjnych. W celu maksymalnego ujednoczenia standardów rozsyłanych telewizji cyfrowej poza jednakowym systemem kodowania wykorzystuje się również taki sam system zwielowokrotniania danych MPEG-2 TS oraz pierwszy stopień zabezpieczenia sygnału danych przed błędami, różne są natomiast metody kodowania kanałowego i modulacji. Schematy blokowe trzech torów rozsyłanych satelitarne, kablowe i naziemne podano na rys. 1.



Rys. 1. Schematy blokowe cyfrowych systemów rozsyłanych: a) satelitarne, b) kablowe, c) naziemne. Oznaczenia: W – wizja, F – fonia, D – dane, KZ – kodowanie zewnętrzne, P – przeplatanie, KWS – kodowanie wewnętrzne splotowe, KP – kształtowanie pasma, M – modulacja, PBM – przetwarzanie bajtów na konstelację, KR – kodowanie różnicowe, OS – odwzorowywanie symboli

Wprowadzenie cyfrowych emisji telewizyjnych przy jednoczesnej eksploatacji systemów analogowych napotykało na pewne trudności ze względu na niewielką liczbę dostępnych kanałów częstotliwościowych. Niezbędne było więc przyjęcie systemu modulacji, który jest odporny na interferencje i odbiór wielodrożny. Systemem takim jest system modulacji cyfrowej COFDM, polegający na modulacji strumieniem danych cyfrowych wielu nośnych, wzajemnie ortogonalnych. Każda z nośnych jest więc modulowana strumieniem danych tyle razy wolniejszym, ile jest nośnych. Sygnały danych modulują nośne metodą M-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) zależnie od wymagań może to być modulacja QAM, 16QAM lub 64QAM, widmo zmodulowanych nośnych odpowiada funkcji x/x , sąsiednie nośne mają amplitudy maksymalne w punktach zerowych innej nośnej. Modulacja i demodulacja nośnych jest przeprowadzana za pomocą szybkiej transformaty Fouriera (FFT – *Fast Fourier Transform*).

Sygnały COFDM są zabezpieczone przed odbiorem wielodrożnym przez tzw. odstępy ochronne (*Guard Intervals*) Po każdym symbolu przekazującym dane cyfrowe jest stosowany odstęp ochronny o długości $1/4-1/32$ (zależnie od wymagań dotyczących zabezpieczenia). W czasie trwania tego odstępu są powtarzane dane przesyłane w końcowej części symbolu. Im dłuższe są odstępy ochronne, tym bardziej skuteczne jest absorbowanie ech i zakłóceń. Jednak odbywa się to kosztem zmniejszenia użytecznego strumienia danych.

W systemie telewizji naziemnej jest możliwe również dwupoziomowe hierarchiczne kodowanie kanałowe i modulacja. Nadawane są wówczas jednocześnie: wersja o małym strumieniu danych, odporna na zakłócenia oraz wersja o większym strumieniu danych i o mniejszej odporności. Zależnie od jakości odbioru, odbiornik wybiera i demoduluje jedną z tych wersji. W systemie dwupoziomowym zastosowano do kodowania wewnętrznego protekcyjny, „dziurkowany” kod splotowy, 64-stanowy, o sprawnościach „dziurkowania” $1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$ (taki jak w telewizji satelitarnej). Po kodowaniu splotowym zastosowano przeplatanie wewnętrzne, bit po bicie o rozmiarze przeplotu zależnym od stosowanego rzędu modulacji QAM. W wyniku tego do modulatora OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) są doprowadzone bity w pełni nie skorelowane dla zabezpieczenia przed błędami grupowymi.

Sygnały te są następnie rozkładane według stosowanej konstelacji QAM oraz organizowane w ramki zawierające 96 symboli OFDM i taką samą liczbę odstępów bezpieczeństwa. Każda ramka zawiera 93 symbole danych oraz 3 symbole przekazujące sygnały odniesienia oraz informacje o parametrach emisji TPS (konstelacja QAM, sprawność kodu wewnętrznego i wielkość odstępu bezpieczeństwa). Sygnały OFDM są następnie przetwarzane w postać analogową i sterują wzmacniacz mocy nadajnika.

Zastosowanie modulacji COFDM umożliwia budowę sieci pojedynczej częstotliwości SFN (*Single Frequency Network*). Wpływ drugiego nadajnika, pracującego na tej samej częstotliwości i o tej samej mocy zależy od wielkości odstępu ochronnego i od czasu trwania symbolu OFDM, czyli od liczby nośnych.

Będąca w eksploatacji od wielu lat cyfrowa telewizja satelitarna jest bardzo dobrej jakości, oczywiście po stronie odbiorczej zależy od urządzeń antenowych i odbiorczych. W przeciwieństwie do naziemnych i kablowych kanałów transmisyjnych, kanał satelitarny charakteryzuje się szerokim pasmem częstotliwości oraz ograniczeniami mocy. Wzmacniacze mocy transponderów pracują w pobliżu nasycenia, a więc w warunkach wysokiej sprawności energetycznej. Dla tych parametrów najbardziej odpowiednie jest zastosowanie modulacji cyfrowej QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), która jest stosunkowo odporna na szumy i interferencje, mogące powodować błędy w przesyłanym sygnale, ale której sprawność wynosi jedynie 2 bit/s/Hz. Zależnie od mocy nadajnika oraz wymaganej skuteczności odbioru i średnicy anten odbiorczych, jest stosowane odpowiednie wewnętrzne zabezpieczenie przed błędami w postaci kodów splotowych o różnych sprawnościach: $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ i $7/8$. Kodowanie splotowe o sprawności $1/2$ zapewnia bardzo skuteczne zabezpieczenie przed błędami, ale dwukrotnie zwiększa strumień przekazywanych danych. Oznacza to dwukrotne zmniejszenie użytecznego strumienia danych, jaki można przesłać.

Przesyłanie sygnałów cyfrowych w sieciach telewizji kablowej jest względnie łatwe, ponieważ sieci te są torami liniowymi o dużym stosunku sygnału do szumu. Jednak przyjęta szerokość pasma częstotliwości kanału jest taka sama jak w telewizji naziemnej, a więc 8 MHz. Pociąga to za sobą konieczność stosowania metod modulacji cyfrowej o większej skuteczności niż w telewizji satelitarnej. Taką metodą modulacji jest kwadraturowa modulacja amplitudowo-fazowa (QAM). Dla telewizji kablowej przyjęto stosowanie modulacji M-QAM, gdzie $M = 16, 32$ lub 64 . Im większa jest liczba stanów M , tym większa skuteczność modulacji, ale tym mniejsza odporność sygnału na szумы i zakłócenia. Jakość odbioru dla przyjętego systemu zależy również od stosowanych przez operatora urządzeń stacji głównej i sieci kablowej.

Wykorzystanie czwartego, obok wykorzystywanych przez telewizję naziemną, satelitarną i kablówą medium transmisyjnego w postaci szerokopasmowych sieci telekomunikacyjnych, działających z wykorzystaniem protokołu IP umożliwia udostępnienie szerszego zakresu usług i dużo większą interaktywność niż w przypadku pozostałych mediów transmisyjnych. Oglądający ma bardzo wiele możliwości kreowania własnego programu telewizyjnego z doбором repertuaru audycji i czasu ich emisji oraz uzyskuje dostęp do wielu dodatkowych usług, np. gier sieciowych, skrzynki pocztowej, informacji lokalnych itd. Ponadto dzięki stworzeniu bazy danych, stanowiącej archiwum programów, może mieć dostęp do kodowanej cyfrowo treści w trybie na żądanie.

W Europie systemy emisyjne zostały znormalizowane w ramach ETSI w następujący sposób:

- dla telewizji satelitarnej przyjęto modulację QPSK [16],
- dla telewizji kablowej przyjęto modulację QAM [17],
- dla telewizji naziemnej przyjęto modulację COFDM [18], która wykorzystuje zwielokrotnienie częstotliwościowe na ortogonalnych nośnych i jest wyjątkowo odporna na zniekształcenia spowodowane wielodrogową propagacją fal elektromagnetycznych.

Systemy drugiej generacji

Kolejne lata przyniosły dalszy szybki rozwój emisyjnych systemów cyfrowych – systemy drugiej generacji. Było to spowodowane przede wszystkim potrzebami rynku i wynikało z doświadczeń nabytych podczas eksploatacji systemów pierwszej generacji.

Ponieważ pierwszą powszechnie wykorzystywaną była cyfrowa telewizja satelitarna, to już w 2005 r. został zaproponowany system **DVB-S2** [2], charakteryzujący się:

- Zastosowaniem bardzo efektywnego systemu wyprzedzającej korekcji błędów (FEC – *Forward Error Correction*), umożliwiającego uzyskiwanie bezbłędnych warunków odbioru (QEF – *Quasi Error Free*) w obecności wysokich poziomów szumów i interferencji. System FEC jest oparty na połączeniu kodowania wewnętrznego LDPC (*Low Density Parity Check*) z BCH (*Bose-Chaudhuri-Hoquengham*).
- Zmiennym kodowaniem i modulacją (VCM – *Variable Coding and Modulation*), umożliwiającym optymalne wykorzystanie widma, oparte na odpowiednim priorytecie danych wejściowych.
- Adaptownym kodowaniem i modulacją (ACM – *Adaptive Coding and Modulation*), co pozwala na zmianę parametrów transmisyjnych z ramki na ramkę w zależności od szczególnych warunków drogi przesyłowej do indywidualnego użytkownika. Jest ono przeznaczone głównie do interaktywnych usług unicastowych i zastosowań profesjonalnych punkt-punkt.
- Czterema trybami modulacji:
 - QPSK i 8PSK, które są stosowane przy emisji sygnałów i mogą być stosowane w transponderach nieliniarnych pracujących w pobliżu nasycenia,

- 16APSK i 32APSK, które są stosowane głównie w profesjonalnych zastosowaniach półlinearnych, może również być stosowany w emisji, wymaga jednak wówczas wyższego poziomu stosunku fali nośnej do szumu C/N i przyjęcia zaawansowanych metod w stacji linii dosyłowej, aby zmniejszyć efekt nielinearności transpondera.
- Elastycznym strumieniem wejściowym MPEG 2 TS (generyczny, zwielokrotniony, w różnych formatach, przenoszący między innymi sygnały MPEG 4 AVC/H 264 i IP).
- Trzema przebiegami charakterystyki widmowej o różnym spadku (0,20, 0,25 i dotychczasowym 0,30).
- Różnymi szybkościami kodowymi dla różnych konfiguracji parametrów transmisyjnych: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, i 9/10, np. szybkości kodowe 1/4, 1/3 i 2/5 są stosowane w przypadku złego odbioru w połączeniu z modulacją QPSK.
- Zwiększeniem przepustowości transpondera.
- Opcjonalną kompatybilnością wsteczną, wykorzystującą modulację hierarchiczną umożliwiającą pracę odbiorników DVB-S podczas transmisji nowych informacji.
- W zależności od sprawności kodu i modulacji, system może pracować ze stosunkiem C/N od -24 dB (QPSK,1/4) do 16 dB (32APSK,9/10) przy pakietowej stopie błędów dla odbioru bezbłędnego TS równej 10^{-7} .

System DVB-S2 znajduje się obecnie w eksploatacji obok systemu DVB-S. Przykładowe porównania systemów DVB-S i DVB-S2 dla satelity o mocy EIRP równej 51 dBW i 53,7 dBW podano odpowiednio w tablicach 1 i 2.

Tabl. 1. Porównanie systemów DVB-S i DVB-S2 dla satelity o mocy EIRP 51 dBW

System	DVB-S	DVB-S2
Modulacja i kodowanie	QPSK 2/3	QPSK 3/4
Szybkość symbolowa [Mbaud]	27,5 (a = 0,35)	30,9 (a = 0,2)
C/N (w 27,5MHz) [dB]	5,1	5,1
Użyteczna szybkość bitowa [Mbit/s]	33,8	46 (wzmocnienie = 36%)
Liczba programów SDTV	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC
Liczba programów HDTV	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC

Tabl. 2. Porównanie systemów DVB-S i DVB-S2 dla satelity o mocy EIRP 53,7 dBW

System	DVB-S	DVB-S2
Modulacja i kodowanie	QPSK 7/8	QPSK 2/3
Szybkość symbolowa [Mbaud]	27,5 (a = 0,35)	29,7 (a = 0,25)
C/N (w 27,5MHz) [dB]	7,8	7,8
Użyteczna szybkość bitowa [Mbit/s]	44,4	58,8 (wzmocnienie = 32%)
Liczba programów SDTV	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Liczba programów HDTV	1-2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 6 AVC

Nowe rozwiązanie systemu naziemnego, którym jest **system DVB-T2** [3] jest rozwinięciem systemu DVB-T. Umożliwia on:

- lepsze wykorzystanie widma przy niewielkich kosztach konwersji z technologii DVB-T na DVB-T2,
- dzięki wprowadzeniu do systemu kolejnego rodzaju modulacji podnośnych, 256QAM, zwiększenie o 30–50% przepływności strumienia danych (w porównaniu z uzyskiwaną w systemie DVB-T), a więc przepływność ok. 46 Mbit/s,
- współpracę przez transkoder z już zainstalowanymi urządzeniami odbiorczymi DVB-T, tzw. zgodność transmisyjną w „dół”.

Dla systemu DVB-T2 przyjęto następujące parametry:

- Modulacja OFDM z wykorzystaniem modulacji podnośnych QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM.
- Tryby OFDM 1K, 2K, 4K, 8K, 16K i 32K.
- Długość okresu ochronnego: 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128 i 1/4.
- Kodowanie korekcyjne LDPC oraz BCH ze sprawnościami 1-2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 i 5/6.
- Liczba kanałów pilotowych mniejsza niż w DVB-T, występujących w 8 różnych wzorach.
- W trybie 32K może być wykorzystana większa część pasma, co umożliwi powiększenie przepływności o kolejne 2%.
- Specyfikacja DVB-T2 zawiera możliwości wykorzystania kanałów o szerokościach 1,7; 5; 6; 7; 8 i 10 MHz.

W tabelicy 3 przedstawiono podstawowe parametry systemów DVB-T i DVB-T2. Natomiast zwiększenie wydajności w strumieniu multipleksu w wyniku zastosowania technologii DVB-T2 w przeliczeniu na liczbę programów przy zastosowaniu odpowiedniego standardu kompresji i kodowania przedstawiono w tabelicy 4.

Tabl. 3. Podstawowe parametry systemów DVB-T i DVB-T2

System	DVB-T	DVB-T2
Kodowanie	Kodowanie splotowe + ReedSolomona	LDPC + BCH
Sprawność kodu FEC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Rodzaj modulacji podnośnych	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Okresy ochronne	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Liczba podnośnych FFT	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K
Rozproszone kanały pilotowe	8% wszystkich	1%, 2%, 4%, 8% wszystkich
Ciągłe kanały pilotowe	2,6% wszystkich	0,35% wszystkich
C/N [dB]	14 - 19	10 - 20
Przepływność [Mbit/s]	13 - 24	13 - 36,5

Tabl. 4. Wydajność w strumieniu multipleksu przy różnych standardach kompresji i kodowania

Standard rozdzielczości obrazu	Standard kompresji i kodowania	Przepływność danych wizji [Mbit/s]	Przepływność danych towarzyszących [Mbit/s]	Razem przepływność jednego programu [Mbit/s]	Liczba programów DVB-T* w strumieniu multipleksu	Liczba programów DVB-T2* w strumieniu multipleksu
SD	MPEG 2	3,00	0,55	3,55	6	10
SD	MPEG 4/AVC	2,10	0,55	2,65	9	13
HD-720p	MPEG 4/AVC	7,50	0,55	8,05	3	4
HD-1080i	MPEG 4/AVC	8,25	0,55	8,80	2	4

*technologia DVB-T 64-QAM-2/3-8k-GI 1/32
DVB-T2 256-QAM-2/3-16k-GI 1/32

System ten jest obecnie eksploatowany w Wielkiej Brytanii. Próbną eksploatację są prowadzone w Serbii, Finlandii, Słowacji, Austrii, Szwecji, Czechach, Niemczech, Hiszpanii, i Włoszech. Zainteresowanie systemem zgłosiły również administracje: Indii, Australii, Kenii, Malezji, Singapuru i Tajlandii.

System telewizji kablowej cyfrowej drugiej generacji **DVB-C2** to system transmisji programów telewizyjnych i radiowych (telewizja cyfrowa, radio cyfrowe) w sieci szerokopasmowej umożliwiający dystrybucję sygnałów pochodzących z dowolnej sieci szkieletowej (ATM, SDH, IP, satelitarna) oraz oferty programowo-usługowej odbieranej i tworzonej przez regionalnego lub lokalnego operatora sieci kablowej w formie cyfrowej.

Sygnały doprowadzane są do terminali abonenckich STB, umożliwiających odbiór programów radiowych i telewizyjnych, oraz telewizję interaktywną, dostęp do sieci internet, wideo i audio na żądanie (VOD) i zarządzanie treścią usług VOD, system dostępu i rozliczania abonentów, gry sieciowe itp. Operator tego systemu zmienia swoją pozycję rynkową z oferenta usług odbioru programów radia i telewizji na dostawcę zaawansowanych usług telekomunikacyjnych, podnosi jakość oferowanych usług, staje się konkurentem zarówno innych operatorów kablowych, jak i innych rodzajów sieci dostępowych.

Opracowany w 2010 r. system DVB-C2 [4] jest systemem podobnym do systemu DVB-T2 i charakteryzuje się:

- Sygnałem wejściowym zarówno MPEG 2 TS, jak i DVB GSE (*Generic Stream Encapsulation*), przewidzianym specjalnie do transmisji sygnałów IP.
- Modulacją OFDM z wykorzystaniem modulacji podnośnych eQAM.
- Użytecznym pasmem częstotliwości 1GHz.
- Brakiem kompatybilności wstecznej do systemu DVB-C.
- Uzyskaniem zwiększenia w stosunku do systemu DVB-C wydajności widma o 35%, a w nowoczesnych sieciach HFC o 60%.
- Szybkością bitową 5-64 Mbit/s (większą o 33% niż w systemie DVB-C).
- Odpornością na błędy większą o 7 dB niż w systemie DVB-C. Wyprzedzającą korekcją błędów FEC złożoną z kodu zewnętrznego BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) oraz kodu wewnętrznego LDPC (*Low-Density-Parity-Check*).
- Przeplataniem dwuwymiarowym (w dziedzinie czasu i częstotliwości) w celu umożliwienia eliminacji wpływu zakłóceń chwilowych oraz zaników częstotliwości w odbiorniku.

W tabelicy 5 przedstawiono porównanie systemów DVB-C i DVB-C2.

Tabl. 5. Porównanie systemów DVB-C i DVB-C2

	DVB-C	DVB-C2
Sygnał wejściowy	Pojedynczy strumień transportowy	Zwielokrotniony strumień transportowy, Strumień generyczny (GSE)
Tryby pracy	Stałe kodowanie i modulacja	Zmienne kodowanie i modulacja
Wyprzedzająca korekcja błędów (FEC)	Reeda Solomona (RS)	LDPC + BCH
Przeplatanie	Przeplatanie bitów	Przeplatanie bitów w czasie i częstotliwości
Modulacja	QAM z jedną nośną	COFDM
Sygnaly pilotowe	Nie stosowane	Rozproszone i ciągłe
Odstęp ochronny	Nie stosowany	1/64 lub 1/128
Układy modulacji	16– do 256QAM	16- do 4096QAM

Telewizja IPTV [10]

Definicji IPTV (telewizja z wykorzystaniem protokołu IP) jest wiele. Jedna z nich określa ją jako jeszcze jedną formę oferowania telewizji cyfrowej, z rozbudowanymi możliwościami interakcji i usług na żądanie. Dodatkową zaletą IPTV jest możliwość jej naturalnego połączenia w usługę „triple play”, czyli wykorzystanie jednego kabla ethernetowego do przenoszenia kilku usług: telewizji, internetu i telefonii. Jako medium transmisyjne wykorzystuje się dla niej ponadto sieci telewizji kablowych oraz sieci szerokopasmowe pracujące z wykorzystaniem protokołu IP. Wśród tych ostatnich zdecydowanie dominują sieci na różnych odmianach techniki DSL, stosowanej również przez polskich operatorów telekomunikacyjnych do świadczenia w dużej skali usług szybkiego dostępu do internetu. a IPTV jest rozszerzeniem dotychczasowej funkcjonalności połączenia szerokopasmowego.

Istnieją dwa sposoby odbierania sygnałów IPTV w domu abonenta. Pierwszy z nich polega na połączeniu sieci abonenckiej bezpośrednio z przystawką abonencką (STB), w której następuje zamiana przychodzących pakietów na sygnał telewizyjny, odbierany na odbiornikach telewizyjnych. Drugi sposób polega na doprowadzeniu sieci internetową sygnałów IPTV bezpośrednio do abonenta i obserwacji programów na ekranie komputera stacjonarnego lub przenośnego, a w przyszłości na komputerze zintegrowanym z odbiornikiem.

Należy podkreślić, że IPTV nie polega na oglądaniu na ekranie komputera plików wizyjnych, ściąganych z internetu lub też korzystaniu z transmisji strumieniowej z poziomu stron WWW. Po pierwsze, IPTV nie korzysta z internetu, a z wydzielonej części sieci, co ma dwie istotne zalety, a mianowicie: jest znacznie bezpieczniejsze z punktu widzenia zagrożeń płynących z sieci, jak wirusy, ataki hakerów itp. oraz gwarantuje (teoretycznie) mniejszą podatność na zmiany dostępnej szybkości transmisji niż to ma miejsce w internecie. Po drugie, oglądający ma bardzo szerokie możliwości kreowania własnego programu telewizyjnego z doбором repertuaru audycji i czasu ich emisji oraz uzyskuje dostęp do wielu dodatkowych usług, np. gier sieciowych, skrzynki pocztowej, informacji lokalnych itd. Wreszcie po trzecie, z IPTV można korzystać mając telewizor podłączony do sieci za pośrednictwem przystawki telewizyjnej STB, która może być również dekoderym telewizji cyfrowej.

Wykorzystanie do transmisji sygnałów cyfrowych 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.

Zakończenie

Opracowanie cyfrowych systemów transmisyjnych drugiej generacji miało na celu polepszenie sprawności infrastruktury cyfrowej systemów transmisyjnych DVB. Obecnie jedynie system satelitarny DVB-S2 jest eksploatowany i to od kilku lat.

System telewizji kablowej DVB-C2 jest ściśle związany z systemem naziemnym DVB-T2. Są to systemy podobne, co znacznie ułatwia produkcję układów scalonych stosowanych w urządzeniach tych systemów. System DVB-T2 znajduje się obecnie w eksploatacji w Wielkiej Brytanii, w kilku krajach jest próbnie eksploatowany.

Uzyskanie jednak w systemie DVB-T2 wyższej sprawności infrastruktury cyfrowej (wzrost przepływności kanału umożliwiającej przesyłanie sygnałów Full HD), dzięki rozbudowanym konstelacjom punktów charakterystycznych powoduje pogorszenie warunków rozróżniania tych sygnałów, a więc gorszy stosunek sygnału do szumów tła. W praktyce oznacza to, że użyteczny zasięg poprawnego odbioru sygnału maleje, a jedynym antidotum na jego ograniczenie jest podwyższenie mocy nadawania. Ponieważ dowolne kształtowanie mocy emisyjnej jest niemożliwe, skutkuje to zmniejszeniem zasięgu realnego odbioru. Do operatora należy więc wybór, albo szersze pasmo (full HD) na mniejszym terenie, albo mniejsza przepływność na terenach rozległych.

Systemy IPTV, w przeciwieństwie do standardowego szybkiego dostępu do internetu, muszą mieć zagwarantowaną minimalną przepływność. W przypadku jej braku jakość odbioru znacznie pogarsza się i występują zniekształcenia, takie jak efekty poklatkowe, interpolacje, utrata synchronizacji a także przerywanie połączenia. Operatorzy muszą więc zarówno udostępnić widzom odpowiednio wydajne łącze internetowe, jak i zagwarantować odpowiednio szybką transmisję danych przez dłuższy czas. Pociąga to za sobą szereg wymagań technicznych w odniesieniu do sieci zarówno po stronie operatora, jak i użytkownika. Najważniejsze to większe zapotrzebowanie na pasmo i sposoby ograniczania tego pasma oraz parametry związane z jakością usług, jak stopień utraty pakietów, opóźnienie i degradacja usługi.

Bibliografia

- [1] *Comparison between DVB-S and DVB-S2 for TV broadcasting*: EBU Technical Review, 10/04
- [2] ETSI EN 302 307: *Digital video broadcasting (DVB) – Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*
- [3] ETSI EN 302 755: *Digital video broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*
- [4] ETSI EN 302 769: *Digital video broadcasting (DVB)); Framing structure channel coding and modulation for a second generation cable systems (DVB-C2)*
- [5] ISO/IEC 13818-2:2000: *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video*
- [6] ISO/IEC 14496-10:2005: *Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 10: Advanced video coding*
- [7] Jaeger D., Hasse P., Joerg R.: *DVB-C2 the second generation transmission technology for broadband cable, DVB – The family of international standards for video broadcasting*. Red. Reimers U., Berlin, Springer, 2005
- [8] Karwowska-Lamparska A.: *Kodowanie oszczędne sygnałów wizyjnych i kodowanie protekcyjne*. Warszawa, TVP SA, 1994
- [9] Karwowska-Lamparska A.: *Perspektywy telewizji cyfrowej, internetowej i multimedialnej*. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, 2001, nr 1

- [10] Karwowska-Lamparska A.: *Telewizja internetowa (IPTV) i metody jej oceny*. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, 2008, nr 4
- [11] Karwowska-Lamparska A.: *Telewizyjne systemy cyfrowe*. Warszawa, WKŁ, 1993
- [12] Karwowska-Lamparska A.: *Telewizyjne systemy emisyjne*. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, 2005, nr 4
- [13] MacKay D.J.C.: W: *Good error-correcting codes based on very sparse matrices*. IEEE Transactions on Information Theory, 1999, no. 2
- [14] Marti B. i inni: *European activities on digital television broadcasting*. EBU Technical Review, summer, 1993
- [15] Mierzejewski J.: *Odbiornik telewizyjny cyfrowy*. W: *Vademecum techniki audio-video*, zeszyt 2, Warszawa, WNT, 1991
- [16] PN EN 300 421: *Digital video broadcasting (DVB) – Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S)*
- [17] PN ETSI EN 300 429: *Digital video broadcasting (DVB) – Framing structure, channel coding and modulation for cable systems (DVB-C)*
- [18] PN ETSI EN 300 744: *Digital video broadcasting (DVB) – Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T)*
- [19] *2-th generation satellite DVB S2*. DVB Fact Sweet 9/10
- [20] Shannon C.E.: *Communication in the presence of noise*. Proc. IRE, 1949, vol. 37, no. 1
- [21] Siwicka W.: *Perspektywy cyfrowych emisji telewizyjnych*. Przegląd Techniki Radio i Telewizja w Publikacjach Zagranicznych, 1996, nr 1
- [22] Siwicka W.: *Systemy emisyjne telewizji cyfrowej*. Przegląd Techniki Radio i Telewizja w Publikacjach Zagranicznych, 1995, nr 4
- [23] *Ustawa z dnia 30 czerwca 2011 o wdrożeniu naziemnej telewizji cyfrowej*. Dz. U., 2011, nr 153, poz. 903.

Alina Karwowska-Lamparska



Dr inż. Alina Karwowska-Lamparska (1931) – absolwentka Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej (1956); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1955); docent mianowany (1988–2001); specjalny sprawozdawca Grupy SG9 ITU-T, przewodnicząca Komitetu Technicznego Nr 11 ds. Telekomunikacji, wiceprzewodnicząca WP 6Q ITU-R (do 2009), specjalny sprawozdawca ds. jakości obrazów WP6C ITU-R, członek Rady Polskiej Platformy DVB i Platformy DAB, Sekcji Telekomunikacji Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN oraz Polskiego Komitetu Normalizacyjnego II kadencji; autorka lub współautorka licznych publikacji naukowych z zakresu telewizji (autorka książki „Telewizyjne systemy cyfrowe”, współautorka książki „Miernictwo telewizyjne”); długoletni redaktor oraz członek rad programowych wielu czasopism, m.in. TITI, JTIT oraz Przeglądu Telekomunikacyjnego i Wiadomości Telekomunikacyjnych; zainteresowania naukowe: telewizja, radio-komunikacja, telekomunikacja, normalizacja.

e-mail: A.Karwowska@itl.waw.pl