

Cyfrowa radiofonia DAB/ DAB+ - multimedialny system rozszewczy

Marian Oziwicz

KOMPRESJA AUDIO

MPEG

OFDM

SFN

MULTIPLEKSY

MOT

DOSTĘP WARUNKOWY

Copyright © Marian Oziewicz 2014

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany
ani rozpowszechniany bez zgody właściciela praw autorskich

Autor prezentowanej pracy jest finalistą Międzynarodowej Olimpiady Matematycznej. Skończył studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Gdańskiej. Przerwał staż asystencki na Politechnice, by studiować kwantową teorię pola na Wydziale Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego. Wprowadzenie stanu wojennego przerwało pracę nad ukończeniem doktoratu z teorii cząstek elementarnych.

Za działalność na rzecz Solidarności w okresie stanu wojennego został odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

W wyniku represji stanu wojennego zmuszony do zmian pracy powrócił do zagadnień telekomunikacji. Miał możliwość zapoznawania się z systemem cyfrowej radiofonii DAB w różnych stadiach jej rozwoju w czołowych ośrodkach badawczych UE.

W roku 1992 został zaproszony do Instytutu IRT w Monachium, członka projektu UE Eureka 147 DAB, gdzie został wprowadzony w budowę podstawowych członów nadajnika i odbiornika jeszcze przed ostatecznym ustaleniem i standaryzacją systemu. Prezentacja działania systemu była przeprowadzana z wykorzystaniem prototypu z wariantowymi parametrami.

W roku 1997 dalsze studia nad systemem DAB prowadził w ramach stypendium UE 'visiting scientist' w badawczo-naukowym ośrodku multimedialnym koncernu Bosch'a w Hildesheim w Niemczech.

Pracę doktorską z dziedziny telekomunikacji przeprowadził w Zakładzie Radioelektroniki Politechniki Warszawskiej.

I.	Przedmowa	6
II.	Wstęp	7
1.	WPROWADZENIE	8
1.1	Dlaczego radiofonia cyfrowa.....	8
1.2	Dochodzenie do koncepcji systemu DAB	9
1.2.1	Bloki częstotliwości dla DAB	10
1.2.2	Multimedia w systemie DAB	10
1.2.3	Podział na kanały i subkanały w systemie DAB	11
1.2.4	Środowisko dla transmisji i odbioru usług multimedialnych	12
2	WARSTWA FIZYCZNA SYSTEMU DAB/DAB+.....	13
2.1	Schemat blokowy lokalnego nadajnika	13
2.2	Podstawowe układy	15
2.2.1	Tor dźwiękowy nadajnika	15
2.2.2	Tor usług multimedialnych.....	15
2.3	Podstawowe ramki systemu DAB	16
2.4	Koder fonii w systemie DAB (MUSICAM).....	17
2.4.1	Właściwości ucha. Statyczny oraz dynamiczne progi maskowania dźwięku	17
2.4.2	Kwantowanie sygnału fonicznego. Szum kwantowania.....	18
2.4.3	Maskowanie szumu kwantowania. Kodowanie subpasmo.	20
2.4.4	Organizowanie ramki kodera.....	21
2.4.5	Usługi towarzyszące programowi (PAD). Kanały F-PAD, X-PAD	28
2.5	Koder audio w systemie DAB+	32
2.6	Kodery fonii radiofonii DRM (Digital Radio Mondiale).....	36
2.7	Transmisja obiektów audiowizualnych - video	37
2.7.1	Transmisja video w systemie DAB	39
2.8	Mechanizmy zabezpieczające jakość transmisji	41
2.8.1	Kody CRC ramek DAB	41
2.8.2	Perforowany koder splotowy (konwolucyjny)	42
2.8.3	Przeplot czasowy ramek	45
2.9	Rola multiplexera. Ramki logiczne systemu DAB	47
2.10	Modulator kanałowy OFDM	50
2.10.1	Zasada działania.....	51
2.10.2	Realizacja cyfrowa modulatora OFDM	55
2.10.3	Relacja wartości szczytowej mocy sygnału do średniej (PAPR). Rozpraszanie energii	57
2.10.4	Ramka wyjściowa modulatora OFDM.....	59
2.10.5	Tryby pracy kodera kanałowego OFDM	59
2.11	Modulacja D-4PSK	62
2.11.1	Dlaczego modulacja fazowo-różnicowa	62
2.11.2	Modulacja podnośnych kodera OFDM	62
2.12	Konwersja ramek logicznych DAB na ramki fizyczne OFDM	64
2.13	Układy wyjściowe nadajnika. Filtr wyjściowy	70
2.13.1	Maska sygnału wyjściowego	70
2.14	Opis funkcjonalny odbiornika DAB/DAB+	72
2.14.1	Schemat blokowy odbiornika DAB	74
2.14.2	Demodulator kanałowy OFDM. Wyliczanie symboli modulujących	74
2.14.3	Demodulacja różnicowa D-4PSK	75
3	WPLYW KANAŁU PROPAGACYJNEGO NA JAKOŚĆ ODBIORU SYGNAŁU DAB	77
3.1	Kanał podstawowy: reprezentacja fazorowa sygnału OFDM.....	78
3.1.1	Związki między profilami MDP oraz fazorową reprezentacją symboli OFDM	79
3.1.2	Wpływ wielodrogowości na odbiór sygnału. Przykłady	81
3.2.	Interferencje międzysymbolowe oraz międzytonowe.....	89
3.2.1.	Reprezentacja fazorowa ścieżek OFDM spoza przedziału ochronnego	89
3.2.2.	Interferencje między-symbolowe (ISI) oraz między-tonowe (ICI)	91
3.3.	Wpływ przesunięcia Dopplera na odbiór sygnału DAB	92

4.	SIECI JEDNOCZĘSTOTLIWOŚCIOWE SFN.....	93
4.1.	Koncepcja sieci jednoczęstotliwościowych SFN.....	93
4.2.	Zasady planowania sieci jednoczęstotliwościowych SFN.....	94
4.2.1.	Identyfikacja nadajników TII w sieci SFN.....	96
4.2.2.	Synchronizacja sieci SFN.....	97
4.2.3.	Rola gap-fillera.....	98
4.2.4.	Lokalne programy w sieci SFN.....	99
4.3.	Modele sieci SFN. Sygnał w kanale podstawowym.....	100
4.3.1.	Model sieci 2 SFN. Linie charakterystyczne w obszarze pokrycia.....	100
4.3.2.	Interferencje wewnątrz sieciowe w rozległych sieciach SFN.....	104
4.3.3.	Wnioski.....	111
5.	MULTIPLESY DAB	112
5.1.	Koncepcja multipleksów.....	112
5.2.	Planowanie multipleksów.....	114
6	KANAŁY LOGICZNE. WARSTWOWY OPIS TRANSPORTU W SYSTEMIE DAB.....	118
6.1	Wprowadzenie.....	118
6.1.1	Proces sterowania w systemie DAB.....	118
6.2	Kanały transmisyjne w systemie DAB/DAB+.....	119
6.2.1	Tryby pracy systemu DAB.....	119
6.2.2	Organizacja ramek logicznych w różnych trybach pracy DAB.....	119
6.2.3	Kanały transportowe.....	120
6.3	Organizacja transportu w systemie DAB.....	122
6.3.1	Transport strumieniowy audio.....	123
6.3.2	Transport strumieniowy usług.....	123
6.3.3	Transport pakietowy w kanałach MSC oraz FIDC.....	123
6.3.4	Transport pakietowy w kanale towarzyszącym programowi PAD.....	124
6.3.5	Grupy pakietów w głównym kanale MSC.....	125
6.4	Identyfikacja programów i usług w ramach multipleksu.....	126
6.4.1	Identyfikatory programów oraz usług.....	126
6.4.2	Etykiety programów oraz usług.....	129
6.5	Procedury uruchamiania odbioru.....	129
6.5.1	Informacje o organizacji multipleksu.....	129
6.5.2	Algorytm włączania odbiornika.....	132
6.5.3	Rekonfiguracja subkanałów i programów.....	133
6.6	Opcjonalne parametry programów i usług.....	134
6.6.1	Parametry multipleksu opisane w grupach FIG typu 0.....	134
6.7	Usługi w kanale szybkich informacji.....	137
7	APLIKACJE MULTIMEDIALNE – PROTOKÓŁ MOT	138
7.1	Rozwój koncepcji ‘usług dodanych’ w systemie DAB.....	138
7.2	Multimedia w systemach rozsiewczych.....	138
7.2.1	Protokół transmisji obiektów multimedialnych MOT.....	139
7.2.2	Segmentacja obiektów MOT w systemie DAB. Grupy pakietów.....	141
7.2.3	Transport pojedynczych obiektów MOT w systemie DAB.....	144
7.3	Transmisja slajdów w kanale DAB.....	144
7.3.1	Transport slajdów.....	145
7.3.2	Parametry MOT dla pokazu slajdów.....	146
7.4	Karuzela obiektów. Katalog MOT.....	147
7.5	Transmisja stron internetowych.....	147
7.5.1	Organizacja transmisji.....	148
7.6	Przegląd wiadomości: karuzela TopNews.....	148
7.6.1	Struktura aplikacji TopNews.....	148
7.6.2	Parametry karuzeli MOT TopNews.....	149
7.7	Elektroniczny przewodnik po programach EPG.....	149
7.7.1	Specyfikacja systemu EPG.....	149
7.7.2	Kodowanie oraz transport przewodnika po programach w systemie DAB.....	150

8	TRANSMISJA USŁUG W SIECI ZBIORCZEJ MULTIPLEKSU DAB: INTERFEJS STI ...	152
8.1	Warstwa logiczna interfejsu transportu usług STI.....	153
8.1.1	Interfejs STI-C(LI)	153
8.1.2	Część transportowa interfejsu transportu usług STI-D(LI).....	156
8.2	Warstwa adaptacyjna części kontrolnej interfejsu STI.....	160
8.3	Warstwa transportu interfejsu STI.....	160
8.4	Warstwa fizyczna interfejsu STI.....	160
9.	TRANSMISJA SYGNAŁU DO SIECI ROZSIEWCZEJ: INTERFEJS ETI.....	161
9.1	Interfejs ETI(NI).....	161
9.2	Interfejs ETI-NA	165
10	MECHANIZMY DOSTĘPU WARUNKOWEGO W SYSTEMIE DAB	166
10.1	Zastosowania systemu dostępu warunkowego	166
10.2	Fizyczna realizacja systemu CA	166
10.3	Dostęp warunkowy w systemie DAB	168
10.4	Specyfikacja EUROCRYPT jako wariant systemu CA	169
11	ROZWÓJ ZASTOSOWAŃ SYSTEMU	171
	Spis akronimów	175
	Spis literatury.....	182
1.	Normy i specyfikacje.....	182
2.	Publikacje	188
	Spis ilustracji	191
	Aneks A. Podstawowe parametry systemu DAB	194
	Aneks B. Terminologia ramki kodera MUSICAM.....	195
	Aneks C. Grupowanie bitów kodu konwolucyjnego w kanałach FIC oraz MSC	198
	Aneks D. Transport parametrów dostępu warunkowego w systemie DAB	203
	Aneks E. Propozycje usług w systemie DAB	205
	Aneks F: Bloki częstotliwości systemu DAB w III zakresie UKF	206

I. Przedmowa

Prace nad systemem cyfrowej radiofonii w Europie rozpoczęły się w ramach projektu UE Eureka 147 DAB w 1987 roku. Celem było opracowanie w pełni cyfrowego systemu radiofonii do odbioru stacjonarnego, przenośnego i ruchomego. W wyniku prac członków projektu powstał europejski standard EN 300 401 opisujący podstawowe funkcje systemu DAB - Digital Audio Broadcasting. Dalszy rozwój systemu postępował w wyniku prac grup roboczych międzynarodowych ekspertów organizacji EBU (European Broadcasting Union), skupiającej przedstawicieli nadawców publicznych, ETSI (European Telecommunication Standards Institute) odpowiedzialnej za normy europejskie w dziedzinie telekomunikacji, JTC (Joint Telecommunication Committee), oraz CENELEC, odpowiedzialnej za standaryzację odbiorników radiowych.

Koncepcje i metody wypracowane w ramach prac nad radiofonią cyfrową w Europie zostały następnie zastosowane w cyfrowej telewizji oraz telefonii komórkowej najnowszych generacji.

Obok prac nad technicznym jądrem systemu podjęte zostały w rozwiniętych krajach UE działania nad wykorzystaniem cyfrowej organizacji DAB do transmisji multimedialnych aplikacji. Chodzi nie tylko o rozszerzenie funkcji radia o informacje towarzyszące programowi, ale także niezależne od audycji radiowych tzw. usługi dodane, mające znaczenie społeczne, jak np. system ostrzegawczy dla ludności cywilnej, komunikaty drogowe i transportowe, informacje o lokalnych usługach turystycznych, parkingowych. Znacznemu rozszerzeniu winna ulec oferta reklamowa korzystająca z graficznych opcji ekspozycji.

Rola radia wynika z jego powszechnego dostępu oraz formy przekazu nie absorbującego tak całkowicie jak telewizja, czy telefon. Radio jest niezastąpione jako środek informacji dla kierowców. Podobnie w sytuacjach zagrożenia, w rejonach powodzi czy pożarów, gdy łączność komórkowa ulega blokadzie z powodu przeciążenia pojemności komórek przez liczbę zgłoszeń, praktycznie jedynym źródłem informacji pozostaje radio. Zastosowania cyfrowej radiofonii będą zależeć od inwencji jej operatorów: można biernie powielać zastosowania radia analogowego ograniczając się do transmisji programów słowno-muzycznych, albo aktywnie wykorzystywać i rozwijać możliwości równoległych usług opartych na przekazach multimedialnych.

Aktualnie opis systemu DAB z funkcjami multimedialnych aplikacji zawarty jest w ponad 70 specyfikacjach. Pracując nad jednorodnym, całościowym opisem systemu należało wybrać jego podstawowe elementy, nie występujące w systemie radia analogowego. Skupiono się więc przede wszystkim na opisie mechanizmów pozwalających na rozszerzenie przekazu radiowego o treści multimedialne. Normy opisują dokładnie organizację protokołów, interfejsów i elementów warstwy fizycznej systemu, ale nie poświęcają miejsca na wyjaśnianie, skąd i dlaczego zalecają takie procedury. Książka podejmuje odpowiednie wyjaśnienia na przyjętym poziomie oraz ukazuje ogólną strukturę aktualnego stanu systemu DAB/DAB+.

II. Wstęp

Motywacja wprowadzania systemu DAB (ang. Digital Audio Broadcasting) od strony technicznej to:

- włączenie radia w cyfrowy świat teletransmisji umożliwiający przetwarzanie sygnału, rozszerzenie przekazu na informacje dodane, oraz archiwizację sygnału metodami cyfrowymi
- optymalne wykorzystanie dobra rzadkiego jakim są kanały częstotliwości, poprzez zastąpienie przydziału kanałów przydziałami przepustowości dostosowanymi do bieżących potrzeb programów w ramach wspólnego bloku częstotliwości
- rozszerzenie zasięgu programów na wspólny obszar radiodyfuzji nadajników połączonych w sieć jednoczęstotliwościową

DAB to cyfrowy system rozsiewczy zaprojektowany dla wiarygodnego użytku również w warunkach odbioru ruchomego. Przenoszone informacje mogą być różnego rodzaju. Wyróżnione znaczenie dźwięku w transmisjach DAB uzasadniające nazwę radia wynika z organicznego włączenia w budowę nadajnika koderów dźwięku oraz dekodera w odbiorniku. Jednocześnie jest to system przezroczysty dla wszelkich innych danych cyfrowych o przepustowości dopuszczanej parametrami systemu.

Określając relację systemu DAB do wcześniejszych systemów należy stwierdzić, że radiofonia DAB /Digital Audio Broadcasting/ to nowa jakość w stosunku do dotychczasowych systemów AM, FM oraz stereo FM. Wprowadzenie radiofonii DAB wymaga wymiany nadajników oraz odbiorników.

Przede wszystkim DAB to system multimedialny. Usługi oferowane przez ten system mogą i powinny być rozszerzane o 'informacje na żądanie' z wykorzystaniem tekstu, grafiki, zdjęć czy video. Próby z transmisją programu telewizyjnego poprzez ten system wykazały, że podczas odbioru ruchomego pewność i stabilność odbioru jest nieporównywalnie lepsza niż dla systemów analogowych w tych samych warunkach.

System DAB pozwolił zdecydowanie zoptymalizować wykorzystanie częstotliwości dla planowania zarówno radiostacji lokalnych jak i sieci nadajników pokrywających większe obszary kraju. Jest to środek transmisji zapewniający wysoce wiarygodny przekaz multimedialny również w warunkach odbioru ruchomego.

Jak dla każdego cyfrowego środka transmisji również dla radiofonii DAB najbardziej adekwatną metodą opisu jest system warstw OSI: warstwy fizycznej, warstwy sieci, warstwy transportu, zarządzania oraz prezentacji.

Warstwa fizyczna odpowiada tradycyjnemu opisowi radia polegającemu na opisie działania poszczególnych bloków funkcjonalnych systemu.

Warstwa sieci opisuje sposób formatowania danych w ramki logiczne systemu DAB/DAB+.

Dla umiejętnego korzystania z możliwości DAB równie ważna jest warstwa transportu opisująca sposób organizacji sygnału wyjściowego koderów różnych aplikacji systemu.

Przepływem sygnału steruje system zarządzania organizowany poprzez kanał szybkich informacji.

Warstwy te, podobnie jak w opisie innych systemów transmisyjnych, są wzajemnie od siebie uzależnione i z sobą powiązane.

Celem naszym jest wprowadzenie w wskazane zagadnienia.

Systemy cyfrowej radiofonii DAB, DAB+, DRM, czy DMB różnią się wyposażeniem i parametrami koderów fonii, obrazów czy video oraz układami warstwy fizycznej. Opis i organizację warstwy sieci utrzymano jednolite, w związku z czym poza rozdziałem drugim odwołanie do akronimu DAB jest tożsame z DAB+, DRM, czy DMB.

1. WPROWADZENIE

Od pewnego już czasu radio poprzez Internet jest faktem.

Internet poprzez radio - to możliwość otwierana właśnie przez multimedialne radio cyfrowe DAB (Digital Audio Broadcasting) lub jego wersję DAB+.

Jest to zupełnie nowa perspektywa radiofonii. Radiofonii wzbogaconej - poza tradycyjnymi audycjami słowno-muzycznymi - o zasoby sieci Internet, czy własne dodatkowe informacje. DAB to radiofonia multimedialna.

Pozycja nowoczesnego radia w tworzącym się informatycznym społeczeństwie wynika z jego podstawowych cech:

- cyfrowej techniki transmisji
- unilateralnym jednoczesnym przekazie dla dużych grup społecznych
- możliwości multimedialnego odbioru podczas jazdy autem

Cyfryzacja radia - nieodzowny warunek przekazywania danych multimedialnych (dźwięk, tekst, grafika, zdjęcia, mapki, wykresy, wideo) - do tej pory wymagał odbioru stacjonarnego.

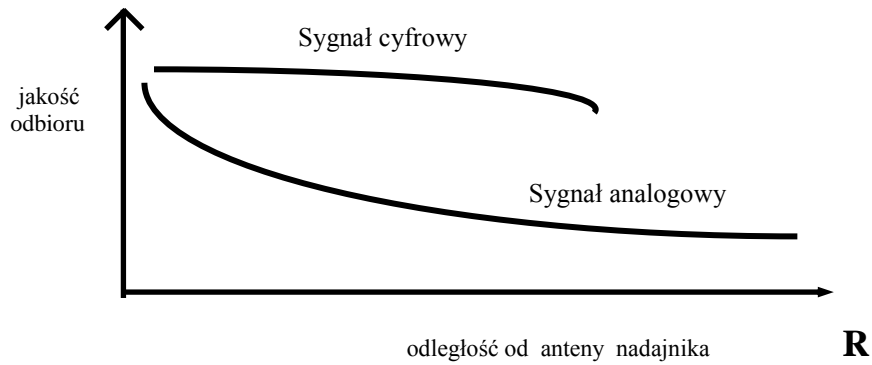
Dopiero nowe koncepcje i techniki opracowane w ramach Projektu UE EUREKA 147 DAB umożliwiły wiarygodny odbiór przekazu cyfrowego przy pomocy zwykłej, prostej anteny prętowej, jak w każdym przenośnym odbiorniku.

1.1 Dlaczego radiofonia cyfrowa

Możliwości przetwarzania sygnałów analogowych są ograniczone i stopniowo wyczerpują się. Sygnały cyfrowe można precyzyjnie rejestrować, trwale archiwizować, przetwarzać metodami niedostępnymi dla sygnałów analogowych. Stąd koncepcja płyt kompaktowych oraz cyfrowej obróbki sygnału w studium radiowym. Dla uzyskania pełnych korzyści z cyfryzacji sygnału w radiofonii naturalnym zadaniem stała się cyfryzacja procesu radiodifuzji, transmisji w kanale radiowym od nadajnika do odbiornika.

Jakość odbieranego sygnału podczas transmisji cyfrowej praktycznie nie zależy od odległości od nadajnika, o ile wartość sygnału radiowego przekracza minimum konieczne do odczytania liczbowych wartości próbek przekazywanego sygnału fonicznego. Poniżej tej wartości odbiór szybko się załamuje i zanika. Podczas transmisji analogowej jakość sygnału ulega stopniowej degradacji wraz z wzrostem odległości od anteny nadawczej. Różnice te obrazuje rys. 1-1.

Sygnał cyfrowy możemy dodatkowo zabezpieczać przed zakłóceniami stosując kody zabezpieczające i korekcyjne. W przypadku sygnałów analogowych takich możliwości nie ma. Perspektywy lepszego wykorzystania cyfrowych kanałów transmisji przez dalszą optymalizację metod kompresji sygnałów, czy rozwój technik modulacji, są wyraźne. I wreszcie cyfrowa radiofonia pozwala na transmisję nie tylko dźwięku, ale również stałych oraz wolno zmiennych obrazów, oraz innych danych możliwych do przekazu w postaci cyfrowej. Cyfrowa postać sygnału umożliwiła rozszerzenie klasycznej roli radia o zastosowania multimedialne. Odbiornik radia cyfrowego staje się końcowym elementem radiowej autostrady będącej źródłem nie tylko wysokiej jakości dźwięku, ale również informacji w postaci tekstu, zdjęć, mapek, obrazów, z wolnym wideo włącznie. Cyfrowe sterowanie pozwala na kontrolę praw autorskich nadawanych programów poprzez blokadę gniazda wyjściowego odbiornika dla audycji objętych licencją.



Rys. 1-1 Zmiana jakości odbioru z odległością od anteny nadajnika dla sygnału analogowego oraz cyfrowego

Nowatorskie koncepcje zastosowane w radiofonii cyfrowej DAB umożliwiły korzystanie z przekazu cyfrowego poprzez eliminację skutków zakłóceń w trakcie odbioru ruchomego, w szczególności podczas jazdy autem. Jest to istotne, ponieważ w krajach rozwiniętych radia słucha się przede wszystkim w aucie. Wybrany program można będzie odbierać na całym obszarze sieci nadającej ten program bez potrzeby strojenia odbiornika podczas przejazdu z zasięgu jednego nadajnika do kolejnego.

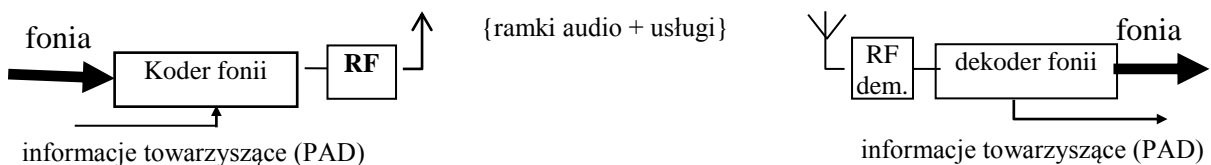
Nadajnik systemu cyfrowego zużywa mniej mocy niż jego odpowiednik analogowy na pokrycie programem tego samego obszaru. Moc nadajnika cyfrowego w systemie DAB, czy DAB+, jest 10-ciokrotnie mniejsza niż adekwatnego nadajnika w systemie FM. Poza siecią naziemnych nadajników programy radia DAB mogą być przekazywane bezpośrednio satelitarnymi kanałami rozsiwczymi, a także poprzez telewizję kablową czy sieci ISDN i B-ISDN, oraz systemy sieci Internet.

Nowe idee radiofonii DAB stworzyły podwaliny pod koncepcje naziemnej telewizji cyfrowej oraz telefonii komórkowej.

1.2 Dochodzenie do koncepcji systemu DAB

Radiofonia cyfrowa DAB była początkowo planowana jako klasyczne radio o wyższej jakości. Transmisja obiektów multimedialnych znacznie rozszerza krąg zastosowań DAB. Wymaga to odpowiedniej infrastruktury po stronie nadawczej oraz rozszerzenia funkcji terminali systemu.

Radiofonia cyfrowa zapewnia znacznie wyższą jakość dźwięku niż analogowa. Tak dzieje się w otwartej przestrzeni. W terenach zabudowanych, czy górzystych, gdzie mamy do czynienia z propagacją wielodrogową i pojawianiem się zakłóceń w odbiorze - stosowanie prostego kanału nadawczego z rys. 1-2:



Rys. 1-2 Prosty kanał transmisji skompresowanego dźwięku oraz informacji towarzyszących

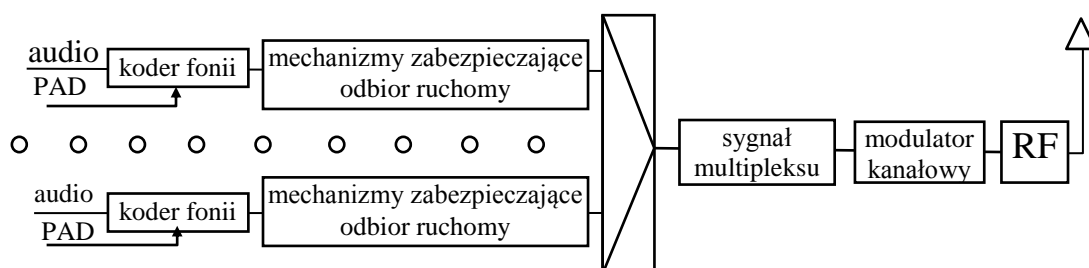
wymagałoby bardzo dobrej anteny kierunkowej reagującej na zmieniające się warunki. Takich anten wciąż nie ma. W związku z tym, by możliwie bezbłędnie odczytywać nakładające się sygnały przy pomocy prostej anteny, trzeba było zastosować zarówno w nadajniku jak i odbiornikach specjalne mechanizmy zabezpieczające wiarygodną transmisję dla odbioru rucho-
chomego:

- kodowanie korekcyjne,
- przeplot czasowy,
- przeplot częstotliwości,
- rozpraszanie energii
- multipleks rozdzielonych częstotliwości ortogonalnych (OFDM)

W ten sposób powstawał system cyfrowej radiofonii DAB - Digital Audio Broadcasting.

1.2.1 Bloki częstotliwości dla DAB

Poza odpornością na skutki propagacji wielodrogowej projektanci systemu DAB zaplanowali również jego większą odporność na krótkotrwałe zakłócenia. Zakłócenia takie zajmują pasmo w granicach szerokości kanału FM, więc utrzymanie dotychczasowych radiowych kanałów transmisji dla DAB w zakresie UKF nie pozwoliłoby na ograniczanie wpływu zakłóceń przemysłowych w trakcie propagacji sygnału. Stąd pomysł na rozszerzenie kanału dla DAB do 1.5 MHz, co w przypadku zakłóceń prowadzi do częściowej tylko utraty informacji możliwej do odzyskania poprzez system kodowania korygującego. Dla przyjętego systemu modulacji blok 1.5 MHz posiada przepustowość kanału 1.5 Mbit/sek. Ponieważ jeden program radiowy po kompresji ma kilkakrotnie mniejsza przepustowość - oznaczało to zgodę na jednoczesną transmisję kilku programów, multipleksowanych w jeden wspólny sygnał, rys. 1-3.



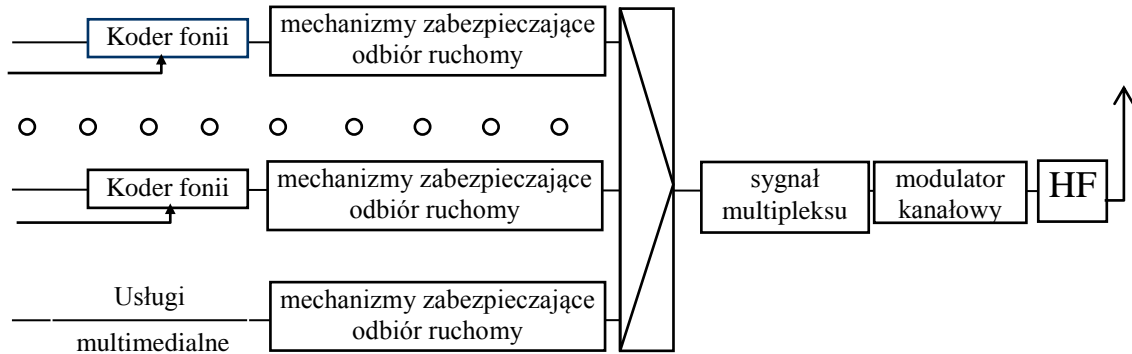
Rys. 1-3 Funkcje nadajnika DAB II generacji

1.2.2 Multimedia w systemie DAB

System DAB jako system cyfrowy może służyć do transmisji różnego rodzaju danych. Transmitowane kody (określone układy zer i jedynek) mogą oznaczać kolejne wartości próbek dźwięku, współrzędne punktu na monitorze, parametry koloru przypisanego temu punktowi, kody liter, itp. Przez nadajnik DAB można więc transmitować nie tylko dźwięk, ale też tekst, obrazy, grafikę, zdjęcia, wolne wideo. Poza dźwiękiem, pozostałe media nie będą korzystać z kodera dźwięku. Aby umożliwić ich transmisję należało w nadajniku dopuścić kanał transmisji poza koderami dźwięku. Stąd w schemacie blokowym nadajników nowej generacji należy zaznaczyć niezależny subkanał usług (informacji cyfrowej), jak na rys. 1-4.

Kilka różnych mediów (tekst, komentarz, rysunek, wideo) opisujących jedno zdarzenie, a więc powiązanych przez wspólny czas i miejsce zamierzonej ekspozycji, łączymy w pojedyncze obiekty nazywane **multimediami**. System DAB jest wyposażony w mechanizmy po-

zwalające na transmisje obiektów multimedialnych. Obiekty multimedialne przenoszone są w specjalnych plikach zgodnie z protokołem MOT (ang. Multimedia Object Transfer).

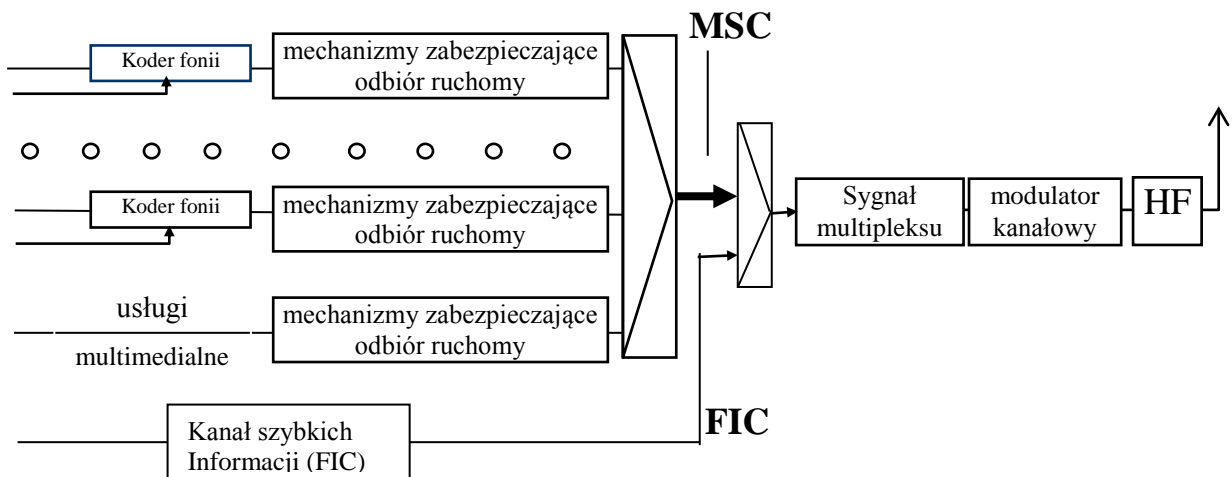


Rys. 1-4 Włączenie usług multimedialnych w nadajniku DAB

Dane w subkanałach informacji cyfrowych mogą być kodowane. Kodowanie obrazów stałych jest przeprowadzane wg standardu JPEG; obrazów ruchomych wg. standardu MPEG; tekstu wg. np. formatu HTTP.

1.2.3 Podział na kanały i subkanały w systemie DAB.

Równoległe nadawanie kilku programów radiowych wymaga elastyczności w organizacji transmisji sygnału DAB. **Główny kanał transmisyjny** dla audio oraz usług MSC (ang. Main Service Channel) o przepustowości użytkowej 1.5 Mbit/s dzielony jest na **subkanały** przyporządkowane poszczególnym operatorom programów radiowych oraz informacyjnych. Podział ten może się zmieniać w czasie: przejście od nadawanego koncertu do reportażu związane na ogół będzie z zmniejszeniem wymaganej dla subkanału przepustowości. Zwolniona pojemność kanału może być przydzielona innemu operatorowi, tj. dla innego subkanału. Elastyczne planowanie organizacji pracy nadajnika wymaga jednak przesyłania z wyprzedzeniem informacji do odbiornika o planowanych zmianach konfiguracji nadawanych programów. Wymagało to wydzielenia informacji o organizacji kanału z głównego kanału informacji w specjalny **kanał szybkich informacji FIC** (ang. Fast Information Channel).



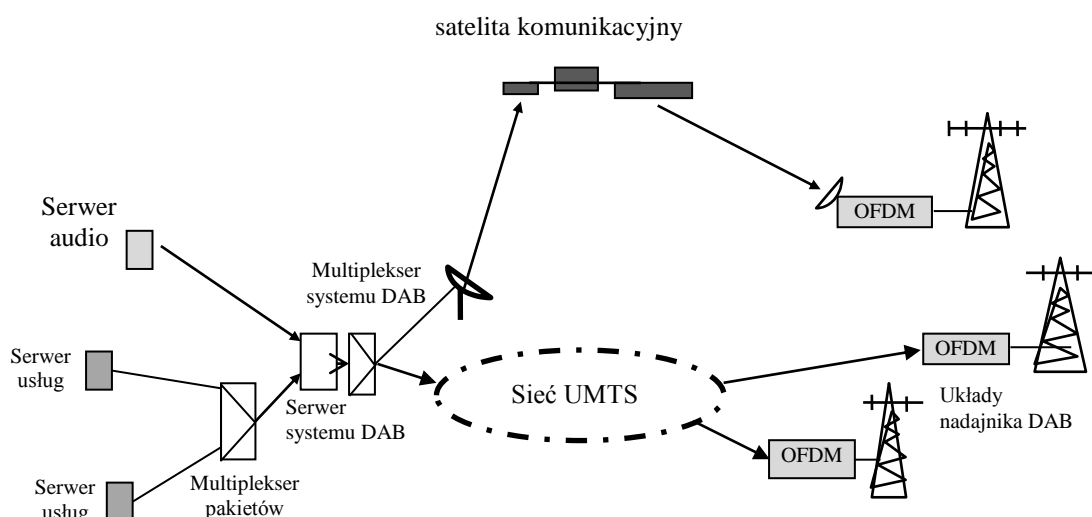
Rys. 1-5 Podstawowy schemat blokowy nadajnika DAB

Podstawowa rola kanału szybkich informacji FIC to przenoszenie do odbiornika informacji o aktualnej i planowanej konfiguracji kanału oraz systemie kontroli odbiornika i zmianach parametrów głównego kanału informacji (przepustowość, identyfikatory, itp.). W ten sposób dochodzimy do podstawowego schematu blokowego nadajnika DAB (rys 1-5). Organizacja subkanałów, których pojemność w czasie może ulegać zmianie, wymagała wprowadzenia podziału usług na **pakiety** - podstawowe cegiełki informacji o przepustowości $N \times 8$ kbit/s. Aktualne dane o systemie stosowanych pakietów, ich identyfikatory i adresy, również muszą być z wyprzedzeniem przekazywane do systemu sterowania odbiornika poprzez kanał szybkich informacji.

1.2.4 Środowisko dla transmisji i odbioru usług multimedialnych

Transmisja usług multimedialnych wymaga korzystania z różnych źródeł danych, a więc komunikacji z serwerami usług multimedialnych odpowiednich typów rozmieszczonymi w siedzibach różnych instytucji w różnych miejscach i miejscowościach. Nowoczesna radiofonia wymaga więc będzie korzystania m.in. z sieci komputerowych w celu gromadzenia danych na własnym serwerze dla ich odpowiedniego uformowania w strumień multipleksowany razem z programami audio w wspólny sygnał multipleksu rozsyłany następnie do wszystkich nadajników DAB (DAB+) określonej sieci. W każdym nadajniku sygnał służy do modulowania kodera kanałowego generując blok częstotliwości złożony z wielu równoległych podnośnych zwany ansamblem (ang. ensemble). Sygnał ansambłu, po przejściu układów wysokiej częstotliwości, jest emitowany przez układy antenowe w eter.

Infrastruktura służąca selekcji, gromadzeniu oraz przekazywaniu informacji dla serwera systemu tworzy środowisko dla transmisji i odbioru ruchomego multimediu



Rys. 1-6 Transmisja programów oraz usług multimedialnych od źródeł informacji do sieci nadajników

2 WARSTWA FIZYCZNA SYSTEMU DAB/DAB+

Rolę poszczególnych podukładów nadajnika najlepiej zobrazować na przykładzie pojedynczego nadajnika, gdzie wszystkie elementy skupione są w jednym miejscu.

2.1 Schemat blokowy lokalnego nadajnika

Schemat blokowy lokalnego nadajnika przedstawia rys.2-1 [1].

Na schemacie wyróżniono trzy tory transportu w głównym kanale transmisyjnym:

- tor fonii z możliwością uzupełnienia o informacje towarzyszące programowi PAD (ang. Programme Associated Data)
- tor usług niezależnych od audycji radiowych przeznaczonych do transmisji w trybie pakietowym
- tor usług niezależnych od audycji radiowych transmitowanych w trybie jednorodnym

Redakcja radiowa tworzy tor fonii, lub układ kilku takich torów organizując je w subkanał o przyznanej przepustowości. Każdy subkanał może być następnie niezależnie zabezpieczony przez układy warunkowego dostępu (gdy informacje płatne, lub zastrzeżone jedynie dla uprawnionych osób), układ rozpraszania energii, koder splotowy oraz układ przeplotu czasowego. Zabezpieczenia transmisji znajdują się w każdym torze niezależnie, a nie wspólnie dla całego sygnału, ponieważ odbiór dotyczy jednego wybranego programu i tylko tą część sygnału wystarczy dekodować stosując wolniejsze procesory, więc tańszy odbiornik. Bliżej na temat różnych klas odbiorników w sekcji 2.14.

Indywidualne subkanały zawierające poszczególne programy są następnie łączone w multiplekserze (1) tworząc główny kanał transmisyjny o akronimie MSC przyjętym z pierwszych liter angielskiej nazwy Main Service Channel. Obok transmisji programów z dodatkowymi informacjami związanymi z bieżącymi programami w głównym kanale mogą się też mieścić usługi dodane w osobnym subkanałach.

Informacje o podziale bloku na subkanały oraz organizacji programów w subkanałach wraz z niezbędnymi parametrami czasu, położenia, czy warunków emisji, czyli tak zwane informacje o organizacji multipleksu MCI (ang. Multiplex Configuration Information) oraz informacje programowe SI (ang. Service Information), przesyłane są w niezależnym kanale szybkich informacji FIC (ang. Fast Information Channel). Nazwa kanału wynika z trybu transmisji w tym kanale – zapewniającym wyprzedzanie odnośnych programów i usług głównego kanału w odbiorniku w celu wcześniejszego skonfigurowania jego układów do odbioru.

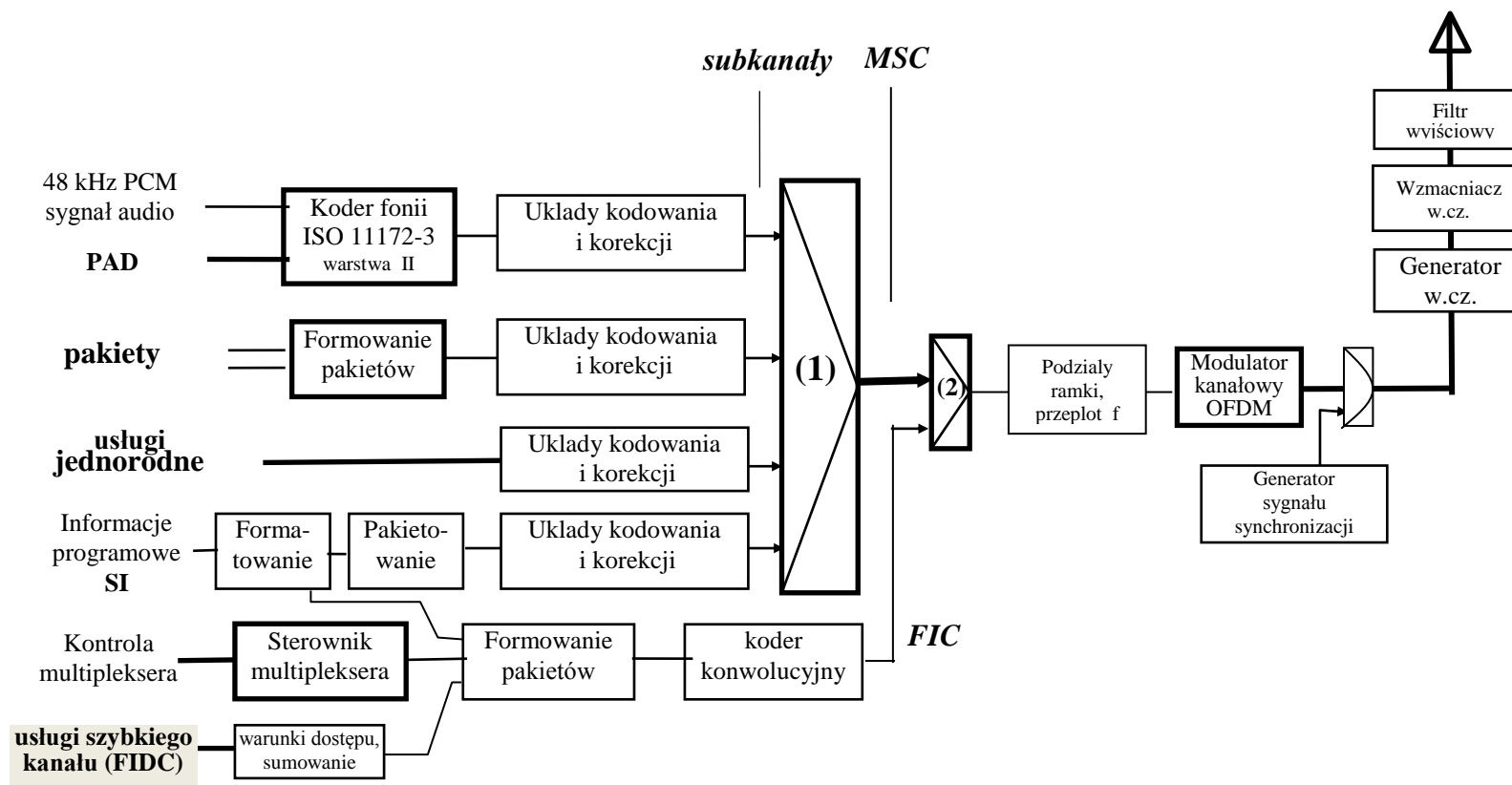
Kanał szybkich informacji FIC jest włączany do głównego kanału transmisyjnego MSC poprzez kolejny multiplekser (2).

Na wyjściu multipleksera informacje formatowane są w *ramki logiczne* multipleksera. Bity ramki logicznej, po rzutowaniu na schemat modulacji i przeplocie częstotliwości, służą następnie do modulacji kodera kanałowego OFDM. Jest to układ nadajnika, który kształtuje charakterystykę częstotliwościowo-fazową sygnału.

Włączenie sygnału synchronizacji kończy budowę *ramki fizycznej* sygnału DAB.

Po przejściu układów wysokiej częstotliwości sygnał jest emitowany w eter.

Niżej kolejno omawiamy działanie wskazanych układów.



PAD – usługi stowarzyszone z programem (ang. Programme Associated Data)
 FIC - kanał szybkich informacji (ang. Fast Information Channel)
 FIDC – kanał usług w kanale szybkich informacji (ang. Fast Information Data Channel)
 MSC – główny kanał transmisyjny (ang. Main Service Channel)

Rys. 2-1 **Blokowy układ lokalnego nadajnika DAB**

2.2 Podstawowe układy

Podstawowe układy nadajnika to tor fonii zbudowany z modułów kodujących i zabezpieczających kanał radiowy oraz tor usług multimedialnych organizujący te funkcje dla usług dodanych.

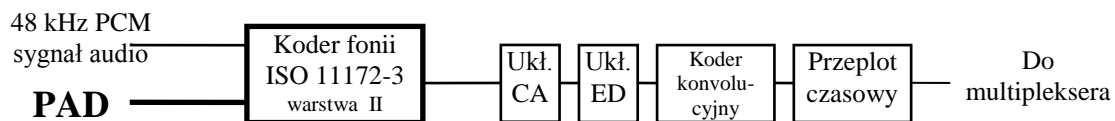
2.2.1 Tor dźwiękowy nadajnika

W torze dźwiękowym głównego kanału wyróżniamy:

- koder fonii:
 - w systemie **DAB**: standard MUSICAM wg. ISO 11172 część trzecia z danymi towarzyszącymi programowi PAD (ang. Programme Associated Data)
 - w systemie **DAB+**: standard HE AAC v.2 (ang. High Efficiency Advanced Audio Coding)
- układ warunkowego dostępu CA (ang. Conditional Access)
- układ rozpraszania energii ED (ang. Energy Dispersal)
- koder splotowy (konwolucyjny, Viterbiego)
- układ przeplotu czasowego

Działanie każdego z tych układów omawiamy stopniowo w dalszych paragrafach.

Schemat blokowy podstawowych układów funkcjonalnych toru fonii nadajnika przedstawia rys. 2-2.



Rys. 2-2 Schemat blokowy toru fonii nadajnika DAB

2.2.2 Tor usług multimedialnych

Usługi multimedialne można transmitować albo jako usługi towarzyszące programowi (audycji) – są to tzw. usługi PAD od angielskiej nazwy Programme Associated Data – lub usługi niezależne od programów radiowych przesyłane w niezależnych subkanałach głównego kanału transmisji MSC. Usługi niezależne o stałej przepustowości i określonego typu można przysyłać w trybie jednorodnym. Usługi różnych rodzajów lub o zmiennej przepustowości przesyłamy w trybie pakietowym.

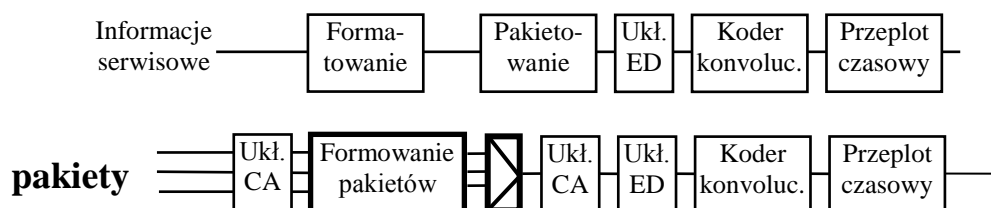
Transmisję danych jednorodnych, o stałej przepustowości, np. video, można zrealizować w systemie DAB poprzez wprowadzenie do multiplexera po przeprowadzeniu operacji zaznaczonych na rys. 2-3. Warunkiem takiej transmisji jest przepustowość sygnału usług będąca wielokrotnością 8 kbit na sekundę. Warunek ten wynika ze sposobu adresowania danych w ramce DAB, o czym bliżej w paragrafie 6.3.3.



Rys. 2-3 Schemat blokowy toru usług nadajnika DAB

W trybie pakietowym usługi dzielone na pakiety są wstępnie łączone (multipleksowane) przed wprowadzeniem do subkanału usług, który również musi charakteryzować się przepu-

stowością równą krotności 8 kbit/s. Kolejne bloki funkcjonalne sygnału w trybie pakietowym przebiegają podobnie.



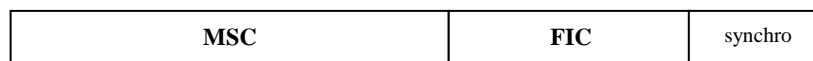
Rys. 2-4 Schemat blokowy toru pakietowego nadajnika DAB

Układ dostępu warunkowego występuje tutaj w dwóch miejscach dla zaznaczenia możliwości kodowania sygnału na poziomie usługi, jej segmentów czy pakietów. System dostępu warunkowego omawiamy w par. 10.

2.3 Podstawowe ramki systemu DAB

Zarówno programy słowno-muzyczne po przejściu kodera fonii, jak i informacje cyfrowe transmitowane są w subkanałach w postaci ramek logicznych. Ramki te są wspólnie multipleksowane tworząc ramki logiczne systemu DAB. Każda ramka składa się z trzech części /patrz rys. 2-5/. Poszczególne części ramki logicznej stanowią elementy różnych kanałów transmisyjnych systemu DAB:

- kanału synchronizacji
- kanału szybkich informacji FIC /Fast Information Channel/
- głównego kanału danych MSC /Main Service Channel/



Rys. 2-5 Schemat ramki logicznej DAB

Sygnał wyjściowy emitowany jest w postaci ramek COFDM (ramek OFDM z modulowanymi podnośnymi). Operacje przekształcania ramek logicznych DAB w ramki fizyczne OFDM opisujemy w paragrafie 2.12.

2.4 Koder fonii w systemie DAB (MUSICAM)

Kodowanie dźwięku wysokiej jakości opisuje norma ISO/IEC 11172-3 stanowiąca część audio standardu MPEG-1 oraz norma ISO/IEC 13818-3 znana pod nazwą MPEG-2.

Zadaniem kodera fonii jest kompresja cyfrowego sygnału fonicznego, kodowanie skompresowanych danych oraz ich formatowanie w standardowe ramki.

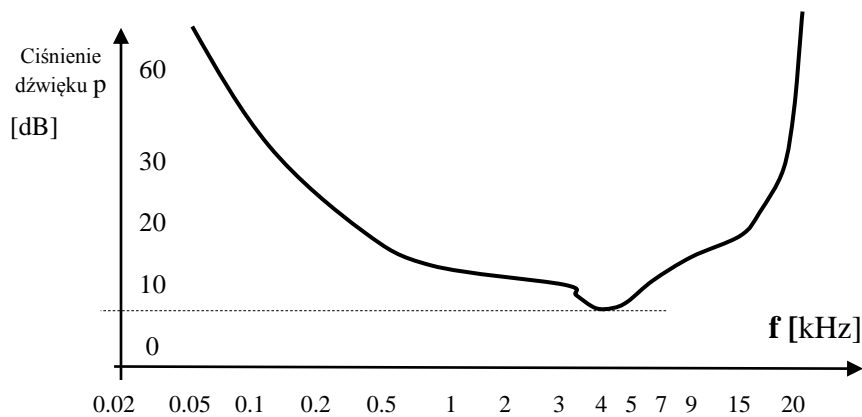
Podstawowy w radiofonii warunek zachowania wysokiej jakości dźwięku postawił szczególne wymagania wobec koderów redukujących przepływność sygnału.

Wskaźnikiem sprawności kodera fonii jest współczynnik kompresji. Jest to ułamek równy stosunkowi wyjściowej przepływności bitowej dźwięku do bitowej przepływności sygnału na jego wejściu.

Kompresja dźwięku na potrzeby radiofonii polega na usuwaniu z zakodowanego cyfrowo sygnału fonii danych nadmiarowych w czasie rzeczywistym. Dane nadmiarowe to informacje, których nie wykorzystujemy w procesie odbioru ze względu na psychoakustyczne właściwości ucha.

2.4.1 Właściwości ucha. Statyczny oraz dynamiczne progi maskowania dźwięku

Ucho ludzkie odbiera dźwięki o różnej wysokości z niejednakową wrażliwością. Badając reakcję ucha na indywidualny sygnał o ustalonej częstotliwości i wzrastającym natężeniu (mierzonym względnym ciśnieniem drgań powietrza w okolicy ucha) można zauważyć, że dopiero od pewnego progu staje się on dla nas słyszalny. Zmieniając stopniowo częstotliwość sygnału otrzymujemy wartości tego progu w zakresie słyszalności ucha. Dla przeciętnego ucha odpowiedni **statyczny próg maskowania** (ponieważ określa granicę maskowania pojedynczych dźwięków) przedstawia **rys. 2-6**.



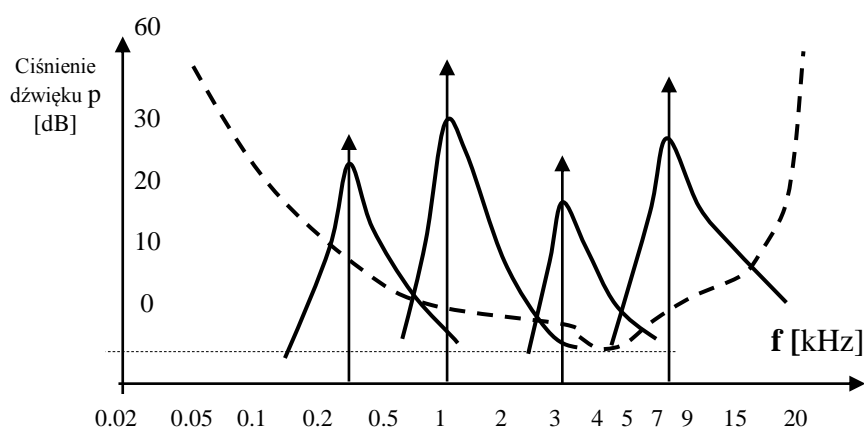
Rys. 2-6 Statyczny próg maskowania ucha przeciętnego człowieka

Jak stąd widać, przeciętne ucho najbardziej wrażliwe jest na dźwięki o częstotliwości z zakresu 3 - 4 kHz. Odpowiadające im natężenie przyjęto za poziom odniesienia dla pomiarów progu dla innych częstotliwości. Dla częstotliwości niższych próg maskowania wyraźnie wzrasta, podobnie jak dla częstotliwości w granicy 20 kHz - średniej częstotliwości granicznej ucha ludzkiego.

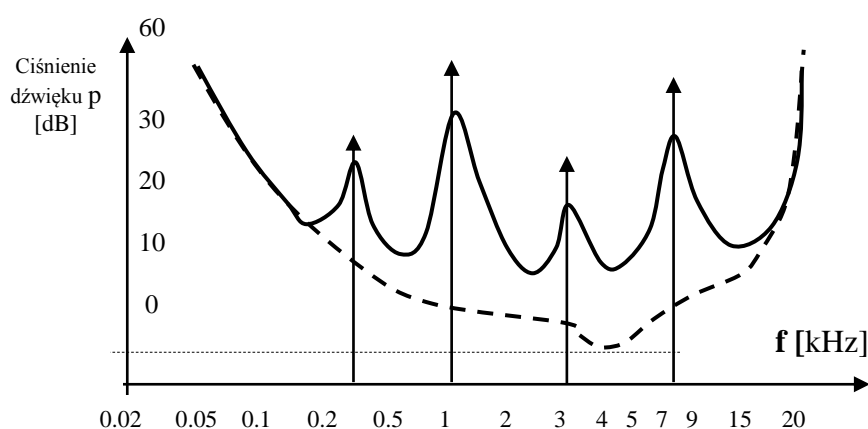
W przypadku *jednoczesnego* odbioru dźwięków o bliskich częstotliwościach:

- dominujące harmoniczne tworzą w swym sąsiedztwie **lokalne strefy maskowania**, w których harmoniczna dominująca wytlumia odbiór składowych o bliskich częstotliwościach
- strefy maskowania harmonicznych w bliskich odstępach częstotliwości nakładają się

Zakres lokalnych stref maskowania zależy od natężenia harmonicznej oraz jej częstotliwości. Ilustruje to rys 2-7 A. Z laboratoryjnych badań właściwości ucha wynika, że lokalne maksima w rozkładzie spektralnym odbieranego złożonego sygnału mogą mieć różne znaczenie w procesie maskowania. Składowe o charakterze periodycznym (tonowe) mają inny kształt krzywej maskowania niż sygnały nie tonowe charakteryzujące szumowe tło dźwięku.



A. Lokalne strefy maskowania



B. Nakładanie się lokalnych stref maskowania

Rys. 2-7 Dynamiczny próg maskowania

W trakcie odbioru dźwięków statyczny wykres z rys. 2-7 A ulega więc dynamicznym zmianom. Wokół lokalnych maksimów w spektrum odbieranego sygnału tworzą się dynamiczne strefy maskowania. Ich łączna obwiednia określa chwilowy **dynamiczny próg maskowania**, rys 2-7B. Harmoniczne o natężeniu poniżej tego progu nie są przez ucho odbierane. Własność tą wykorzystujemy w procesie kompresji dźwięku.

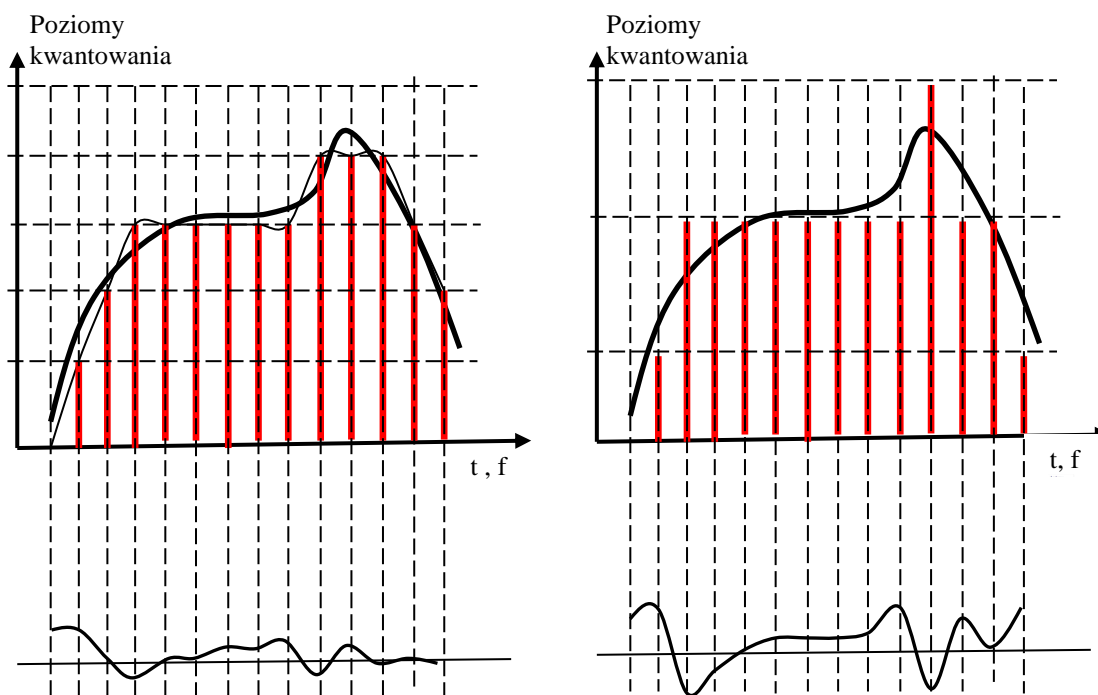
2.4.2 Kwantowanie sygnału fonicznego. Szum kwantowania

Przetwarzanie sygnału fonicznego z analogowego na cyfrowy - modulacja kodowo-impulsowa PCM (Pulse Code Modulation) - składa się z kroków:

a) *Próbkowanie sygnału* z częstotliwością równą co najmniej dwukrotnej maksymalnej częstotliwości f_M widma sygnału : $\Delta t = 1/(2f_M)$ (częstotliwość próbkowania Nyquista). Takie próbkowanie zapewni dokładną rekonstrukcję analogowego sygnału pod warunkiem, że próbki są perfekcyjnie dokładne

b) *Kwantowanie*, czyli przypisanie wartości każdej próbki do jednego z q cyfrowych poziomów. Jeżeli w systemie binarnym numer każdego poziomu opisywany jest przez Q bitów, wówczas liczba poziomów $q = 2^Q$. Wymaga to przepływności $[1/(\Delta t)]Q = 2f_M Q$ bitów na sekundę.

Operacja kwantowania sygnału określa próbki z dokładnością nie większą niż $1/2$ odstępu kwantowania (różnicy sąsiednich poziomów). Ilustruje to rys. 2-8 zarówno dla sygnału w czasie jak i częstotliwości. Niedokładności kwantowania powodują w odbieranym zdekodowanym sygnale efekt szumu nazywanego **szumem kwantowania**.



Rys. 2-8 Sygnał analogowy, próbki sygnału cyfrowego oraz szum kwantowania w zależności od gęstości poziomów kwantowania

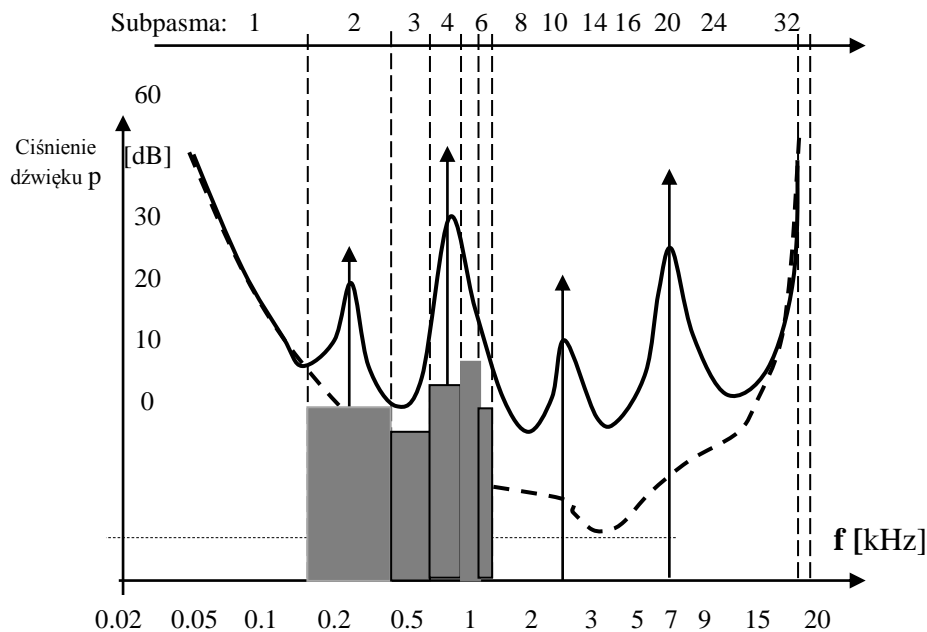
Oczywiście, im gęstsze będą poziomy kwantowania, tym mniejszy będzie efekt szumu kwantowania. Wymaga to jednak dużej liczby bitów na próbkę, czyli dużej przepływności sygnału, co z kolei wymaga szerokiego pasma kanału telekomunikacyjnego.

W przypadku przesyłania skwantowanych próbek postulat wysokiej jakości odbioru stoi więc w sprzeczności z postulatem ograniczenia przepływności sygnału cyfrowego. W odniesieniu do transmisji czy ekonomicznego zapisu dźwięku ma to zasadnicze znaczenie.

W koderze MPEG w celu maskowania szumu kwantowania wykorzystano psychoakustyczne właściwości ucha ludzkiego.

2.4.3 Maskowanie szumu kwantowania. Kodowanie subpasmowe.

Zachowanie wysokiej jakości skwantowanego dźwięku wymaga obniżenia szumu kwantowania poniżej progu słyszalności ucha. Ponieważ charakterystyka progu maskowania zależy od częstotliwości (rys. 2-7), więc dzieląc pasmo przenoszenia sygnału na pewną liczbę subpasm w każdym z nich dopuszczalny będzie poziom szumu kwantowania określony przez własne minimum progu słyszalności (rys 2-9). Pozwala to na optymalizację procesu kwantowania przez ograniczenie liczby poziomów kwantowania dopuszczalnego w poszczególnych subpasmach przez indywidualne poziomy szumu kwantowania.



Rys. 2-9 Poziomy dopuszczalny szumu kwantowania w subpasmach

W koderze MPEG pasmo foniczne dzielone jest na 32 subpasma po 625 Hz. Filtracja cyfrowa wejściowych próbek, w porcjach po 1152 próbki, realizowana jest przy pomocy algorytmu filtru polifazowego. W ten sposób otrzymujemy w każdym z 32 subpasm po 36 próbek w binarnym kodzie 16-bitowym (2^{16} poziomów kwantowania). Proces kompresji polega na ograniczaniu wielkości kodu niezależnie w każdym z subpasm w taki sposób, by szum kwantowania w subpasmie nie przekraczał dynamicznego poziomu maskowania subpasma.

Ponieważ filtracja cyfrowa sygnału wejściowego z podziałem na subpasma pozostawia nie zmienioną łączną liczbę próbek, możliwość ograniczenia liczby poziomów w subpasmach (bitów na próbkę) prowadzi do kompresji wyjściowego sygnału.

Działanie koderza zobrazowane jest na rys. 2-10. Wejściowy sygnał analogowy próbkowany jest w przetworniku analogowo-cyfrowym z częstotliwością 48 kHz i dokładnością 16 bitów na próbkę. Oznacza to kwantowanie amplitudy sygnału do jednego z 2^{16} poziomów. Przepływność takiego sygnału wynosi 768 kbit/s.

Próbki sygnału z przetwornika A/D są dzielone na grupy poddawane sekwencyjnie filtracji cyfrowej kształtującej ramki sygnału fonii. Każda grupa przechodzi przez obróbkę w równoległych procedurach:

- określenia aktualnego dynamicznego progu kwantowania

Zespół próbek przekształcanych jest przez szybką transformatę Fouriera dając spektrum sygnału w analizowanym przedziale. Pozwala to na określenie stref maskowania dominujących harmonicznych w subpasmach.

- filtracji cyfrowej dzielącej sygnał na 32 subpasma

Próbki przekształcane są w banku 32 filtrów na 32 x 36 próbek, po 36 próbek w każdym subpaśmie. Jest to podstawa do redukcji liczby poziomów kwantowania wystarczającej do maskowania szumu w subpasmach.

Następnie zoptymalizowany dynamiczny próg maskowania w analizowanym zakresie częstotliwości akustycznych służy do wyliczenia minimalnych progów maskowania w subpasmach. Pozwala to na optymalizację liczby poziomów kwantowania próbek oraz przydziału bitów w subpasmach.

2.4.4 Organizowanie ramki kodera

Koder MPEG służy do kompresji dźwięku zarówno monofonicznego jednokanałowego, jak i dwukanałowego, dźwięku stereofonicznego w trybie pełnym oraz tzw. łącznym, a także dźwięku wielokanałowego. Niżej opisujemy bliżej każdy z tych przypadków. Rezultatem działania kodera jest formatowanie sekwencji ramek wyjściowych zawierających skompresowane dane próbek wejściowych obejmujących 24 milisekundy każda. Ponieważ kodowanie zachodzi w czasie rzeczywistym (on-line) więc również każda ramka obejmuje 24 milisekundowy wycinek czasu (równy czasowo długości podstawowych pól CIF w ramce systemu DAB. Pojemność bitowa ramki zależy od stopnia kompresji sygnału i zajmuje tylko wycinek pojemności pola CIF).

Przeływność wyjściowego sygnału zadawana jest przez użytkownika (operatora programu). Wynika stąd przydział bitów na pojedynczą ramkę. Algorytm kodera określa następnie przydziały bitów na poszczególne parametry kodera oraz optymalizuje ich przydział na kwantowanie próbek w poszczególnych subpasmach. Jest to tzw. alokacja bitów.

2.4.4.1 Określanie podstawowych parametrów ramki

Podstawowe etapy transkodowania wejściowego sygnału monofonicznego w kodzie PCM na sformatowany zgodnie ze specyfikacją sygnał wyjściowy opisuje algorytm z rys.2-11 [1].

- **Pomiar współczynników skali oraz ich wybór w poszczególnych subpasmach**

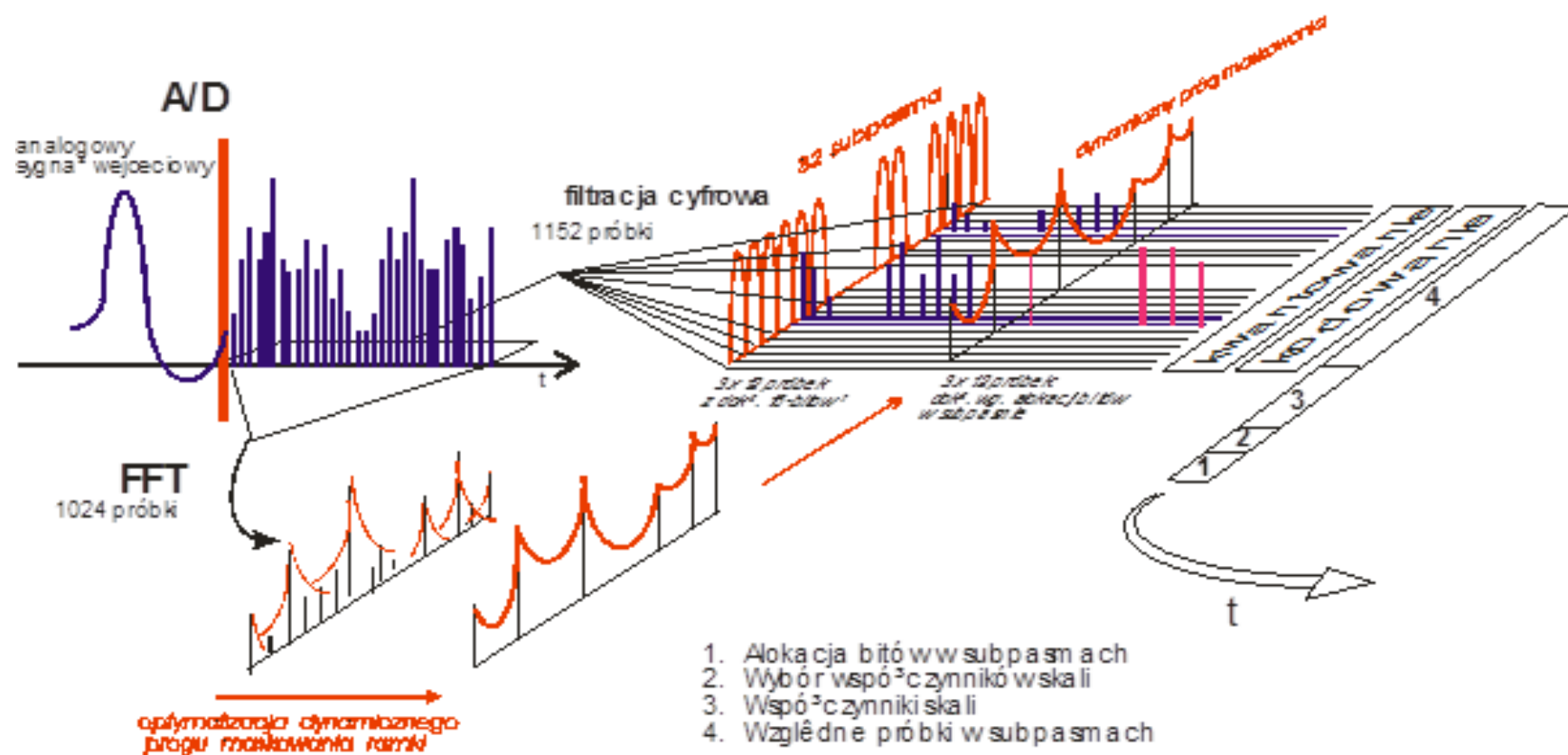
Dynamikę dźwięku (od 0 do 120 dB co 2 dB) określają maksymalne próbki w każdym subpaśmie, czyli tzw. współczynniki skali. Podlegają one szczególnej ochronie, co jest ułatwione, gdy są wydzielone w osobnym polu ramki. Współczynniki skali są mierzone jako maksymalne bezwzględne wielkości w trzech grupach kolejnych 12 próbek w każdym subpaśmie. Każdemu współczynnikowi przypisuje się najbliższą wyższą skwantowaną wartość i koduje 6-cio bitowym słowem. Na podstawie względnych relacji między trzema kolejnymi współczynnikami każdego subpasma (36 próbek) wylicza się tablicę współczynników skali, zgodnie z definicją z Aneksu B.

- **Wyliczenie stosunku poziomu progu maskowania (M) do szumu kwantowania (N) w subpasmach**

W celu zapewnienia maskowania szumu kwantowania w procesie przydziału bitów na subpasma konieczna jest kontrola aktualnego stosunku progu maskowania M (wartość M odpowiada minimalnej wartości progu maskowania w subpaśmie) do szumu kwantowania N w każdym z subpasm. Wylicza się go z różnicy (w dB) $S/N - S/M$, gdzie S to poziom sygnału. W zależności od liczby poziomów kwantowania i modelu kwantowania, relację S/N można obliczyć a priori. Specyfikacja systemu podaje te wielkości w formie tablicy w funkcji liczby poziomów kwantowania. Iloraz S/M jest wielkością dynamiczną zmieniającą się z przebiegiem czasowym sygnału i dla każdego subpasma oraz każdej ramki trzeba go sukcesywnie wyliczać. Maksymalny sygnał S mierzony jest dla każdego subpasma na wyjściu filtru cyfrowego. Poziom progu maskowania wylicza się z pomocą rozkładu spektralnego 1024

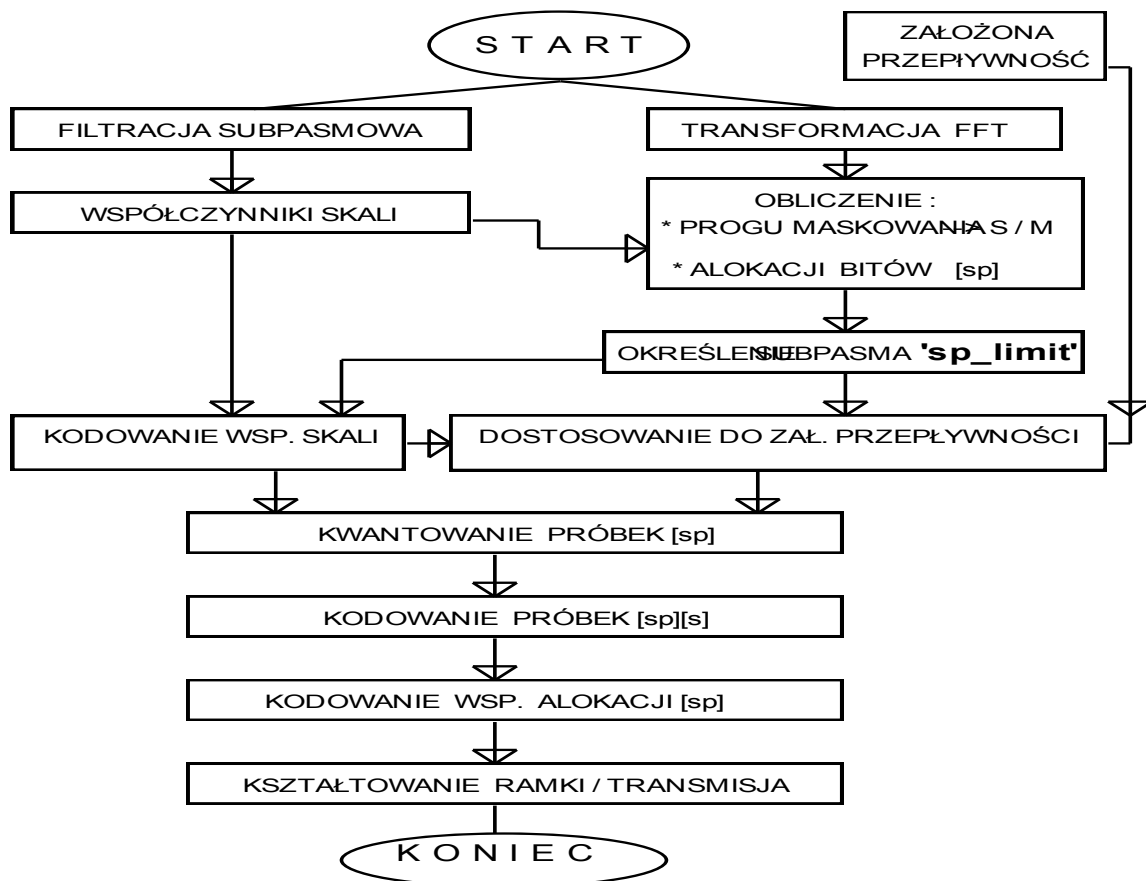
Koder fonii MUSICAM warstwa II

Kanał monofoniczny
 Dla zadanej
 przepływności kodera
 i częstotwości próbkowania



próbek wejściowych. Po wydzieleniu składowych tonowych (quasi-periodycznych) i nietonowych (szumowych) - mających różny kształt indywidualnego progu maskowania - wartość krzywej maskowania w wybranym punkcie uzyskuje się z dodawania wartości progu statycznego oraz sumy indywidualnych progów maskowania bliskich składowych w tym punkcie.

Warunek maskowania szumu kwantowania wymaga, by $M/N > 1$.



Rys. 2-11 Algorytm kodowania kanału monofonicznego dla poziomu I i II, [1]

- **Przydziały liczby bitów /alokacje/ na poszczególne subpasma dla kodowania próbek**

Rozkład ten decyduje o jakości odbieranego dźwięku, czyli o pracy kodera. Jego optymalny wybór wylicza się w sposób iteracyjny. Jak pokazano na rys. 2-8, im więcej poziomów kwantowania, tym mniejszy szum kwantowania. Stąd strategia postępowania polega na takim przydziale poziomów kwantowania (bitów kodu) na subpasma, by wynikający stąd stosunek progu maskowania do szumu kwantowania (M/N) był łącznie w subpasmach jak największy, lecz nie powodował przekroczenia przydziału wolnych bitów w ramce. Po przyjęciu początkowej liczby poziomów kwantowania (np 1) kolejne kroki iteracji obejmują działania:

- Dla każdego subpasma wyliczamy

$$M/N \text{ [dB]} = S/N - S/M,$$

gdzie pierwszy człon zależy od założonej liczby poziomów kwantowania, drugi zaś wynika z dynamicznego progu maskowania.

- W subpaśmie z najmniejszą wartością M/N (największy poziom szumu kwantowania względem poziomu progu maskowania) zwiększamy liczbę poziomów kwantowania zmniejszając przez to poziom szumu kwantowania. Doliczamy wynikające stąd zwiększone zapotrzebowanie na bity w subpaśmie do wartości początkowej.

- Jeżeli liczba wolnych bitów w ramce nie została przekroczona - ponawiamy procedurę.

Dane potrzebne w kolejnych krokach iteracji wyznaczane są z wykorzystaniem algorytmów specyfikacji i stabelaryzowanych współczynników uwzględniających dane heurystyczne z akustyki [1]. Jeżeli liczba bitów dla kodowania próbek w subpaśmie przekroczy wyznaczony limit - alokacji tego subpasma przypisujemy wartość zero. W ten sposób pomijamy próbki o poziomie poniżej progu maskowania.

2.4.4.2 Sygnał monofoniczny

Zgodnie z procedurą opisaną powyżej próbki z najwyższych subpasm nie zawsze są transmitowane. Alokacja bitów dla subpasm powyżej określonego dla każdej ramki subpasma granicznego sp_limit (< 32) będzie równa zero. Efektywny zakres bieżącego wskaźnika subpasma sp zawiera się więc w granicach od 0 do ' sp_limit '. Opis nagłówka ramki zamieszczony jest w aneksie B. Podstawowe pola próbek fonii w ramce zawierają dane:

- *alokacja bitów*
Jest to przydział bitów do kodowania próbek kolejno w subpasmach
- *wybór współczynników skali*
Wskaźnik liczby współczynników skali w poszczególnych subpasmach
- *współczynniki skali*
Próbki o maksymalnym module w każdym subpaśmie skalujące pozostałe próbki
- *kody próbek*
Kodowane wartości próbek względem współczynników skali w subpasmach

Kod 'wyboru współczynnika skali' subpasma sp decyduje o ilości zamieszczonych współczynników skali tego subpasma. Bliższy opis ramki podano w aneksie B. Szczegółowe dane zawiera opis specyfikacji systemu. Dla wskaźnika subpasma ' sp ' w zakresie $0 \leq sp < sp_limit$ układ pól ramki ma postać z rys. 2-12.

Alokacja bitów[sp]	Wybór współczynników skali[sp]	Współczynniki skali [sp]	Kody próbek fonii[sp]
--------------------	--------------------------------	--------------------------	-----------------------

Rys. 2-12 Organizacja ramki sygnału monofonicznego

2.4.4.3 Sygnał stereo lub tryb dwukanałowy

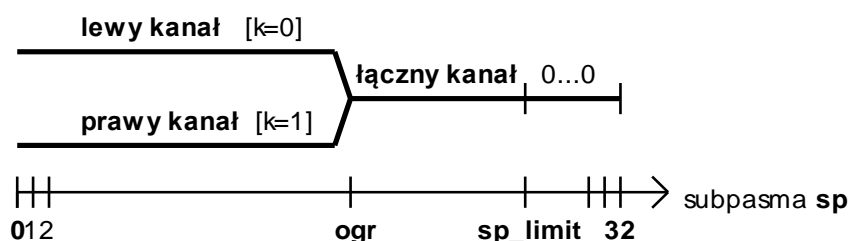
Tryb ten stosowany jest do kompresji dźwięku z dwu niezależnych kanałów (np. różnojęzyczne tłumaczenia, dźwięk towarzyszący obrazowi + komentarz), lub dźwięku stereofonicznego. Ramkę trybu dwukanałowego, lub stereo ilustruje **rys. 2-13**. Dla oznaczeń jak wyżej oraz numeru kanału z wskaźnikiem 'k' ($k = 0, 1$) - pola ramki podają najpierw parametry pierwszego, a następnie drugiego kanału.

Alokacja bitów[k][sp]	wybór współczynników skali[k][sp]	Współczynniki skali[k][sp]	kody próbek fonii [k][sp]
-----------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------

Rys. 2-13 Pola ramki sygnału dwukanałowego lub stereofonicznego

2.4.4.4 Tryb zwarty stereo

Szczególnie silną kompresję sygnału stereofonicznego można uzyskać za cenę nieco większej złożoności przetwarzania sygnału kodera. Porównując próbki sygnałów z obu kanałów w poszczególnych subpasmach eliminuje się podwójne przesyłanie kodów skorelowanych sygnałów. Dotyczy to wyższych subpasm, poczynając od ustalonego dla każdej ramki subpasma 'ogr'. Numer tego subpasma wybierany jest spośród wartości podanych w nagłówku ramki sygnału. Poniżej tej wartości dane dotyczące obu kanałów są niezależne, powyżej - przesyłana jest suma sygnałów obu kanałów. Jedynie współczynniki skali podawane są dla obu kanałów niezależnie. Każde z pól zwykłego trybu stereo ulega w związku z tym podziałowi na dwie części. Pierwsza, opisująca indywidualnie oba kanały, obejmuje subpasma o numerach 0 - ogr, druga, traktująca oba kanały łącznie, uwzględnia dalsze kanały do sp_limit. Schematycznie ukazują to szkic z rys. 2-14.



Rys. 2-14 Schemat organizacji subpasm zwartego sygnału stereofonicznego

Zakresy pozostałych parametrów - jak w zwykłym trybie stereo.

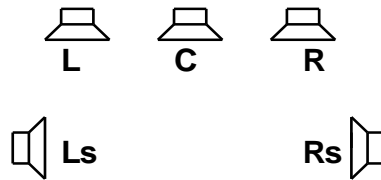
alok.bit [k][sp]	alok.bit. [sp]	wyb.wsp. skl[k][sp]	wyb.wsp. skl.[sp]	wsp.skali [k][sp]	wsp.skali [sp]	kody próbek fonii [k][sp]	kody próbek fonii [sp]
---------------------	-------------------	------------------------	----------------------	----------------------	-------------------	------------------------------	---------------------------

Rys. 2-15 Pola ramki zwartego sygnału stereofonicznego

Wartości kodów w poszczególnych polach zależą od przebiegu wejściowego sygnału, częstotliwości próbkowania i indeksu przepływności określających przydział bitów w ramce.

2.4.4.5 Dźwięk dookólny

Dźwięk dookólny (MUSICAM -Surround) to uniwersalny wielokanałowy system kodowania kompatybilny z dwu-kanałowym opisanym przez normę ISO 11172-3. Pole danych pomocniczych ramki MPEG-Audio zostało w tym systemie wykorzystane na rozszerzenie wielokanałowe. Trzy dodatkowe kanały mogą być przeznaczone na przekazywanie tłumaczeń dialogów programu w dodatkowych językach, na dodatkowe efekty dźwiękowe albo na rozszerzenie przekazu stereofonicznego o dodatkowe kanały (łącznie do pięciu). W ostatnim przypadku podstawowe kanały stereo - lewy i prawy - są uzupełniane o dodatkowy centralny kanał C oraz dwa otaczające kanały lewego i prawego sygnału - Ls i Rs. Układ taki jest określany jako "3/2-stereo" (3 frontowe/ 2 otaczające kanały). Aby dekodery istniejącej generacji mógł odbierać konwencjonalny sygnał stereo z kanałami Lo i Ro zakłada się kompatybilność ze standardem MUSICAM warstwa II w trybie łącznym stereo.



Rys. 2-16 Głośniki w układzie 3/2 stereo

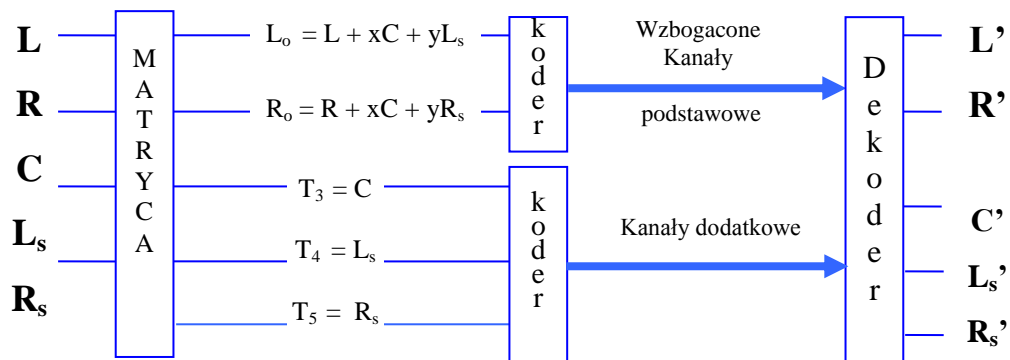
Gwarantuje to 'tryb kodowania łącznego' w którym liniowe kombinacje pięciu sygnałów kanałów L/C/R/Ls/Rs produkują bazowe sygnały stereofoniczne Lo/Ro oraz dodatkowe kanały T3/T4/T5 zgodnie z równaniami:

$$\begin{aligned} L_o &= L + xC + yL_s \\ R_o &= R + xC + yR_s \\ T_3 &= C \\ T_4 &= L_s \\ T_5 &= R_s \end{aligned}$$

gdzie x oraz y określają stosunek sygnałów centralnego oraz otaczających do podstawowego.

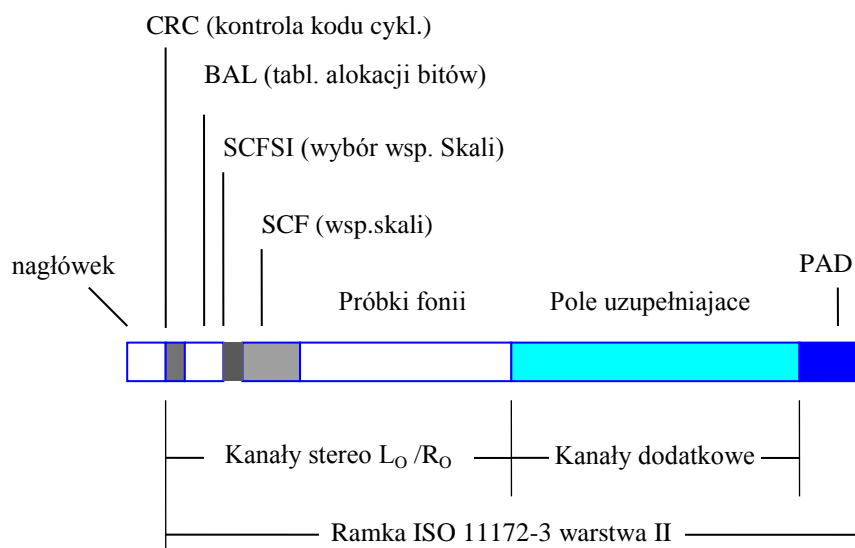
Relacje kanałów transmitowanych do pierwotnych ilustruje rys. 2-17. Przepływność sygnału wymagana dla układu wielokanałowego nie jest proporcjonalna do liczby kanałów. Redukcja przepływności opiera się na psychoakustycznych właściwościach odbioru rozszerzonego kanału stereo:

- pewne fragmenty stereofonicznego sygnału nie kojarzące się z lokalizacją mogą być przekazane przez jakikolwiek głośnik;
- pewne sygnały stereofoniczne zawierające elementy koherentne, mogą być transmitowane przez jeden kanał;
- efekt maskowania międzykanałowego pozwala na eliminację próbek poniżej progu maskowania w pozostałych kanałach.



Rys. 2-17 Idea systemu MUSICAM - Surround

Łączna przepływność wymagana dla systemu MUSICAM-Surround wynosi 384 kb/s. Podział na kanały podstawowe oraz dodatkowe dopuszcza kilka wariantów podziału przepływności (256/128; 224/160; 192/192; 160/224). Wybór może zależeć od wymaganego poziomu wielokanałowej transmisji, czy wymaganej liczby kanałów. Ramka odpowiada standardowi ISO 11172-3. Obok nagłówka, CRC i pola danych, także pole uzupełniające wykorzystywane jest do transmisji danych dla kanałów T3/T4/T5 (rys. 2-18). Dwa bity zarezerwowane w nagłówku ramki zawierałyby informację o wielkości tego pola. Dekoder zgodny z normą ISO 11172-3 dla układu dwugłośnikowego tę część informacji by ignorował.



Rys. 2-18 Ramka kodera w systemie dźwięku dookólnego MUSICAM- Surround

Zalecane przepływności kodera MUSICAM, w zależności od trybu pracy, podaje **tabela 2-1**. Zalecane wielkości oznaczone są krzyżykami:

Przepływność [kbit/s]	Tryby pracy kodera			
	Kanał pojedynczy	kanal podwójny	kanal stereofoniczny	łącny stereofoniczny
32	X			
48	X			
56	X			
64	X	X	X	X
80	X			
96	X	X	X	X
112	X	X	X	X
128	X	X	X	X
160	X	X	X	X
192	X	X	X	X
224		X	X	X
256		X	X	X
320		X	X	X
384		X	X	X

Tabela 2-1 Zalecane przepływności skompresowanego sygnału audio

2.4.4.6 Algorytm dekodowania dźwięku

Podstawowe kroki algorytmu dekodowania kanału monofonicznego przedstawia rys. 2-19.



Rys. 2-19 Algorytm dekodowania ramki kanału monofonicznego dla poziomu II

Po zdekodowaniu nagłówka ramki dekodery odczytuje kody kolejnych pól.

W przypadku trybu łącznego stereo uwzględniana jest wartość rozszerzenia podana w nagłówku ramki. Wskaźnik kontroli kodu uruchamia procedurę kontroli kodu CRC. Wykrycie błędu powoduje zastąpienie ramki przez poprzednią, by uniknąć dyktorsji dźwięku.

Znajomość przepływności oraz częstotliwości próbkowania pozwala zdekodować alokacje bitów dla poszczególnych subpasm ($< sp_limit$) z wykorzystaniem tablic normy. Stąd określamy ilość poziomów kwantowania, a następnie liczbę bitów kodu ziaren lub indywidualnych próbek.

Dla subpasm, których alokacja bitów jest niezerowa, kolejno dekodowane są:

- wybór współczynników skali, - współczynniki skali, - same próbki.

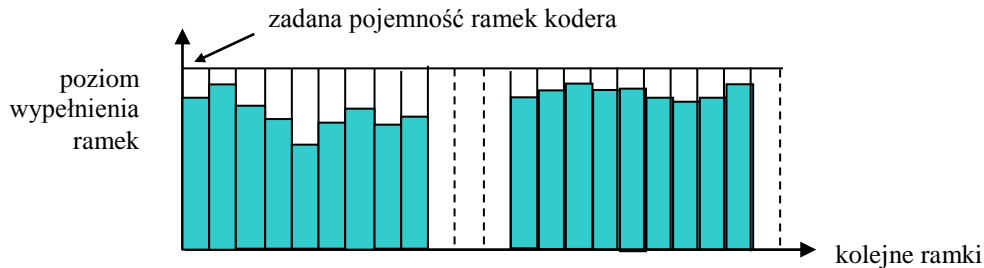
Filtracja odwrotna rekonstruuje wyjściowe próbki PCM dekodera.

2.4.5 Usługi towarzyszące programowi (PAD). Kanały F-PAD, X-PAD

Multimedialna radiofonia DAB stwarza możliwość transmisji usług multimedialnych skorelowanych z nadawanym programem. Usługi takie transmitowane są w podkanale PAD (ang. Programme Associated Data) zawierającym usługi towarzyszące programowi audio. Podkanał PAD zbudowany jest z pól uzupełniających ramki kodera dźwięku.

2.4.5.1 Dynamika wypełnienia ramek

Ramki kodera fonii posiadają stałą pojemność określoną przez zadaną przepustowość wyjściową kodera. Jednak wypełnienie ramek informacyjnymi danymi wynikającymi z zastosowanego algorytmu zmienia się od ramki do ramki w zależności od bieżących parametrów sygnału. W związku z tym w ramach pozostaje pole efektywnie nie wykorzystane. Przykładowo zmianę w czasie wielkości wolnego pola w kolejnych ramach ukazują rys. 2-20.



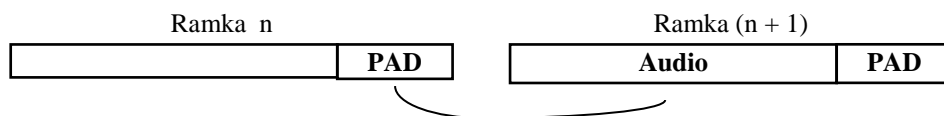
Rys. 2-20 Dynamika wypełniania ramek kodera MUSICAM

Praktycznie w każdej ramce MUSICAM można bez ograniczania jakości dźwięku zorganizować pole przenoszące dodatkowe informacje. Pola te tworzą kanał usług towarzyszących programowi PAD (ang. Programme Associated Data).

2.4.5.2 Organizacja kanału usług towarzyszących programowi (PAD)

Nie zajęte kodem fonii pole w końcu każdej ramki fonii tworzy pole usług towarzyszących programowi. Łącznie pola PAD w wszystkich ramach fonii danego programu stanowią subkanał usług PAD. Można w nim przekazywać zsynchronizowane z programem usługi nie wymagające adresowania (np. tekst nadawanej piosenki, zdjęcie wykonawcy, itp.), lub informacje niezależne od programu.

W przypadku transmisji usług stowarzyszonych z programem porcje danych w polu PAD ramki 'n' są skorelowane z dźwiękiem (audio) w kolejnej ramce 'n+1', jak na rys. 2-21:



Rys. 2-21 Dane stowarzyszone z audio ramki (n + 1) występują w poprzedzającej ramce n

Pole PAD składa się z dwóch części:

- I. Stałego pola F-PAD (ang. Fixed PAD) w końcu każdej ramki, o wielkości 2 bajtów. W trybie I przepustowość kanału F-PAD wynosi:

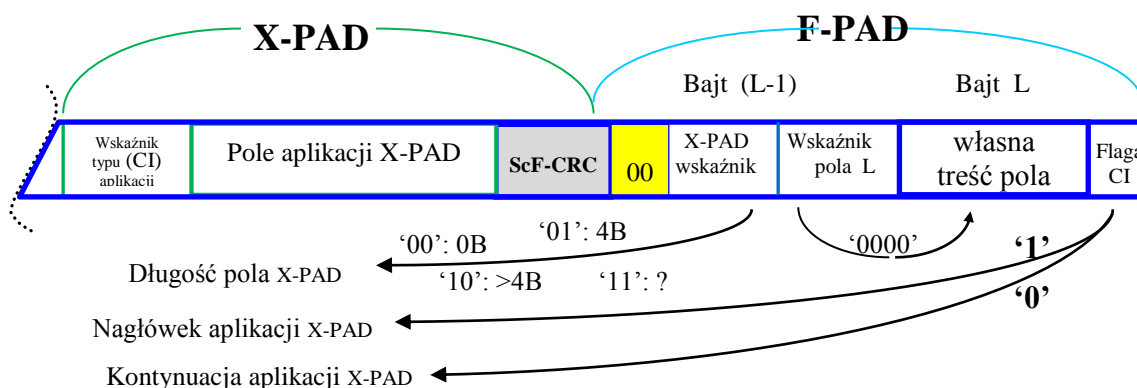
$$2 \text{ B/CIF} \times 4\text{CIF/ramka} \times 10,42 \text{ ramek/s} = 0,667 \text{ kbit/s}$$

W zależności od typu pola F-PAD może ono zawierać (rys. 2-22):

- wskaźnik długości wariantowego kolejnego pola X-PAD z wariantami:
 - brak pola X-PAD
 - stała długość pola X-PAD równa 4 bajtom w każdej ramce fonii
 - zmienna długość pola X-PAD od ramki do ramki
- wskaźnik zawartości pola ostatniego bajta L mogącego mieścić:
 - informacje własne obsługi technicznej systemu (ang. in-house information)

- kontrolę dynamiki sygnału w kolejnej ramce w zakresie 0 – 15.75 dB z krokiem co 0.25 dB
- opcjonalny wskaźnik kodu: muzyka lub głos
- flagę CI (ang. Content Indicator) określającą początek ('1') lub kontynuację ('0') aplikacji w opcjonalnym polu X-PAD

Poszczególne części pola F-PAD oraz położenie parametrów pola X-PAD wskazuje rys. 2-22.



Rys. 2-22 Konfiguracja pola F-PAD (Fixed-PAD) z własną treścią pola

Wyzerowanie pola F-PAD oznacza brak informacji w polu PAD.

II Rozszerzenia pola X-PAD (ang. eXtended PAD) zawartego w polu między ostatnimi próbkami kodu fonii, a polem zabezpieczeń współczynników skali (ScF-CRC) poprzedzającym pole F-PAD

Długość pola X-PAD wyznacza operator usługi. Wskaźnik długości pola X-PAD (wartość 0 to brak tego pola) mieści się w stałej części F-PAD. Pole X-PAD dzieli się na pole aplikacji, oraz – jedynie, gdy transmitowany jest nagłówek - wskaźnik typu aplikacji CI (ang. content indicator), który określa typ kodera wymaganego w odbiorniku do zdekodowania aplikacji. W przypadku aplikacji transportowanych w szeregu kolejnych polach X-PAD informacja o początku aplikacji lub jego kontynuacji wyznaczana jest przez flagę CI.

Aplikacje o dużej pojemności mogą być opisane jako grupy pakietów lub obiekty multimedialne MOT (ang. Multimedia Object Transport) opisane w paragrafie 7. W jednym polu X-PAD można transportować do czterech różnych aplikacji jednocześnie. Wówczas wymagany jest dla każdej z nich wskaźnik typu zawartości.

W przypadku pól X-PAD zmiennej długości wskaźnik typu CI wskazuje również długość pola X-PAD w ramce, oraz podział pola X-PAD między kilka aplikacji, jeśli taka opcja ma miejsce.

Z dopuszczalnej liczby 31 typów aplikacji oraz wskaźników transportu podawanych w wskaźniku CI aktualnie zdefiniowane są typy wskazane w tabeli 2-2. W zależności od sposobu podziału transmitowanej aplikacji (segmenty, grupy pakietów, obiekty multimedialne MOT) w kanale X-PAD zaznaczany jest typ aplikacji.

Dynamiczna etykieta może składać się maksymalnie z 8 segmentów transmitowanych w kolejnych polach X-PAD, każdy zawierający do 16 znaków.

Typ aplikacji	Opis
0	wskaźnik końca aplikacji
1	wskaźnik długości grupy pakietów
2	segment dynamicznej etykiety, początek grupy pakietów X-PAD
3	segment dynamicznej etykiety, kontynuacja grupy pakietów X-PAD
4 - 11	określone przez użytkownika
12	MOT, start grupy pakietów X-PAD
13	MOT, kontynuacja grupy pakietów X-PAD
14	MOT, start komunikatów CA
15	MOT, kontynuacja komunikatów CA
16 - 30	określone przez użytkownika
31	aktualnie nie stosowany

Tabela 2-2 Objęte specyfikacją aplikacje w kanale X-PAD

Transmisja usług w subkanale PAD może być przeprowadzana w jednym z trzech trybów:

- Tryb strumieniowy, gdzie cały subkanał przeznaczony jest na jedną aplikację
- Tryb pakietowy w subkanale, który dopuszcza maksymalnie 1023 różnych typów pakietów o długości od 24 do 96 bajtów. Pakiety jednego programu identyfikowane poprzez ustalony adres. Maksymalna liczba jednoczesnych programów: 64
- Transmisja poprzez kanał dedykowanych usług w kanale szybkich informacji FIDC (ang. Fast Information Data Channel): szybkość transmisji w tym kanale to pojedyncze kbit/s, lecz zaletą jest minimalne opóźnienie czasowe transmisji

2.5 Koder audio w systemie DAB+

Zasadnicza różnica między systemami DAB oraz DAB+ polega na wprowadzeniu koder audio o znacznie wyższej wydajności oraz możliwości elastycznych zastosowań do transmisji w kanałach różnej szerokości. Stosowany w systemie DAB+ koder HE AAC v2 (High Efficiency Advanced Audio Coding) jest zbudowany z wybranych składników koder MPEG-4 Audio, w ramach którego można dobierać kombinacje różnych mechanizmów kodowania fonii. Dla zastosowań radiofonii DAB z zestawu MPEG-4 Audio wybrano trzy elementy:

- A. Koder AAC (Advanced Audio Coding)
- B. Metodę SBR (Spectral Band Replication)
- C. Mechanizm PS (Parametric Stereo)

Ad A. Koder MPEG AAC działa dla przepustowości około 175 kbps w przypadku sygnału audio bez dodatkowych towarzyszących informacji. Podobnie jak w koderze MUSICAM koder AAC wykorzystuje reprezentację sygnału w dziedzinie częstotliwości. Podstawowe etapy kodowania są analogiczne do mechanizmów działania każdego koder psychoakustycznego:

- Spektralna analiza sygnału
- Efekt maskowania. Wyznaczenie progów maskowania
- Filtracja i kodowanie sygnału w subpasmach
- Kwantyzacja i przydziały bitów w subpasmach

Wydajność koder AAC jest wyższa niż wydajność koder MUSICAM. Obok różnych form predykcji wynika to przede wszystkim z zastosowania bloków transformaty o różnej długości w zależności od położenia analizowanego przedziału częstotliwości akustycznych. Bloki transformaty w najwrażliwszym przedziale od 3 do 5 kHz liczą po 256 próbek, gdy w niższych oraz wyższych przedziałach osiągają 2048 próbek.

W koderze MPEG AAC przyjęto częstości próbkowania 32 kHz lub 48 kHz. W podstawowej ramce AU (ang. Access Unit) liczba próbek wynosi 960 na kanał.

Ad B. Koncepcja SBR (ang. Spectral Band Replication) sprowadza się do rekonstrukcji w dekoderze górnej części spektrum sygnału audio przez odpowiednio sparametryzowaną replikę dolnej części spektrum. Pozwala to zaoszczędzić około połowy przepustowości sygnału kodowanego w pełnym zakresie. System SBR opiera się na informacji z dekodowanego sygnału wyjściowego z koder MPEG AAC w paśmie podstawowym oraz niewielkiej liczby danych kontrolnych gwarantujących optymalną rekonstrukcję wysokich częstotliwości. Ograniczenie analizy do dolnego pasma częstotliwości można uzyskać operując częstotliwością próbkowania koder zmniejszoną do połowy, a więc 16 lub 24 kHz, oraz z oryginalną częstotliwością dla parametryzacji górnej części pasma. W górnej części estymowana jest spektralna obwiednia przy pomocy zespołu filtrów QMF (Quadrature Mirror Filters), oraz określone jej parametry (SBR). Po kwantyzacji z uwzględnieniem modelu psychoakustycznego parametry są kodowane i włączane do strumienia kodu dolnej części spektrum.

W dekoderze najpierw następuje rozkodowanie dolnej części spektrum, następnie replika tej części zostaje przesunięta w miejsce górnego pasma i dopasowana do pierwotnej wielkości za pomocą parametrów SBR. Podstawowe kroki działania SBR po stronie koder oraz dekodera obrazuje rys. 2-23

Ad C. Metoda PS (ang. Parametric Stereo) polega na parametrycznej odbudowie *kanalów stereo* na podstawie znajomości strumienia sygnału podstawowego oraz układu parametrów rozróżniających poszczególne kanały stereo. Koder PS operuje w ramach bloku SBR jako informacja dodatkowa (ang. side information). Parametryzacja kodu sygnałów audio korzysta z techniki HILN (Harmonic and Individual Lines plus Noise) dla przepływności 4 kbit/s lub

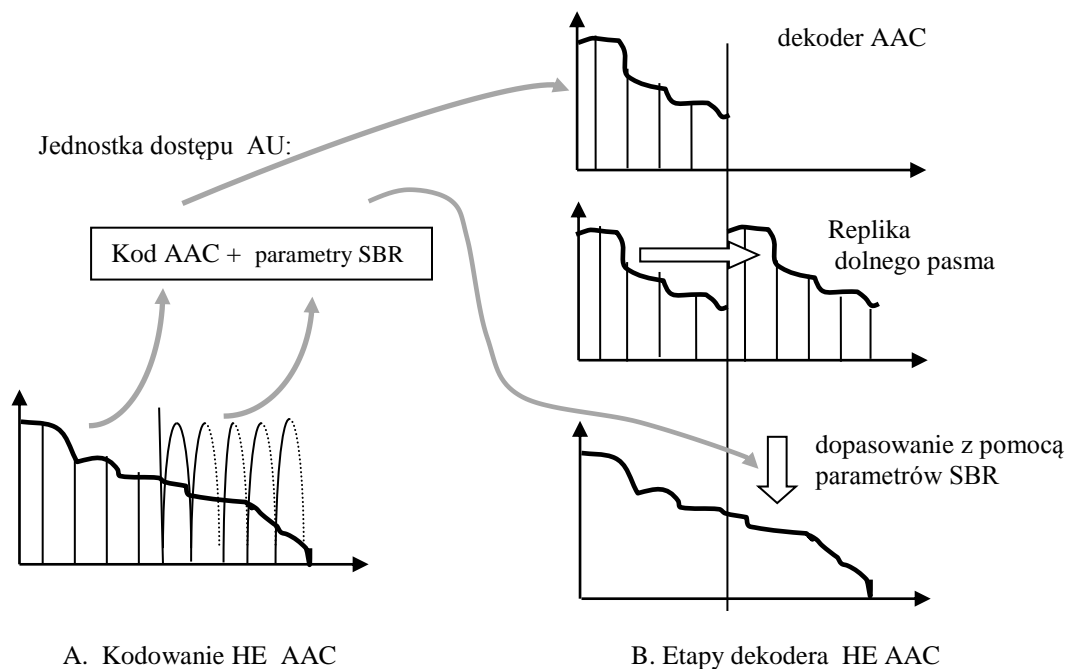
powyżej. W koderze HILN przebiegi sinusoidalne, tony harmoniczne, czy szum są adekwatnie sparametryzowane i służą do reprezentowania zróżnicowanych wersji źródłowego sygnału. Parametryzacja podlega kwantyzacji uwzględniającej psychoakustyczny model odbioru. Transmitując w miejsce niezależnych kodów poszczególnych kanałów jedynie zmiksowany sygnał źródłowy oraz niewielką liczbę parametrów istotnych dla jakości odbioru zróżnicowanych indywidualnych kanałów stereo wyraźnie zwiększa się wydajność kodu.

Znajomość kodu HE AAC v2 pozwala na odtworzenie albo samego kodu AAC w pełnym kanale lub kodu HE AAC, co umożliwia elastyczne jego wykorzystywanie w urządzeniach odbiorczych o różnym wyposażeniu.

W zależności od przepustowości kanału można stosować tylko koder AAC, koder AAC z repliką spektrum SBR, lub łącznie wszystkie mechanizmy. W ostatnim przypadku wydajność kodera jest równa około jednej trzeciej wydajności kodera MUSICAM.

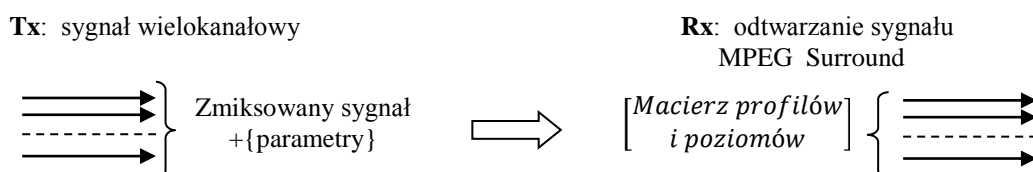
Koder stosowany jest do kompresji fonii w układach:

- Mono,
- stereo,
- wielokanałowego systemu dźwięku dookólnego *MPEG Surround*



Rys. 2-23 Idea działania kodera HE AAC w kanale monofonicznym, [6]

W systemie dźwięku dookólnego MPEG Surround poszczególne kanały wejściowe przenoszą sygnały fonii mono, lub stereo. Strumień wyjściowy konstruowany jest z miksowania sygnału poszczególnych kanałów wejściowych wraz z określeniem parametrów pozwalających odróżnić zauważalne przez ucho różnice między każdym z indywidualnych kanałów. W zależności od oprogramowania odbiornika i możliwości uruchamiania dodatkowych opcjonalnych narzędzi rozróżniamy kilka profilów oraz poziomów określających różne konfiguracje kodera.



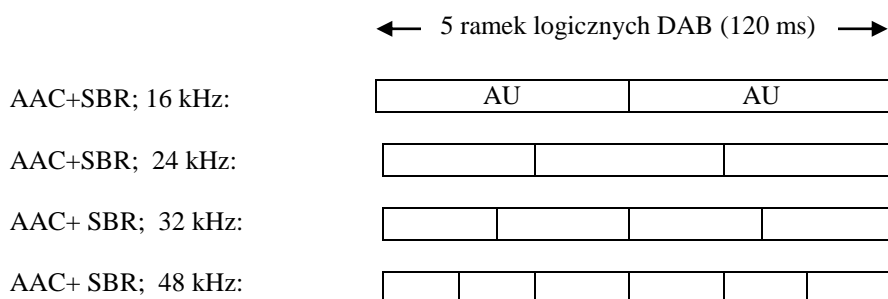
Rys. 2-24. Koncepcja transmisji fonii wielokanałowej

Ramka przenosząca parametry oraz dane kodera nosi nazwę jednostki dostępu AU (ang. Access Unit). Długość jednostki dostępowej AU w systemie DAB+ zależy od wariantu kodera oraz częstotliwości próbkowania, zgodnie z tabelą 2-3.

Typ kodera	Częstl. próbkowania [kHz]	Liczba próbek/ kanał	Jednostka dostępowa AU [ms]
AAC	32 / 48	960	30 / 20
AAC core + SBR	16 / 24	960	60 / 40

Tabela 2-3 *Wariantowe parametry kodera MPEG 4*

W celu uproszczenia transmisji oraz procesu dekodowania w systemie DAB+ ujednociono budowę ramki wyjściowej kodera. Nośnikiem audio są *super ramki* o długości 5-ciu ramek logicznych radia DAB, będące wspólną bazą dla różnych profili kodera oraz różnych częstotliwości próbkowania, wymagających różnych długości:



Rys. 2-25 Budowa super ramki dla różnych jednostek dostępowych AU

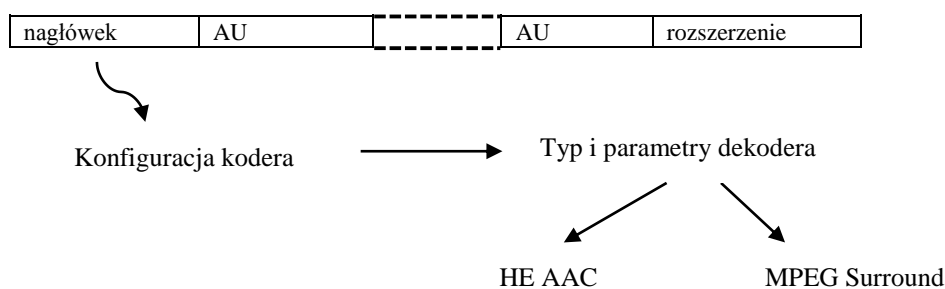
Parametry nagłówka super ramki zawierają informację o typie kodera i stosowanej częstotliwości próbkowania:

- częstotliwość próbkowania konwertera AC (32/ 48 kHz)
- obecność kodera SBR (tak / nie)
- typ kodera AAC: mono / stereo
- obecność kodera PS (tak / nie)
- podstawowa konfiguracja MPEG Surround oraz parametry uściślające konfigurację
- adres jednostki AU w bajtach

O ilości odbieranych kanałów w MPEG Surround decyduje odbiorca w ramach ograniczonych przez techniczne wyposażenie odbiornika. Potrzebna informacja zawarta jest w polu SpatialSpecificConfig. Poszczególne pola kodera HE AAC zabezpieczone są kodem Reeda-Salomona.

W odbiorniku proces rozpoczęcia dekodowania nie powinien trwać dłużej niż 4 super ramki. Dekodowanie rozpoczyna się od identyfikacji nagłówka super ramki. W tym celu do bufora ładowanych jest minimum 5 sukcesywnych ramek DAB i przeglądane są pola synchronizacji kolejnych ramek wraz z przesuwaniem ramek i uzupełnianiem bufora. Natrafienie na pole synchronizacji super ramki rozpoczyna cykl dekodowania:

- synchronizacji nagłówka super ramki
- pobranie parametrów audio kodera
- odczytu adresów jednostek dostępu AU(n)
- odczytu parametrów z rozszerzenia ramki



Rys. 2-26 Kroki dekodowania superramki

Równolegle przeprowadzana jest kontrola poprawności kodu oraz - w przypadku stwierdzenia błędu – korekta grup uszkodzonych bitów przy pomocy dekodera Reeda-Salomona, co zwiększa jego odporność na zakłócenia. Dzięki temu w systemie DAB+ obszar pokrycia sygnałem użytecznym wzrasta w stosunku do pokrycia w systemie DAB.

W przypadku wystąpienia nieusuwalnych zniekształceń jednostki AU zostaje ona zastąpiona przez uśrednione prawidłowe dane z granicznych jednostek AU. Uśrednienie przeprowadzane jest na poziomie współczynników skalowania.

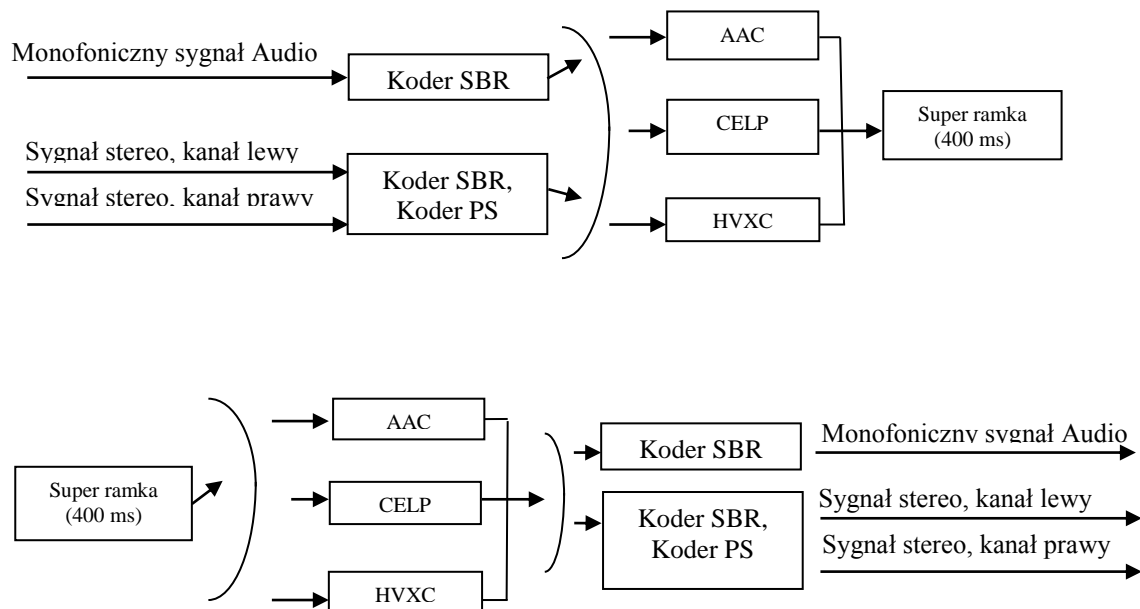
2.6 Kodery fonii radiofonii DRM (Digital Radio Mondiale)

System cyfrowej radiofonii w zakresach fal długich i średnich o akronimie DRM (ang. Digital Radio Mondiale) posiada organizację warstw logicznych zbliżoną do organizacji systemu DAB. W warstwie fizycznej zasadnicza różnica polega na zastosowaniu w tym systemie kodera fonii o znacznie większym współczynniku kompresji, a więc i znacznie zmniejszoną przepływność wyjściowego sygnału, ze względu na wąskie kanały częstotliwości w zakresach fal długich i średnich.

W systemie DRM stosuje się kilka rodzajów koderów o zastosowaniach dostosowanych do typu komprimowanej treści:

- A. MPEG-4 AAC (Advance Audio Coding)
- B. MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction)
- C. MPEG-4 HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding)
- D. SBR (Spectral Band Replication)
- E. PS (Parametric Stereo)

Usytuowanie koderów w nadajniku oraz odbiorniku pokazuje rys. 2-27



Rys. 2-27 Miejsce koderów fonii w układzie nadajnika oraz odbiornika DRM

Własności koderów:

Ad. A. Zasada działania kodera AAC omówiona została w paragrafie 2.5.

Ad. B. Koder CELP

Koder CELP (Code Excited Linear Predictive coding) powstał w wyniku połączenia techniki kwantowania wektorowego z predykcją liniową. Predykcja polega na przewidywaniu wartości wektora próbek na podstawie poprzedzających próbek sygnału, zgodnie z tzw. predykcją długookresową. Kwantowanie wektorowe obejmuje niezależnie dobór wektora z zbioru wektorów tworzących słownik wzorców sygnałów o modelowym widmie oraz kwantowanej wielkości wzmocnienia tak, by zapewnić najmniejszą odległość konstruowanego wektora syntetyzowanej mowy od wektora mowy rzeczywistej. W odbiorniku równolegle odtwarzany jest poziom sygnału oraz jego analiza widmowa na podstawie kształtu sygnału w celu wyznaczenia transmitancji adaptacyjnego filtra wyjściowego. Dzięki temu w słowniku wektorów

nie trzeba magazynować wzorców sygnałów o różnym widmie. Okresy ciszy wykrywane w nadajniku przez detektor głosu są niezależnie parametryzowane, a następnie w odbiorniku odtwarzane przez generator szumu o amplitudzie i spektrum sterowanym przez transmitowane parametry.

Ad. C. Koder HVXC (Harmonic Vector Excitation Coding) jest narzędziem parametrycznego kodowania sygnału audio. Stosowany jest do kodowania głosu w przypadku bardzo niskiej przepustowości w zmiennych granicach od 2 do 4 kbit/s z częstotliwością próbkowania 8 kHz, zgodnie z standardem ISO/IEC 14496-3 (MPEG-4 Audio). Przetwarza sygnały monofoniczne o spektrum w granicach od 0.3 do 3.4 kHz. Koder wykorzystuje mechanizmy LSP (Line Spectral Pair) oraz kwantowanie wektorowe. Adaptacja przepustowości w wskazanych granicach realizowana jest poprzez warstwową strukturę strumienia zakodowanego sygnału: strumień opisujący rdzeń sygnału oraz strumienie podwyższające jego jakość. Zależnie od typu i jakości dekodera w odbiorniku przetwarzany jest jedynie rdzeń sygnału (minimalna przepustowość), lub audio o zwiększonej jakości z stopniowaniem odpowiadającym liczbie przetwarzanych dodatkowych strumieni.

Koder HVXC stosowany jest niezależnie w aplikacjach wielojęzycznych, czy archiwizacji plików audio.

2.7 Transmisja obiektów audiowizualnych - wideo

Każdy przekaz audiowizualny składa się z kolejnych scen zbudowanych z interaktywnych, audiowizualnych obiektów typu:

- wideo
- audio
- tekst
- grafika 2- oraz 3-wymiarowa
- syntetyczna muzyka
- syntetyczne obiekty dźwiękowe

Transmisja przekazu takich scen wymaga nie tylko uprzedniego kodowania poszczególnych obiektów, ale także ich wzajemnych przestrzenno-czasowych relacji. Do opisu tych relacji wybrano i przyjęto w zastosowaniu do systemu DAB [48] podzbiór relacji opisanych w specyfikacji obiektów multimedialnych [66].

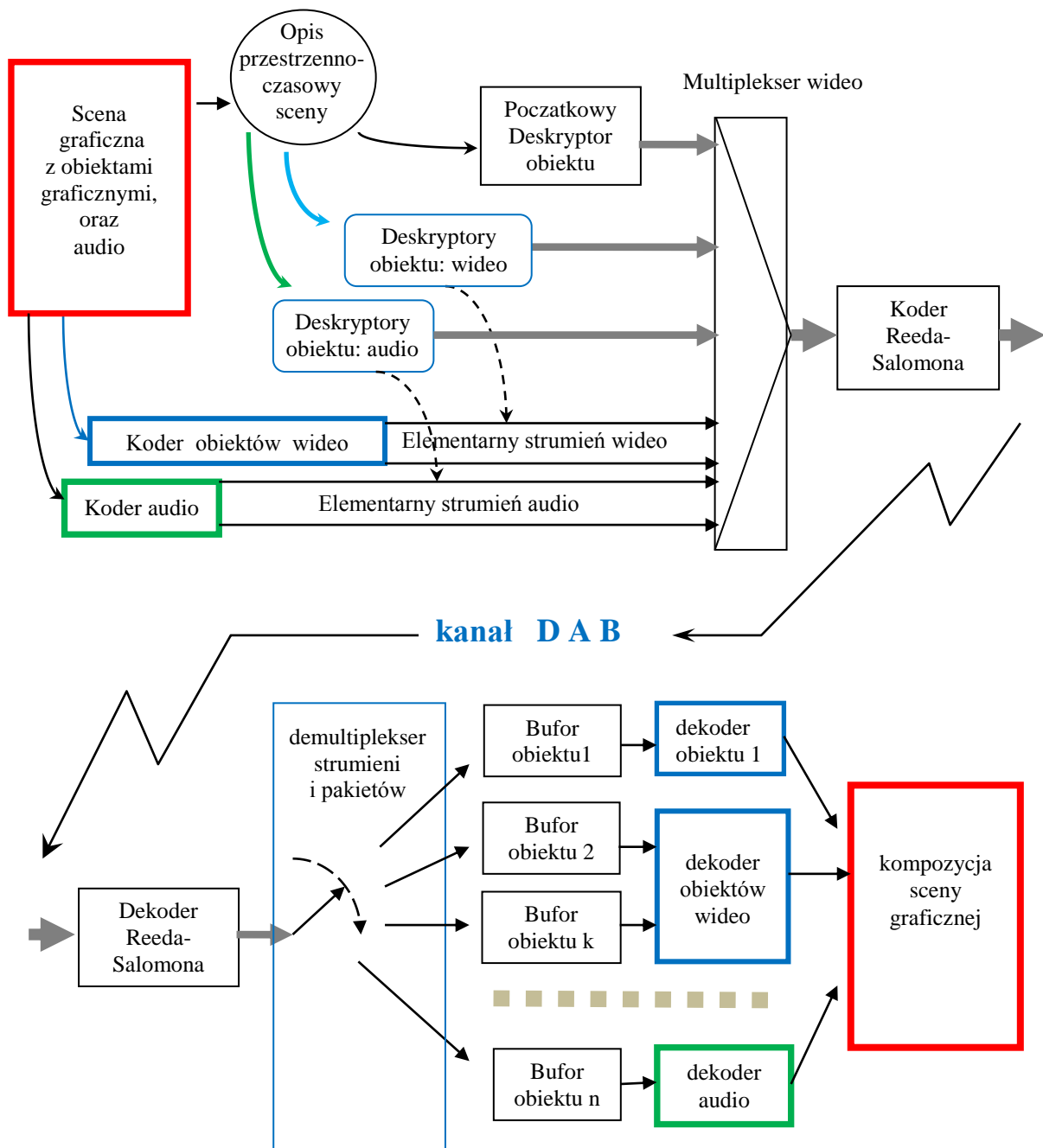
W celu rekonstrukcji takich złożonych multimedialnych obiektów składających się na jedną scenę konieczny jest w odbiorniku – poza rozkodowanym opisem poszczególnych składników – zbiór dodatkowych parametrów łączących te składniki z powrotem w jedną scenę. Parametry te to tak zwane opisy sceny, czy *deskryptory sceny* (ang. scene descriptors) określające przestrzenne i czasowe współrzędne zakodowanych poszczególnych składników sceny. W ten sposób opisywana jest struktura sceny. Relacje między składowymi określa *kompozycja* (ang. composition). Przejście od reprezentacji określonej przez deskryptory do określonej kompozycji to *interpretacja* (ang. rendering).

W specyfikacji [66] wybrano narzędzia opisu i transmisji obiektów multimedialnych:

- model terminala z zarządzaniem buforami i relacjami czasowymi
- zakodowane reprezentacje informacji o czasowo-przestrzennym opisie audio wizualnych scen (Binary Format for Scenes – BIFS)
- zakodowane reprezentacje identyfikacji i opisu audiowizualnych strumieni z logicznymi zależnościami między informacjami różnych strumieni (Object Descriptors – OD)

- zakodowane reprezentacje informacji o synchronizacji (Synchronization Layer – SL)
- reprezentacja wspólnego multipleksu indywidualnych strumieni
- zakodowana reprezentacja deskrypcyjnej audiowizualnej zawartości informacji (Object Content Information – OCI)

Relacje między podstawowymi pojęciami obrazuje diagram z rys. 2-28. Ukazuje on schematycznie kreowanie elementarnych strumieni: osobno z opisem sceny i osobno z skompresowanymi opisami poszczególnych obiektów video i audio. Strumienie te łączone są w całość w multipleksersze video, skąd - poprzez koder Reeda-Salomona oraz wybrany system transmisyjny – przenoszone są do odbiornika.



Rys. 2-28 Struktura opisu i transmisji przykładowego obiektu wideo (wg [66])

Opis sceny nie odnosi się bezpośrednio do elementarnych strumieni, lecz wykorzystuje do tego deskryptory poszczególnych obiektów. Takie podejście ma na celu uniezależnienie opisu struktury przestrzenno-czasowej sceny od opisów poszczególnych mediów oraz narzędzi transportu. Rozwój metod w każdej z tych dziedzin może więc być uwzględniany bez konieczności rekonstrukcji całości.

W procesie transmisji parametry synchronizujące oraz sytuujące obiekty sceny winny wyprzedzać przekaz kodów obiektów, stąd multipleks obiektu ma formę:

$$\{[\text{parametry obiektów}][\text{kody obiektów}]\}$$

Obiekty sceny po przejściu adekwatnych koderów wychodzą w formie pakietów uzupełnionych o parametry synchronizacji, tj. czasy odniesienia dla hierarchizacji czasowej obiektów oraz stemple czasowe określające zalecane czasy dekodowania czy kompozycji danej sceny w odbiorniku.

Wyjściowe ramki z koderów poszczególnych obiektów są łączone w elementarne strumienie dzielone na pakiety w warstwie synchronizacji po włączeniu informacji dotyczących synchronizacji i relacji czasowych (ang. packetized elementary streams). Podobnie deskryptory obiektów opisujących scenę po zakodowaniu wpisywane są w pakiety i łączone w strumień zawierający równoległe parametry łączące obiekty w scenę i je synchronizujące (OD/BIFS – Objects Descriptor/Binary Format for Scene).

Flagi i wskaźniki w nagłówkach pakietów warstwy synchronizacji dotyczą:

- początku jednostki
- końca jednostki
- dostępu warunkowego
- parametrów czasowych
- wspólnego czasu odniesienia dla synchronizacji obiektów tworzących scenę

Zmultipleksowany strumień danych dzielony jest na jednostki dostępu (ang. Access Units) z dołączonymi stemplami czasowymi w celu czasowej synchronizacji sceny graficznej w odbiorniku.

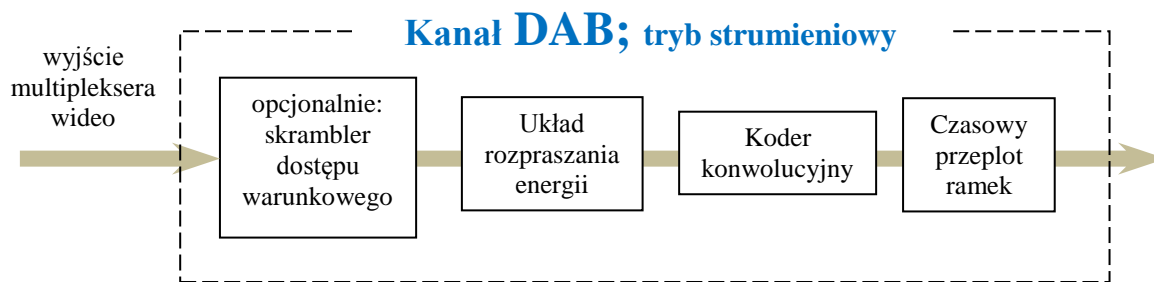
Zależnie od specyfiki systemu transmisyjnego jednostki dostępu w trakcie transmisji mogą być dalej dzielone, a odbudowywane po przejściu kanału w buforach poszczególnych strumieni na wyjściu demultipleksera wideo.

Odtwarzanie transmisji w odbiorniku stawia wymagania względem wielkości bufora i sposobu jego zarządzania, tak, by nie następowało jego przeładowanie. Wymagania te anonsowane są na początku sesji poprzez deskryptory elementarnych strumieni, by zdecydować, czy możliwe będzie zdekodowanie konkretnej sesji.

2.7.1 Transmisja wideo w systemie DAB

Pakiety poszczególnych strumieni (PES – Packetized elementary streams) identyfikowane przez wskaźniki PID (Packet Identifier) i zsynchronizowane czasowo łączone są w rozbudowane ramki zwane kontenerami (container format) zgodnie z standardem transportu strumieni MPEG–2 TS (MPEG-2 Part 1, Systems).

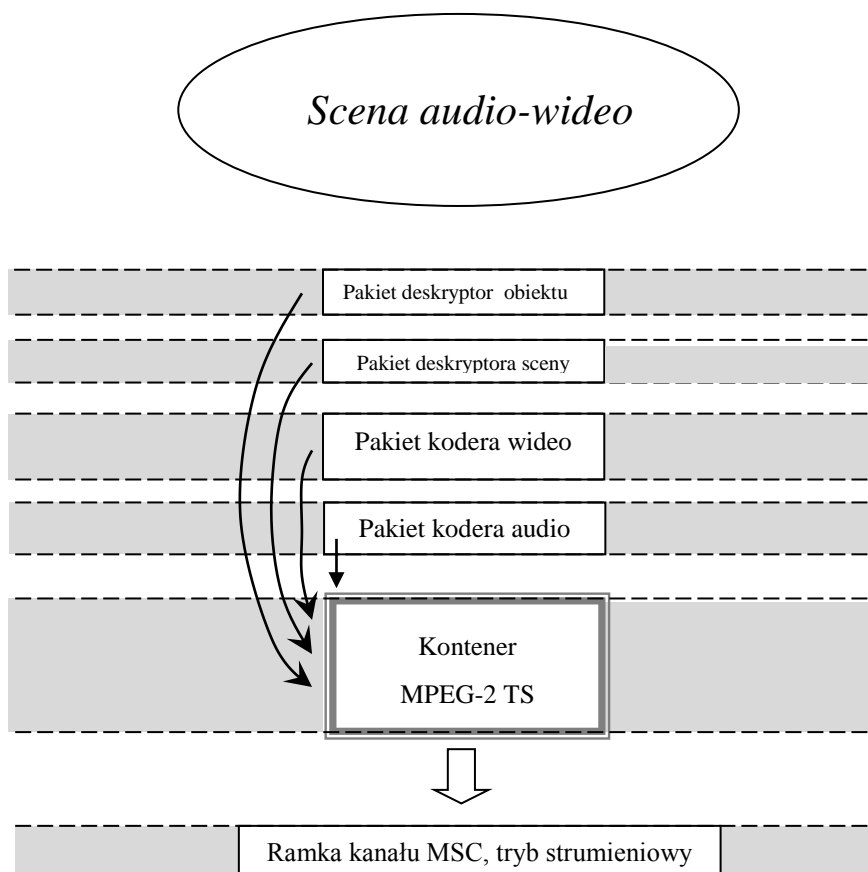
Strumień kontenerów z multipleksera wideo i przejściu kodera R-S jest następnie włączany w tryb strumieniowy systemu DAB w głównym kanale transmisyjnym MSC zgodnie z rys. 2-29.



Rys. 2-29 Kształtowanie strumienia wideo w nadajniku DAB

Po przejściu kanału, w odbiorniku DAB sygnał wideo przetwarzany jest w odwrotnej kolejności. Odtworzone po przejściu kanału DAB kontenery są następnie dzielone na poszczególne zsynchronizowane strumienie przez wybieranie i łączenie pakietów z wskaźnikiem PID osobno dla każdego strumienia. Poszczególne strumienie są ładowane do adekwatnych dekodów i – po zsynchronizowaniu oraz kompozycji zgodnej z parametryzacją deskryptorów w buforze monitora – prezentowane na ekranie.

Warstwowy opis transmisji obiektów multimedialnych można przedstawić w postaci wykresu z rys. 2-30.



Rys. 2-30 Schemat warstwowej transmisji obiektów multimedialnych w systemie DAB

2.8 Mechanizmy zabezpieczające jakość transmisji

System DAB został zaprojektowany dla transmisji danych cyfrowych w kanałach roz-siewczych do odbioru stacjonarnego, oraz ruchomego. Ze względu na możliwe zakłócenia kanału przez:

- propagację wielodrogową
- przesunięcie Dopplera
- szумы przemysłowe, wyładowania elektryczne

ograniczenie stopy błędu poniżej dopuszczalnego poziomu wymagało zastosowania w syste-mie DAB szeregu mechanizmów zabezpieczających:

- W celu *detekcji błędów* zastosowano kody CRC optymalizując wielkość ramek, pakietów i grup danych tak, by detekcja błędów nie obejmowała zbyt wielkich porcji danych.
- Do *korekcji błędów* użyto kodera konwolucyjnego w nadajniku oraz dekodera Viterbiego po stronie odbiorczej. Rozszerzenie zakresu sprawności kodera uzyskano wprowadzając mechanizm perforacji (ang. 'puncturing').
- W przypadku występowania *błędów seryjnych* spowodowanych zakłóceniami o dłuższym czasie trwania, rzędu 300 mikrosekund, dekodery Viterbiego przestają działać efektywnie. W celu ominięcia tej trudności zastosowano w systemie przeplot czasowy ramek rozdzia-lając w ten sposób bity jednego pakietu między szereg 16-tu sukcesywnych ramek.
- Modułacja kanałowa w radiofonii DAB realizowana jest w systemie COFDM /ang. Coded Ortogonal Frequency Division Multiplex/. Ten specjalnie dla DAB opracowany system modułacji, nowatorski w skali światowej i podstawowy dla pokonania problemów *propa-gacji wielodrogowej*, omawiamy wraz z modułacją podnośnych w osobnych podrozdzia-łach 2.10 oraz 2.11.

2.8.1 Kody CRC ramek DAB

Cykliczny kod nadmiarowy CRC (Cyclic Redundancy Code) to klasyczny kod pozwalają-ący na detekcję błędów powstających w trakcie transmisji.

Każdy skończony ciąg bitów można potraktować jako układ współczynników wielomia-nu. Zamiast o transmisji ciągu bitów można więc równoważnie mówić o przesyłaniu odpo-wiadającego mu wielomianu.

Istota kodu CRC sprowadza się do porównania reszty z dzielenia przesyłanego wielo-mianu przez ustalony - znany zarówno po stronie nadawczej jak i odbiorczej - tzw. wielomian generujący. Jeżeli transmitowany ciąg nie ulegnie przekłamaniu - reszty z dzielenia po stronie nadawczej oraz odbiorczej winny być równe. W przeciwnym przypadku mamy błąd transmi-sji.

Aby ten schemat realizować trzeba - obok transmitowanych danych - przesyłać również resztę z dzielenia w nadajniku, by można było porównać ją z resztą dzielenia w odbiorniku. Dzielenie realizowane jest przy pomocy rejestrów przesuwanych.

Problemy związane z kodem CRC to wybór wielomianu generującego prowadzący do

- jednoznacznego wyniku dzielenia /a priori nie można wykluczyć przypadku, gdy róż-
ne wielomiany po podzieleniu przez ten sam wielomian dają tę samą resztę/
- wykrywania również nie kolejnych błędów podwójnych i potrójnych
- możliwie krótkiej reszty / by jej transmisja zajmowała możliwie mało miejsca/

Optymalizacja kodów CRC wynika z algebraicznej teorii wielomianów i tutaj nie bę-dziemy się nią zajmować (patrz np. [19], rozdz. 11). W telekomunikacji wybór wielomianów generujących został znormalizowany.

W systemie DAB wykorzystywane są wielomiany generujące:

- $G_1(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ (ITU-T Recommendation X.25)
- $G_2(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ ('CRC-16')

- $G_3(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ ('CRC-8')

Wielomian G_1 służy do wyliczania reszty:

- z pola danych ramek bloku szybkich informacji (FIB)
- nagłówka oraz pola danych pakietów głównego kanału danych (MSC)
- nagłówków (grupy oraz sesji) oraz pola grupy danych w warstwie transportu głównego kanału danych

Wielomian G_2 stosowany jest dla detekcji błędów transmisji pola 'wybór współczynników skali' ramki MUSICAM.

Wielomian G_3 stosowany jest dla detekcji błędów transmisji pól informacji towarzyszących programowi (PAD) ramek MUSICAM.

Reakcja na sygnał błędu transmisji zależy od znaczenia otrzymanej informacji i jest realizowana poprzez oprogramowanie systemu.

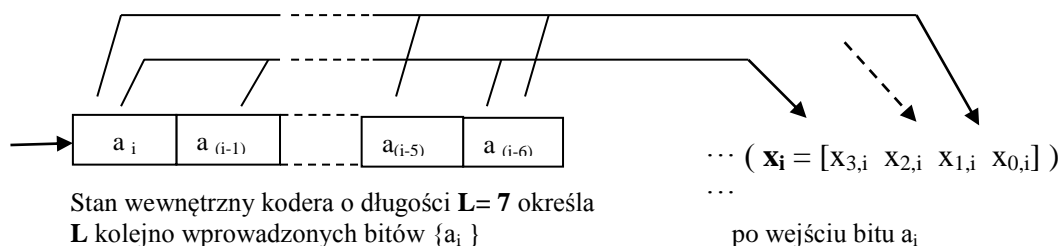
2.8.2 Perforowany koder splotowy (konwolucyjny)

Zadaniem kodera splotowego jest korekcja błędów transmisji w czasie rzeczywistym. Algorytm działania kodera odpowiada jego wersji hardwarowej realizowanej jako rejestr przesuwany złożony z L przerzutników połączonych kaskadowo, z wejściem szeregowym. Słowo kodowe \mathbf{x} zawierające n bitów powstaje na wyjściu n liniowych kombinacji wybranych wyjść przerzutników, np. dla $n = 4$ na rys. 2-31.

W trakcie kodowania przypisuje się sukcesywnie bitom informacyjnym słowa kodowe zawierające większą liczbę bitów niż sekwencje bitów na wejściu kodera. Relacja liczby bitów wchodzących do wchodzących określana jest jako sprawność kodu. Jeśli w trakcie transmisji niektóre bity kodu ulegną przekłamaniu - nadmiarowość słowa kodowego zwiększa prawdopodobieństwo wyboru w to miejsce prawidłowej sekwencji bitów słowa kodowego poprzez wskazanie najbardziej prawdopodobnego słowa kodowego z skończonego zbioru prawidłowych słów kodowych. Niezbędna do tego jest znajomość kanału, czyli zniekształceń wprowadzanych do słowa kodowego podczas transmisji. Operacja powtarzana jest kolejno dla każdego odbieranego słowa kodu. Wskazanie w odbiorniku najbardziej prawdopodobnego nadawanego ciągu kodu pozwala na odtworzenie adekwatnego ciągu bitów informacyjnych na wejściu kodera w nadajniku.

Zastosowany w systemie DAB algorytm dekodowania kodu splotowego opracowany przez Viterbiego [18] pozwala określać sukcesywnie najbardziej prawdopodobne z dopuszczalnych kolejnych bitów kodu nadmiarowego na podstawie odebranego ciągu zawierającego naogół również bity przekłamane.

W celu optymalizacji przepływności sygnału kodu nie wszystkie treści sygnału wejściowego są chronione kodem o tej samej sprawności: mniej chronione treści kodowane są słowami kodowymi o mniejszej liczbie bitów. Zmniejszenie liczby bitów wskazanych słów kodowych uzyskuje się w procesie perforacji (ang. punctoring), czyli a priori ustalonym selektywnym pomijaniu określonych bitów w słowach kodowych.



Rys. 2-31 Realizacja układowa kodera splotowego

Wybór perforowanego kodu splotowego spośród innych typów podyktowany został wymaganiami systemu DAB:

- prostotą dekodera realizowanego programowo (dekodowanie miękko decyzyjne)
- zdolnością do zmian sprawności kodu w czasie rzeczywistym w sposób adaptacyjny

Ostatnia własność zapewnia różny poziom ochrony dla wybranych pól ramek audio oraz pakietów usług w zależności od ich znaczenia dla przenoszonych treści.

Realizacja hardwarowa równoważna jest algorytmowi wyliczającemu słowo kodu na podstawie stanu wewnętrznego kodera. W ten sposób generowany jest kod matki (ang. mother code). Działanie kodu matki określone jest przez wielomiany generujące [1]:

$$\begin{aligned} a_i + a_{i-1} + a_{i-2} + a_{i-3} + \quad \quad \quad + a_{i-6} &= X_{0,i} \\ a_i + a_{i-1} + a_{i-2} + a_{i-3} + a_{i-4} + \quad \quad + a_{i-6} &= X_{1,i} \\ a_i + a_{i-1} + a_{i-2} + a_{i-3} + \quad \quad + a_{i-5} + a_{i-6} &= X_{2,i} \\ a_i + a_{i-1} + a_{i-2} + a_{i-3} + a_{i-4} + \quad \quad + a_{i-6} &= X_{3i} \end{aligned}$$

gdzie wektor wyjściowy x_i jest definiowany przez liniowe kombinacje bitów $a_{i-6}, a_{i-5}, \dots, a_{i-1}, a_i$ określających jego stan wewnętrzny. Każdy kolejny bit wejściowy a_i generuje własny wektor wyjściowy x_i , warunkowany stanem wewnętrznym kodera. Stan początkowy kodera odpowiada zerowym wartościom bitów stanu wewnętrznego. Stan końcowy kodera, po zakończeniu wprowadzania bitów informacyjnych a_i do ich całkowitego wyprowadzenia z zerowanego kodera, tworzy 6 wektorów x_{i+1}, \dots, x_{i+6} , co odpowiada 24 bitom tzw. 'ogona'.

W systemie DAB słowa kodowe kodu-matki grupowane są w grupy i podgrupy dostosowujące strukturę kodu do organizacji ramek warstwy logicznej. W tym celu wektory x_i są szeregowane z rosnącym indeksem 'i' tworząc ciąg bitów $\{u_i\}$:

$$\begin{aligned} X_{00}, X_{10}, X_{20}, X_{30}; X_{01}, X_{11}, X_{21}, X_{31}; \dots X_{nm}, \dots, X_{31} &= \\ = u_0, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, \dots, u_{4m+n}, \dots, u_{4I+3}, & \end{aligned}$$

Ciąg $\{u_i\}$ dzielony jest na grupy po 128 bitów (32 kolejne wektory x_i). Każda grupa rozkładana jest na 4 podgrupy po 32 bity (8 kolejnych wektorów x_i). Struktura słów wyjściowych układu rozpraszania energii gwarantuje taki pełny podział. Operacja grupowania ma na celu przygotowanie ciągu $\{u_i\}$ do procesu perforacji. Proces perforacji wyznacza bity kodu przeznaczone do transmisji. Jest to prosty sposób na realizację kodera o regulowanej wydajności.

Perforacja dostosowana jest do organizacji kanałów FIC i MSC. W tym celu perforacja realizowana jest przy pomocy *wektorów perforacji* o 32 współrzędnych w_i ($i = 0, \dots, 31$) ze zbioru $\{0,1\}$. Składowe o wartości 1 wyznaczają w każdej podgrupie bity przeznaczone do transmisji. Ponieważ każda podgrupa generowana jest przez 8 bitów wejściowych (8 razy po 4 bity) - liczba 1-nek wektora musi być większa od 8. Liczbę jedynek wektora perforacji powyżej 8 określa *indeks perforacji PI* (ang. Punctured Index):

$$\sum_{i=0}^{31} w_i = 8 + PI$$

Indeks perforacji określa równocześnie stosunek liczby bitów wychodzących z kodera do liczby wszystkich bitów w każdej podgrupie:

$$(8 + PI) / 32$$

oraz *wydajność kodu* dla podgrupy:

$$8/(8+PI)$$

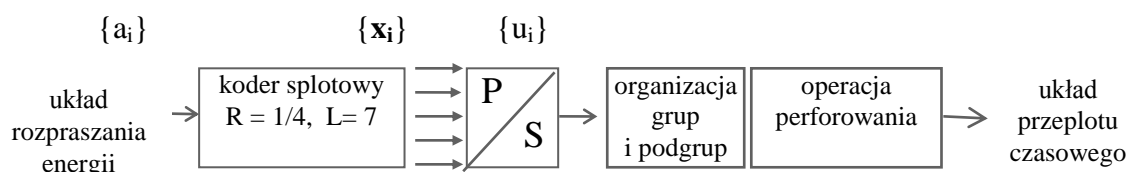
Wraz z wzrostem wartości indeksu perforacji od 1 (wektor perforacji o 9 jedynkach) do 24 (wszystkie składowe są jedynkami) wydajność kodu dla podgrupy przebiega zbiór ułamków:

$$8/9, 8/10, 8/11, 8/12, \dots, 8/30, 8/31, 8/32.$$

Wydajność kodu podgrupy należy więc do przedziału $1/4, \dots, 8/9$.

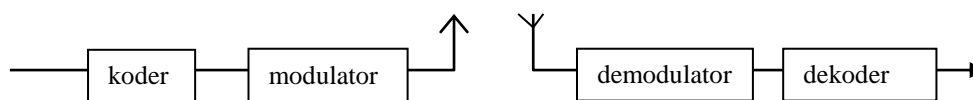
W wyniku procedury perforowania każdej *podgrupy* wektorem o ustalonym indeksie otrzymujemy *kodowe perforowane słowo* grupy o łącznej długości $4(8+PI)$.

Bity 'ogona' perforowane są wektorem o długości 24 bitów pozostawiającym z każdego wektora \mathbf{x}_i jedynie 2 pierwsze bity.



Rys. 2-32 Układ blokowy funkcji kodera splotowego z perforacją

W komunikacyjnym systemie układ kodowania jest umieszczony w nadajniku przed modulatorem, a w odbiorniku po demodulatorze:



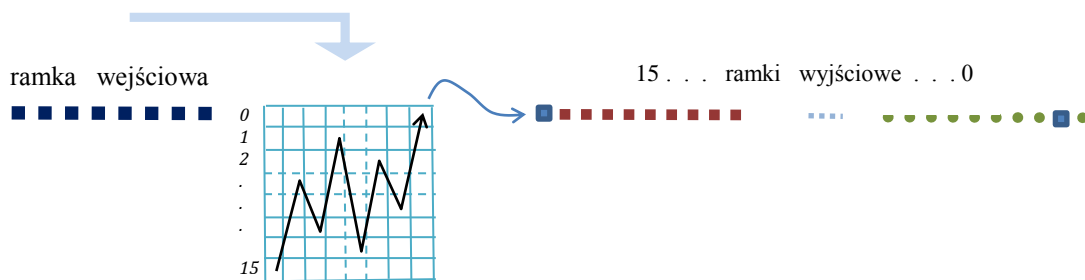
Rys. 2-33 Miejsce kodera w systemie komunikacyjnym

Bliższe informacje na temat grupowania kodu w kanałach systemu DAB zamieszczono w Aneksie C. Szczegółowy opis zawarty jest w specyfikacji systemu [1].

2.8.3. Przeplot czasowy ramek

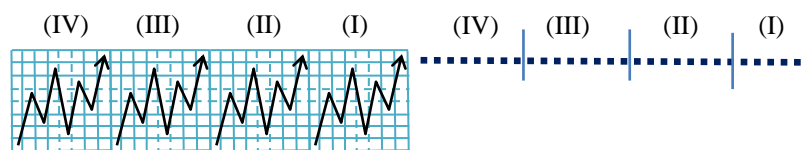
W każdym z subkanałów nadajnika DAB słowa wyjściowe z kodera konwolucyjnego poddawane są przeplotowi czasowemu. Celem przeplotu czasowego jest rozdzielenie czasowe bitów ramek czy pakietów, zgodnie z rys. 2-34. Wchodzące ramki są przesuwane w kierunku dna układu, każda ramka wychodząca składa się z węzłów linii łamanej. W każdym wierszu i w każdej kolumnie znajduje się tylko jeden węzeł. Dzięki temu bity jednej ramki zostają rozdzielone między liczbę ramek równą głębokości kodera.

Krótkotrwałe zakłócenia kanału transmisyjnego, takie jak trzaski, wyładowania atmosferyczne, czy zaniki sygnału, nie spowodują utraty całego słowa kodowego. Utrata pojedynczych bitów, czy ich przekłamania mogą być w odbiorniku uzupełnione czy odtworzone z wysokim prawdopodobieństwem dzięki algorytmowi Viterbiego.



Rys. 2-34 Koncepcja przeplotu czasowego

Przeplot czasowy charakteryzowany jest długością słów oraz głębokością kodera. W systemie DAB głębokość kodera wynosi 16 słów, a długość ramek zależy od przyjętej dla danego subkanału sprawności kodu konwolucyjnego. Parametry kodera źródłowego oraz sprawności kodera konwolucyjnego zapewniają, że jest to zawsze wielokrotność liczby 64. Dzięki temu algorytm określający konstrukcję słów wyjściowych kodera (ramek logicznych) może powtarzać współrzędne kolejnych bitów wyjściowych co 16 kolumn, zgodnie z rys. 2-35 A. Bloki po 16 kolumn, w których algorytm wyboru się powtarza, zaznaczone są różnymi kolorami. Słowa wyjściowe zawierają po jednym elemencie z każdego z 16 wierszy kodera oraz każdej kolumny każdego bloku.



A. Etapy przeplotu ramek o długości 4 x 16 bitów



B. Etapy rozszerzania oraz zawężania subkanału w koderze przeplotu czasowego

Rys. 2-35 Organizacja przeplotu czasowego ramek w systemie DAB

Tak więc długość słów wyjściowych jest równa długości słów wejściowych. Dzieje się tak, gdy na wejściu mamy wszystkie słowa równej długości.

Jeżeli jednak w trakcie pracy kodera następuje równocześnie lub niezależnie

- rekonfiguracja subkanałów
- zmiana sprawności kodera konwolucyjnego

- długość słów wejściowych ulega zmianie. Każda zmiana długości słów wynosi wielokrotność 64 bitów, czyli pełną liczbę bloków. Do takich zmian dobierana jest odpowiednia strategia budowy ramek wyjściowych.

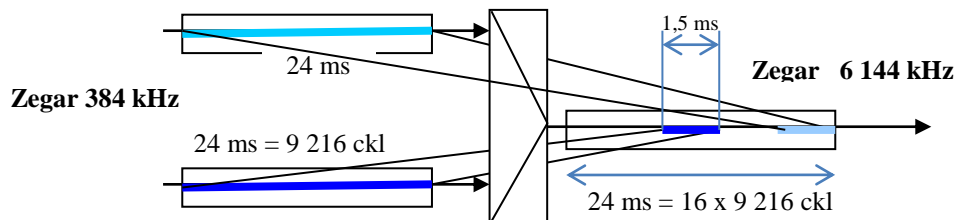
Rozszerzenie słów kodowych spowoduje równoczesne wydłużenie słów wyjściowych. Pierwszych 15 ramek zawierać będzie nowe bloki ze słowami dopełnianymi zerami: od 15-tu zer w każdym nowym bloku pierwszej rozszerzonej ramki do jednego zera w każdym nowym bloku 15-tej rozszerzonej ramki.

Zwężenie słów kodowych nie wywoła natychmiastowej zmiany na wyjściu kodera. Nadal kolejnych 15 słów wyjściowych utrzyma pierwotną długość. Elementy z usuniętych bloków zastępowane będą w tym okresie zerami. Od jednego zera do 15-tu w ostatnim szerszym słowie.

Skutkiem przyjętego algorytmu pracy kodera jest zachowanie systemu DAB w trakcie rekonfiguracji kanałów: każda projektowana zmiana dotycząca rozszerzenia bądź zwężenia subkanału musi być anonsowana z wyprzedzeniem co najmniej 16 ramek.

2.9 Rola multipleksera. Ramki logiczne systemu DAB

Podstawową rolę w generacji sygnału DAB pełni **multipleksler** łączący ramki subkanałów (operatorów programów) w ramkę kanału DAB. Ideę działania multipleksera przedstawia rys 2-36.



Rys. 2-36 Parametry ramek logicznych na wejściu i wyjściu multipleksera

Przepustowość wejściową poszczególnych subkanałów określają parametry koderów fonii. Maksymalna przepustowość wyjściowa kodera fonii wynosi 384 kbit/sek., co odpowiada szybkości zegara 384kHz. Czas trwania ramek wyjściowych kodera - 24 msec. – wyznacza maksymalną pojemność 9 216 bitów ramki kodera fonii.

Jeśli chcemy zmultipleksować kilka takich subkanałów – szybkość zegara po stronie wyjściowej multipleksera musi być równa krotności 384. Standardowym zegarem o takiej własności jest zegar standardu T2 (USA) 2-go zwielokrotnienia o szybkości 6 144 kHz = 16 x 384 kHz. Zastosowanie zegara T2 teoretycznie stwarza możliwość multipleksowania 16 różnych programów.

Teoretyczna dopuszczalna przepustowość multipleksera jest ograniczona przepustowością kolejnego modułu systemu: kodera kanałowego OFDM, który w czasie rzeczywistym jest modulowany przez strumień bitów z multipleksera.

Jak to wyjaśniamy w następnym paragrafie – przepustowość kodera COFDM wyznaczona jest przez parametry systemu DAB:

- wielkość przyjętego bloku częstotliwości dla systemu DAB (1536 kHz)
- organizację częstotliwości podnośnych kodera
- długości modulowanych podsymboli OFDM
- system modulacji podsymboli (D-4PSK).

i dla głównego kanału transmisyjnego MSC wynosi

$$2\,304 \text{ kbit/sek} = 6 \times 384 \text{ kbit/sek},$$

niezależnie od trybu pracy kodera. Tak więc przepustowość systemu DAB pozwala na dołączenie do multipleksera 6-ciu koderów fonii o wyjściowej przepustowości 384 kbit/sek.

Stosując większy współczynnik kompresji koderów fonii można stosować inne podziały przepustowości głównego kanału transmisyjnego MSC systemu DAB, np.:

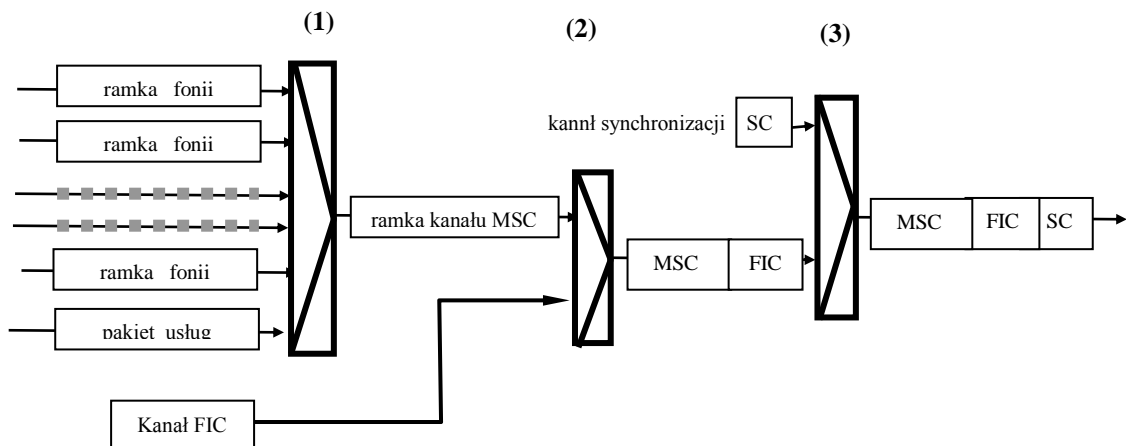
6 x 192 kbit/s + 3 x 384 kbit/s	(sześć subkanałów po 192 kbit/s oraz 3 subkanały po 384 kbit/s)
6 x 256 kbit/s + 2 x 384 kbit/s	(sześć subkanałów po 256 kbit/s oraz 2 subkanały po 384 kbit/s)
6 x 224 kbit/s + 5 x 192 kbit/s	(sześć subkanałów po 224 kbit/s oraz 5 subkanałów po 192 kbit/s)
9 x 128 kbit/s + 6 x 192 kbit/s	(dziewięć subkanałów po 128 kbit/s oraz 6 subkanałów po 192 kbit/s)

Powyższe podziały dotyczą przepustowości brutto poszczególnych subkanałów, z uwzględnieniem nadmiarowości kodu konwolucyjnego, kodu CRC, a także kodu nagłówek pakietów.

W układzie nadajnika DAB występuje kilka multiplekserów:

- multiplekser łączący ramki fonii różnych subkanałów oraz pakiety usług w główny kanał transmisyjny MSC (ang. Main Service Channel)
- multiplekser łączący kanał szybkich informacji FIC (ang. Fast Information Channel) oraz główny kanał transmisyjny MSC
- multiplekser dołączający kanał synchronizacji SC (ang. Synchronization Channel) do kanałów FIC i MSC

Zadania poszczególnych multiplekserów ilustruje schemat z rys. 2-37.



Rys. 2-37 Schemat budowania ramki logicznej systemu DAB

Na wyjściu multipleksera (1) formatowane są ramki logiczne tworzące główny kanał transmisyjny (MSC) systemu DAB. Przepustowość bitowa kanału MSC wyznaczona jest przez blok koderów kanałowych OFDM omówiony w kolejnym paragrafie.

Połączenie wyjścia multipleksera z koderem kanałowym wymaga interfejsu. W systemie DAB jest to interfejs WG1/WG2 o organizacji zilustrowanej na rys. 2-38.



Rys. 2-38 Koncepcja interfejsu WG1/WG2

Ramki bufora wejściowego o długości 24 ms (standard MUSICAM) liczą maksymalnie 9 216 bitów każda (maksymalna przepustowość wyjściowa koderów MUSICAM). Odpowiada to szybkości zegara wejściowego 384 kHz

Wyjścia fonii kolejnych koderów włączane są sekwencyjnie co 9 216 taktów zegara multipleksera.

W buforze wyjściowym multipleksera jedna ramka o czasie trwania 24 milisekundy zawiera 147 456 taktów. Wynika to z szybkości zegara wyjściowego równej 6 144 MHz.

Łatwo sprawdzić, że pojemność ramki wyjściowej równa jest 16 pojemnościom ramek wejściowych dla ich maksymalnej przepustowości. Ponieważ kolejny podukład systemu – modulator OFDM – ma mniejszą przepustowość, dlatego tylko część sygnału będzie stoso-

wana do modulacji kodera, więc ramki na wejściu bufora będą zawierały szereg ‘pustych miejsc’, dalej nie transmitowanych.

Obok koderów fonii multiplekser może łączyć również generatory dowolnych usług zorganizowanych w ramki 24 ms o pojemnościach nie wyższych, niż 9 216 bitów.

Multiplekser (2) łączy pola ramek głównego kanału transmisyjnego MSC z polami ramek kanału szybkich informacji FIC. Funkcję multipleksera można realizować poprzez wspólne buforowanie obu pól następnie razem wyprowadzanych.

W podobny sposób można realizować funkcję **multipleksera (3)**, który dołącza pole synchronizacji oraz pole faz początkowych ramki do pól kanałów MSC oraz FIC. Tak ukształtowana ramka jest ramką logiczną systemu DAB.

Układy multipleksera kolejnych generacji mogą organizować kanał DAB w sposób elastyczny, w czasie rzeczywistym, łącząc subkanały o skokowo zmienianej przepustowości. Subkanały wynajmowane są przez dostawców usług. Ich zapotrzebowanie jest określane przepływnością poszczególnych aplikacji. Jednocześnie przepustowość całego kanału DAB jest ograniczona przepustowością kodera OFDM. Wynika stąd, że ewentualne rozszerzenie subkanału jednego dostawcy związane jest z ograniczeniem przepustowości subkanału innego operatora. Zmiany w czasie przepustowości subkanałów wymagają stosowania reguł wynikających z pracy kodera przepłotu czasowego. Przypominamy:

- zmniejszenie pojemności ramek logicznych w subkanale nie powoduje natychmiastowego zmniejszenia przepustowości subkanału
- czas przejścia do subkanału o mniejszej przepustowości wymaga czasu 384 ms (16 ramek logicznych)
- informacja o zmniejszeniu przepustowości subkanału winna wyprzedzać ten fakt o 384 ms (czas reorganizacji kodera przepłotu czasowego)

W przypadku zwiększania sprawności kodera konwolucyjnego dochodzi do zwiększania pojemności ramek. Powoduje to natychmiastowe przejście do subkanału o większej przepustowości, chociaż w czasie pierwszych 15 ramek informacje będą dopełniane bitami zerowymi.

Wynika stąd współzależność czasowa reorganizacji kanałów: zwężanego i rozszerzanego. Współzależność ta musi być uwzględniana w procesie rekonfiguracji multipleksera.

Przepustowość kanału MSC w każdym z trybów pracy kodera OFDM wynosi 2304 kbit/sek.

Każda ramka logiczna systemu DAB składa się z pola synchronizacji, pola kanału szybkich informacji FIC (ang. Fast Information Channel) oraz pola głównego kanału transmisyjnego MSC (ang. Main Service Channel), o czym wspominaliśmy w par. 2.3 (rys. 2-5).

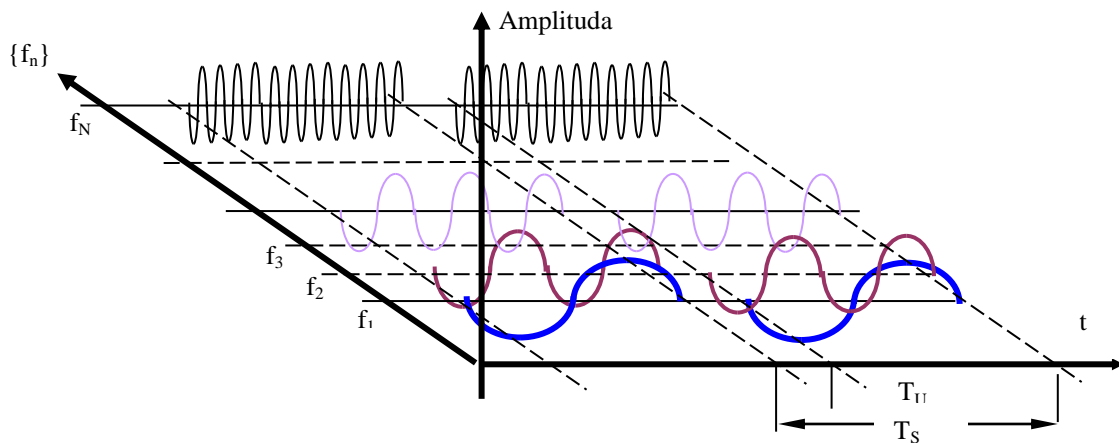
W wyniku działania multiplekserów (1), (2) oraz (3) z rys. 2-37 pola ramek logicznych poszczególnych subkanałów łączone są w ramki logiczne systemu DAB. Proces ten przebiega różnie dla różnych trybów pracy systemu.

2.10 Modulator kanałowy OFDM

Modulator kanałowy OFDM ma na celu rzutowanie ciągów zero-jedynkowych ramek logicznych na symbole warstwy fizycznej, z których zbudowany jest transmitowany sygnał. Jak wyjaśniamy dalej, ze względu na nakładanie się sygnałów odbitych do odbiornika dociera sygnał zniekształcony amplitudowo i fazowo. Zniekształcenia te można ograniczyć do zmian liniowych, ułatwiających demodulację, jeśli blok częstotliwości DAB/DAB+ podzielimy na subkanały z własnymi podnośnymi.

Modulacja kanałowa w radiofonii DAB jest realizowana w specjalnie do tego celu opracowanym układzie multipleksu tak dobranych podnośnych, by tworzyły układ ortogonalny sinusoid. Każda z nich jest niezależnie modulowana, a następnie wszystkie sumowane tworząc multipleks ortogonalnych częstotliwości, lub inaczej koder kanałowy z modulacją OFDM (ang. Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

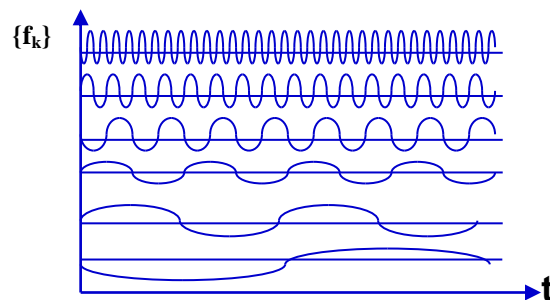
Ideę modulatora OFDM przedstawia rys. 2-39. Na jednej osi mamy czas, na drugiej zaznaczone częstotliwości podnośnych (nie jest to więc pełna oś częstotliwości), a na osi pionowej – amplitudy sygnałów.



Rys. 2-39 Fizyczny obraz sygnałów kodera kanałowego OFDM

Sygnał jest dzielony na przedziały czasowe o czasie trwania T_s . W ten sposób powstają tzw. symbole OFDM. Każdy symbol OFDM składa się z N podnośnych o częstotliwościach wzajemnie ortogonalnych. Każda podnośna jest niezależnie modulowana. Suma zmodulowanych podnośnych w przedziale czasu T_s tworzy wyjściowy symbol modulatora OFDM.

Dla wygody prezentacji (utożsamiając osie podnośnych oraz amplitudy) sygnał OFDM przedstawiany jest w postaci z rys. 2-40.



Rys. 2-40 Obraz podnośnych symbolu OFDM

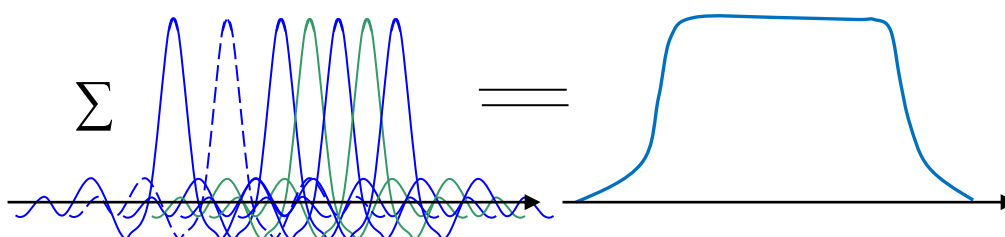
Ortogonalność podnośnych w czasowym przedziale $\langle 0, T_U \rangle$ jest gwarantowana przez dobór częstotliwości podnośnych:

$$f_k = k (1/T_U) \text{ dla } k = 0, 1, \dots, N-1.$$

Charakterystyka częstotliwościowa ograniczonego czasowo odcinka sinusoidy o częstotliwości f_k ma postać

$$\frac{\sin(2\pi\{f - f_k\})}{2\pi(f - f_k)},$$

więc łącznie charakterystyka symbolu OFDM ma postać sumy przesuwanych wykresów dla kolejnych $k = 0, 1, \dots, (N-1)$. Charakterystykę częstotliwościową sygnału OFDM w kanale podstawowym określa obwiednia sumy podnośnych.



Rys. 2-41 Obwiednia częstotliwościowa sygnału OFDM

2.10.1 Zasada działania

Modulator czy koder kanałowy OFDM - stosowane są obie nazwy – został wprowadzony po raz pierwszy w systemie radiofonii DAB

2.10.1.1 Dlaczego modulator z wieloma podnośnymi

Mając do dyspozycji zadany blok częstotliwości B możemy - zgodnie z twierdzeniem Shanonna - przesyłać w nim strumień bitów modulując kolejne odcinki jednej nośnej - tzw. symbole - z maksymalną przepustowością R :

$$R = B \ln_2 M,$$

gdzie

R [bit/s] - przepustowość kanału

B [Hz] - blok częstotliwości kanału

M - liczba punktów modulacji

Czas trwania symboli w systemie z jedną nośną wynosi:

$$T_s [s] = 1/B [Hz]$$

Dla bloku 1.5 MHz oznacza to czas trwania symboli T_s równy 0.66 us. Tymczasem liczne eksperymenty dotyczące propagacji fal radiowych w zakresie UKF wskazują, że opóźnienia sygnałów w wyniku propagacji wielodrożnej wynoszą do 20 mikrosekund. Tak więc na skutek nakładania się sygnałów odbitych wystąpi efekt zakłóceń międzysymbolowych ISI (ang. Intersymbol Interference). Eliminacja zakłóceń ISI na skutek odbić sygnałów wymagałaby zastosowania w odbiorniku układu eliminacji echa o bardzo rozbudowanej, adaptacyjnej strukturze.

Jeżeli ten sam blok częstotliwości B podzielimy na N subprzedziałów, każdy o szerokości pasma B/N , generując w każdym z nich podnośną modulowaną według takiego samego M punktowego schematu - uzyskamy układ o łącznej przepustowości R_N :

$$R_N = N (B/N) \ln_2 M = R$$

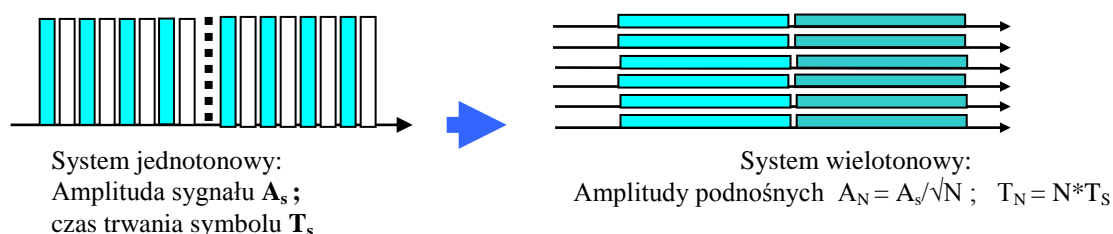
a więc takiej samej, jak w systemie jednoczęstotliwościowym.

Niezależnie od liczby podnośnych przepustowość kodera OFDM w zadanym bloku częstotliwości pozostaje taka sama i jest równa przepustowości systemu jednoczęstotliwościowego. O wyborze konkretnych parametrów kodera decydują właściwości kanału transmisyjnego dla różnych warunków odbioru.

Decydującą zaletą wieloczęstotliwościowego systemu OFDM jest zdolność do regulacji długości modulowanych symboli T_N :

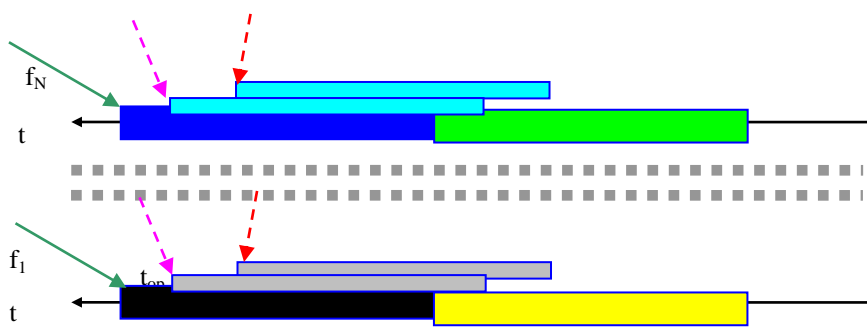
$$T_N = 1/(B_N) = 1/(B/N) = N \cdot (1/B) = N \cdot T_S$$

W systemie z N podnośnymi zostały one wydłużone N -krotnie w stosunku do modulatora jednotonowego. Ilustruje to rys. 2-42.



Rys. 2-42 Relacje parametrów systemu z jedną oraz wieloma podnośnymi

Poprzez dobór liczby podnośnych N systemu z wieloma podnośnymi długość symboli może zostać na tyle wydłużona, by zakłócenia ISI spowodowane efektem wielodrogowej emisji dotyczyły co najwyżej najbliższego kolejnego symbolu (rys.2-43).



Rys. 2-43 Wpływ zakłóceń ISI na stan kodera wielotonowego

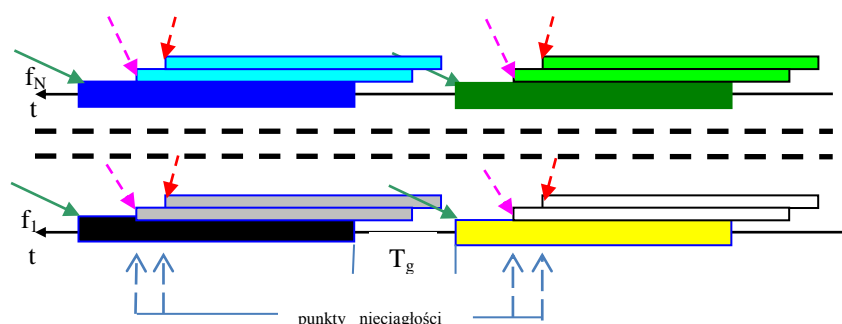
Ma to istotne znaczenie z tego powodu, że układ eliminacji echa w odbiorniku takiego systemu ulega znacznemu uproszczeniu. Oczywiście, wymaga to takiej liczby podnośnych, aby długość wydłużonych symboli była przynajmniej równa maksymalnemu opóźnieniu symboli wynikającemu z propagacji w warunkach wielodrogowych. Dla naszego przykładu (blok 1.5 MHz, maksymalny czas opóźnienia 20 us, czas trwania symboli dla jednej nośnej 0.66 us) minimalne N spełniające ten warunek wynosi $N_{\min} = 20 \text{ us} / 0.66 \text{ us} = 30$.

Układ bez dodatkowych częstotliwości podnośnych (tylko nośna) określa się też mianem jednotonowego w odróżnieniu od kodera wielotonowego wykorzystującego układ wielu podnośnych.

2.10.1.2 Wprowadzenie odstępów ochronnych

Układ odbiornika można jeszcze bardziej uprościć wprowadzając tzw. odstępy ochronne T_g między kolejnymi symbolami kodera. Ukazuje to rys. 44. Jeżeli czas trwania odstępów będzie większy, niż maksymalny czas opóźnienia sygnałów odbitych t_{op} /rozciągnięcie impulsowej odpowiedzi kanału transmisyjnego/ - sygnały opóźnione przez transmisję wielodrogową nie będą zakłócać symboli sąsiednich. Dzięki odstępom ochronnym problem zakłóceń interferencyjnych ISI w koderze wieloczęstotliwościowym zupełnie znika.

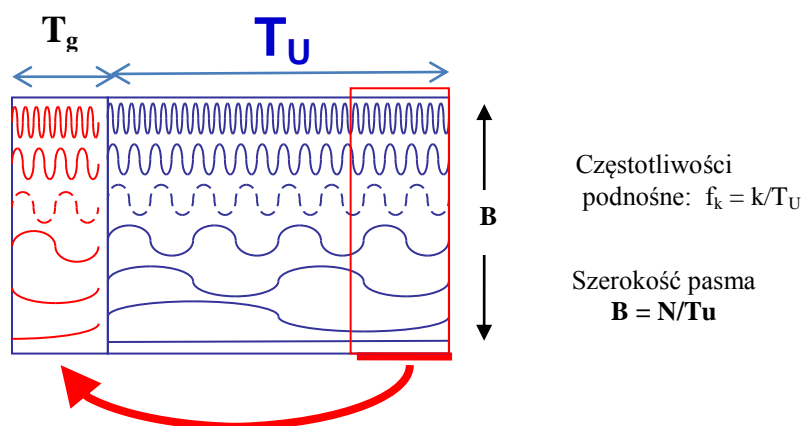
Wprowadzenie pustych odstępów ochronnych likwiduje problem ISI, lecz pozostawia interferencje międzytonowe ICI (ang. Inter-Carrier Interferencje) spowodowane nieciągłością sygnału w zakresie demodulacji. Aby zapewnić ciągłość sygnału w przedziale przetwarzania T_U przedział ochronny w nadajniku jest wypełniany sygnałem z końca przedziału o długości przedziału ochronnego, jak na rys. 2-45.



Rys. 2-44 Eliminacja zakłóceń międzysymbolowych przez wprowadzenie odstępów ochronnych

Sygnał uzupełniający przedział ochronny nazywa się cyklicznym przedrostkiem.

W odbiorniku w czasie przedziału ochronnego sygnał nie jest przetwarzany. Transformata FFT jest ograniczona do użytecznego (ortogonalnego) pola T_U o długości równej odwrotności separacji między-tonowej: $T_U = 1/\Delta f$. Dzięki temu zastosowanie transformaty Fouriera do demodulacji symboli pozwala na wyliczanie symboli modulujących indywidualnie podnośne, ponieważ podnośne o różnych częstotliwościach są ortogonalne.



Rys. 2-45 Schemat budowy symbolu OFDM z cyklicznym przedrostkiem

Liczba podnośnych w koderze nadajnika DAB dla trybu I, II, III oraz IV odpowiednio wynosi 1536; 384; 192 oraz 768.

2.10.1.3 Charakterystyka częstotliwościowa sygnału OFDM

Wyjściowy sygnał OFDM w bloku częstotliwości B pierwotnie składał się z symboli o długości T_U . Każdy symbol to suma N podnośnych o częstotliwościach $k(1/T_U)$, dla $k = 0, 1, 2, \dots, N$. Charakterystyka częstotliwościowa takiego sygnału to suma funkcji:

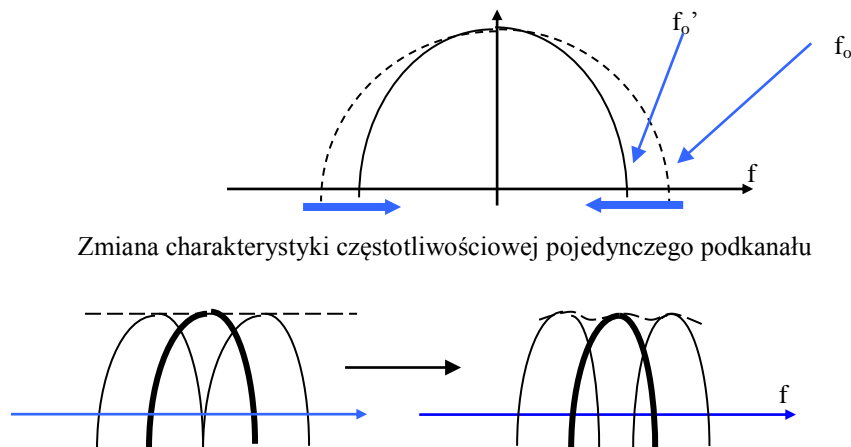
$$\sin(2\pi(f-f_k)T_U) / \{2\pi(f-f_k)T_U\}$$

o maksimach w punktach $k(1/T_U)$ i płaskiej obwiedni z rys. 2-41, co gwarantuje optymalne wykorzystanie bloku częstotliwości. Pierwsze zera każdej z tych funkcji, najbliższe współrzędnej maksimum, znajdują się w odległości $1/(2T_U)$ od tej współrzędnej.

Wprowadzenie odstępów ochronnych poprzez rozsunęcia symboli o przedziały T_g wypełnione przedrostkami cyklicznymi nie zmienia częstotliwości podnośnych nadal równych $k(1/T_U)$, a więc i odstępów między podnośnymi. Natomiast ulegają zmianie charakterystyki częstotliwościowe poszczególnych podnośnych rozszerzonych o przedrostek T_g na funkcje:

$$\text{Sin}\{2\pi(f-f_k)(T_U+T_g)\}/\{2\pi(f-f_k)(T_U+T_g)\}$$

Obecnie pierwsze miejsca zerowe poszczególnych funkcji będą znajdować się w odległości $1/2(T_U+T_g)$ od współrzędnych maksimum – poszczególne charakterystyki częstotliwościowe ulegną zawężeniu w stosunku do poprzednich. W obwiedni sumarycznego sygnału przejawia się to w wystąpieniu minimów między maksimami, co ukazuje rys. 2-46.



Rys. 2-46 Zmiana obwiedni sygnału OFDM po wprowadzeniu odstępów ochronnych

2.10.1.4 Efekt Dopplera. Wpływ na parametry systemu

System DAB, a w szczególności koncepcja kodera kanałowego OFDM, opracowany został dla odbioru również w warunkach ruchomych, np. podczas jazdy samochodem. Występujące w związku z tym przesunięcie częstotliwości (efekt Dopplera) k -tej ścieżki wynosi

$$f_k^D = F_c \cdot v_k/c$$

proporcjonalnie do częstotliwości nośnej F_c oraz składowej prędkości pojazdu w kierunku k -tej ścieżki v_k (c – prędkość światła) i wzrasta podczas zbliżania się do nadajnika, a maleje podczas oddalania.

Dla częstotliwości nośnej nadajnika równej 300 MHz oraz szybkości auta 100 km/h - przesunięcie Dopplera wynosi do 30 Hz.

Efekt Dopplera powoduje przesunięcie widma odbieranego sygnału na skali częstotliwości. Po przesunięciu do pasma podstawowego w demodulatorze odbiornika przesunięcie częstotliwości Dopplera pozostaje. Dlatego dekodowanie polegające na wyliczaniu współczynników modulujących k-tej podnośnej w j-tym symbolu C_{jk}

$$C_{jk} = \text{FFT}_k \{S_j(t)\}$$

będzie wprowadzać błędy spowodowane odstępstwami od warunku ortogonalności odebranych i zakodowanych w odbiorniku /sparametryzowanych/ częstotliwości podnośnych:

$$C_{jk}' = C_{jk} + \delta C_{jk} = \text{FFT}_k \{S_j^\delta(t)\}$$

gdzie $S_j^\delta(t)$ to sygnał j-tego symbolu z przesuniętą częstotliwością nośną w paśmie podstawowym. Aby odchylenia symboli modulujących spowodowane przesunięciami Dopplera nie uniemożliwiły prawidłowego dekodowania - konieczne jest spełnienie warunku:

$$f_k^D / \Delta f < \text{błąd dopuszczalny}$$

gdzie Δf oznacza odstęp częstotliwości między podnośnymi. W systemie DAB przyjmuje się, że błąd dopuszczalny nie powinien przekraczać 5%.

Im wyższa częstotliwość nośna bloku - tym większe przesunięcie Dopplera i tym większy możliwy błąd dekodera OFDM.

Ograniczenie wielkości błędu dekodera dla wyższych częstotliwości nośnych nadajnika wymaga zwiększenia odstępów częstotliwości między podnośnymi wprowadzając różne tryby pracy kodera z odstępami między podnośnymi odpowiednio równymi 1, 2, 4 oraz 8 kHz. Zwiększanie odstępów międzytonowego jest związane ze zmniejszeniem liczby podnośnych (blok 1.5 MHz dla systemu pozostaje stały). Wzrost szerokości subpasm z zachowaniem warunku ortogonalności ($\Delta f = 1/T_u$) prowadzi do skrócenia czasu pola użytecznego symboli, a także odpowiedniego skrócenia przedziału ochronnego. Wiadomo jednak z danych eksperymentalnych, że dla wyższych częstotliwości nośnych nadajnika występowanie sygnałów odbitych o liczących się amplitudach ulega skróceniu. Tak więc odstępów ochronne dla wyższych zakresów częstotliwości nadajników również można skrócić.

2.10.2 Realizacja cyfrowa modulatora OFDM

Dzięki technice cyfrowego przetwarzania sygnałów wyjściowy sygnał kodera OFDM jest realizowany bez fizycznego generowania podnośnych. Generowanie kilkuset, lub więcej podnośnych w równych odstępach częstotliwości z dokładnością wymaganą dla modulatora OFDM z ich równoczesną modulacją nie jest praktycznie możliwe w technice analogowej. Dopiero dzięki technice cyfrowego przetwarzania sygnałów realizacja kodera stała się osiągalna.

2.10.2.1 Próbkowanie sygnału OFDM

Wyliczanie w procesorze sygnałowym modulatora OFDM próbek zmodulowanego l -tego symbolu w odstępach czasowych Δt odpowiadających częstotliwości co najmniej dwukrotnie większej od maksymalnej częstotliwości bloku OFDM - niezależnie dla składowej kwadraturowej oraz synfazowej - prowadzi do ciągu próbek sygnału $S(t_n) = S(n \cdot \Delta t)$:

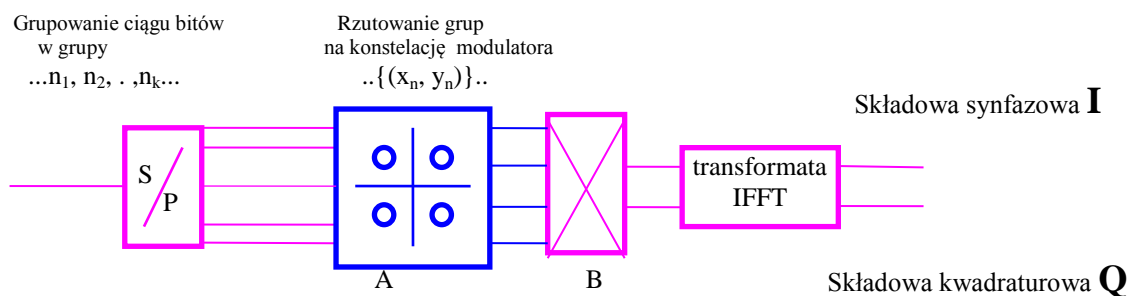
$$S(t_n) = \sum_{k/0}^N e^{j\varphi_k} \cdot (e^{j\omega_k t_n}) = \text{IFFT} \left\{ e^{j\varphi_k^{(l)}} \right\}$$

gdzie zmodulowana różnicowo faza k -tej podnośnej $\varphi_k^{(l)}$ jest równa fazie poprzedzającego symbolu $\varphi_k^{(l-1)}$ zmienionej o fazę symbolu modulującego $y_k^{(l)}$ i wynosi:

$$\varphi_k^{(l)} = y_k^{(l)} + \varphi_k^{(l-1)}.$$

Wielkość wyjściowego sygnału OFDM sprowadza się więc do wyliczenia odwrotnej dyskretnej transformaty Fouriera układu symboli modulujących $\{e^{j\varphi_k^{(l)}}\}$ w specjalizowanym, szybkim układzie scalonym wielkiej integracji. Operacja wyliczania transformaty IFFT musi być na tyle szybka, by modulacja zachodziła w czasie rzeczywistym.

Schemat blokowy układu modulatora przedstawia rys. 2-47:



- S/P - przejście szeregowo - równoległe (ang. serial / paralel converter)
- A - konstelacja modulacji kodera: ciąg bitów $(n_1, n_2, \dots, n_k) \rightarrow$ symbole $\{(x_n, y_n)\}$
- B - układ przeplotu częstotliwości
- IFFT – odwrotna transformata Fouriera

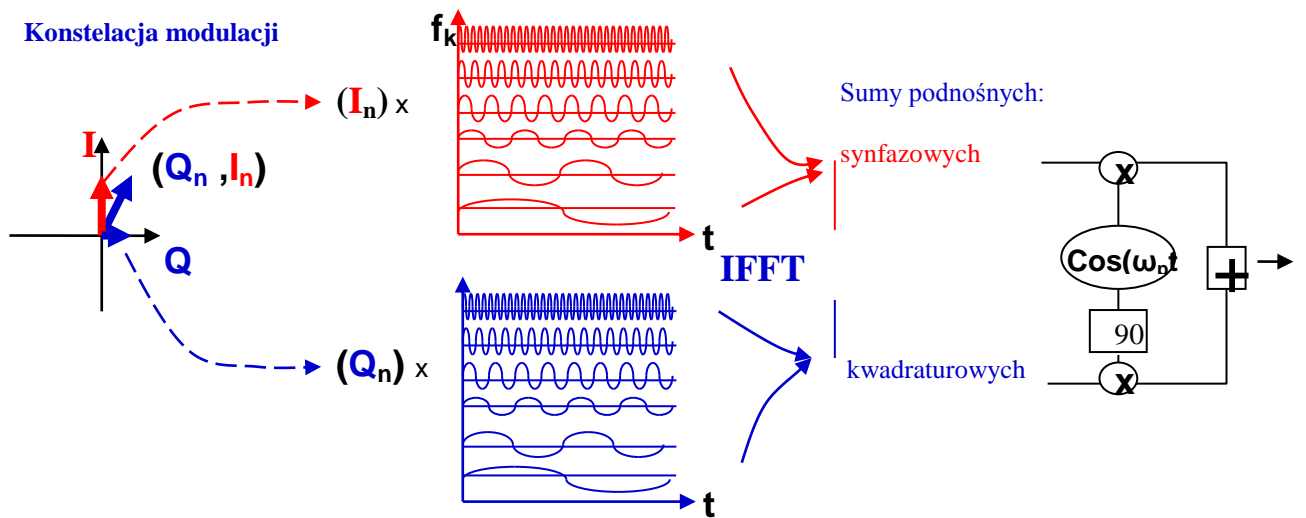
Rys. 2-47 Schemat blokowy modulatora OFDM

Składowe synfazowa i kwadraturowa, po przetworniku cyfowo-analogowym są wprowadzane na wejście generatora pośredniej częstotliwości skąd sygnał poprzez układy w. cz. jest emitowany w eter.

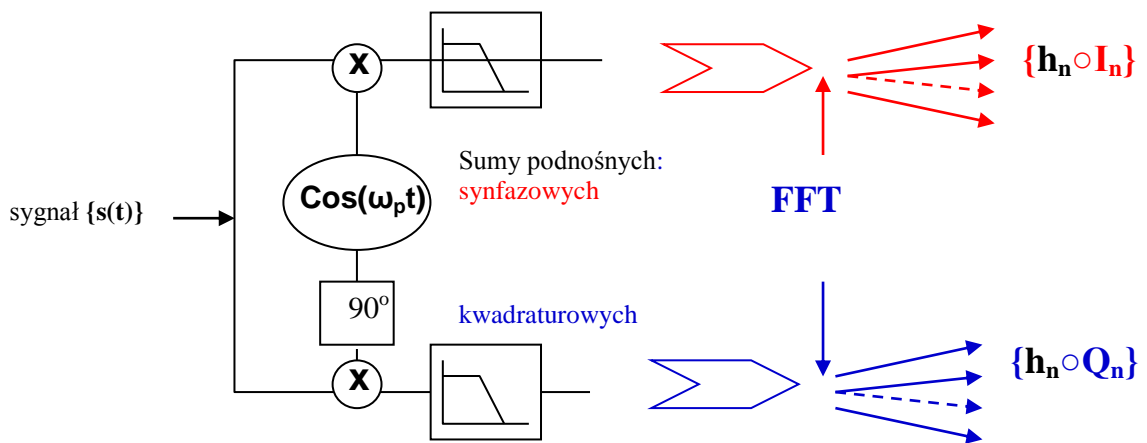
W celu wprowadzenia przedziału ochronnego kopiujemy końcową część próbek wyjściowych modulatora OFDM z odcinka czasowego T_g i wstawiamy przed początkowymi próbkami symbolu. Dzięki tej operacji nieciągłość spowodowana modulacją odsuwana jest o przedział ochronny przed użyteczną częścią symbolu. Zapewnia to ciągłość części użytecznej w demodulatorze. Przesuwana część symbolu nosi nazwę cyklicznego przedrostka (ang. cyclic prefix).

Wprowadzenie przedziału ochronnego (guard interval) w cyfrowej realizacji kodera sprowadza się zatem do zmiany kolejności przesyłania próbek w ramach każdego symbolu OFDM

Ideę realizacji podstawowych faz konstrukcji sygnału OFDM po stronie nadajnika oraz odbiornika przedstawiono na rys. 2-48.



W odbiorniku przetwarzanie sygnału zachodzi w odwrotnym kierunku:



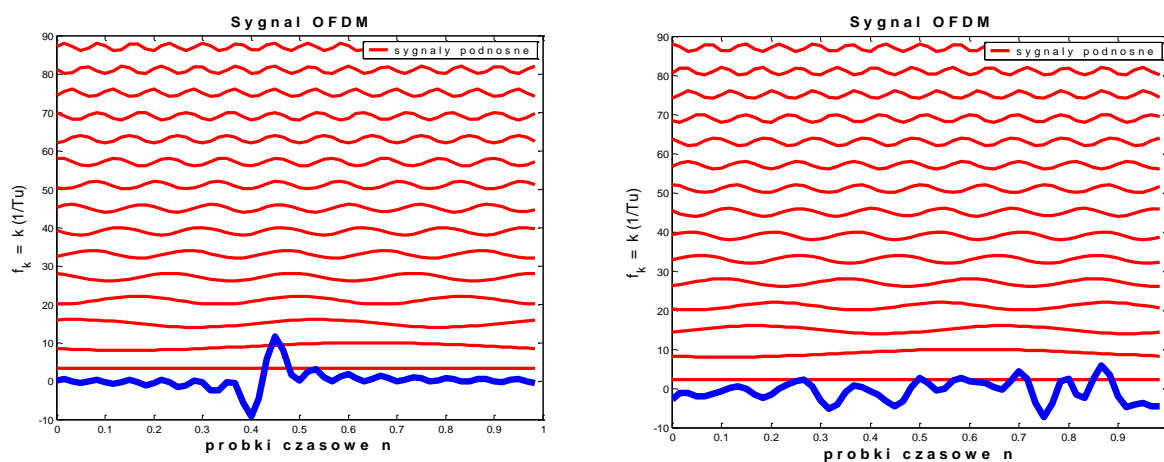
Rys. 2-48 Fazy przetwarzania sygnału OFDM w nadajniku oraz odbiorniku

2.10.3 Relacja wartości szczytowej mocy sygnału do średniej (PAPR). Rozpraszanie energii

Charakterystyka częstotliwościowa /obwiednia/ sygnału wyjściowego nadajnika kształtowana jest przez układ kodera kanałowego OFDM. Aby sygnał wyjściowy z kodera kanałowego charakteryzował się możliwie jednorodnym rozkładem widmowej gęstości mocy - ciąg bitów modulujących koder winien posiadać rozkład zer i jedynek zbliżony do losowego. Rzeczywisty sygnał jednak na ogół charakteryzuje się rozkładem różnym od losowego. W czasie koncertów występują chwile ciszy (ciąg faz zerowych podnośnych kodera OFDM, patrz par.7), czy przedziałami stałe dźwięki opisywane stałymi ciągami bitów. Podobne efek-

ty występują podczas transmisji usług. Prowadzi to w koderze OFDM do nakładania się lokalnych maksimów podnośnych co tworzy wysoką wartość szczytową sumarycznego sygnału. Sytuację tą ilustruje rys. 2-49A z uwidocznioną kumulacją amplitud symbolu.

Stosunek wartości szczytowej do wartości średniej mocy sygnału w czasie trwania symbolu OFDM jest określanym akronimem PAPR (Peak to Average Power Ratio), gdzie za średnią moc przyjmuje się wartość rms (root mean square: $rms = \{\sum p_k \cdot S_k^2\}^{1/2}$), ma zasadnicze znaczenie dla transmisji sygnału OFDM. Czasowy przebieg odbieranego sygnału jest podstawą demodulacji, więc wierność tego przebiegu decyduje o wiarygodności transmisji. Pojawianie się w czasie transmisji impulsów znacznie przekraczających wartość średnią wymaga stosowania wzmacniaczy zachowujących liniową charakterystykę w dużym zakresie amplitud sygnału, co technicznie jest bardzo trudne do realizacji. Z tego powodu stosuje się różne metody kontrolowanego różnicowania faz modulowanych podnośnych w nadawanym sygnale, by uniknąć dużego współczynnika PAPR. Sytuacja ta zilustrowana jest na rys. 2-49B.



a) wysoki współczynnik PAPR
wskutek nakładania się lokalnych
maksimów podnośnych

b) ograniczenie współczynnika PAPR
przez pseudolosowe relatywne
przesunięcia podnośnych

Rys. 2-49 Ilustracja zjawiska PAPR w systemie OFDM

Nie korygowany wysoki współczynnik PAPR jest przyczyną ograniczonego zasięgu systemu OFDM, ponieważ wymusza ograniczanie mocy emitowanego sygnału, by nie przekroczyć zakresu liniowej charakterystyki wyjściowego wzmacniacza mocy.

Górne ograniczenie na stosunek PAPR w wyjściowym sygnale naziemnych nadajników DAB wynosi 13 dB.

Aby uzyskać jednorodny rozkład widmowej gęstości mocy binarna postać sygnału winna posiadać postać zbliżoną do losowej. Rzeczywisty sygnał przybierze postać losową jeżeli w sposób kontrolowany upodobnimy go do losowego dodając (modulo dwa) do ciągu rzeczywistego ciąg pseudo-losowy.

Efekt rozpraszania energii uzyskać więc można poprzez dodawanie do użytkowego ciągu bitów pseudolosowej sekwencji generowanej w skramblerze rozpraszania energii.

W odbiorniku odzyskamy ciąg rzeczywisty dodając powtórnie do otrzymanego ciągu sumarycznego zsynchronizowany ten sam ciąg pseudolosowy.

W systemie DAB, gdzie poddawane obróbce ciągi są kilkuset-bitowe, ciąg pseudolosowy generowany jest przez rejestr przesuwany o funkcji wyjściowej opisywanej przez wielomian

$$P(x) = x^9 + x^5 + 1$$

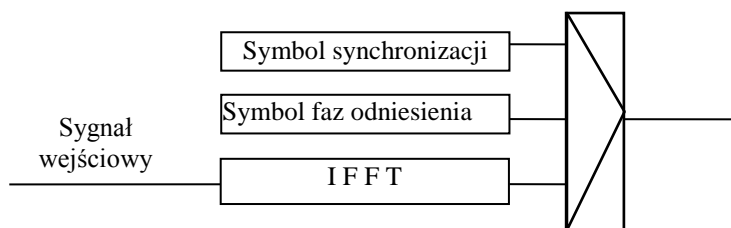
Słowo początkowe tworzy układ jedynek. Synchronizację pracy generatorów ciągów pseudolosowych w nadajniku oraz odbiorniku uzyskuje się przez synchronizację jego pracy wraz z ustalonym początkiem rozpraszanego ciągu.

W kanale szybkich informacji generacja ciągu pseudolosowego rozpoczyna się sekwencyjnie co trzecia ramka FIB dla trybów I, II i IV. Wyjściowe ramki logiczne układu zawierają więc $3 \times 32 \text{ B} = 768$ bitów. W przypadku trybu III generacja ciągu pseudolosowego rozpoczyna się co czwarta ramka i wyjściowa ramka logiczna ma $4 \times 32 \text{ B} = 1024$ bity.

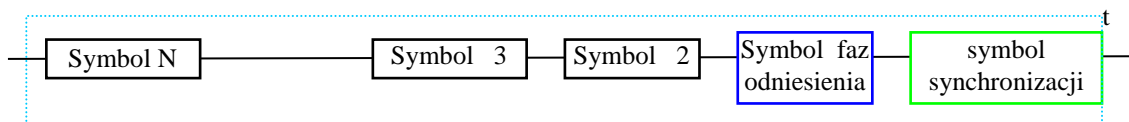
W głównym kanale transmisyjnym generacja ciągu pseudolosowego rozpoczyna się z początkiem każdej ramki logicznej, co 24 milisekundy

2.10.4 Ramka wyjściowa modulatora OFDM

W multiplekserze do sformatowanego sygnału dodawane są dwa pierwsze symbole każdej ramki OFDM: symbol synchronizacji (0) oraz symbol zerowych faz odniesienia (1) /rys. 55/. Dodawanie symboli realizowane jest poprzez multipleksowanie w układach końcowych kształtowania ramki



W efekcie otrzymujemy ramkę modulatora OFDM o N symbolach w postaci:



Rys. 2-50 Formowanie ramki sygnału OFDM

2.10.5. Tryby pracy kodera kanałowego OFDM

Parametry symboli kodera OFDM wynikają z przyjętych założeń:

- szerokość bloku częstotliwości B [MHz]

W wyniku ustaleń międzynarodowych przyjęto wygodną dla wstępnego planowania przydziału bloków siatkę cztero-elementową wynikającą z podziału 6 MHz kanału telewizyjnego na cztery bloki: na pojedynczy blok wypada 1.5 MHz. Wynikająca stąd maksymalna częstotliwość próbkowania sygnału $f_{\max} = 1.5 \text{ MHz}$, gdyż częstotliwość próbkowania to odwrotność długości taktu $f = 1/T$, a długość taktu ograniczona jest przez szerokość pasma $T = 1/B$.

- szerokość odstępu częstotliwości między podnośnymi Δf

Aby minimalizować negatywny wpływ przesunięcia Dopplera na procesy synchronizacji i demodulacji przyjęto, że maksymalne przesunięcie Dopplera nie powinno przekraczać 5% odstępu między podnośnymi. Przesunięcie Dopplera zależy od maksymalnej prędkości terminala oraz częstotliwości nośnej systemu. W celu pokrycia pełnego zakresu częstotliwości w pasmach TV oraz L przyjęto 4 warianty odstępów Δf : 1, 2, 4, 8 kHz. Dzieląc szerokość bloku częstotliwości B przez odstęp międzytonowy Δf otrzymujemy liczbę podnośnych N. Nie

wszystkie z tych podnośnych są aktywnie wykorzystywane, gdyż kształt maski sygnału DAB w kanale podstawowym ogranicza wykorzystanie podnośnych na brzegach bloku.

- systemu modulacji opartego na transformacji Fouriera

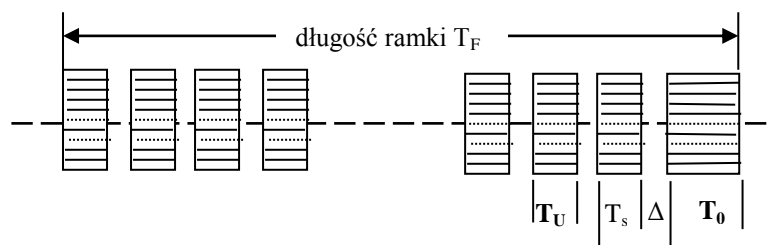
Wymagana w procesie demodulacji ortogonalność podnośnych w sensie Fouriera wymaga, by długość pól użytecznych T_U symboli była odwrotnie proporcjonalna do odstępów między podnośnymi: $T_U = 1/\Delta f$. Specyfikacja systemu uwzględnia 4 długości pól użytecznych symboli OFDM

- długości odstępów ochronnych między symbolami

Generalnie im wyższa częstotliwość nośna, tym większe tłumienie sygnału i mniejsza dyspersja sygnałów odbitych. W systemie DAB/DAB+ przyjęto długości odstępów ochronnych równe $\frac{1}{4}$ długości pól użytecznych.

W oparciu o dane pomiarowe i powyższe przesłanki ustalono parametry trybów I, II, III oraz IV kodera. Mają one podstawowe znaczenie dla charakterystyki całego systemu.

Poszczególne tryby różnią się czasem trwania symboli kodera, odstępami ochronnymi, liczbą podnośnych oraz liczbą symboli w ramce OFDM. Znaczenie poszczególnych parametrów ilustruje rys. 2-51. Konkretnie dane zawiera tabela 2-4.



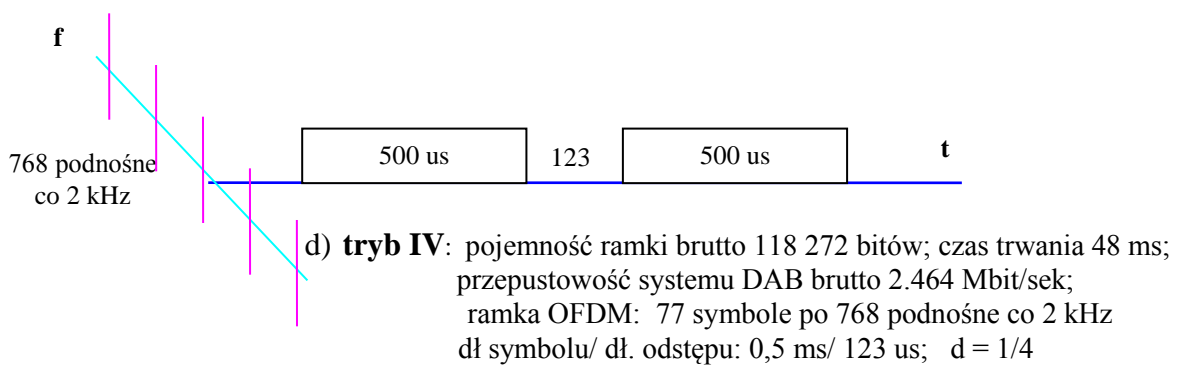
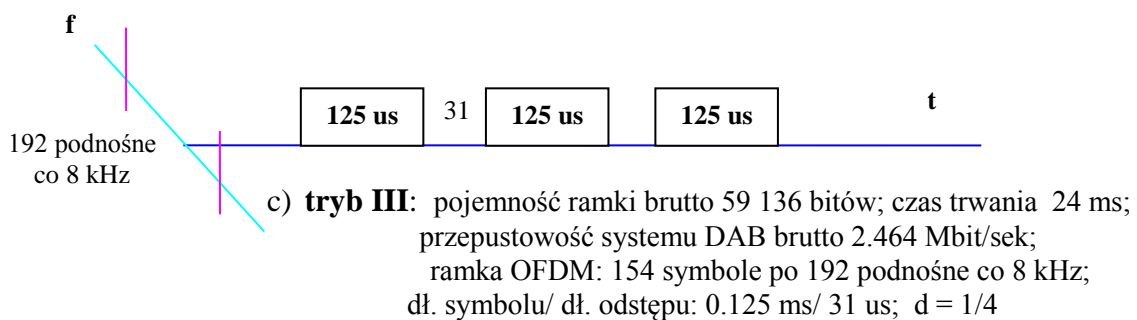
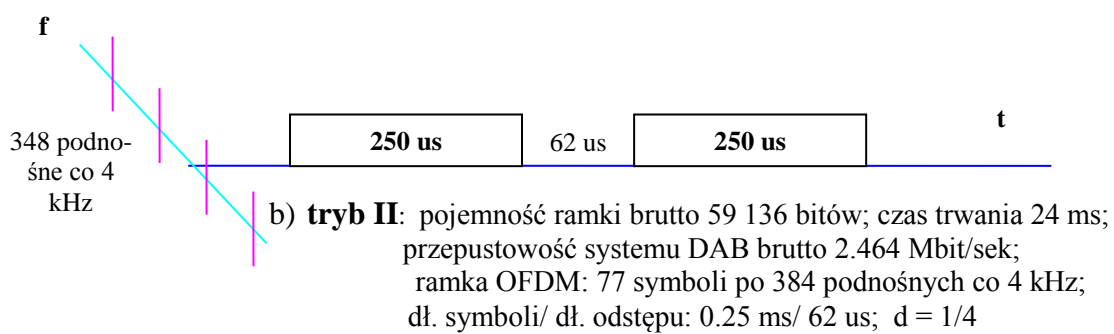
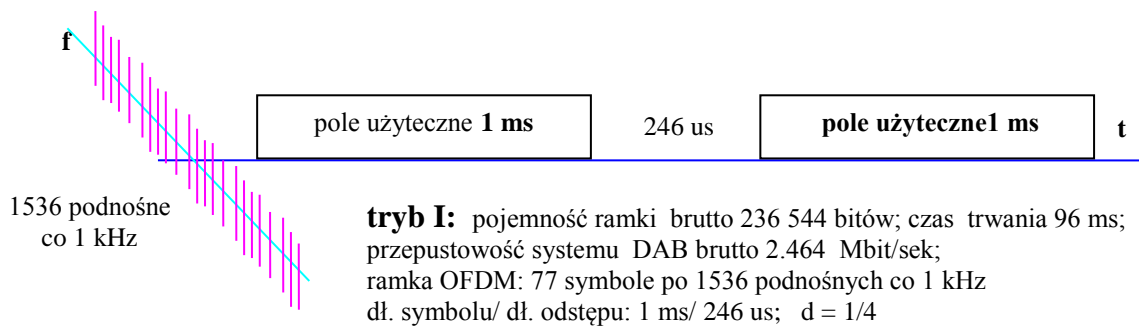
Rys. 2-51 Parametry ramki OFDM

parametr	tryb I	Tryb II	tryb III	tryb IV
ramka COFDM T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
symbol zerowy T_0	1.297 ms	0.324 ms	0.168 ms	0.6484 ms
pole użyteczne (ortogonalne)	1 ms	0.250 ms	0.125 ms	0.5 ms
odstęp ochronny T_g	0.246 ms	0.062 ms	0.031 ms	0.123 ms
pełny symbol T_s	1.246 ms	0.312 ms	0.156 ms	0.623 ms
liczba podnośnych	1536	384	192	768
odstęp między podnośnymi	1 kHz	4 kHz	8 kHz	2 kHz
liczba symboli w ramce	77	77	154	77

Tabela 2-4 Parametry kodera OFDM w różnych trybach pracy

Tryby pracy są związane z warunkami pracy nadajnika. I tak tryb I zalecany jest dla emisji naziemnej w pasmach I, II i III; tryb II dla emisji naziemnej w pasmach I - V oraz 1.5 GHz (pasmo L); tryb III przewidywany jest również dla emisji satelitarnej. Tryb IV wprowadzono w celu zwiększenia efektywności i obszaru pokrycia nadajników naziemnych pracujących w paśmie L. Tryb I zapewnia największą odporność na zakłócenia ze względu na najdłuższe odstęp między symbolami w ramce OFDM. Z tego samego względu pozwala na większe odległości między nadajnikami jednoczesnościowej sieci (patrz sekcja 4.2)

Graficzne zestawienie parametrów ramek OFDM dla trybów I-IV przedstawia rys. 2-52.



Rys. 2-52 Zestawienie parametrów ramek kodera OFDM dla trybów pracy I – IV systemu DAB

2.11 Modułacja D-4PSK

Wektory modulujące otrzymane z konwersji ramek logicznych DAB służą do modulacji podnośnych kolejnych symboli kodera kanałowego OFDM: jeden wektor modulujący dla modulacji jednego symbolu.

2.11.1 Dlaczego modulacja fazowo-różnicowa

Z pośród różnych typów modulacji stosowanych w systemach cyfrowych w systemie DAB zastosowano fazowo-różnicową D-4PSK. Jej strona ujemna to ograniczenie pojemności netto ramek wyjściowych przez konieczność włączenia faz odniesienia na początku każdej ramki. Decydującą zaletą modulacji fazowo-różnicowej jest jej zwiększona odporność na zniekształcenia sygnału podczas propagacji wielodrogowej.

Jeżeli przenoszona informacja zależy od różnicy faz podnośnych sąsiednich symboli - wówczas - ponieważ na ogół warunki propagacji w trakcie trwania sąsiednich symboli nie ulegają zmianie i zmiany faz sąsiadujących symboli są takie same - różnica faz pozostaje nie zmieniona.

W modulacji fazowo-różnicowej kod Gray'a związany jest z różnicą faz odpowiednich podnośnych sąsiednich symboli kodera kanału.

Realizacja modulacji fazowo-różnicowej wymaga, by na początku każdej ramki umieszczać symbol z ustalonymi fazami początkowymi, tzw. fazami odniesienia dla każdej z podnośnych.

2.11.2 Modułacja podnośnych kodera OFDM

Etapy przekształcania wektorów modulujących w zespolone współczynniki modulujące podnośne symboli ramki fizycznej zobrazowano na rys. 2-54 – 2-57 odpowiednio dla parametrów kodera OFDM w trybie I do IV. Elementy ramki logicznej są dzielone stopniowo na grupy (wektory P_1) o liczbie bitów p_i równej dwukrotnej liczbie podnośnych w danym trybie. Są one kolejno przekształcane w liczby zespolone oraz czynniki modulujące w etapach:

1. Odwzorowanie Gray'a.

Parom bitów ($p_k, p_{k+N/2}$) każdego wektora modulującego P_1 z rys. 2-54 – 2-57 przypisujemy liczby zespolone q_k według wzoru

$$q_k = \{(1 - 2p_k) + j(1 - 2p_{k+N/2})\}/2$$

gdzie indeks 'k' oznacza numer podnośnej w granicach 1, ..., N dla symbolu OFDM o N podnośnych.

W języku sygnałów rzeczywistych zamiast liczb zespolonych należy użyć składowych synfazowej oraz kwadraturowej sygnału.

2. 'Przeplot częstotliwości'.

Jest to operacja permutacji liczb zespolonych modulujących podnośne danego symbolu. Liczba permutowanych liczb zespolonych jest więc równa liczbie podnośnych kodera OFDM. Dla danego trybu systemu DAB w każdym symbolu stosuje się tą samą operację permutacji, rys. 2-54 – 2-57:

$$\{q_k\} \rightarrow \{y_k\}, k = 1, 2, \dots, N$$

Celem przeplotu jest rozdzielenie kolejnych symboli modulujących między rozsunięte podnośne. Dzięki temu interferencje w dziedzinie częstotliwości zakłócające odbiór podnośnych z pewnego zakresu nie zniekształcają sąsiednich symboli modulujących odpowiadających bitom jednej ramki

3. Modulacja fazowo-różnicowa.

Na początku każdej ramki OFDM transmitowany jest symbol faz odniesienia z podnośnymi modulowanymi stałym zestawem współczynników fazowych $\{ \exp(j\varphi_k), k = 1, \dots, N \}$. Fazy odniesienia należą do zbioru kątów $0, \pi/2, \pi, (3/4)\pi$. Konkretnie wartości dla poszczególnych podnośnych zamieszczone są w specyfikacji systemu w postaci tabeli [1].

W nadajniku fazy odniesienia pierwszego symbolu służą do wyliczania faz kolejnych symboli. Faza współczynnika modulującego podnośną k symbolu ' $l+1$ ' otrzymywana jest przez dodanie niosącej informację fazy kodu Gray'a do fazy współczynnika modulującego poprzedzający symbol ' l ':

$$\varphi_k^{(l+1)} = \varphi_k^{(l)} + \varphi_G$$

W odbiorniku w związku ze zniekształceniami sygnału w czasie transmisji na ogół dekodowany symbol różni się od nadawanego $\varphi_k^{(l)} \neq \varphi_k^{(l)}$. Ale sąsiedni symbol jest podobnie zniekształcany, więc różnica pozostaje taka, jak w nadajniku. Na podstawie znajomości różnicy współczynników fazowych kolejnych symboli można wyliczać fazy symboli Gray'a jako różnicę:

$$\varphi_k^{(l+1)} - \varphi_k^{(l)} \approx \varphi_G$$

Tak więc system różnicowej modulacji fazowej pozwala na wysokie prawdopodobieństwo prawidłowej demodulacji. Bliżej na ten temat patrz rozdział 3 ('Wpływ kanału propagacyjnego na jakość odbioru sygnału DAB').

2.12 Konwersja ramek logicznych DAB na ramki fizyczne OFDM

W wyniku multipleksowania kanału szybkich informacji (FIC) z głównym kanałem usług (MSC) powstaje ciąg ramek logicznych DAB. Aby uzyskać bezkolizyjną pracę systemu w czasie rzeczywistym - ramki logiczne DAB muszą być odwzorowywane na zespoły wektorów modulujących koder kanałowy OFDM. Ponieważ parametry kodera OFDM zależą od trybu pracy systemu - sposób tworzenia wektorów modulujących też zależy od trybu pracy kodera kanałowego.

Ogólnie odwzorowanie:

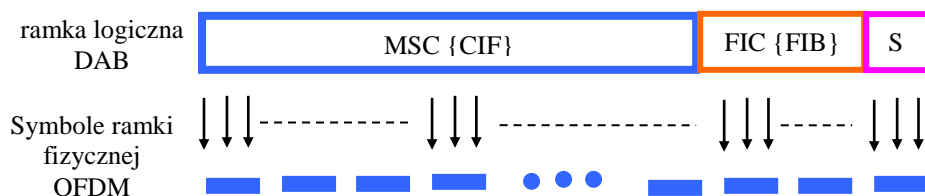
ramka warstwy logicznej DAB → ramka warstwy fizycznej OFDM

wymaga spełnienia dwóch warunków:

- pojemności bitowe obu ramek muszą być równe
- czas trwania obu ramek musi być identyczny

Przyjęte dla ramki logicznej DAB cegielki to pola wspólnego przeplotu CIF (ang. Common Interleaved Frame) z których zbudowany jest główny kanał transmisyjny. Nazwa bierze się stąd, że pierwotna ramka fonii, czy usług, która w wyniku przeplotu czasowego ulega rozpraszaniu, po przeplocie nie wykracza poza zakres ramki CIF. Dzięki temu w odbiorniku przetwarzanie sygnału prowadzące do odbudowy pierwotnej ramki audio czy usług ogranicza się do jednej ramki CIF. Organizacja każdego pola CIF znajduje się w przypisanych mu polach szybkich informacji FIB (ang. Fast Information Block) transmitowanych w kanale szybkich informacji FIC. Każda ramka DAB rozpoczyna się symbolem synchronizacji S. Czas trwania pojedynczej cegielki CIF wynosi 24 ms, co wynika z przyjętej dla fonii długości ramek (specyfikacja systemu MPEG) oraz systemu multipleksowania kanałów. Ramka logiczna DAB w zależności od trybu pracy może składać się z krotności układów CIF i FIB.

Ramki logiczne DAB są rzutowane na symbole OFDM będące nośnikiem fizycznym informacji. Schematycznie zależności te przedstawia rys. 2-53.



S – pole synchronizacji, FIC – pole kanału szybkich informacji, MSC – pole głównego kanału transmisyjnego

Rys. 2-53 Odwzorowanie ramek logicznych DAB na symbole ramki OFDM

Pojemność ramki OFDM wynika z liczby symboli oraz pojemności jednego symbolu. Pojedynczy symbol przenosi liczbę bitów równą podwojonej liczbie podnośnych. Jest to rezultat przyjętego systemu modulacji kodera kanałowego D-4PSK.

Dzieląc pojemność pola CIF przez pojemność pojedynczego symbolu OFDM otrzymujemy liczbę symboli OFDM koniecznych do przenoszenia treści pola CIF. Podobnie z polami FIB. Gdy nie można uzyskać liczby całkowitej – zwiększa się odpowiednio liczbę zestawów CIF + 3FIB.

Jednocześnie czas trwania ramki logicznej DAB zwiększonej o symbole kanału synchronizacji (zerowy oraz faz odniesienia) musi być równy czasowi trwania jednej ramki kodera kanałowego OFDM wynikającej z liczby symboli, czasu ich trwania i przyjętego dla danego trybu pracy odstępu ochronnego.

Rzutowanie ramek logicznych DAB na ramki kodera OFDM dla poszczególnych trybów pracy systemu DAB ukazują schematycznie ilustracje z rys. 2-54 – 2-57. Rzutowanie składa się z etapów:

- dobór liczby pól CIF oraz FIB ramki DAB równych pojemnością pełnej liczbie symboli OFDM danego trybu pracy
- podział pól CIF oraz FIB na jednolite 'wektory modulujące' P_1 o pojemności jednego symbolu OFDM każdy
- przypisanie każdej parze bitów w kolejnych wektorach modulujących jednego symbolu modulującego z schematu modulacji QPSK
- modulacja podnośnych symbolu OFDM symbolami modulującymi danego 'wektora modulującego'

W związku z parametryzacją kodera OFDM wyróżniamy w systemie DAB cztery tryby pracy i odpowiednią organizację ramek DAB.

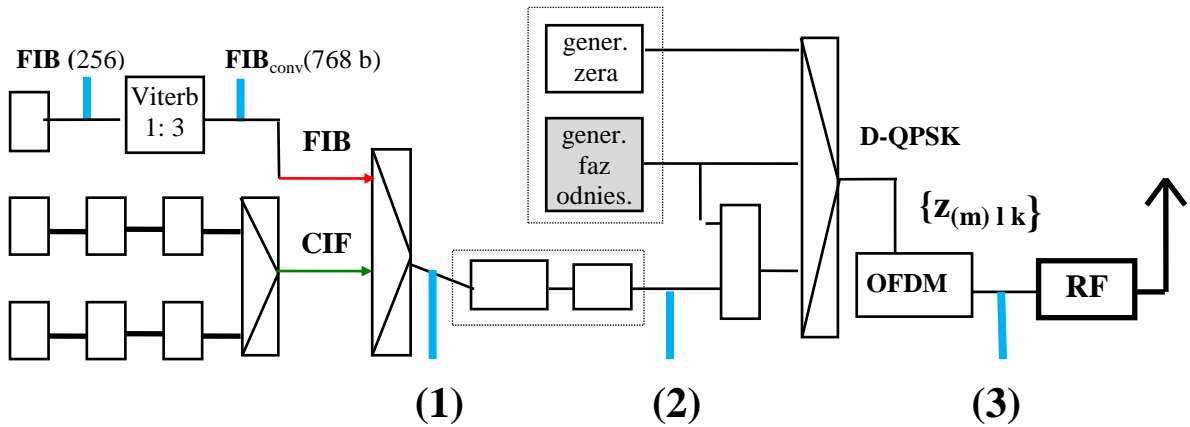
Dla **trybu I** /rys.2-54/ całkowity rezultat odwzorowania uzyskuje się dla 4 podstawowych cegiełek FIC + 3 FIB, stąd ramka logiczna w tym trybie składa się z 4 podstawowych układów i jej czas trwania wynosi 96 milisekund.

W **trybie II** /rys. 2-55/ podstawowy układ ramek CIF i FIB w całości transformuje się na wektory modulujące z czasem trwania ramek równym 24 milisekundy.

W **trybie III** /rys. 2-56/ podstawowy układ również w całości transformuje się na układ 144 + 6 wektorów modulujących, lecz odpowiadająca temu układowi ramka OFDM z przedziałami ochronnymi o wartości 1/4 czasu trwania pola użytecznego i odpowiednimi ramkami kanału synchronizacji nie zapewnia 24 milisekundowego okresu. W związku z tym dla tego trybu rozszerzono ilość ramek FIB w ramce logicznej DAB do czterech. Daje to układ 144 + 8 wektorów modulujących zapewniający spełnienie warunku czasu trwania ramki 24 milisekundy.

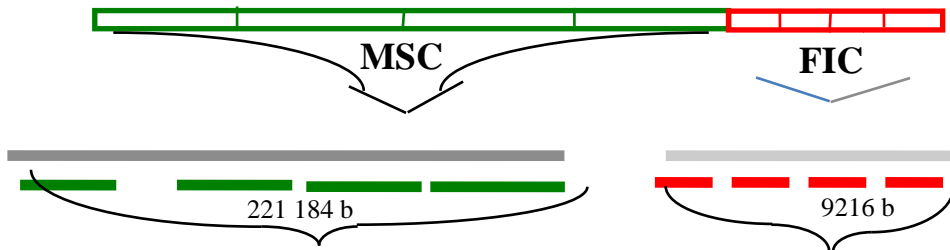
W **trybie IV** /rys. 2-57/ czas trwania podstawowej ramki logicznej wynosi 2 x 24 ms, ponieważ dwukrotnie wolniejsza szybkość próbkowania sygnału fonii (24 kHz, częstotliwość próbkowania w Kanadzie) wymaga zbierania informacji dwukrotnie dłużej dla jednej ramki fonii. Odwzorowanie 2 x CIF + 6 x FIB daje pełny układ wektorów modulujących dla tego trybu.

Odwzorowanie dotyczy ramek DAB brutto, czyli z uwzględnieniem nadmiarowości wnoszonej w wyniku kodowania konwolucyjnego. W kanale szybkich informacji FIC mamy stały współczynnik wydajności kodu równy 1:3, stąd znane pojemności netto i brutto. W głównym kanale informacyjnym MSC różne treści kodowane są z różnymi współczynnikami, stąd jedyny stabilny parametr to pojemności pól CIF.

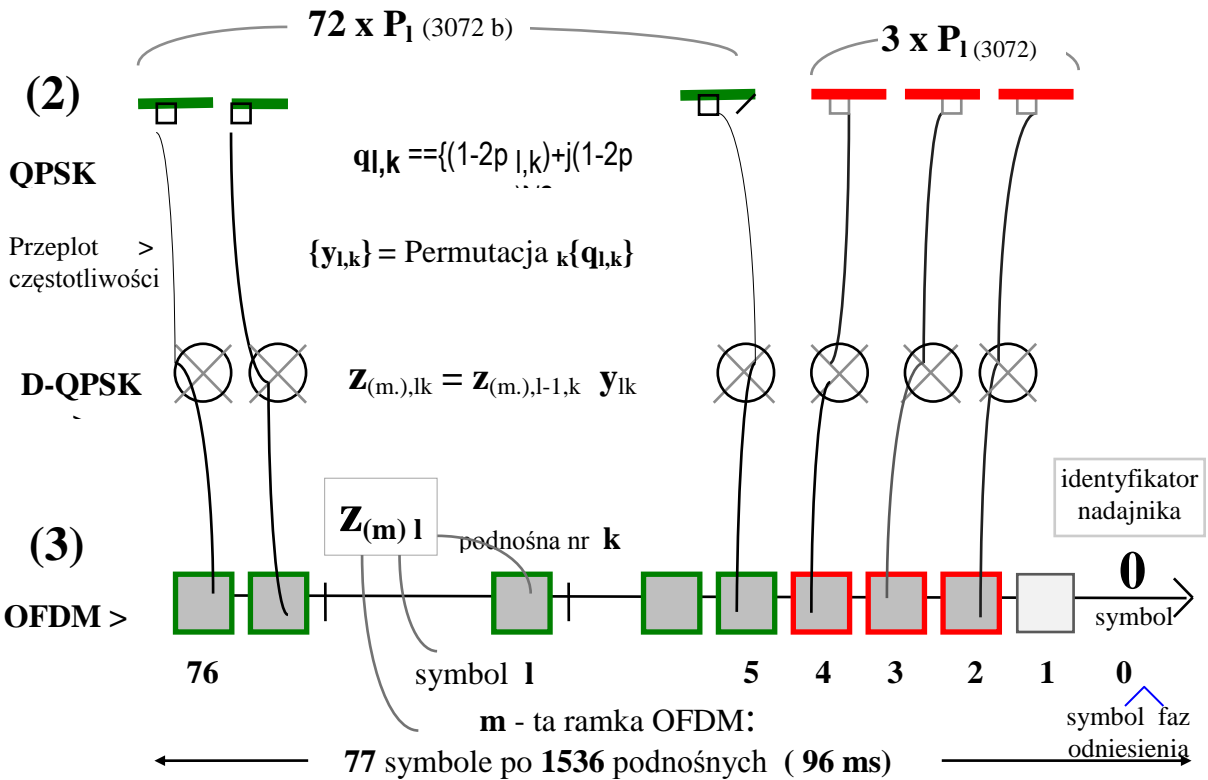


Ramka MSC = 4 pola CIF; pole CIF = 864 jednostki CU; jednostka CU = 64 bity
 Ramka FIC = 4 pola FIB

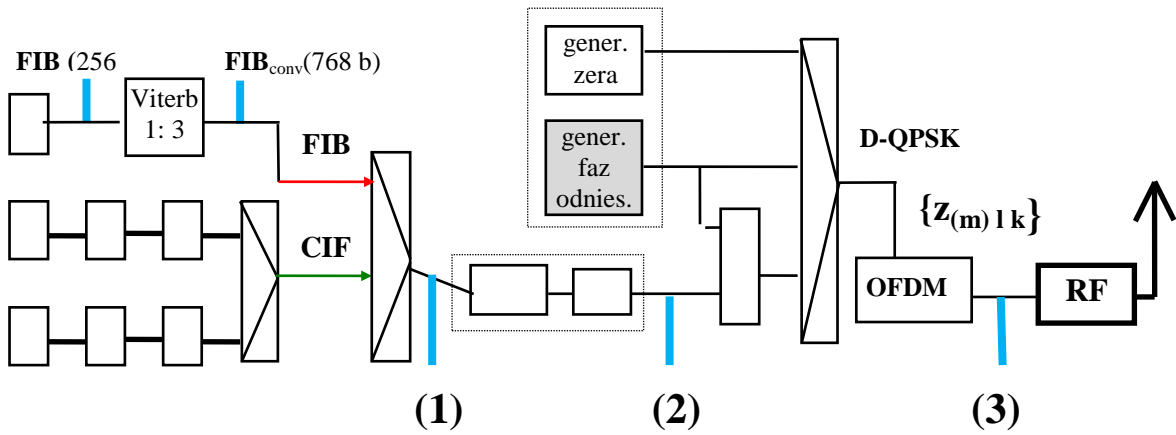
(1)



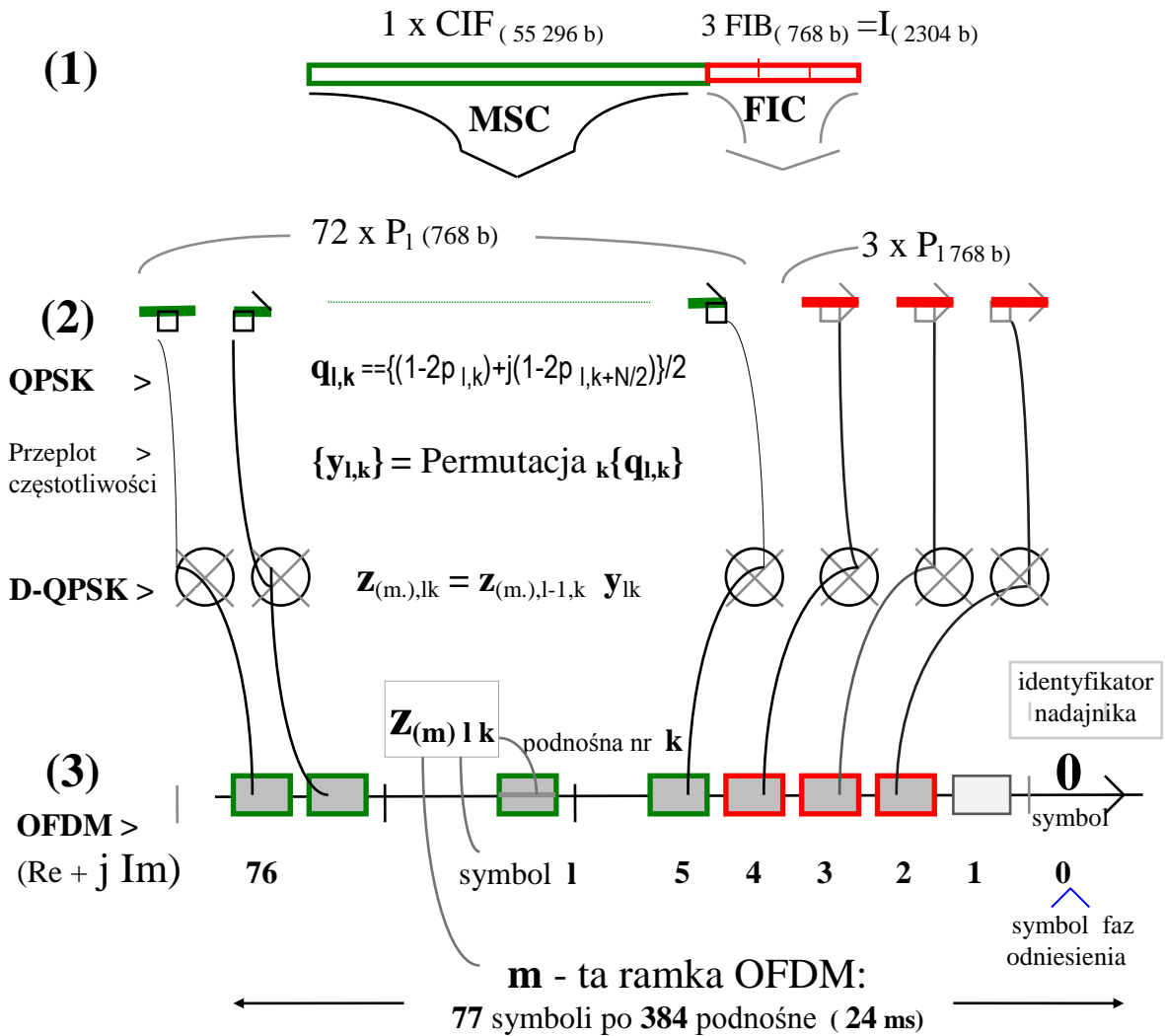
(2)



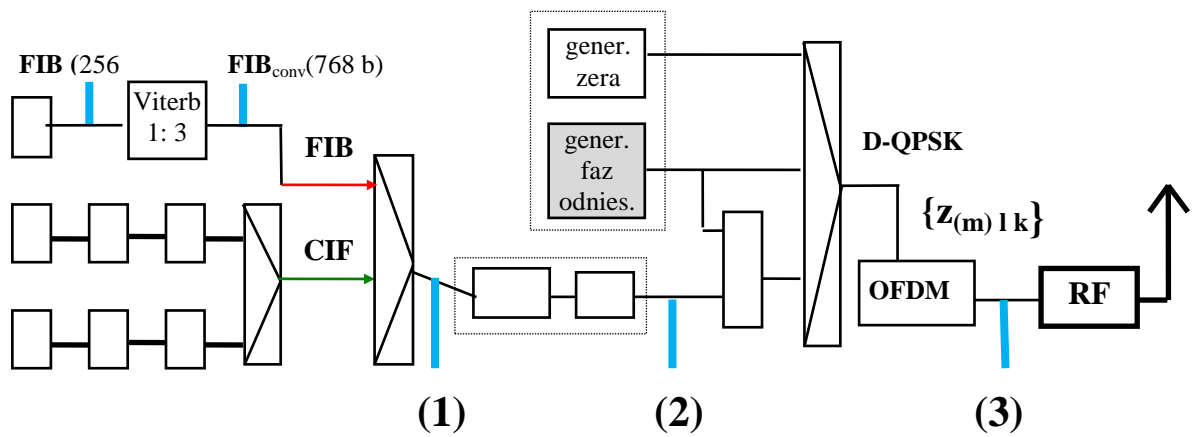
Rys. 2-54 Rzutowanie ramki logicznej DAB na ramkę fizyczną OFDM. Tryb I



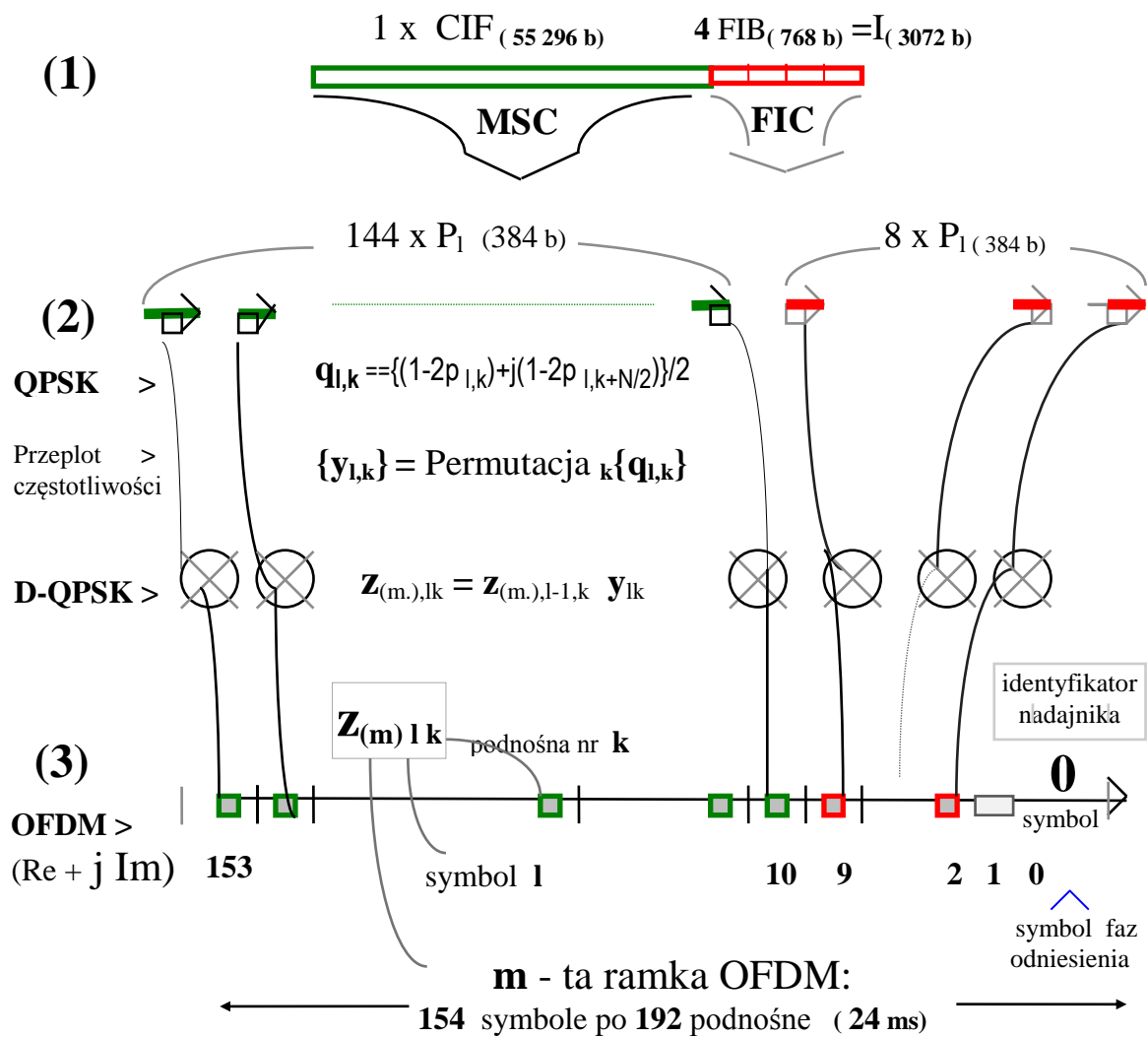
Logiczna ramka DAB brutto, tryb II :



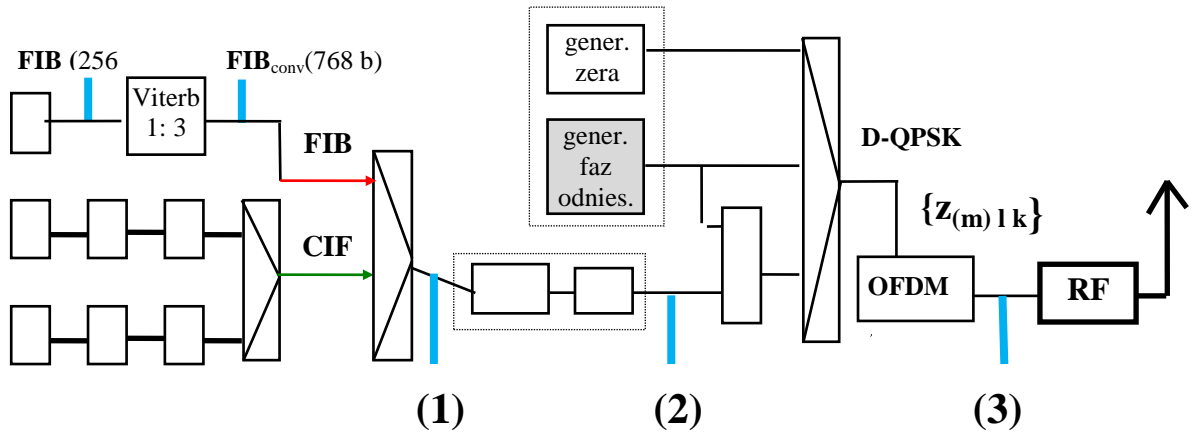
Rys. 2-55 Rzutowanie ramki logicznej DAB na ramkę fizyczną OFDM. Tryb II



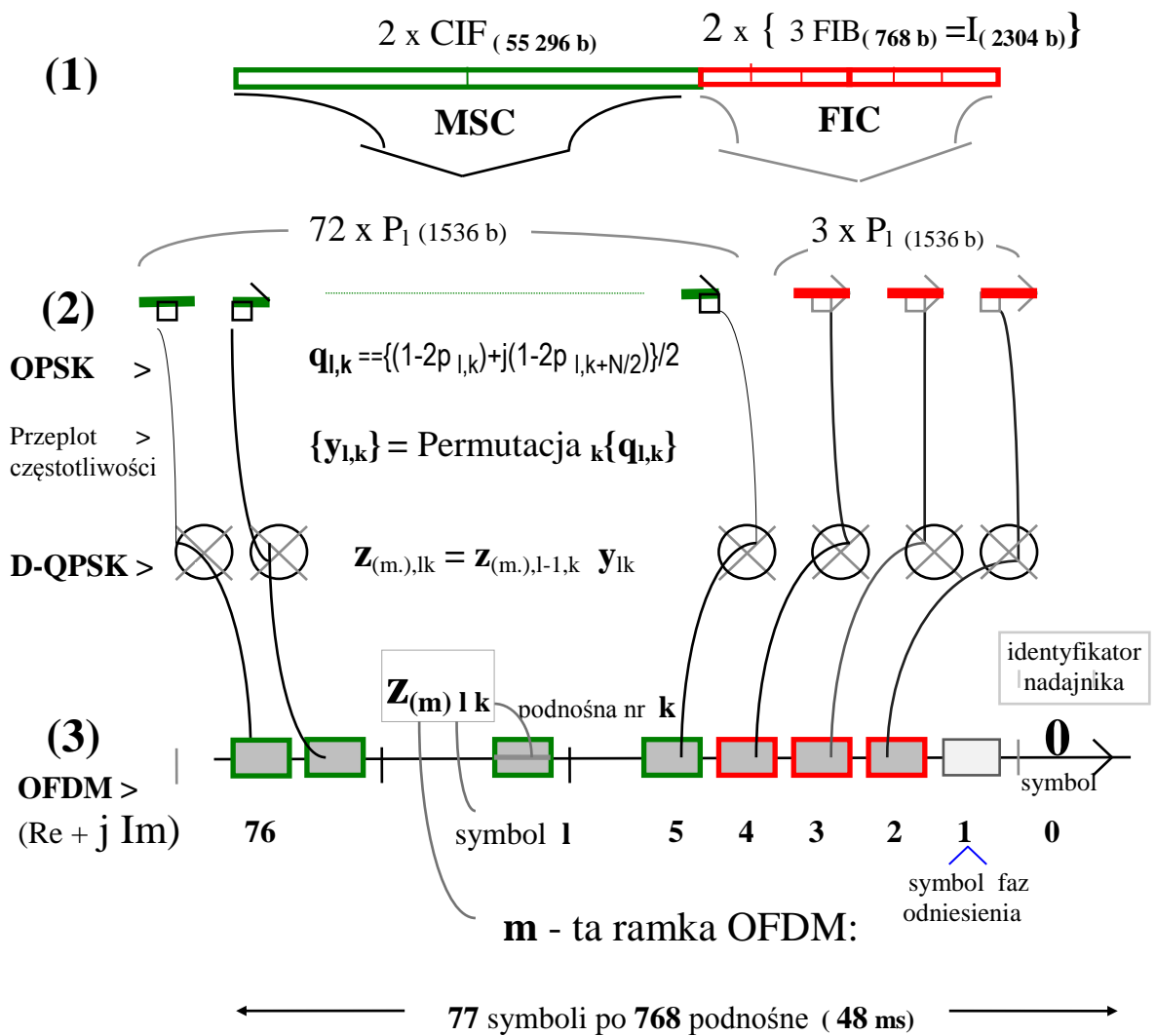
Logiczna ramka DAB, tryb III :



Rys. 2-56 Rzutowanie ramki logicznej DAB na ramkę fizyczną OFDM. Tryb III



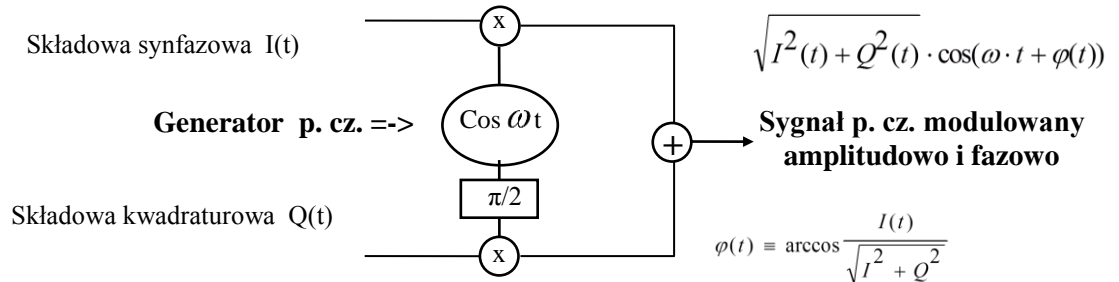
Logiczna ramka DAB brutto, tryb IV :



Rys. 2-57 Rzutowanie ramki logicznej DAB na ramkę fizyczną OFDM. Tryb IV

2.13 Układy wyjściowe nadajnika. Filtr wyjściowy

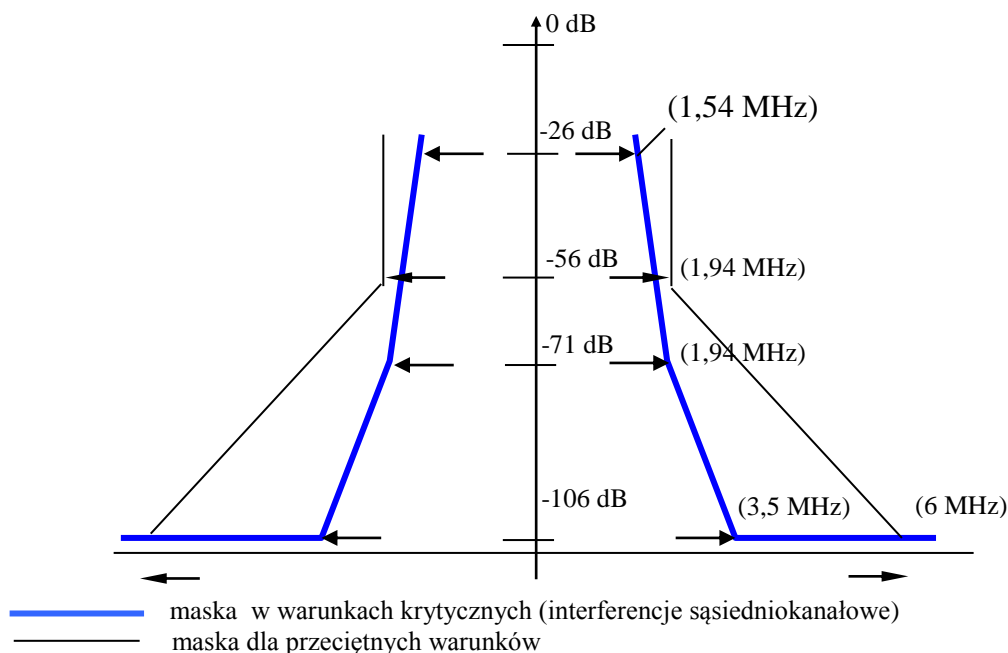
Cyfrowe składowe rzeczywista oraz zespolona (synfazowa oraz kwadraturowa) transformaty IFFT są przekształcane w sygnał analogowy w przetworniku cyfrowo-analogowym A/D. W tej postaci obie składowe są następnie poddawane konwersji w modulatorze 2-PSK w sygnał wysokiej częstotliwości, jak na rys. 2-58.



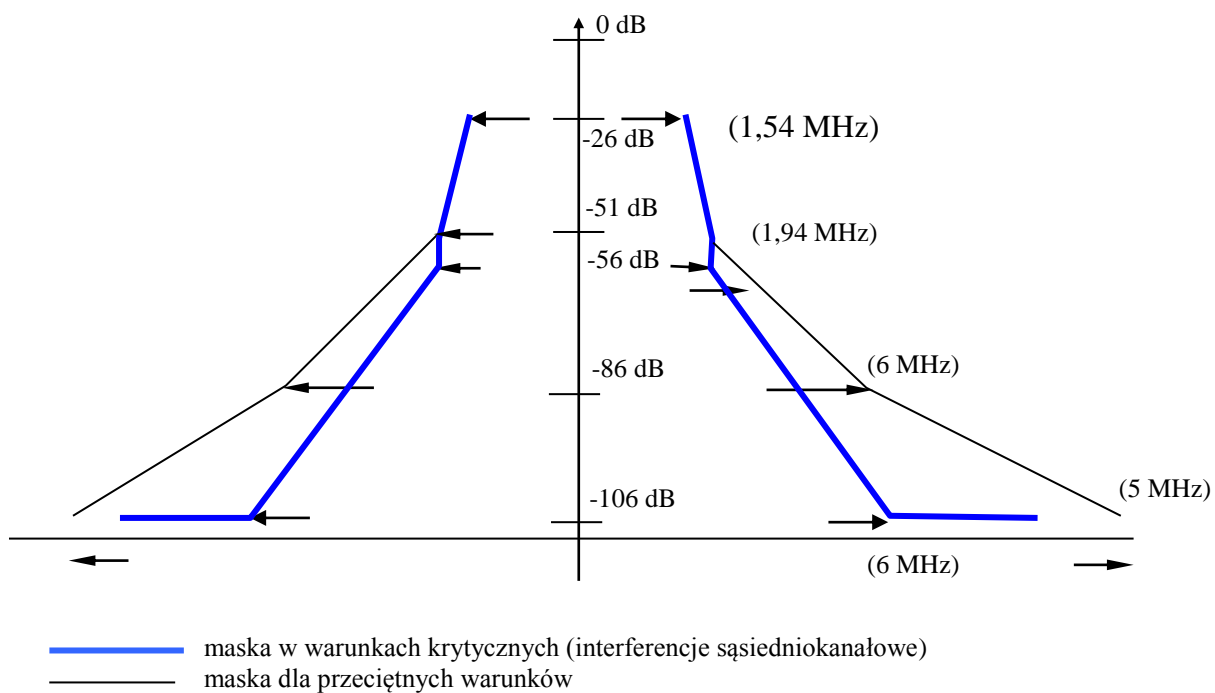
Rys. 2-58 Modulator 2-PSK

2.13.1 Maska sygnału wyjściowego

Ważnym elementem układów nadajnika DAB jest filtr wyjściowy. Jego zadaniem jest takie wytłumienie sygnału wyjściowego, by praca nadajnika DAB nie kolidowała z innymi systemami pracującymi na sąsiednich częstotliwościach. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów określono w tym celu tzw. maskę filtru definiującą tłumienie filtru w funkcji częstotliwości w otoczeniu częstotliwości nośnej. Maski bloku systemu DAB dla zakresów VHF oraz UHF ilustrują wykresy A i B z rysunku 2-59.



A. Maska bloku DAB w zakresie VHF



B. Maska bloku DAB w paśmie UHF

Rys. 2-59 Maski bloków częstotliwości systemu DAB

2.14 Opis funkcjonalny odbiornika DAB/DAB+

W celu ujednoczenia europejskiego rynku odbiorników mającego gwarantować odbiór sygnału DAB, DAB+ na terenie całej Europy organizacja WorldDMB Forum w kooperacji z europejskim stowarzyszeniem operatorów radiowych i telewizyjnych EBU oraz EICTA i po konsultacjach z producentami układów scalonych, podzespołów i odbiorników zdefiniowała minimalne wymagania dla odbiorników DAB oraz DAB+ [4]. Wyposażenie odbiornika pozostaje w relacji do jego ceny, stąd określenie wymagań dla różnych profili odbiorników. Każdy odbiornik musi być zdolny do zdekodowania sygnału audio oraz parametrów określających organizację multipleksu, by można było przetwarzać sygnał wybranego kanału. Dalsze rozszerzanie funkcji odbiornika związane jest z rozbudową jego oprogramowania, zwiększania pojemności pamięci, stosowaniem szybszych procesorów dla dekodowania wybranego kanału i niezależnych usług, oraz monitorów w miejsce pasków z znakami alfanumerycznymi.

Zdefiniowanie profili winno zracjonalizować dobór odbiorników, dostosowując ich typ do wymagań stawianych przez administracje krajowe oraz zakresu oferowanych usług w określonym obszarze. Np. jeśli system ostrzegawczy w rejonach zagrożonych powodzią ma funkcjonować, odbiorniki w tym obszarze winny reagować na sygnały alarmowe, co związane z ich wyposażeniem m.in. w GPS. Wymagania dzielą się na obowiązkowe (mandatory) oraz zalecane (recommended).

Profil 1 – standardowy odbiornik radiowy

Spektrum:

- obowiązkowy odbiór w zakresie pasma III (174 do 240 MHz);
- obowiązkowy odbiór w zakresie pasma L (1452 do 1492 MHz) dla radioodbiorników w autach oraz odbiorników w obszarach naziemnej radiodifuzji w pasmie L

Audio:

- obowiązkowy dekodery MPEG warstwa 2 (system DAB);
- obowiązkowy dekodery MPEG-4 HE AACv2 (system DAB+ oraz DMB)

Tekst:

- obowiązkowe wyświetlenie nazwy radiostacji;
- obowiązkowa dynamiczna ekspozycja (dynamic label); dla odbiorników z 2-liniowymi wyświetlaczami
- zalecana możliwość wykorzystania rozszerzonego zbioru znaków RDS, gdy wyświetlacz na to pozwala

Elektroniczny przewodnik po programach (EPG):

- zalecana prezentacja w odbiornikach z odpowiednim wyświetlaczem

Dekodowanie kanałowe:

- obowiązkowe dekodowanie minimum jednego sub-kanału. W zależności od poziomu kodu nadmiarowego (parametryzowanego przez profil ochrony) oznacza to;
 - o minimum 280 jednostki CU dla sygnału audio DAB netto (maksymalny sygnał wyjściowy kodera MPEG 2 z kodem nadmiarowym). Jest to prawie jedna trzecia przepustowości głównego kanału MSC
 - o minimum 144 jednostki CU dla maksymalnego sygnału audio DAB+ wraz z kodem nadmiarowym

FM RDS:

- zalecany odbiór analogowego sygnału FM RDS

Dekodowanie wskazanych usług:

- zalecany odbiór w radioodbiornikach w autach:
 - o TPEG, TMC, komunikaty informacyjne,
- obowiązkowy system śledzenia programu z różnych źródeł i przełączania między DAB, DAB+ oraz DMB, zalecany również w innych blokach częstotliwości

Profil 2 – medialny odbiornik radiowy

Spektrum:

- obowiązkowy odbiór w zakresie pasma III (174 do 240 MHz);
- obowiązkowy odbiór w zakresie pasma L (1452 do 1492 MHz) dla radioodbierników w autach oraz odbierników w obszarach naziemnej radiodyfuzji w pasmie L

Audio:

- obowiązkowy dekodery MPEG warstwa 2 (system DAB);
- obowiązkowy dekodery MPEG-4 HE AACv2 (system DAB+ oraz DMB)

Tekst:

- obowiązkowe wyświetlenie nazwy radiostacji, rozszerzona dynamiczna ekspozycja tekstu (dynamic label+), oraz Intellitext (tekst oraz podstawowe operacje przeglądania)
- obowiązkowe wykorzystanie rozszerzonego zbioru znaków RDS
- zalecana prezentacja Journaline

Elektroniczny przewodnik po programach (EPG):

- obowiązkowa prezentacja przewodnika
- zalecane dekodowanie prezentacji profilu rozszerzonego

Dekodowanie kanałowe:

- obowiązkowe równoległe dekodowanie minimum czterech sub-kanałów
 - o minimum 288 jednostki CU
- zalecany odbiór analogowego sygnału FM RDS

Dekodowanie wskazanych usług:

- obowiązkowa prezentacja pokazu slajdów
- obowiązkowy odbiór w radioodbiernikach w autach:
 - o TPEG, TMC, komunikaty informacyjne,
- obowiązkowy system śledzenia programu z różnych źródeł i przełączania między DAB, DAB+ oraz DMB,
- zalecana kontrola programów również w innych blokach częstotliwości

Profil 3 – multimedialny odbiornik radiowy

Spektrum:

- obowiązkowy odbiór w zakresie pasma III (174 do 240 MHz);
- obowiązkowy odbiór w zakresie pasma L (1452 do 1492 MHz) dla radioodbierników w autach oraz odbierników w obszarach naziemnej radiodyfuzji w pasmie L

Audio:

- obowiązkowy dekodery MPEG warstwa 2 (system DAB);
- obowiązkowy dekodery MPEG-4 HE AACv2 (system DAB+ oraz DMB)

Video:

- obowiązkowe dekodowanie obrazów w systemie H.264

Dekodowanie kanałowe:

- obowiązkowe dekodowanie minimum 432 CU (połowa przepustowości głównego kanału transmisyjnego)

Zadaniem odbiornika (terminala) systemu DAB jest przeniesienie sygnału do pasma podstawowego a następnie przetwarzanie w kolejności odwrotnej niż w nadajniku. Przekształcenia cyfrowego sygnału można realizować układowo lub programowo. Mamy więc propozycje odbiorników od rozwiązań hardwerowych poprzez rozwiązania układowo-programowe do pełnej realizacji programowej na procesorze sygnałowym DSP (ang. Digital Signal Processor). Z tego względu celowy jest opis funkcjonalnych bloków odbiornika zamiast szczegółowego opisu wybranego rozwiązania

Organizacja i dekodowanie usług wskazanych w poszczególnych profilach zależy od oprogramowania odbiornika oraz pozostawione do decyzji producentów.

2.14.1 Schemat blokowy odbiornika DAB

W odbiorniku systemu DAB proces organizowania ramek logicznych DAB po demodulacji symboli i ramek fizycznych OFDM przebiegają w kierunku odwrotnym niż podczas procesu modulacji kanałowej w nadajniku. Kolejno następuje dekodowanie kanału szybkich informacji FIC z danymi o organizacji multipleksu i treści programów oraz parametrami usług dodanych. Ten programowo uruchamiany przez system operacyjny odbiornika etap opisany jest w sekcji 6.5.

Ogólny funkcjonalny schemat blokowy odbiornika przedstawia rys. 2-56. Podstawowym zadaniem części układowej odbiornika jest – po transformacji sygnału do kanału podstawowego i synchronizacji częstotliwościowej i czasowej ramek i symboli - zdemodulowanie symboli OFDM.

Sposób łączenia funkcji poszczególnych bloków w zintegrowanych układach oraz szczegóły konstrukcji oraz oprogramowania odbiornika to indywidualne decyzje poszczególnych producentów.

2.14.2 Demodulator kanałowy OFDM. Wyliczanie symboli modulujących

W celu zdemodulowania w odbiorniku k -tej podnośnej z kolejnego łącznego symbolu OFDM system DAB wykorzystuje ortogonalność układu podnośnych kodera:

$$\sum e^{j\omega_k t_n} \cdot e^{j\omega_l t_n} = \delta_{k,l} \cdot (N + 1)$$

Jeżeli dokonamy próbkowania odebranego kolejnego symbolu $S(t)$ w odstępach $Dt = T/(N+1)$ otrzymamy zbiór $N+1$ wartości $\{S(n)\}$ dla $n = 0, 1, \dots, N$. Wyliczając transformatę Fouriera tego zbioru próbek $\{S(n)\}$ 1-tego symbolu ramki OFDM otrzymujemy dla K -tego współczynnika FFT:

$$\begin{aligned} S^{-1}(K) &= \sum_{n/0}^N S(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}K \cdot n} = \sum_n \sum_{k/0}^N e^{j\varphi_k^{(l)}} \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}(k-K) \cdot n} = \sum_n e^{j\varphi_k^{(l)}} \sum_k e^{j\frac{2\pi}{N}n(k-K)} = \\ &= \sum_k e^{j\varphi_k^{(l)}} \cdot (N + 1) \cdot \delta_{k,K} = (N + 1) \cdot e^{j\varphi_k^{(l)}}, \end{aligned}$$

ponieważ $\sum_{n/0}^N e^{j\frac{2\pi}{N}n \cdot (k-K)} = (N + 1) \cdot \delta_{k,K}$. Tak więc K -ty współczynnik transformaty Fouriera

jest równy, po unormowaniu, K -temu symbolowi modulującemu $e^{j\varphi_k^{(l)}}$. Wyliczając współczynniki FFT odpowiadające numerom demodulowanych podnośnych - otrzymujemy odpowiednie symbole modulujące. Demodulacja sprowadza się do wyliczania współczynników transformaty Fouriera zbiorów próbek kolejnych symboli ramek OFDM.

Ta prosta reguła obowiązuje jedynie w idealnym przypadku, gdy kanał transmisyjny nadajnik - odbiornik nie wprowadza zniekształceń ani zakłóceń odbieranego sygnału. W rzeczywistych warunkach ruchomego odbioru radiowego mamy do czynienia przede wszystkim z propagacją wielodrogową (występowanie sygnałów odbitych) oraz szumami. Warunki te zależą od częstotliwości stąd w różnych subpasmach podnośne bloku OFDM są tłumione czy wzmacniane z różnymi współczynnikami. Podobnie zniekształcenia fazowe podnośnych

zmieniają się w zależności od subpasma. Łącznie zniekształcenia amplitudowe i fazowe możemy opisywać poprzez multiplikatywne współczynniki zespolone

$$A_k = a_k \cdot e^{j\phi_k}$$

gdzie a_k - rzeczywisty współczynnik tłumienia k-tej podnośnej, oraz ϕ_k - kąt fazowego przesunięcia k-tej podnośnej. Odbierany sygnał ma więc postać

$$S(n) = \sum_k A_k^{(l)} \cdot e^{j\phi_k^{(l)}} \cdot e^{j2\pi f_k t}$$

i zawiera współczynniki modulujące zakłócone przez kanał.

2.14.3 Demodulacja różnicowa D-4PSK

W wyniku przekształcenia FFT otrzymujemy zbiór zniekształconych w kanale transmisyjnym symboli modulujących $\{A_k^{(l)} \cdot e^{j\phi_k^{(l)}}\}$. Doświadczenie wykazuje, że współczynniki $A_k^{(l)}$ praktycznie nie zmieniają się w czasie transmisji dwóch kolejnych symboli tej samej podnośnej (bliżej patrz rozdz. III), tak więc

$$A_k^{(l+1)} \approx A_k^{(l)}$$

Dzięki tej równości można poprzez demodulację różnicową odzyskać nie zniekształcone fazy symboli modulujących. Demodulacja różnicowa polega na porównaniu (podzieleniu) - bieżącego demodulowanego oraz poprzedniego - współczynników modulujących z tej samej k-tej podnośnej. Otrzymujemy stąd różnicę faz kolejnych symboli:

$$\frac{A_k^{(l+1)} \cdot e^{j\phi_k^{(l+1)}}}{A_k^{(l)} \cdot e^{j\phi_k^{(l)}}} \approx e^{j[\phi_k^{(l+1)} - \phi_k^{(l)}]}$$

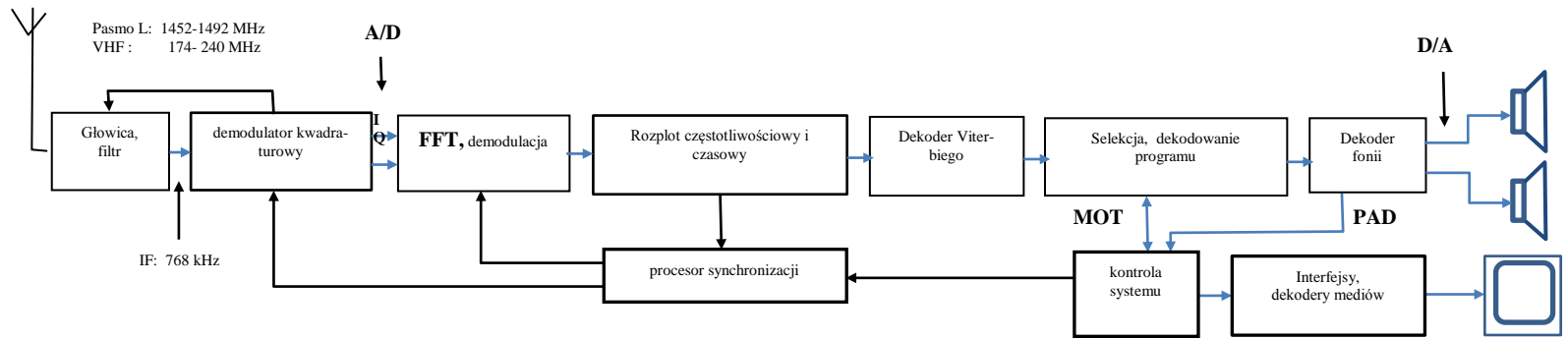
a właśnie różnica faz sąsiednich symboli jest równa fazie symbolu modulującego k-tej podnośnej.

Ważnym i wciąż trudnym problemem jest dekodowanie pełnej liczby podnośnych ramki OFDM. Dla odbioru wybranego programu taki wymóg nie jest konieczny, gdyż wystarczy znajomość symboli modulujących związanych z sygnałem wybranego programu. Jednak dla pełnego wykorzystywania przepustowości systemu DAB konieczny jest odbiór wybranego programu oraz jednoczesne ładowanie pakietów z wskazanymi usługami do bufora pamięci.

Wąskim gardłem takiego rozwiązania jest realizacja czasochłonnego algorytmu Viterbiego dla wszystkich symboli w czasie rzeczywistym.

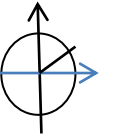
Zapoczątkowanie procesu demodulacji każdej kolejnej ramki OFDM wymaga oczywiście znajomości początkowych faz odniesienia dla ramki. Są one zawarte w drugim symbolu ramki OFDM, po symbolu synchronizacji.

Rys. 2-60 Schemat blokowy odbiornika DAB



A. Podstawowe bloki warstwy fizycznej odbiornika DAB

$$\begin{aligned}
 \text{RF IF: } \sum_{k=1}^N [A \cos(\Phi_k + \omega_k t) \cos \Omega_1 t - A \sin(\Phi_k + \omega_k t) \sin \Omega_1 t] \\
 I = \sum_k A \cos(\Phi_k + \omega_k t) \quad \text{FFT} \quad \{A \cos(\Phi_k)\} \\
 Q = \sum_k A \sin(\Phi_k + \omega_k t) \quad \text{FFT} \quad \{A \sin(\Phi_k)\} \\
 \{\Phi_k\} \quad \{\Phi_k^{(l)} - \Phi_k^{(l-1)} = \Delta\Phi_k^{(l)}\}
 \end{aligned}$$



(b, b) (przeplot f)⁽⁻¹⁾ konwersja P/S: (przeplot czasowy)⁽⁻¹⁾ → dekodery Viterbiego ramki DAB selekcja programu/usługi PAD
audio multimedia

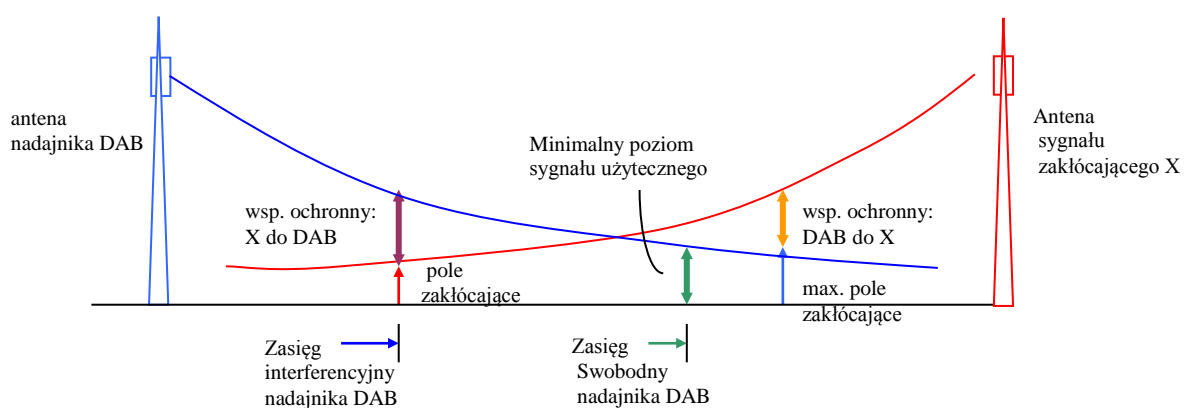
B. Etapy przetwarzania sygnału DAB w odbiorniku

3 WPŁYW KANAŁU PROPAGACYJNEGO NA JAKOŚĆ ODBIORU SYGNAŁU DAB

Propagacja naziemnego sygnału DAB zależy od częstotliwości nośnej, mocy i polaryzacji sygnału, topografii i morfologii terenu oraz czynników pogodowych. Ze względu na znaczną ilość, zmienność i nieprzewidywalność szeregu czynników wielkość sygnału w określonym punkcie przestrzeni stanowi zmienną statystyczną o częstości występowania dobrze opisywanej przez rozkład logarytmiczno-normalny [20]. Stąd można oceniać wymagane wartości minimalne sygnału użytecznego oraz maksymalne sygnałów zakłócających w określonym procencie czasu w punktach założonego obszaru pokrycia sygnałem. Również na tej podstawie można wyliczać rozkłady wypadkowe nakładających się sygnałów stacji zakłócających.

Podstawowe wielkości uwzględniane w procesie planowania zasięgów czy pokrycia sygnałem przez pojedynczy nadajnik w danym kanale, to:

- Minimalny poziom sygnału użytecznego.
Wielkość tego parametru jest określana przez poziom sygnału zapewniający wysokiej jakości odbiór (również w budynkach) przez odbiorniki różnych typów i różnych producentów przy braku sygnałów zakłócających
 - Maksymalny poziom wypadkowego sygnału zakłócającego w punktach estymacji sygnału
 - Współczynnik ochronny nadajnika zakłócającego do DAB
Interferencje spowodowane przez sygnał zakłócający zależą nie tylko od jego wielkości, ale charakteru przebiegu, modulacji i innych parametrów. Stąd wymagany poziom sygnału użytecznego gwarantujący dobry odbiór w obecności sygnału interferencyjnego zależy od typu sygnałów zakłócających
 - Zasięg swobodny nadajnika
Jest to zasięg sygnału użytecznego pod nieobecność zakłóceń interferencyjnych
 - Zasięg interferencyjny nadajnika
Zasięg sygnału użytecznego w obecności sygnału zakłócającego
- Pojęcia te zilustrowane są na rys. 3.1.



Rys. 3-1 Relacje poziomów sygnałów uwzględniane przy planowaniu parametrów nadajnika

Planowanie powinno uwzględniać dopuszczalne poziomy intermodulacji wywoływanych przez sygnały z sąsiednich kanałów. Planowanie obszaru pokrycia sygnałem przez

pojedynczy nadajnik w określonym procencie czasu oraz określonym procencie lokalizacji wymaga podstawowych narzędzi włączających:

- Plan przydziału częstotliwości
- Modele propagacyjne sygnału
- Bazy nadajników: lokalizacje anten nadajników i ich parametry
- Cyfrowe mapy terenu uwzględniające topografię i morfologię otoczenia stacji

Nowe cechy w propagacji sygnału DAB wynikają z szerokiego pasma DAB oraz dyspersji czasów opóźnienia ścieżek sygnału. Własności te uwidaczniają się po demodulacji w kanale podstawowym i obrazowane są najwyraźniej przy pomocy modelu fazorowego sygnału DAB [39]-[42].

3.1 Kanał podstawowy: reprezentacja fazorowa sygnału OFDM

Informacja przenoszona w sygnale OFDM zawarta jest w amplitudach i fazach poszczególnych podnośnych symboli OFDM.

Parametry odcinka sygnału sinusoidalnego: amplitudę i fazę, można przedstawić w postaci fazora o długości równej amplitudzie sygnału i kącie nachylenia równym początkowej fazie sinusoidy.

Dla dwóch sygnałów sinusoidalnych o równej pulsacji reprezentacja fazorowa pozwala na określenie parametrów sygnału powstającego w wyniku złożenia obu sygnałów poprzez sumę wektorową fazorów składowych. Amplituda C i faza γ fazora wypadkowego odpowiadają parametrom sumarycznego sygnału

$$A \sin(\alpha + \omega t) + B \sin(\beta + \omega t) = C \sin(\gamma + \omega t)$$

gdzie

$$C^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos(\alpha - \beta); \quad \text{tg } \gamma = (A \sin \alpha + B \sin \beta) / (A \cos \alpha + B \cos \beta)$$

Reprezentacja wypadkowego przebiegu pozostaje sinusoidą o amplitudzie i fazie wynikającej z wektorowego sumowania przebiegów składowych.

Wskazane sumowanie fazorów można rozszerzyć na dowolną przeliczaną sumę sygnałów sinusoidalnych o równych pulsacjach..

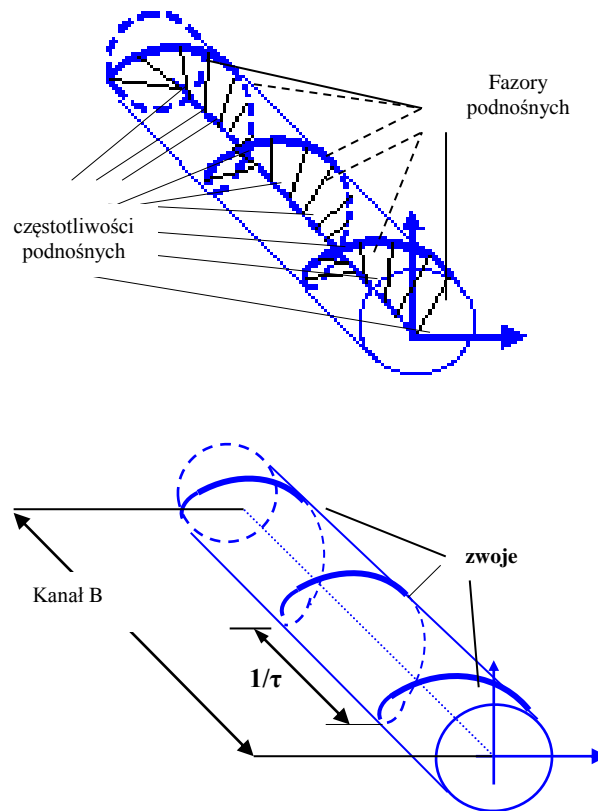
Reprezentacja szerokopasmowego sygnału OFDM - zbioru wąskopasmowych sygnałów w poszczególnych podkanałach - daje podstawę do zastosowania reprezentacji fazorowej, jeśli poszczególne podnośne jednego symbolu OFDM są reprezentowane przez fazory o amplitudach oraz fazach sygnałów podnośnych.

Stan każdego symbolu szerokopasmowego sygnału OFDM w paśmie podstawowym jest więc reprezentowany przez układ fazorów, z których każdy opisuje amplitudę i fazę jednej podnośnej.

W przypadku sygnału niemodulowanego reprezentacja fazorowa odbieranego symbolu odzwierciedla aktualny stan kanału propagacyjnego. W przypadku pierwszej ścieżki zmiany fazy między sąsiednimi niemodulowanymi podnośnymi nie występują. Fazory wszystkich podnośnych są więc równoległe. Każda opóźniona względem pierwszej ścieżka niemodulowanego sygnału charakteryzuje się liniowym wzrostem faz wraz z numerem podnośnych. Łącząc ich końce otrzymujemy linię śrubową o skoku $1/\tau$, zawierającym Tu/τ podnośnych, co pokazano na rys 3-2. W bloku częstotliwości B liczba obrotów linii śrubowej wynosi [39]:

$$n_{obr} = \tau \cdot B$$

W przypadku dwóch ścieżek jest to liczba maksimów obwiedni amplitudy.



Rys. 3-2 Fazorowa reprezentacja niemodulowanego symbolu OFDM oraz linia śrubowa reprezentująca ścieżkę o względnym opóźnieniu τ

Z wzrostem τ liczba n rośnie – o selektywności kanału decydują ścieżki o większym czasie opóźnienia. Jeśli selektywność całego kanału nie ma przenosić się na indywidualne podkanały, liczba zwojów ostatniej znaczącej ścieżki winna być mniejsza niż liczba podkanałów:

$$n_{max} < N, \text{ czyli } T_g \cdot B < B / \left(\frac{1}{T_U}\right) \quad \text{skąd } T_g < T_U,$$

W systemie DAB przyjęto $T_g = T_U/4$.

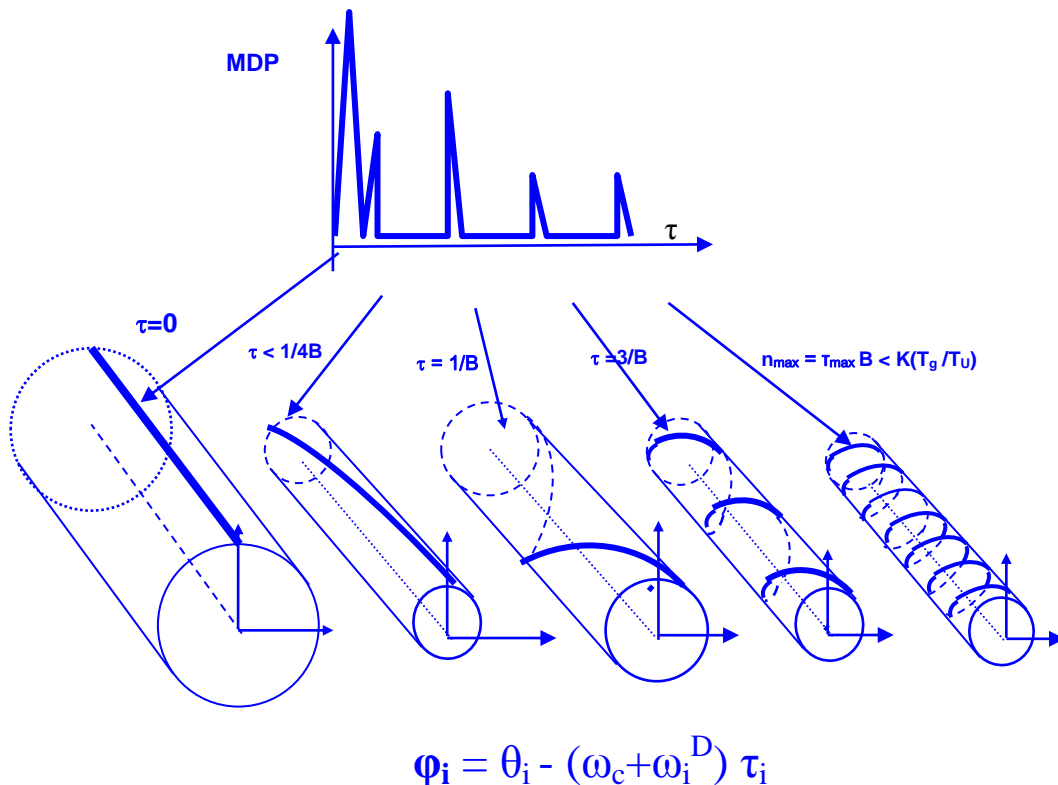
3.1.1 Związki między profilami MDP oraz fazorową reprezentacją symboli OFDM

Aktualny stan kanału propagacyjnego opisywany jest przez profil MDP (ang. Multi-path Delay Profile) określający wielkość amplitud poszczególnych ścieżek kanału w funkcji czasów opóźnienia.

Każdą z opóźnionych ścieżek ‘i’ sygnału OFDM możemy w kanale podstawowym opisywać w zakresie częstotliwości linią śrubową o skoku $1/\tau_i$ i promieniu A_i określaną przez koniec fazorów w symbolu tej ścieżki.

Związek MDP z reprezentacją fazorową – obrazowany na rys. 3-3 – można ująć w wnioskach:

1. stan symbolu OFDM = stan podnośnych = zbiór fazorów wszystkich ścieżek
2. W zależności od przedziału, do którego należy czas opóźnienia danej ścieżki powoduje ona w bloku częstotliwości B powstanie lokalnych minimów:
 - $0 < \tau < 1/4B$, brak wyraźnego minimum w rozkładzie amplitud podnośnych
 - $1/4B < \tau < 1.5/B$, jedno minimum w bloku
 - $1.5/B < \tau < 2.5/B$, dwa minima w bloku,
 -
 - $(2n-1)/2B < \tau < (2n+1)/2B$, n minimów w bloku



Rys. 3-3 Reprezentacja fazorowa ścieżek sygnału o wielodrogowym profilu MDP

Fazy poszczególnych ścieżek (fazy cylindrów, na których nawinięte są linie śrubowe) zależą od czasów opóźnienia poprzez iloczyn z pulsacją częstotliwości nośnej korygowaną przez częstotliwość Dopplera. Wynika stąd, że każda, nawet niewielka zmiana czasów opóźnienia spowodowana np. przesunięciem, czy pochyleniem anteny odbiornika, nie mająca praktycznego wpływu na wielkość amplitud, czy pozycje fazorowych reprezentacji ścieżek – spowoduje wyraźne zmiany faz poszczególnych ścieżek:

$$\Delta\varphi_i \approx 2\pi f_c \cdot \Delta\tau_i$$

a więc i ich sumy, czyli wypadkowej reprezentacji fazorowej kanału OFDM.

W zależności od relacji amplitud ścieżek w profilu MDP mamy do czynienia z kanałami propagacyjnymi modelowanymi jako:

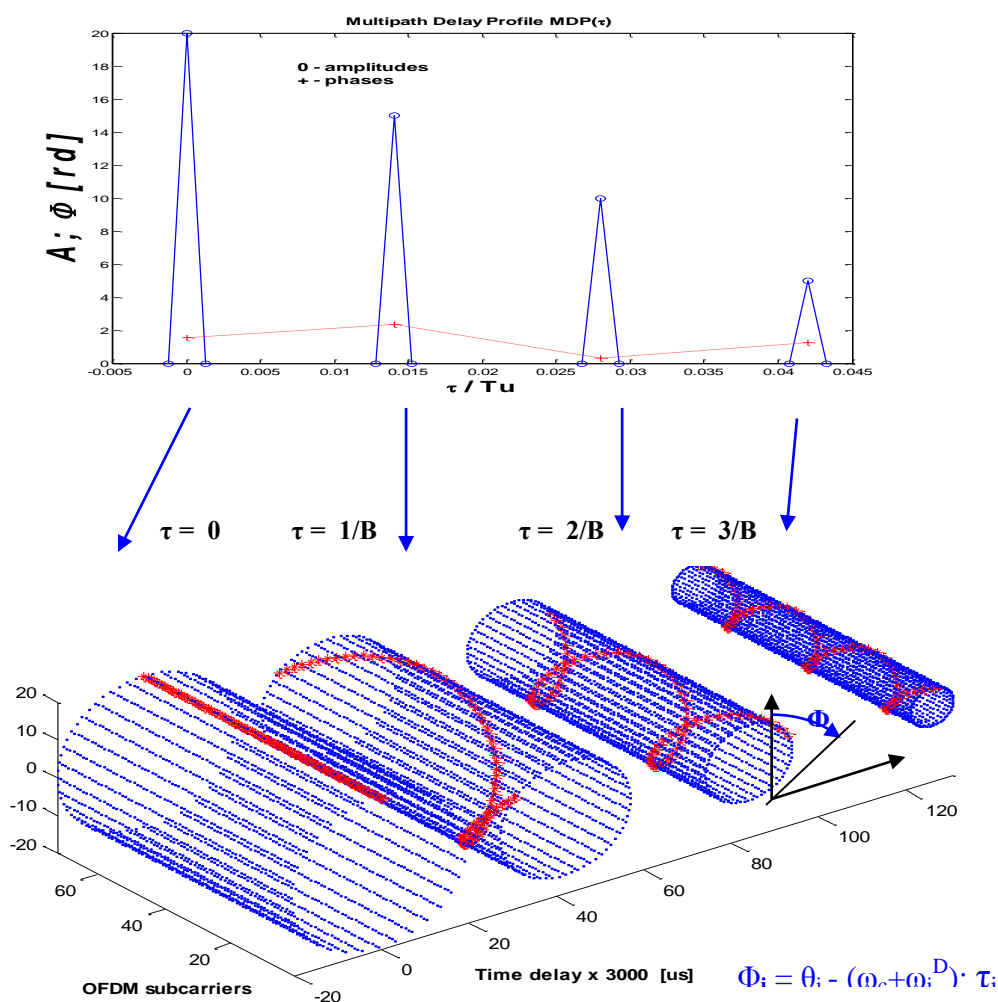
- kanał Gauss'a, gdy odbierana jest jedna ścieżka sygnału oraz szum biały o rozkładzie Gauss'a

- kanał Rice'a, gdy jedna z ścieżek wyraźnie dominuje amplitudą nad pozostałymi, wskutek czego rozkład wypadkowych sygnałów koncentruje się wokół końca fazona dominującej ścieżki
- kanał Rayleigh'a, gdy brak dominującej ścieżki i końce fazorów ścieżek rozkładają się zgodnie z zespolonym rozkładem Gauss'a

Ponieważ rozkłady prawdopodobieństwa sygnału dla takich modeli kanałów są znane, można stąd - przyjmując założenia odnośnie parametrów odbiornika - oceniać prawdopodobieństwo prawidłowego odbioru, a więc również przewidywać wymagania odnośnie mocy sygnału nadawanego, by w określonym obszarze odbiór był możliwy.

3.1.2 Wpływ wielodrogowości na odbiór sygnału. Przykłady

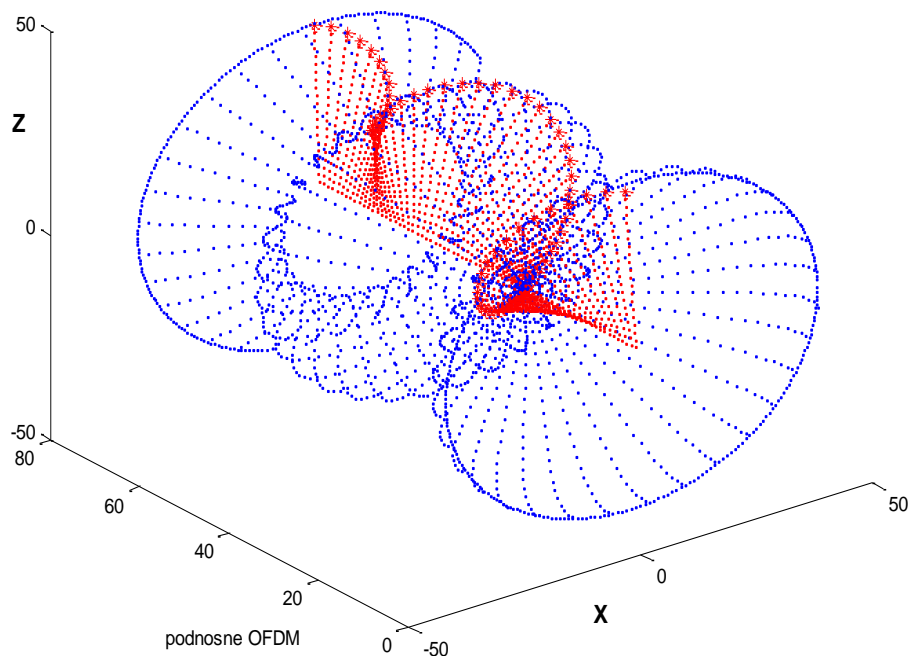
Niżej demonstrujemy wyniki symulacji komputerowej z modelowania wypadkowego sygnału po złożeniu czterech ścieżek w reprezentacji fazorowej.



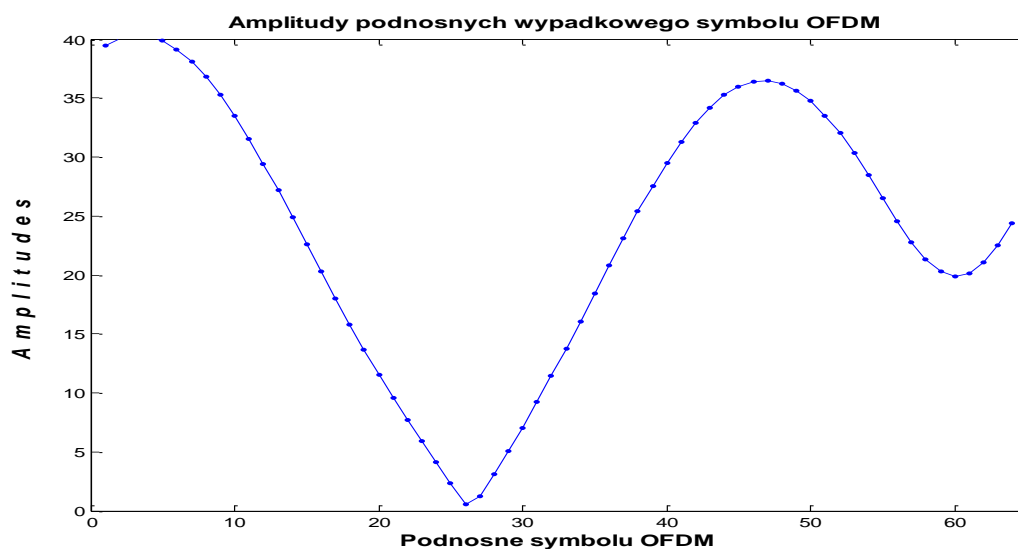
A. Przykład fazorowej reprezentacji ścieżek sygnału o profilu MDP

Sygnał wypadkowy (rys. B1) wykazuje zniekształcenia zarówno amplitud (rys. C1) jak i faz podnośnych:

Fazorowa reprezentacja wypadkowego symbolu OFDM



B 1. Fazorowa reprezentacja wypadkowego sygnału z rys. A

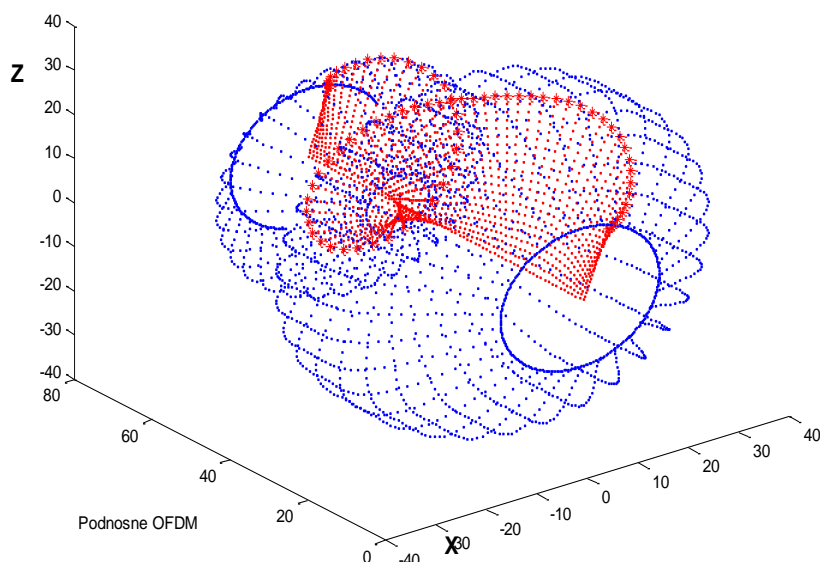


C 1. Moduły podnośnych wypadkowego symbolu z rys. A

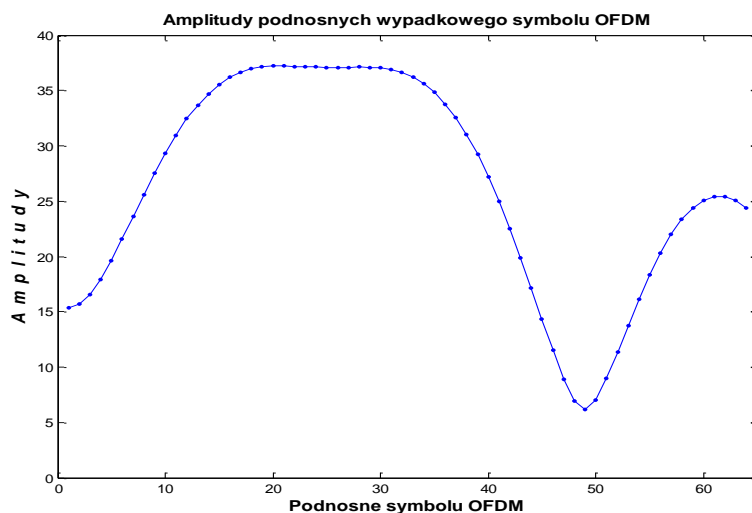
Jeśli odbiornik ulegnie niewielkiemu przesunięciu, wówczas amplitudy oraz opóźnienia ścieżek zmienią się nieznacznie. Wyraźnym zmianom ulegną jednak fazy ścieżek, w modelu fazorowym reprezentowane przez kąty obrotu odpowiednich cylindrów, gdyż są one równe

zmianom opóźnień pomnożonym przez częstotliwość nośną sygnału. Wpływ zmian faz ścieżek na sygnał wypadkowy oraz jego obwiednię ilustruje rys. 3-4, B2 i C2.

Fazorowa reprezentacja wypadkowego symbolu OFDM



B 2. Fazorowa reprezentacja wypadkowego sygnału z rys. A o zmienionych fazach ścieżek



C 2. Moduły podnosnych wypadkowego symbolu z rys. B 2

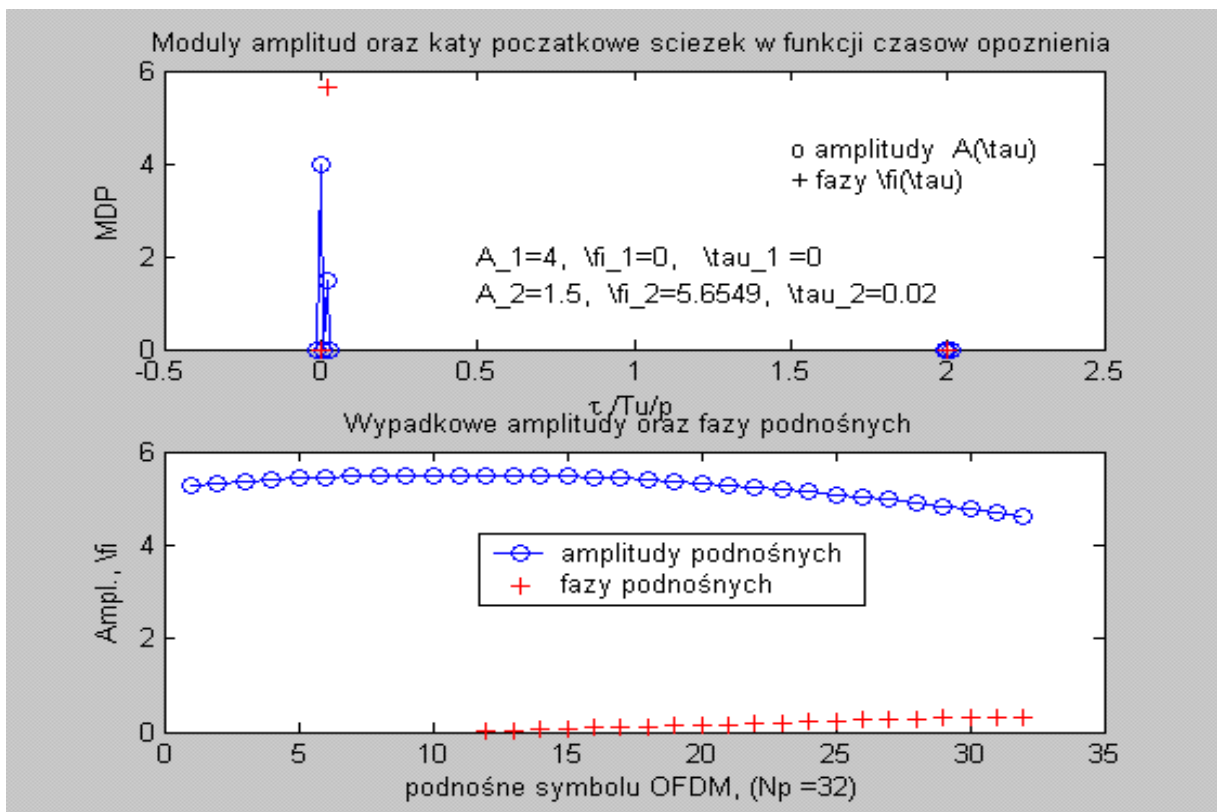
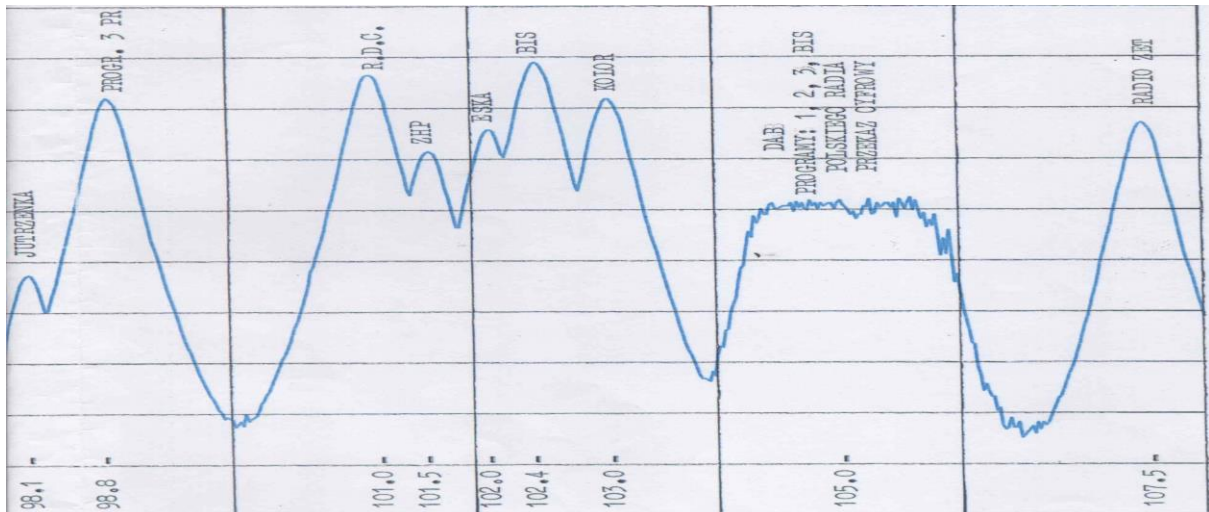
Rys. 3-4 Przykład sygnału w kanale wielodrogowym

Wskazane przykłady pokazują, że w kanale wielodrogowym szybkie zmiany kanału wynikają z wzajemnych zmian faz dominujących ścieżek sygnału. O szybkości zmian decyduje częstotliwość nośna sygnału. Zmiany amplitud ścieżek i ich wzajemnych opóźnień zachodzą znacznie wolniej i mają drugorzędny wpływ na kształt obwiedni sygnału w kanale podstawowym.

Reprezentacja fazorowa sygnału OFDM może bezpośrednio ułatwić wskazanie źródeł odbić sygnału powodujących jego degradację. Ukazują to wyniki pomiarów obwiedni sy-

gnału cyfrowej radiofonii DAB nadawanego z Pałacu Kultury wykonane przez mgr. inż. W. Kasińskiego w Warszawie i okolicach.

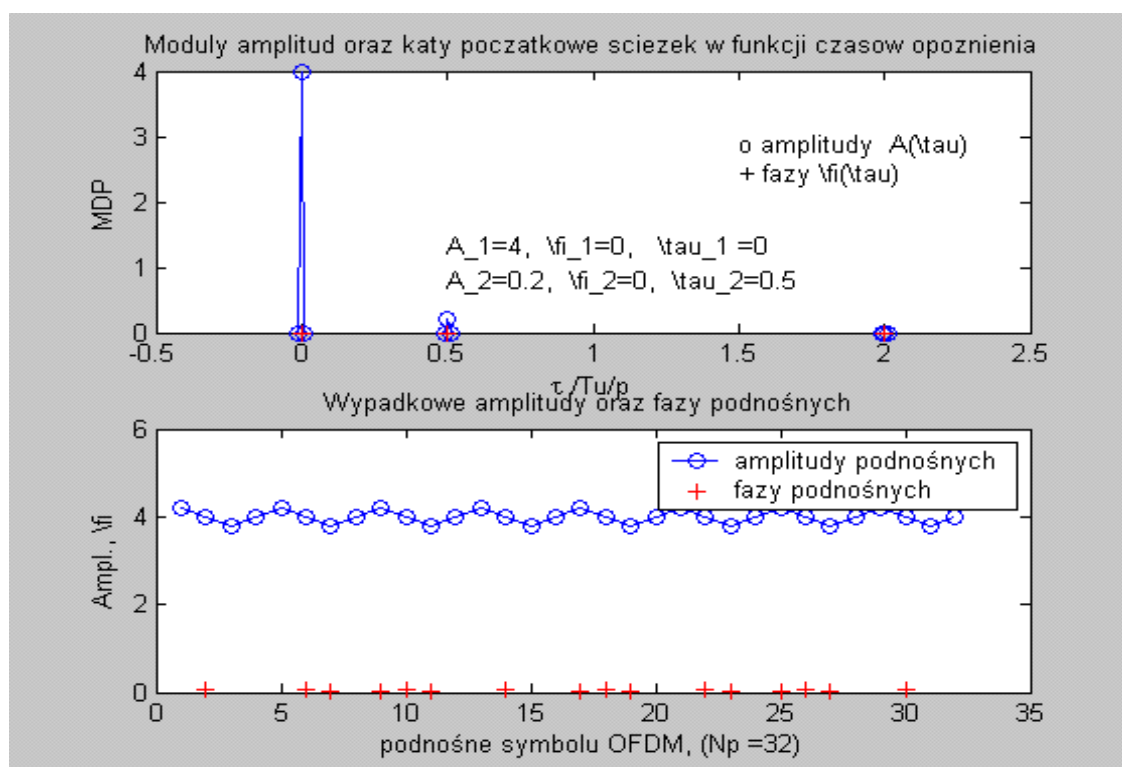
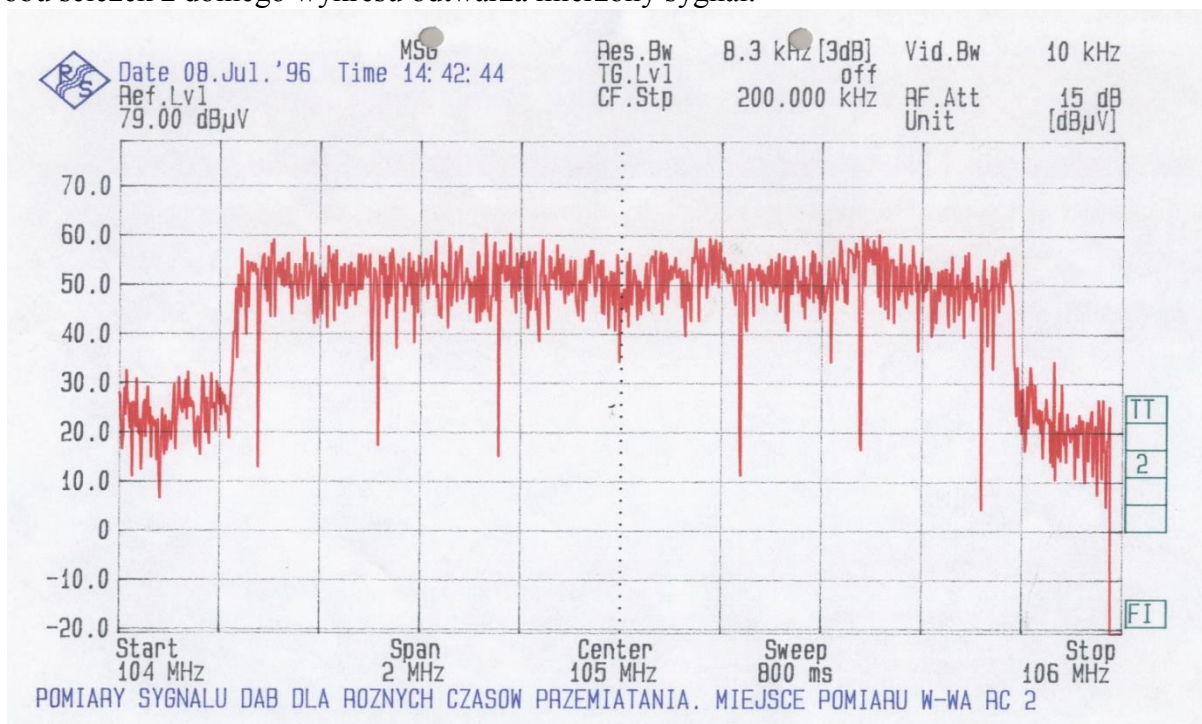
Na górnym wykresie mamy obwiednię sygnału DAB między analogowymi sygnałami stacji radiowych. Wykres środkowy to wielodrogowy profil sygnału: ścieżka bezpośrednia oraz sygnał opóźniony z parametrami tak dobranymi, by łączny sygnał wskazywał kształt sygnału DAB. Dolny sygnał ukazuje obwiednię sygnału wypadkowego.



Rys. 3-5 Interpretacja kształtu obwiedni widma sygnału DAB między sygnałami UKF FM

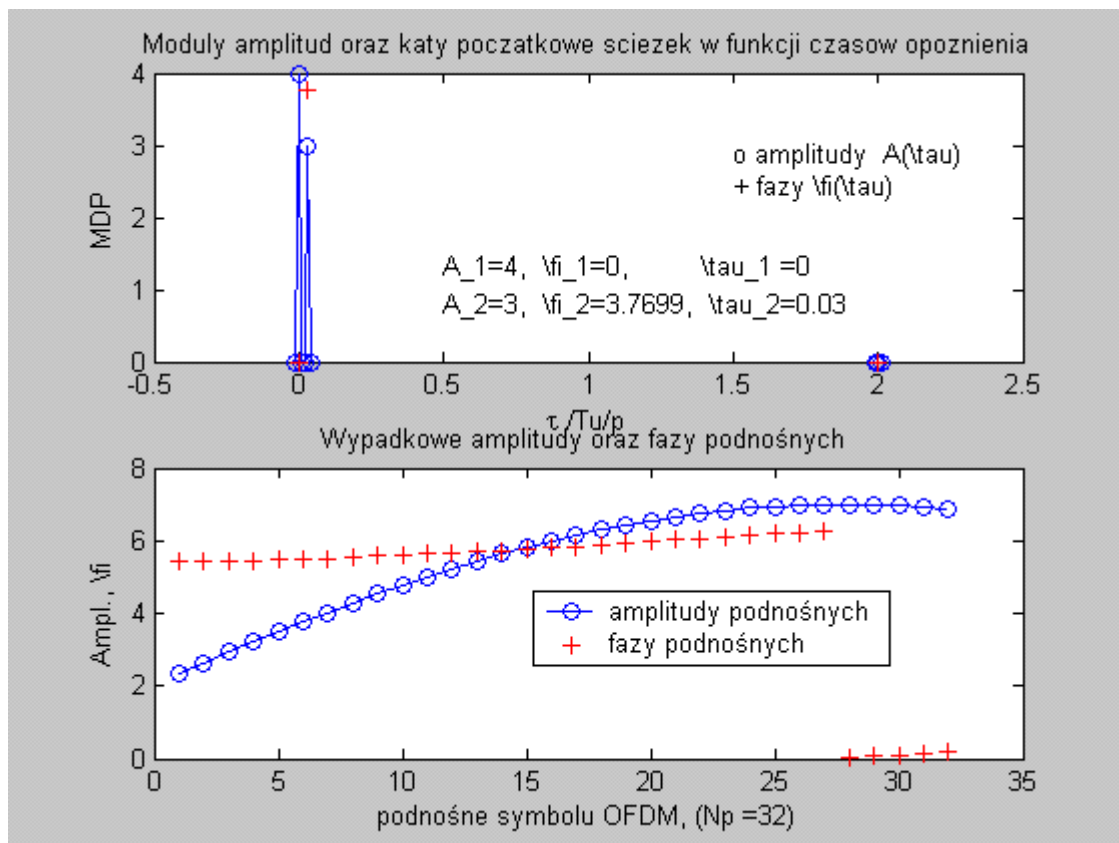
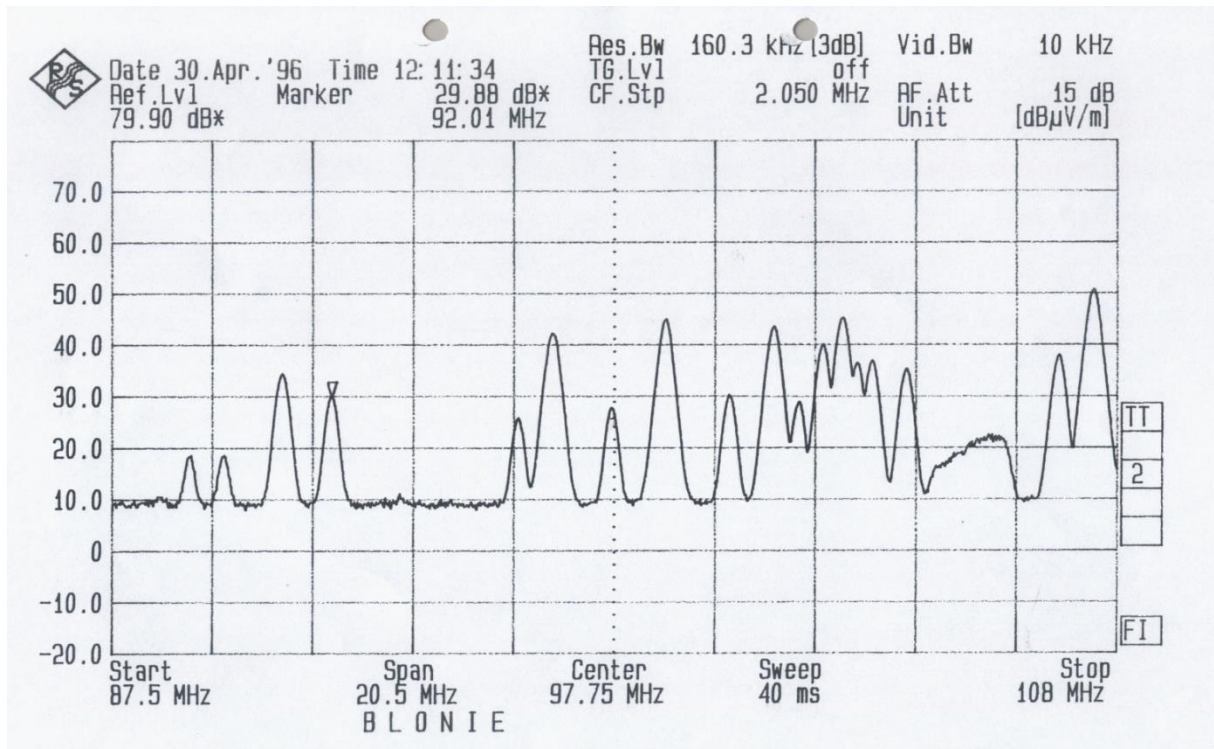
Estymowane opóźnienie drugiej ścieżki daje podstawę do określenia źródła odbicia degradującego sygnał zgodnie z komentarzem do rys. 3-9.

Inny przykład sygnału DAB ukazano na rys. 3-6 (długie pionowe linie to efekt metody pomiarowej: wynik przemiatania przedziału ochronnego ramek OFDM). Przebieg obwiedni sygnału wyjaśnia profil wielodrogowy z środkowego wykresu: suma fazorowych wykresów obu ścieżek z dolnego wykresu odtwarza mierzony sygnał.



Rys. 3-6 Interpretacja obwiedni widma sygnału DAB między sygnałami UKF FM

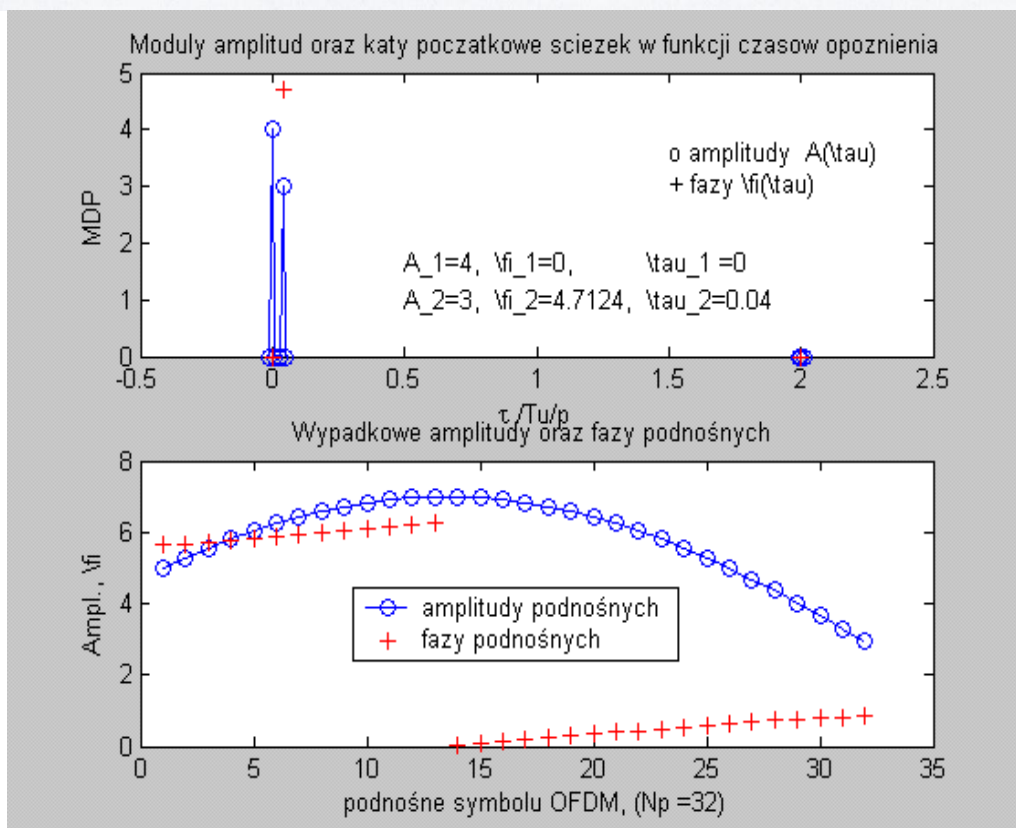
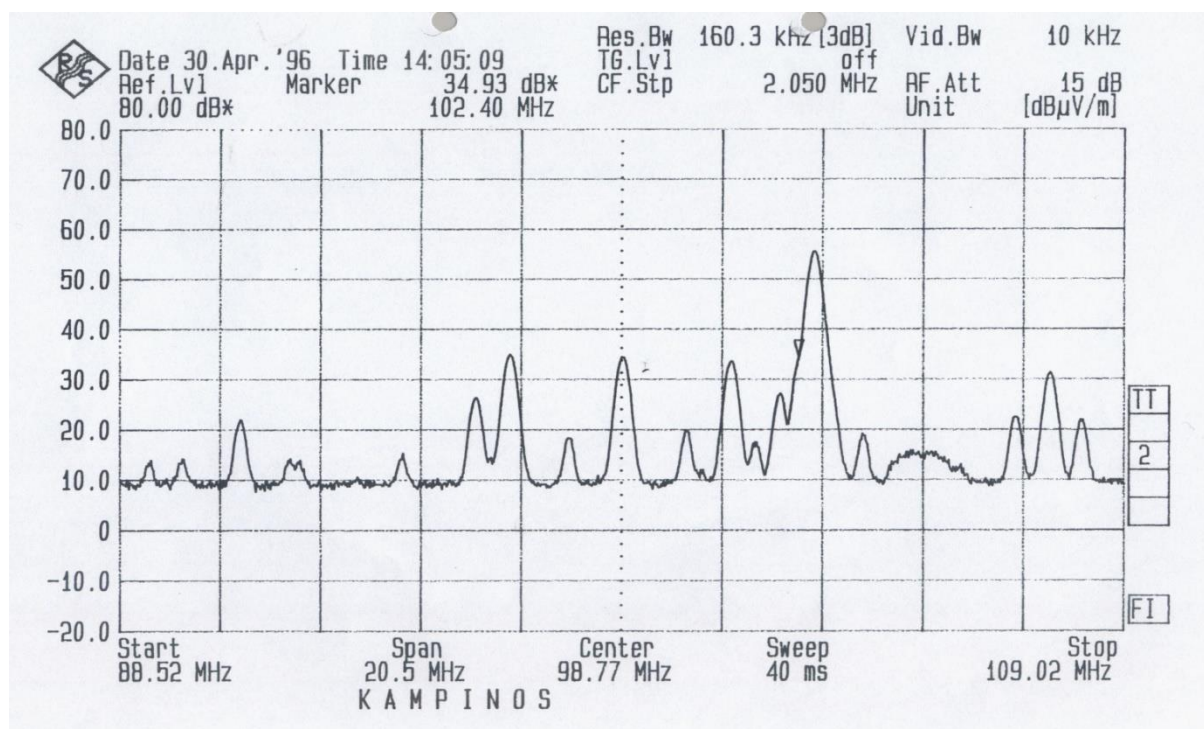
Degradacja niskich częstotliwości sygnału DAB z rys. 3-7 (górze) to wynik nakładania się ścieżki odbitej o parametrach z środkowego wykresu wielodrogowego. Efekt sumowania fazorowych wykresów obu ścieżek pokazano na dolnym wykresie.



Rys. 3-7 Interpretacja widma sygnału DAB z tłumionymi niskimi częstotliwościami

Degradację zarówno niskich, jak i wysokich częstotliwości sygnału DAB ukazuje wynik pomiaru obwiedni z rys. 3-8. Interpretacja kształtu widma w wyniku złożenia modeli fazo-

rowych sygnału bezpośredniego LOS i jednego sygnału odbitego o parametrach z profilu wielodrogowego (wykres środkowy) wyjaśnia przebieg widma sygnału (dolny wykres).



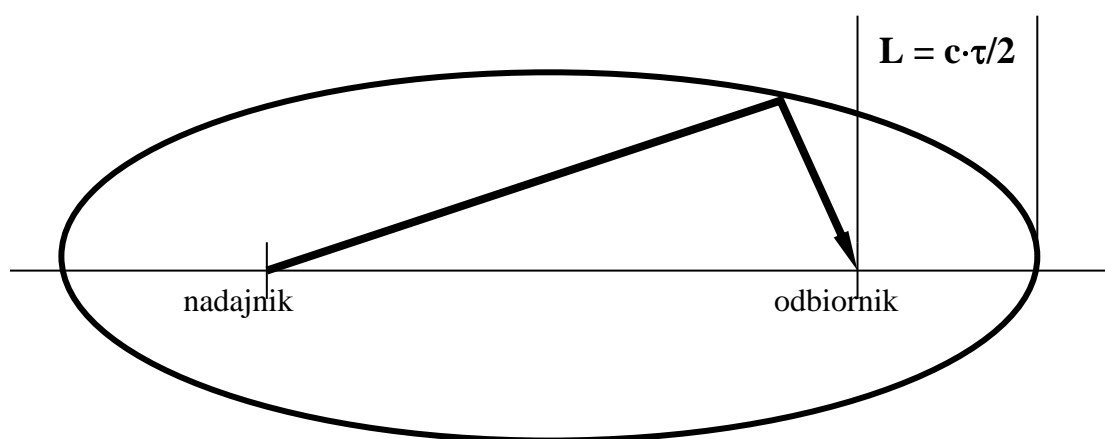
Rys. D. Widmo sygnału DAB z Pałacu Kultury w rejonie Kampinosu

Rys. 3-8 Interpretacja kształtu obwiedni widma sygnału DAB z rejonu Warszawy

W przypadku dwóch, lub trzech ścieżek sygnału OFDM już proste dopasowanie wypadkowego kształtu sygnału do widma otrzymanego z pomiarów pozwala na ustalenie paramet-

trów tych ścieżek: amplitud, katów początkowych oraz czasów opóźnienia. Znajomość czasów opóźnienia poszczególnych ścieżek sygnału pozwala na wyznaczenie elipsy stanowiącej miejsce geometryczne ścieżek o określonym opóźnieniu. Korzystając z mapy (cyfrowej) analizowanego terenu z zaznaczonymi wielkościami budynków (ilości pięter) można stąd określić źródła odbić wpływających na pogorszenie odbioru.

Dane te pozwalają na ustalenie w miejscu analizowanego odbioru parametrów i ukierunkowania anteny odbiorczej ograniczającej wpływ odbić degradujących odbiór stacjonarny.



Rys. 3-9 *Elipsa jako miejsce geometryczne punktów odbicia sygnału o opóźnieniu τ względem sygnału LOS*

3.2. Interferencje międzysymbolowe oraz międzytonowe

Dobór parametrów sygnału OFDM ma na celu uniknięcie interferencji międzysymbolowych wynikających z występowania ścieżek sygnału poza przedziałem ochronnym. Długość przedziału ochronnego symboli OFDM powinna być tak dobrana, by rozrzut opóźnień mieścił się w jego zakresie. Ponieważ jednak wprowadzenie przedziału ochronnego ogranicza przepustowość systemu, nie jest uzasadnione wydłużanie przedziału ochronnego do maksymalnych, w wyjątkowych warunkach występujących opóźnień.

W bieżącym paragrafie pokazujemy, w jaki sposób przedstawia się reprezentacja fazorowa symbolu OFDM w takich przypadkach.

3.2.1. Reprezentacja fazorowa ścieżek OFDM spoza przedziału ochronnego

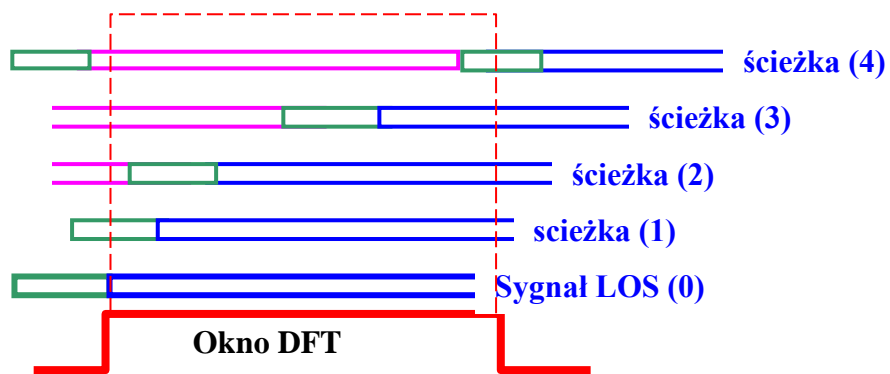
Pojawienie się ścieżki sygnału OFDM spoza przedziału ochronnego powoduje:

- przerwanie ciągłości sinusoidy każdej podnośnej w oknie przetwarzania DFT: faktor modulujący danego symbolu OFDM sumuje się z częścią kolejnego symbolu
- złamanie ortogonalności podnośnych: demodulowanie jednej podnośnej wnosi równocześnie wkłady od pozostałych

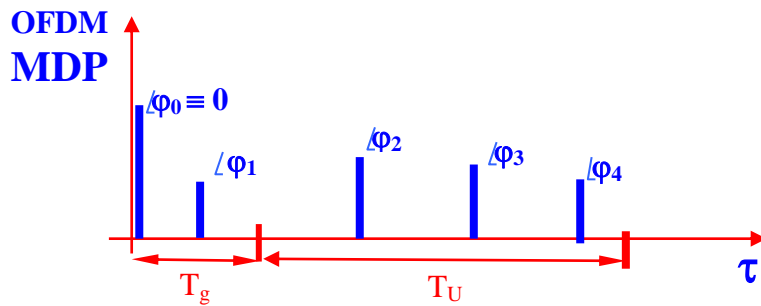
W rezultacie zdemodulowany współczynnik przenoszenia k-tej podnośnej symbolu OFDM składa się z składowych [31],[41]:

- a) ścieżki w ramach przedziału ochronnego dają współczynniki modulujące k-tej podnośnej w n-tym symbolu $S_k(n)$, (z zniekształceniami wnoszonymi przez kanał)
- b) każda ścieżka spoza przedziału ochronnego wnosi dla k-tej podnośnej:
 - a. współczynniki modulujące symboli danego i kolejnego $\{S_k(n)\}$, $\{S_k(n+1)\}$ proporcjonalnie do względnych długości części okna DFT zajmowanego przez te symbole. Jest to wynik interferencji międzysymbolowej ISI (ang. Inter-Symbol-Interference)
 - b. sumę współczynników modulujących pozostałych podnośnych z nakładających się symboli tworzących składową szumu. Te międzytonowe interferencje ICI (ang. Inter-Carrier Interference) zależą od separacji częstotliwościowej między podnośnymi

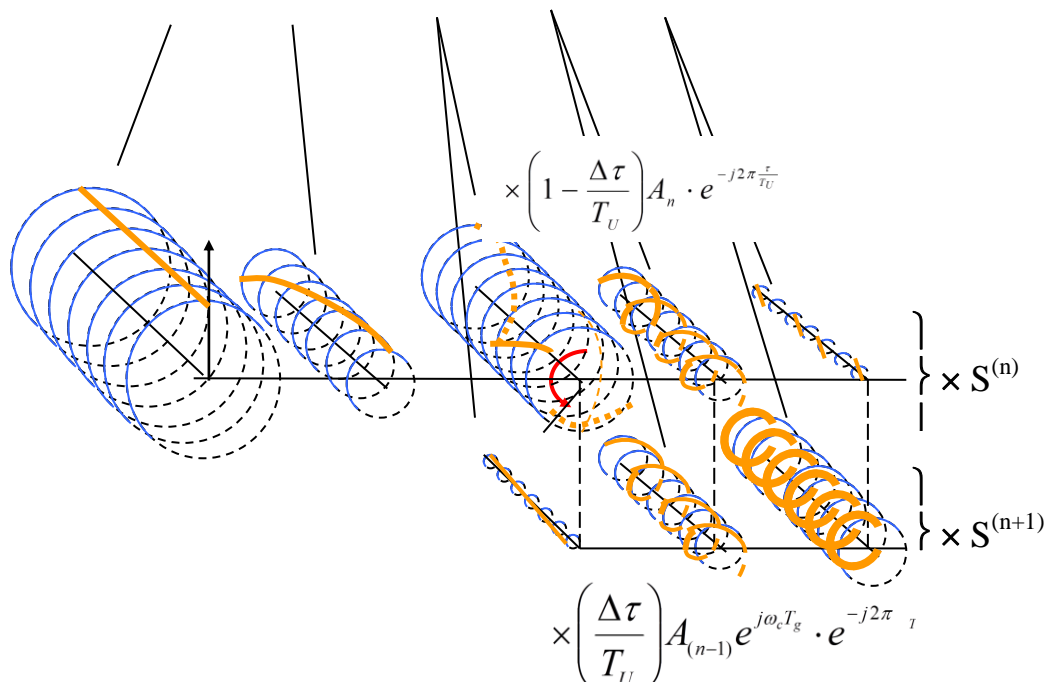
Graficznie sytuacja ta reprezentowana jest na rys. 3-10. Na rys. 3-10 C odpowiednie wielkości są przedstawione dla przykładu z rys. 3-10 A o profilu opóźnień z rys. 3-10 B. Pominięto składową szumu tworzonego przez składową ICI.



A. Pozycje symboli OFDM opóźnionych ścieżek w oknie DFT



B. Profil wielodrogowych opóźnień z rys. A

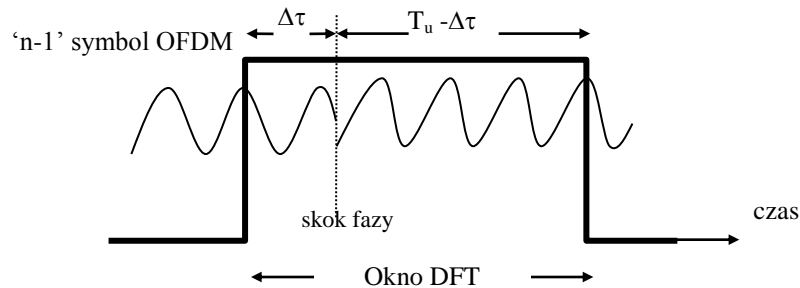


C. Reprezentacja fazorowa symbolu OFDM w przypadku ścieżek {0,1} w ramach, oraz {2,3,4} poza przedziałem ochronnym

Rys. 3-10 Fazorowa reprezentacja sygnału o profilu MDP z ścieżkami również spoza przedziału ochronnego

3.2.2. Interferencje między-symbolowe (ISI) oraz między-tonowe (ICI)

W wyniku występowania ścieżek o czasie opóźnienia spoza przedziału ochronnego ($\tau > T_g$) w oknie transformaty DFT pojawiają się fragmenty symboli n oraz $(n-1)$. Kolejne symbole są modulowane na ogół różnymi punktami schematu konstelacji modulacji, stąd występowanie kolejnego symbolu odbierane jest jako interferencja.



Wkład symboli OFDM n oraz $(n-1)$ ścieżki $\tau > T_g$
w oknie transformaty DTF

Rys. 3-11 Relacje czasowe ścieżki $\tau > T_g$ w ramach okna DFT

Jest to zjawisko interferencji międzysymbolowej ISI (ang. Intern-Symbol-Interference). Powoduje ono konsekwencje dwojakiego rodzaju:

- Na każdej podnośnej mamy do czynienia z członem zakłócającym tej samej podnośnej następującego symbolu. Symbole użyteczny i zakłócający są proporcjonalne do długości części zajmowanego okna DFT
- Podział okna DFT na części na ogół różne od wielokrotności okresu podnośnej powoduje, że transformata DFT przestaje być transformata ortogonalną – pojawiają się więc wkłady od wszystkich pozostałych podnośnych z współczynnikiem wagowym. Zjawisko to określamy mianem interferencji międzytonowej ICI (ang. Inter-Carrier-Interference)

W przypadku sygnałów OFDM interferencje międzysymbolowe ISI są jednocześnie źródłem interferencji międzytonowych ICI.

3.3. Wpływ przesunięcia Dopplera na odbiór sygnału DAB

Podczas odbioru w ruchu częstotliwość sygnału ulega przesunięciu na skutek zjawiska Dopplera. Gdy sygnał składa się z jednej ścieżki można przesunięcie Dopplera skorygować. W przypadku kanału wielodrogowego, gdy występują ścieżki z różnych kierunków, odbierane z różnymi prędkościami v_i względem źródeł odbić, pojawiają się odstrojenia ścieżek sygnału o wartości $f_{i}^D = \frac{v_i}{c} \cdot F_c$, gdzie c to prędkość sygnału, a F_c - częstotliwość nośna.

Odstrojenia podnośnych od nominalnych częstotliwości powodują utratę ortogonalności podnośnych w trakcie demodulacji, więc powstanie szumu objawiającego się rozmyciem punktów modulacji. Zjawiska tego nie można wyeliminować w trakcie odbioru w ruchu. Aby niwelować wpływ odstrojenia podnośnych na degradację ortogonalności odstęp między podnośnymi (odstęp międzytonowy) winien być co najmniej 20-krotnie większy od maksymalnego odchylenia częstotliwości Dopplera w danym zakresie częstotliwości nośnej sygnału.

Dla ustalonej maksymalnej prędkości terminala można to osiągnąć wybierając tryb pracy kodera OFDM z wystarczająco krótkim polem użytecznym T_U symbolu OFDM:

$$f_{(k+1)} - f_k = 1/T_U > 20 f_{\max}^D,$$

lub

$$f_{\max}^D = \frac{v_{\max}}{c} \cdot F_c < 0.05 1/T_U$$

Oznacza to ograniczenie maksymalnej prędkości v_{\max} odbiornika do wielkości (F_c - częstotliwość nośna):

$$v_{\max} \leq 0.05 \frac{c}{F_c} \frac{1}{T_U}$$

Przykładowo, dla transmisji naziemnej w górnej części pasma II ($F_c = 240$ MHz) z nadajnikami pracującymi w trybie I ($T_U = 1$ ms) prawidłowy odbiór sygnału DAB/DAB+ w aucie będzie zagwarantowany przy ograniczeniu prędkości poniżej $v = 225$ km/h.

W paśmie L ($F_c \approx 1450$ MHz) częstotliwości nośne są 6.5 razy wyższe, ale jednocześnie stosowany w tym paśmie tryb III pracy kodera OFDM ma ośmiokrotnie krótszą długość pola użytecznego ($T_U = 0.125$ ms), stąd ograniczenie prędkości ze względu na jakość odbioru wzrasta do $v = 300$ km/h.

4. SIECI JEDNOCZĘSTOTLIWOŚCIOWE SFN

Możliwość tworzenia sieci nadajników pracujących na tej samej częstotliwości nośnej SFN (ang. Single Frequency Network) umożliwiających odbiór programu bez wzajemnych zakłóceń różnych nadajników sieci jest ściśle związana z systemem modulacji kanału OFDM opracowanego dla systemu radiofonii cyfrowej DAB.

Sieci OFDM SFN stanowią bazę planowania systemów rozsiwczonych radiofonii DRM [1], DAB [2] i jej wersji DAB+, systemu DMB [3] oraz telewizji cyfrowej DVB-T [4].

4.1. *Koncepcja sieci jednoczęstotliwościowych SFN*

Sieć jednoczęstotliwościowa SFN (ang. Single Frequency Network) to sieć zsynchronizowanych nadajników transmitujących identyczne sygnały w tym samym bloku częstotliwości i na tej samej częstotliwości nośnej.

Koncepcja sieci SFN wynika z własności kodera OFDM. Jak podkreślono w par. II.8, parametry kodera kanałowego OFDM są tak dobrane, by system DAB był odporny na skutki propagacji wielodrogowej. Jeżeli układy odbiornika DAB potrafią dekodować sygnał OFDM w przypadku nakładających się sygnałów w wyniku propagacji wielodrogowej, to można stąd wyciągnąć wniosek, że również odbiór sygnałów DAB z różnych nadajników będzie przebiegał bez zakłóceń, o ile:

- nadawany sygnał (program) będzie identyczny w każdym nadajniku
- przesunięcia czasowe sygnałów od różnych nadajników nie będą przekraczać długości przedziału ochronnego ramek OFDM

Różnicę między systemami wieloczęstotliwościowym MFN (ang. Multiple Frequency Network) oraz jednoczęstotliwościowym SFN ilustruje rys. 4-1A, oraz rys. 4-1B, gdzie sygnał w sieci SFN jest odbierany w kanale podstawowym jako suma ścieżek z różnymi wzajemnymi opóźnieniami.

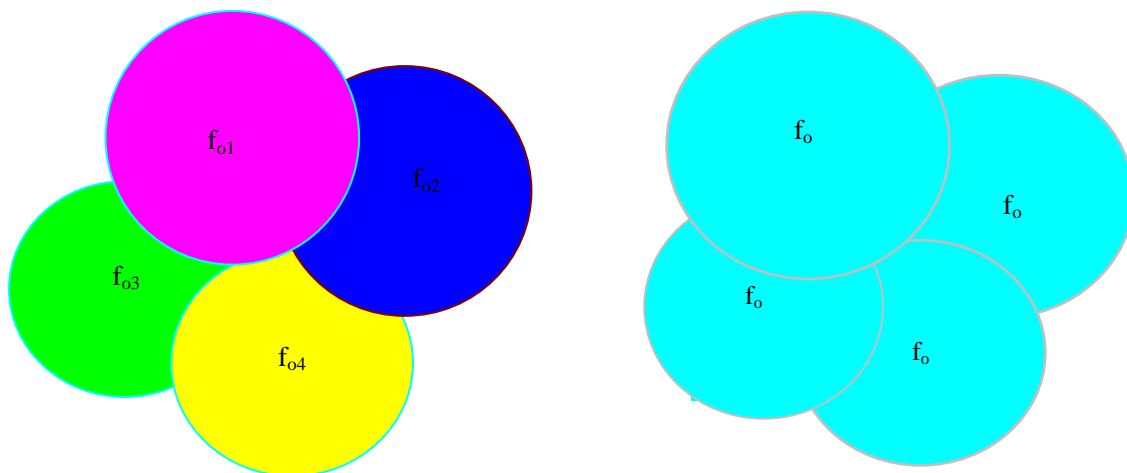
W zależności od obszaru pokrycia programem rozróżniamy:

- sieci lokalne SFN
- sieci regionalne SFN
- sieci krajowe SFN

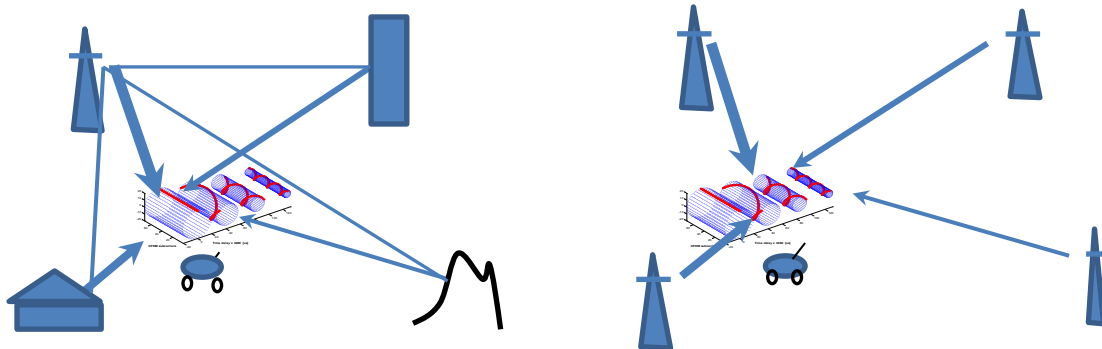
Dzięki koncepcji sieci jednoczęstotliwościowych uzyskujemy:

- planowanie częstotliwości dla pokrycia określonego terenu programem zostaje znacznie zoptymalizowane. Przykładowo, abstrahując od warunków granicznych, czy problemów wynikających z współpracy różnych systemów radiokomunikacyjnych, jeden ogólnopolski program nadawany w systemie FM wymaga bloku częstotliwości około 4 MHz dla rozmieszczenia nadajników o nie zakłócających się częstotliwościach. W tym samym bloku w systemie DAB można nadawać do 12 różnych programów o pokryciu ogólnopolskim
- odbiór wybranego programu na większym obszarze bez konieczności przestrajania odbiornika
- większa pewność odbioru poprzez większe zróżnicowanie odbieranego sygnału jako sumy wektorowej wielu użytecznych sygnałów
- odbiór sygnału przesłanianego przez przeszkody z kierunku jednego nadajnika jest kompensowany przez sygnały innych nadajników sieci

Projektowanie sieci SFN obok estymacji poziomu sygnału wymaga koordynowania topologii sieci (odległości między antenami nadajników) z długością przedziału ochronnego modulatora OFDM, tak, by opóźnienia sygnałów od sąsiednich nadajników mieściły się w ramach przedziału ochronnego. Sygnały od dalej położonych nadajników znajdują się poza przedziałem ochronnym tworząc interferencje wewnętrznościowe. Współzależność między



A. Pokrycie sygnałem MFN oraz SFN



B. Sygnał w kanale wielodrogowym oraz odbierany w sieci 4 SFN w kanale podstawowym

Rys. 4-1 Koncepcja sieci MFN oraz sieci 4 SFN DAB

długością przedziału ochronnego ograniczającego przepustowość sygnału, poziomem interferencji wewnątrzsieciowych, oraz topologią sieci nadajników to problemy przy planowaniu sieci SFN, nowe w porównaniu z planowaniem sieci wieloczęstotliwościowych MFN (Multiple Frequency Network).

4.2. Zasady planowania sieci jednoczęstotliwościowych SFN

Dla ustalonej maksymalnej prędkości pojazdów v_{max} wielkość przesunięcia częstotliwości Dopplera f^D w odbiornikach DAB tych pojazdów zależy od częstotliwości nośnej F_c bloku częstotliwości sieci:

$$f^D = F_c \cdot v/c$$

Jeżeli te przesunięcia nie mają istotnie wpływać na jakość odbioru - nie powinny przekraczać 5% odstępu międzytonowego Δf . Z kolei większe odstępy międzytonowe - poprzez relację ortogonalności podnośnych z długością pola użytecznego zależnością $\Delta f = 1/T_U$ - oznaczają krótsze symbole użyteczne.

W konsekwencji również odstępy ochronne winny być krótsze, ponieważ długość odstępów ochronnych nie powinna przekraczać $\frac{1}{4} T_U$. Wynika to z wymogu płaskich charakterystyk subkanałów w koderze OFDM. W tym celu liczba podnośnych N winna być co naj-

mniej czterokrotnie większa od liczby zwojów n w linii śrubowej opisującej najbardziej oddaloną ścieżkę w ramach odstępu ochronnego:

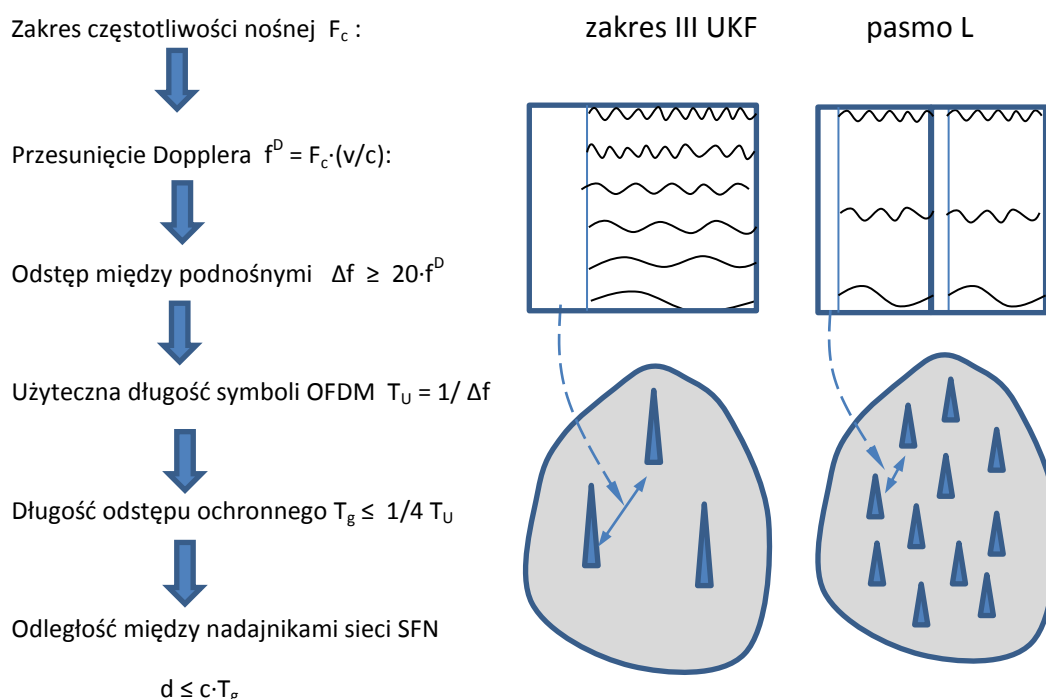
$$\text{Dla } N > 4n, \text{ gdzie } n = T_g \cdot B, \text{ oraz } B = N(1/T_U), \text{ mamy } T_U/4 > T_g$$

Tak więc bloki DAB z wyższych pasm częstotliwości wymagają symboli z krótszymi odstępami ochronnymi. W przypadku sieci SFN oznacza to krótsze odstępami między masztami antenowymi, a więc gęstszą sieć nadajników dla zapewnienia pokrycia sygnałem określonego obszaru.

Tryby pracy nadajnika są związane z warunkami pracy. I tak tryb I zalecany jest dla emisji naziemnej w pasmach I, II i III; tryb II dla emisji naziemnej w pasmach I - V oraz 1.5 GHz (pasmo L); tryb III przewidywany jest również dla emisji satelitarnej. Tryb IV wprowadzono w celu zwiększenia efektywności i obszaru pokrycia nadajników naziemnych pracujących w paśmie L. Tryb I zapewnia największą odporność na zakłócenia ze względu na najdłuższe odstępami między symbolami w ramce OFDM. Z tego samego względu pozwala na większe odległości między nadajnikami jednoczęstotliwościowej sieci nadawczej (patrz par. IX).

Z drugiej strony gęstsza sieć nie wymaga nadajników o wysokich mocach, w odróżnieniu od sieci nadajników o dużych wzajemnych odległościach.

Wskazane zależności ilustruje rys. 4-2.



Rys. 4-2 Wybór trybu pracy kodera OFDM dla odbioru ruchomego w sieci SFN
Relacje: pasmo częstotliwości → tryb kodera OFDM → odległości anten sieci SFN

Uzgodnione międzynarodowo bloki częstotliwości w poszczególnych krajach są następnie planowane szczegółowo w oparciu o realne usytuowanie planowanych stacji nadawczych oraz ich parametry:

- współrzędne geograficznych
- względne wysokości

- moce nadajników
- parametry transpondera
- charakterystyki anten

W ten sam sposób powstaje plan projektowanej sieci, którego różne elementy są następnie konsultowane i negocjowane z zagranicznymi czy krajowymi administracjami sąsiednich bloków i służb. Parametry, które przy projektowaniu sieci SFN należy przeanalizować, to poziomy natężenia pola na granicy sieci. Zgodnie z uwagą w par. I.1.1, sygnał cyfrowy o mocy poniżej poziomu wyznaczonego jako wymagane minimum szybko ulega degradacji. W związku z tym dla planowania sieci DAB zakłada się, że sygnał winien pokrywać 90% założonego terenu (dla radiofonii analogowej 50%) w 50% czasu nadawania (jak dla FM).

W wyniku wzajemnych uzgodnień powstaje ostateczna struktura planowanej sieci jednoczesotliwościowej.

Zasięg pojedynczego bloku częstotliwości charakteryzują parametry:

- minimalne wymagane natężenie pola EM
- maksymalne dopuszczalne natężenie pól. zakłócających:
 - DAB przez DAB
 - TV, FM, ... przez DAB
 - DAB przez TV, FM, ...

Szybkość opadania natężenia pola e-m poza granicami SFN określana jest, podobnie jak dla FM, przez krzywe propagacyjne ITU-R-Recommendation 370 z odpowiednimi korektami. Blok z tą samą częstotliwością nośną może być wykorzystany w innej sieci SFN, oddalony wystarczająco daleko od pierwszej, by uniknąć wzajemnych interferencji. Przyjmuje się, że odległość ta ('odl. powtarzalności', koordynacyjna) wynosi około 80 km w pasmie VHF, oraz około 55 km w pasmie L.

4.2.1. Identyfikacja nadajników TII w sieci SFN

W sieci jednoczesotliwościowej SFN sygnał multipleksu z serwera DAB doprowadzany jest do poszczególnych nadajników sieci w jednakowej formie. Po synchronizacji sygnał w każdym punkcie pokrycia w ramach sieci SFN zawiera taka sama treść zawartą w identycznych ramkach DAB. Sygnał nadawany w taki sposób uniemożliwia rozróżnianie przez terminale nadajnika, w zasięgu jakiego się znajduje. Tymczasem pewna klasa informacji jest w naturalny sposób związana z lokalizacją ograniczoną do obszaru nadawania wskazanego nadajnika, a nawet mniejszego obszaru określanego przez zakres współrzędnych geograficznych. W przypadku komunikatów drogowych, komunikatów ostrzegawczych, czy ogłoszeń dotyczących wybranej miejscowości informacje te winny być dekodowane jedynie przez odbiorniki z rejonu, którego te dane dotyczą. W tym celu poszczególne nadajniki sieci jednoczesotliwościowej SFN mogą opcjonalnie mieć przydzielone indywidualne kody identyfikacyjne TII (ang. Transmitter Identification Information).

Kody TII składają się z dwóch liczb (p, c) z których główny identyfikator p (ang. Main Id) w granicach 0-69 wskazuje główny nadajnik podsieci do której należy nadajnik, a podrzędny identyfikator c (ang. Sub Id) z zakresu 1- 23 określa względny numer nadajnika w podsieci identyfikowanej przez główny nadajnik. Wielkości (p, c) identyfikujące nadajnik są zakodowane w układzie podnośnych zerowego symbolu OFDM w kanale synchronizacji na początku każdej ramki DAB. Podnośne reprezentujące kody są tak dobrane, by podnośne nadajników podsieci nie wprowadzały wzajemnych interferencji.

Jeśli transmisja jakiegoś pliku czy komunikatu związana jest z określoną lokalizacją geograficzną określoną położeniem nadajnika, wówczas w odbiorniku DAB na obszarze sieci SFN porównywany zostaje kod nadajnika, w zasięgu którego znajduje się terminal, z kodem w komunikacie. Jeśli kody się zgadzają – komunikat jest dekodowany.

Analogicznie przebiega procedura w przypadku rejonizacji określonej przez współrzędne geograficzne. W tym przypadku porównywane są współrzędne GNSS satelitarnego systemu pozycjonowania: amerykańskiego GPS (ang. Global Positioning System), lub europejskiego GALILEO, z współrzędnymi określającymi rejon odbioru komunikatu.

Algorytm identyfikacji odbieranego nadajnika wymaga przeprowadzenia operacji:

- I. Wywołanie bazy etykiet regionów (region labels) w FIG(1 /3) lub FIG(2/3)
- II. Wywołanie bazy regionów w FIG(0/11). Etykiety regionów skojarzone z:
 - a) identyfikatorami **TII** sieci nadajników
 - b) współrzędnymi [**GPS**] regionu
- III. Z bazy pozycji nadajników w FIG(0/22):
 - a) współrzędne nadajnika
 - b) czas opóźnienia w stosunku do nadajnika odniesienia sieci SFN

Dane te pozwalają określić położenie odbiornika względem regionu przeznaczenia komunikatu.

Decyzja o wprowadzaniu kodów TII identyfikujących nadajniki podejmowana jest przez operatora multipleksu DAB i przesyłana do nadajników sieci (kodera OFDM) w ramce interfejsu transportu ETI (ang. Ensemble Transport Interface) w polu fazy ramki (patrz sekcja 9.1).

4.2.2. Synchronizacja sieci SFN

Koncepcja sieci nadajników SFN uwarunkowana jest synchronizacją transmisji identycznego sygnału (z wyjątkiem znaczników TII) w każdym z nadajników sieci. Sygnał multipleksu rozsyłany do nadajników sieci SFN wymaga przed emisją wzajemnej synchronizacji z powodu:

- a) Czasy dochodzenia sygnału multipleksu do różnie usytuowanych nadajników są różne (ang. Network Padding Delay)
- b) Czasy przetwarzania sygnału w nadajnikach różnych producentów mogą się różnić (kodowanie Viterbiego, modulacja kanałowa OFDM, układy wyjściowe HF)
- c) Czas transmisji sygnału w kablu fidera między nadajnikiem i anteną zależy od długości fidera

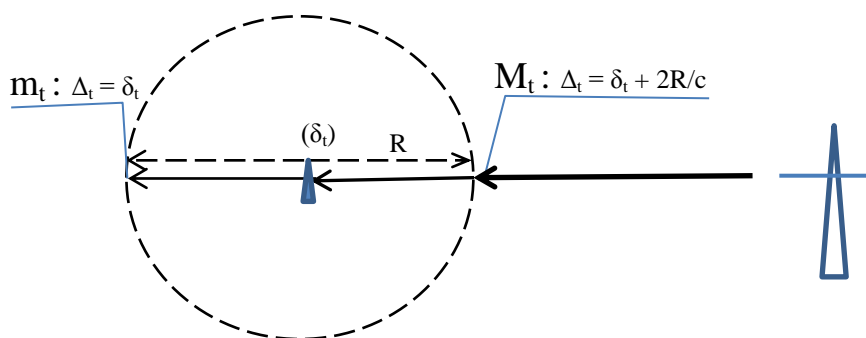
Całkowite opóźnienie sygnału od chwili emitowania ramki wspólnego sygnału sieci rozsiewczej do adekwatnej ramki sygnału emisyjnego z anteny nadajnika definiowany jest jako różnica czasu między startem pierwszego bitu wybranej ramki sygnału interfejsu transportu sygnału na wyjściu multipleksu DAB, a początkiem symbolu synchronizacji w adekwatnej ramce OFDM na wyjściu bloku HF nadajnika [3].

W celu korygowania różnic czasów emisji sygnału DAB wykorzystuje się znaczniki czasowe w ramach sygnału ETI doprowadzającego sygnał multipleksu do sieci SFN (patrz par. 9.1). Pozwalają one kompensować różnice czasów (a) w sieci dochodzące do setek milisekund.

Bliżej o znacznikach czasu w paragrafie 9.

4.2.3. Rola gap-fillera

W rejonach wewnątrz obszaru SFN, gdzie ze względu na obniżenie terenu, lub przesłanianie przeszkodami terenowymi, czy zabudowaniami, dochodzący sygnał jest na tyle słaby, że nie zapewnia odbioru w założonym procencie czasu, czy nawet uniemożliwia prawidłowy odbiór, można zastosować stację wzmacniającą i nadającą lokalnie ten sam sygnał w tym samym kanale. Taka stacja dopełniająca (ang. gap-filler), czy doświetlająca, odbiera sygnał bloku SFN i, po wzmacnieniu, retransmituje w założonym obszarze z zastosowaniem anteny o adekwatnych parametrach kątowych. Obok poziomu sygnałów, pierwotnego i emitowanego, należy przy projektowaniu parametrów stacji brać pod uwagę czas opóźnienia między obu sygnałami. W konkretnych warunkach relacje te będą zależały od ukształtowania terenu oraz przeszkód przesłaniających sygnały. Sam problem relacji czasowych można jednak zilustrować na prostym modelu z rys. 4-3, gdzie δ_t to czas przetwarzania sygnału w stacji doświetlającej, Δ – względne opóźnienie obu sygnałów, R – promień obszaru pokrycia stacji doświetlającej, c – prędkość sygnału.



Rys. 4-3 Relacje czasowe sygnałów w obszarze stacji dopełniającej

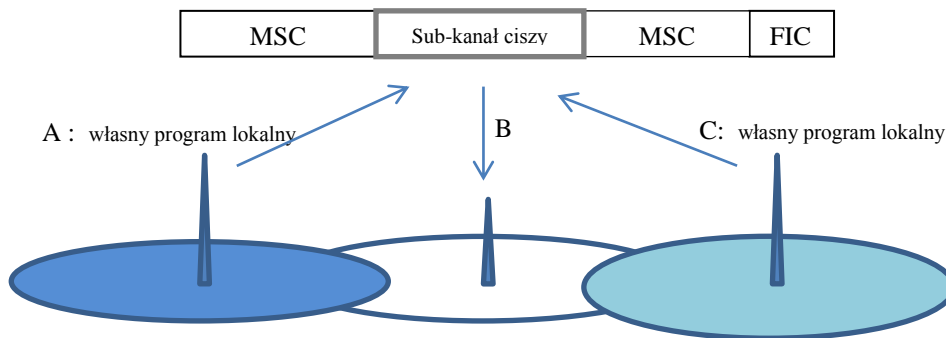
W wspólnym terenie pokrycia obu sygnałów, pierwotnego z nadajnika sieci SFN oraz stacji doświetlającej, sygnał pierwotny będzie odbierany jako pierwszy, ponieważ sygnał emitowany w stacji doświetlającej będzie opóźniony co najmniej o czas przetwarzania sygnału pierwotnego. Dodatkowo dochodzi do tego czas wynikający z różnicy dróg dojścia sygnału do punktu odbioru. Na szkicu zaznaczono punkty z zerową różnicą dróg (m_t) oraz maksymalną różnicą dróg sygnału (M_t). Jeśli sygnał pierwotny wyznacza początek symbolu OFDM, wówczas dla uniknięcia interferencji międzysymbolowych opóźnienie czasowe sygnału emitowanego nie powinno przekraczać długości odstępu ochronnego symboli OFDM, czyli:

$$\Delta_{\max(R)} \equiv \delta_t + \frac{2R_{\max}}{c} < T_g, \text{ skąd } R_{\max} < \frac{c \cdot (T_g - \delta_t)}{2}$$

Jeśli więc chcemy uniknąć interferencji międzysymbolowych sygnał stacji doświetlającej najdalej w okolicy przed punktem M_t winien zanikać w stosunku do sygnału pierwotnego.

4.2.4. Lokalne programy w sieci SFN

Jeśli jeden z programów nadawanych w sieci jednoczęstotliwościowej wytniemy nie przekazując w tym czasie sygnału wówczas stacje lokalne sieci o nie przecinających się pokryciach będą mogły w tym kanale nadawać własne niezależne treści. Sytuację taką ilustruje rys. 4-4. Nadajniki A, B i C tworzą sieć jednoczęstotliwościową nadając wspólny zsynchronizowany program zawierający subkanał ciszy, w którym nadajniki A oraz C o niezależnych pokryciach przekazują własne lokalne programy. Nadajnik B żadnego programu w tym subkanale nie nadaje.



Rys. 4-4 Koncepcja programów lokalnych w ramach pokrycia SFN

4.3. Modele sieci SFN. Sygnał w kanale podstawowym

Prognozowanie wielkości sygnału w punktach określonego obszaru na podstawie danych heurystycznych oraz statystycznego opisu okresowych zmian poziomu wynika z własności propagacyjnych sygnału wysokiej częstotliwości. Tymczasem wiarygodny odbiór sygnału zależy od wielkości amplitud podnośnych w kanale podstawowym. W celu wyjaśnienia relacji między położeniem odbiornika w sieci SFN a wypadkowym sygnałem odbieranym w kanale podstawowym skorzystamy z modeli sieci SFN w obszarze płaskim.

4.3.1. Model sieci 2 SFN. Linie charakterystyczne w obszarze pokrycia

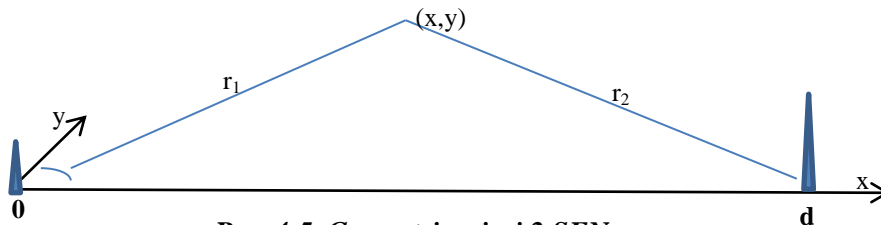
Dla modelowania pola EM między nadajnikami sieci 2 SFN wyróżniamy w obszarze pokrycia sygnałem dwie rodziny linii:

- Linie o stałej relacji amplitud sygnałów obu nadajników. Relacje amplitud decydują o głębokości minimów w obwiedni częstotliwościowej sygnału wypadkowego
- Linie o stałym czasie opóźnienia między sygnałami obu nadajników. Czas opóźnienia określa liczbę minimów w obwiedni częstotliwościowej wypadkowego sygnału, gdyż dla względnego opóźnienia $\Delta\tau$ w kanale o szerokości B liczba minimów n wynosi $n = \Delta\tau \cdot B$

Zakładamy, że natężenie promieniowanego sygnału poza polem bliskim maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości od anteny nadawczej. Przyjmujemy, że anteny mają charakterystyki dookólne i natężenie promieniowania nie zależy istotnie od kąta azymutu.

4.3.1.1. Okręgi stałych relacji amplitud sygnałów

Niech anteny o dookólnych charakterystykach w wzajemnej odległości d w sieci 2 SFN z natężeniami pól E_1 oraz E_2 , znajdują się w układzie współrzędnych jak na rys. 4-5:



Rys. 4-5 Geometria sieci 2 SFN

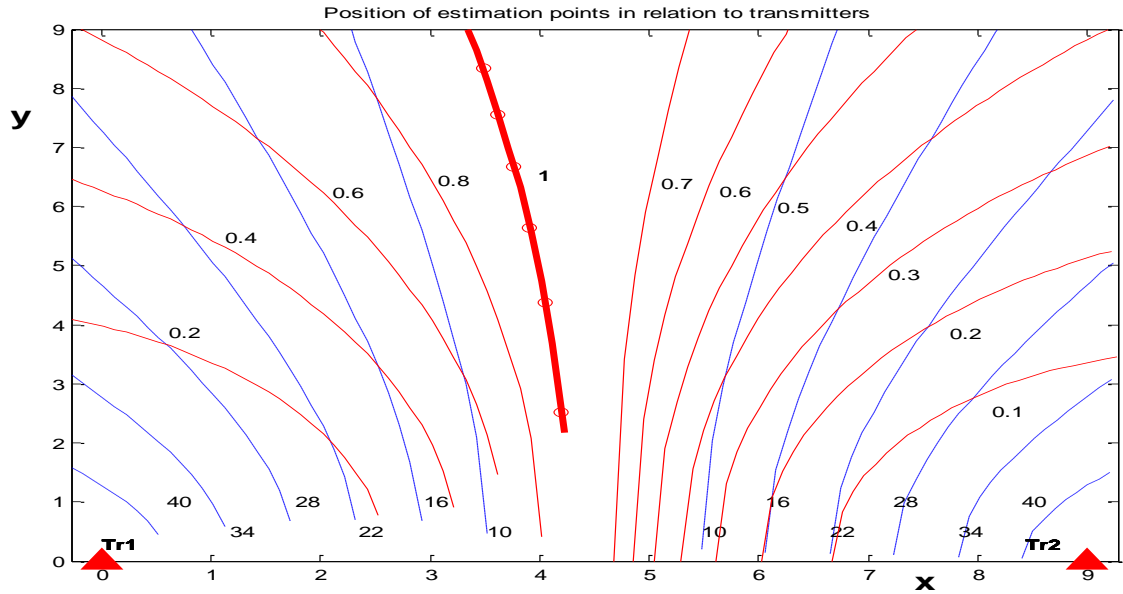
Punkty $r = (x, y)$, o stałej relacji natężeń sygnału $\alpha_{12} = s_1(r_1)/s_2(r_2)$, gdzie $s_i(r_i) = E_i/r_i^2$:

- leżą na symetralnej odcinka $\langle 0, d \rangle$, gdy $\alpha_{12} = E_1/E_2$
- w pozostałych przypadkach opisują okręgi odpowiednio o promieniu R_α oraz początku w punkcie (x_α, y_α) :

$$R_\alpha = \frac{d \cdot \sqrt{E_1 \cdot \alpha_{12} E_2}}{|E_1 - \alpha_{12} E_2|}; \quad x_\alpha = \frac{d \cdot E_1}{E_1 - \alpha_{12} E_2}; \quad y_\alpha = 0$$

Przykład rozkładu charakterystycznych linii pola w sieci 2 SFN w systemie DAB, dla trybu III, z nadajnikami o mocy 10 kW oraz 15 kW w odległości $d = 9$ km przedstawia wykres z rys. 4-6. Linie ciągłe to miejsca geometryczne stałych relacji amplitud.

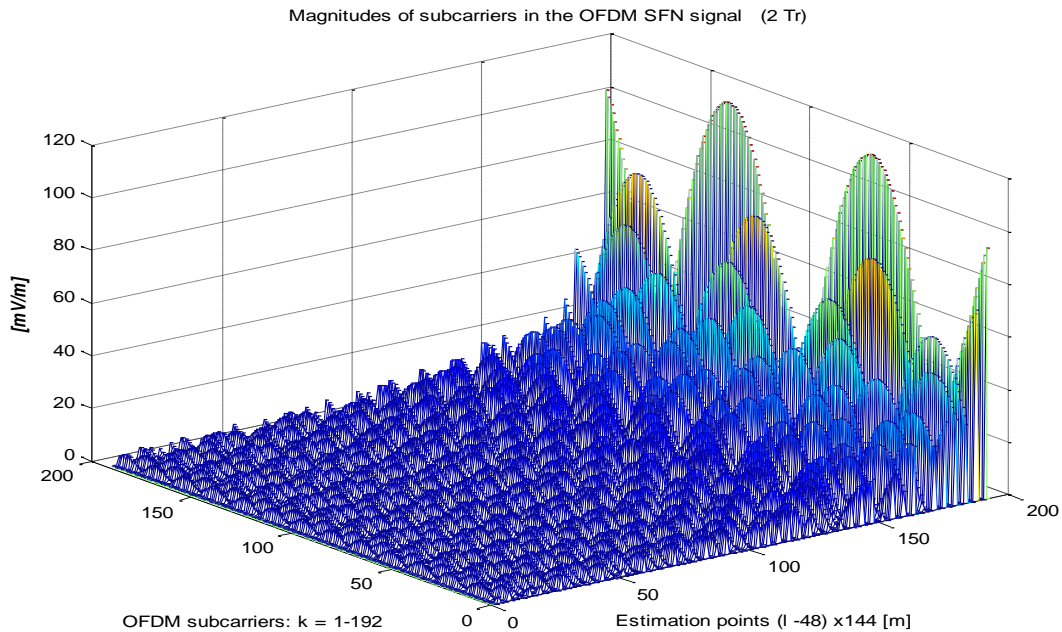
Odpowiednio fazorową reprezentację pola wypadkowego w zaznaczonych punktach linii $\alpha_{12} = 1$ w obszarze pokrycia sieci 2 SFN ukazano na rys. 4-7. Punkty o najniższych amplitudach znajduje się najdalej od osi $y = 0$, punkty o najwyższych amplitudach – najbliżej.



a) ciągle linie wskazują miejsca stałych relacji amplitud sygnałów nadajników: z lewej strony α_{21} ; z prawej α_{12} . Gruba linia wskazuje punkty z $\alpha = 1$

b) Linie przerywane wyznaczają punkty stałych czasów opóźnień. Odpowiednia liczba zwojów reprezentacji fazorowej podana w dole wykresu

Rys. 4-6 Charakterystyczne linie stałych relacji amplitud oraz stałych różnic czasów opóźnień sygnałów



Rys. 4-7 Rozkład amplitud podnośnych na linii $\alpha_{12} = 1$ między nadajnikami sieci 2 SFN. W każdym punkcie obwiednia podnośnych zeruje się co $\Delta f = 1/\Delta \tau$

Liczba minimów sygnału na osi częstotliwości narasta z wzrostem czasu opóźnienia drugiej ścieżki i wynosi $n = \Delta\tau \cdot B$.

4.3.1.2. Hiperbole stałych czasów opóźnienia w sieci 2 SFN

W układzie współrzędnych z rys. 4-5 równanie punktów o stałej różnicy dróg (= czasów opóźnienia) między dwoma antenami nadajników ma postać:

$$r_i - r_j = 2a = c \cdot \Delta\tau$$

gdzie c jest szybkością sygnału. W współrzędnych (x,y) jest to równanie hiperboli:

$$\frac{(x-(d/2))^2}{a^2} - \frac{y^2}{(d/2)^2 - a^2} = 1, \quad \Delta\tau = \frac{2a}{c}$$

Z reprezentacji fazorowej wiemy, że ścieżka sygnału OFDM opóźniona o $\Delta\tau$ w kanale o szerokości B opisywana jest linią śrubową o n skrętach, gdzie:

$$n = \Delta\tau \cdot B$$

Liczba obrotów n w przypadku sieci 2 SFN jest równa liczbie minimów wypadkowego sygnału. Zastępując czas opóźnienia liczbą minimów możemy równanie hiperboli przepisać w postaci:

$$y^2 = \left[\left(\frac{d}{2} \right)^2 - \left(\frac{n \cdot c}{2B} \right)^2 \right] \cdot \left[\left(\frac{x \cdot 2B}{n \cdot c} \right)^2 - 1 \right]$$

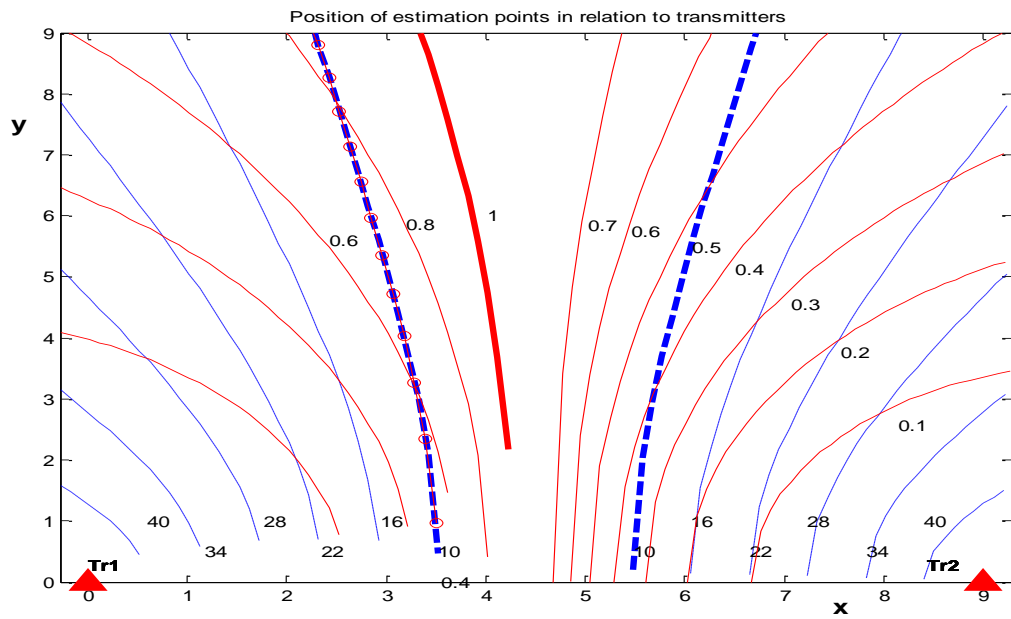
Wykresy hiperbol sparametryzowanych liczbami minimów przedstawione są na rys 4-8 liniami przerywanymi z liczbą minimów podana u spodu. Amplitudy podnośnych w zaznaczonych punktach lewej hiperboli z $n = 10$ zaznaczono na rys. 4-9. Maksymalne amplitudy występują w punkcie przecięcia hiperboli z osią x . Wzrost liczby minimów o jeden następuje z wzrostem różnicy odległości między wierzchołkami hiperbol o stałą wielkość:

$$a_{(1)} = a_{(n+1)} - a_{(n)} = \frac{c}{2B}$$

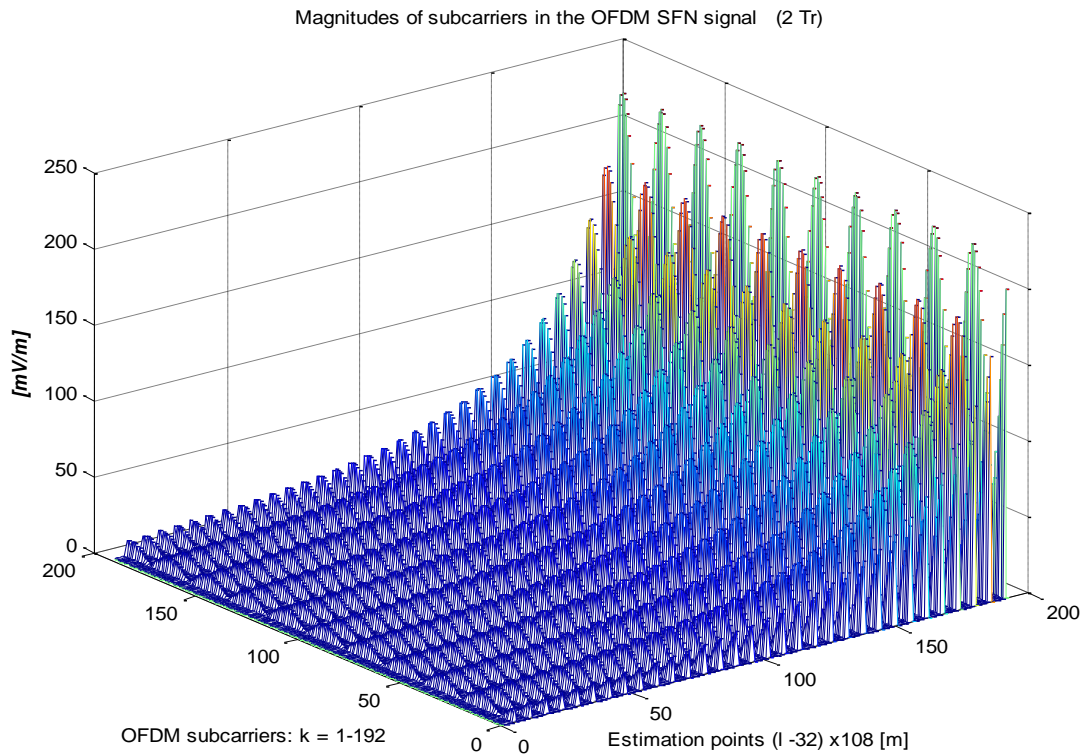
Dla $c = 0.3$ m/ns omawiany model pozwala oszacować tą wielkość w przypadku znanych systemów rozszewczonych OFDM.

System	Blok częstotliwości B [MHz]	Wzrost liczby skrętów co $c/2B$ [m]
DRM	0.01	15 000
DAB	1.5	100
DVB-T	6 8	25 19

Tabela 4-1 Różnica odległości na osi łączącej maszty antenowe sieci 2 SFN prowadząca do zmiany minimów o jeden



Rys. 4-8 Punkty estymacji amplitudy pola sieci 2 SFN na hiperboli z 10 minimami



Rys. 4-9 Amplitudy podnosnych sieci 2 SFN w punktach estymacji

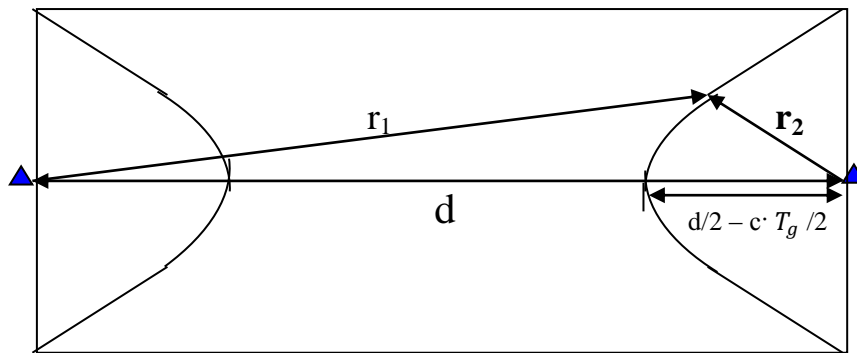
4.3.2. Interferencje wewnątrz sieciowe w rozległych sieciach SFN

W sekcji 3.2 wskazaliśmy, że gdy różnica czasów dojścia sygnałów opóźnionych przekracza przedział ochronny – pojawiają się interferencje międzysymbolowe i międzytonowe. W przypadku sieci jednoczesnościowych SFN do odbiornika dochodzą sygnały poszczególnych nadajników z różnymi czasami opóźnienia. W sieci 2 SFN z nadajnikami w odległości d interferencje pojawią się wewnątrz hiperboli opóźnień (rys. 4-10), wierzchołku której:

$$\begin{aligned} r_1 + r_2 &= d \\ r_1 - r_2 &= c \cdot T_g \end{aligned}$$

skąd:

$$r_2 = d/2 - c \cdot T_g/2$$



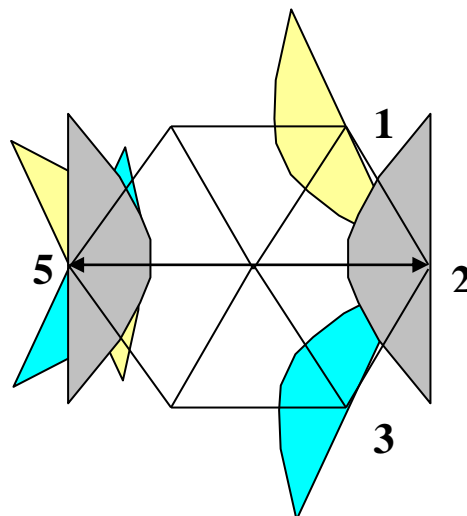
Rys. 4-10 Hiperbole stałych różnic czasów opóźnień w sieci 2 SFN

Widać stąd, że ani w sieci 2 SFN, ani równobocznej płaskiej sieci 3 SFN z antenami w odległościach $c \cdot T_g$ interferencje wewnątrz sieciowe nie zachodzą. Dopiero w większych sieciach pojawiają się obszary, gdzie sygnały z oddalonych nadajników dochodzą z różnicami opóźnień spoza przedziału ochronnego

W prezentowanych niżej wynikach symulacji faktory modulujące wybrano jako dwa zbiory fazorów dla dwóch kolejnych symboli. Fazory mają moduł równy jeden oraz pseudolosowe fazy z zakresu $0 - 2\pi$.

Rysunek 4-11 ukazuje model sieci 7 SFN z antenami w odległości $d=c \cdot T_g$. Zaciemnione miejsca wskazują obecność wewnętrznych interferencji ISI/ICI.

Zakresy interferencyjne wokół nadajnika 5 spowodowane zapóźnionymi sygnałami nadajników 1, 2, 3

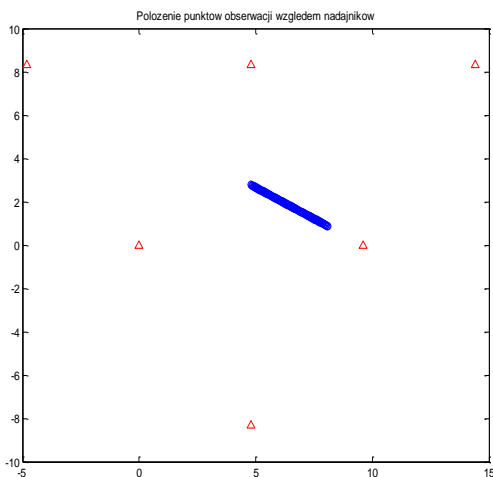


Rys. 4-11 Szkic sieci 7 SFN: obszary wewnętrznych interferencji ISI/ICI

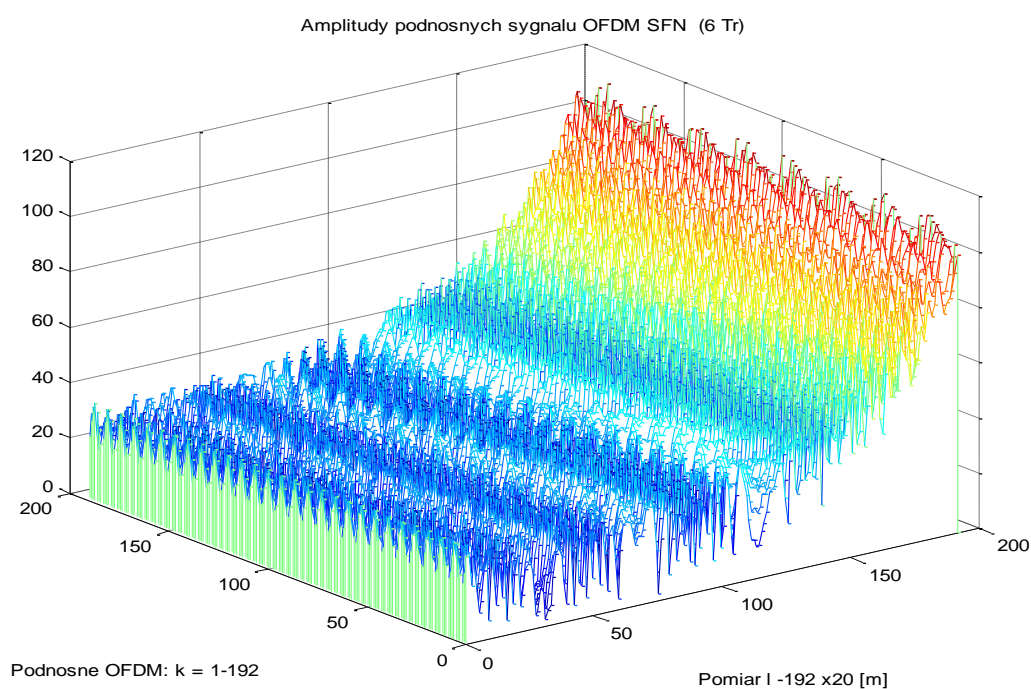
Niżej podajemy wyniki symulacji dla wskazanych punktów w sieci 6 SFN, 7 SFN oraz 19 SFN.

Przykład A. Sieć sześćoelementowa

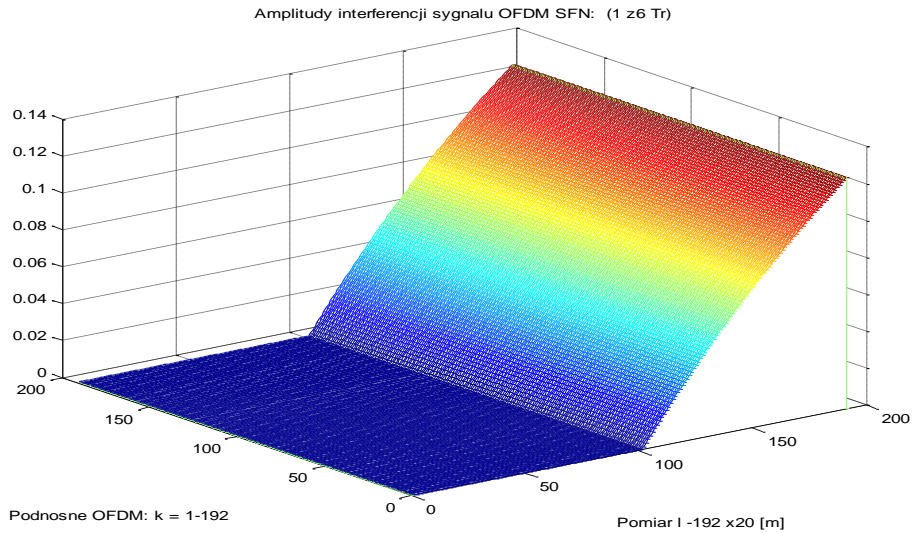
Sieć sześćoelementowa. Estymacje kanału w punktach co 20 metrów od środka ku wierzchołkowi podstawowego trójkąta.



Rys. 4-12 Miejsce geometryczne punktów estymacji w modelu sieci 6 SFN

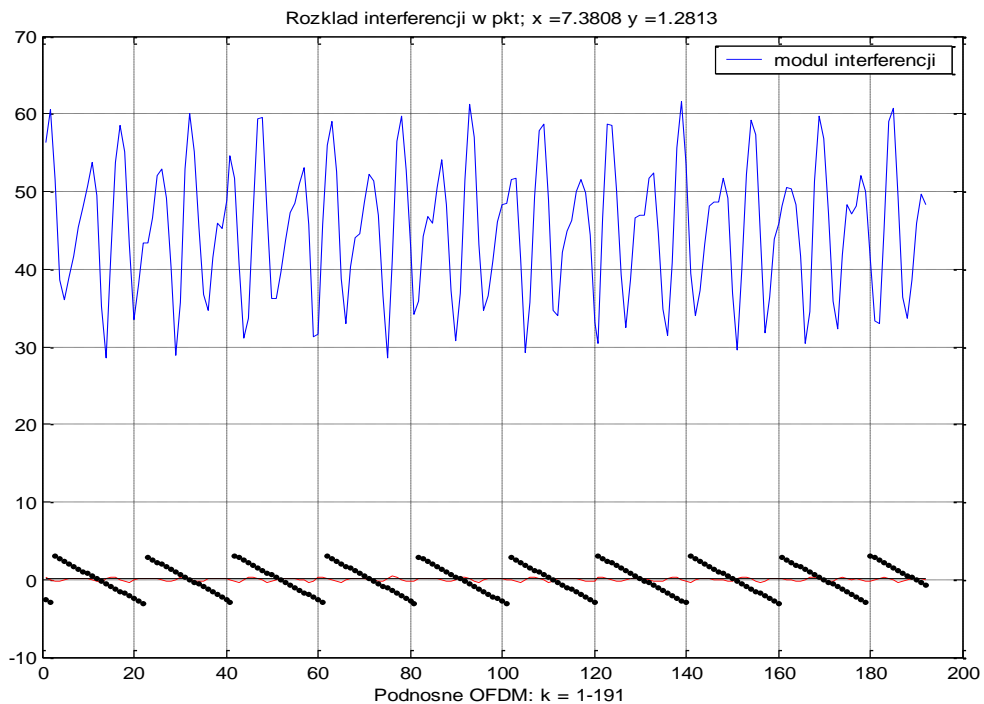


Rys. 4-13 Rozkład amplitud podnośnych sygnału użytecznego w punktach pomiarowych z rys. 4-12



Rys. 4-14 Rozkład amplitud podnośnych sygnału interferencji w punktach pomiarowych z rys. 4-12

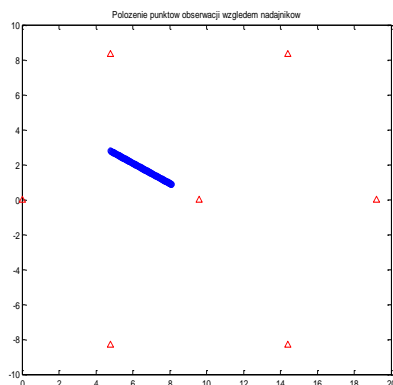
Przykładowy rozkład interferencji w punkcie 150 (x 20 m):



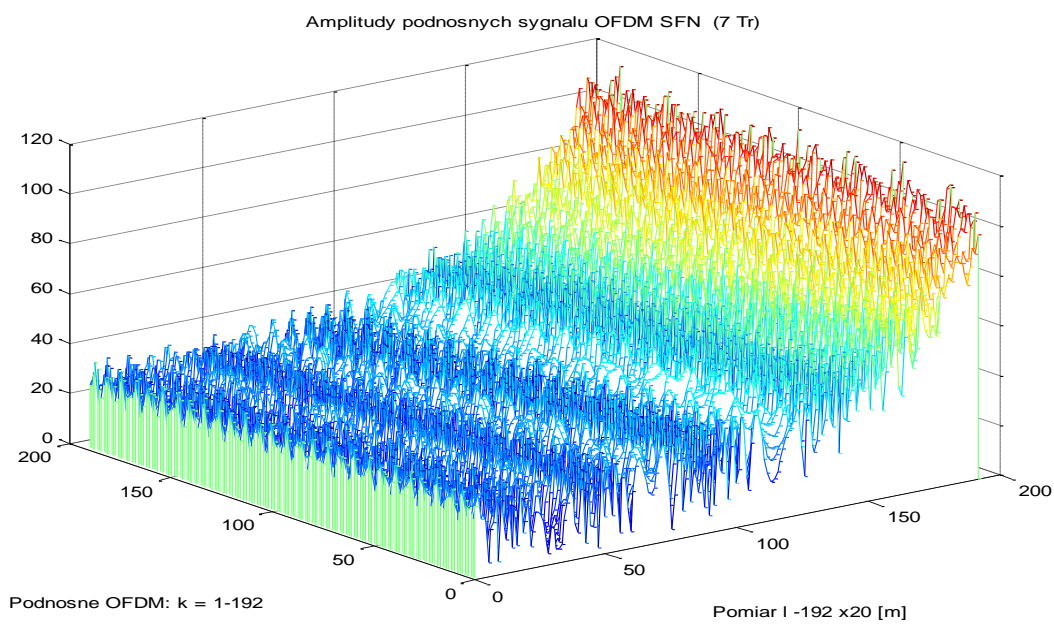
Rys. 4-15 Przekrój sygnału użytecznego (wyżej) oraz interferencyjnego

Przykład B. Sieć siedmioelementowa

Nadajniki DAB o mocy promieniowania 1 kW i częstotliwości $f_c = 200$ MHz.



Rys. 4-16 Konfiguracja sieci siedmioelementowej z zaznaczoną linią estymacji

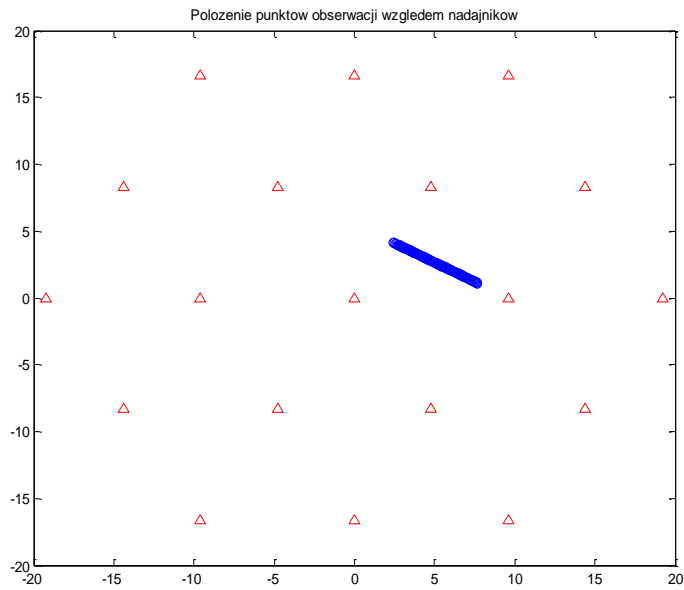


Rys. 4-17 Rozkład sygnału użytecznego sieci siedmioelementowej.

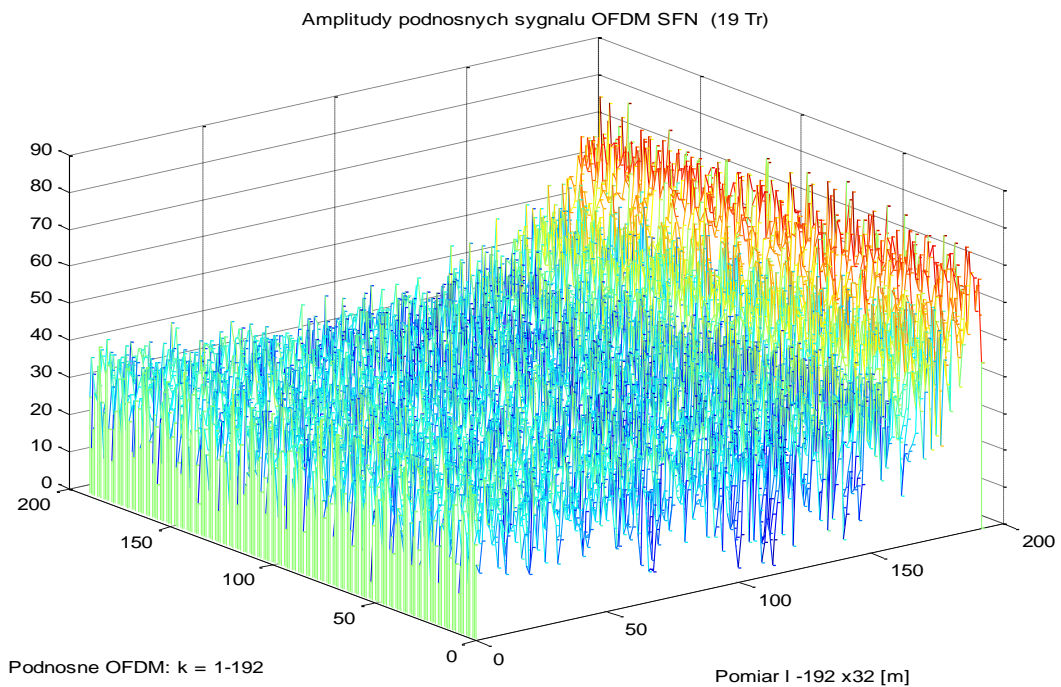
Na wskazanym odcinku brak sygnałów ISI.

Przykład C. Sieć dziewiętnastoelementowa

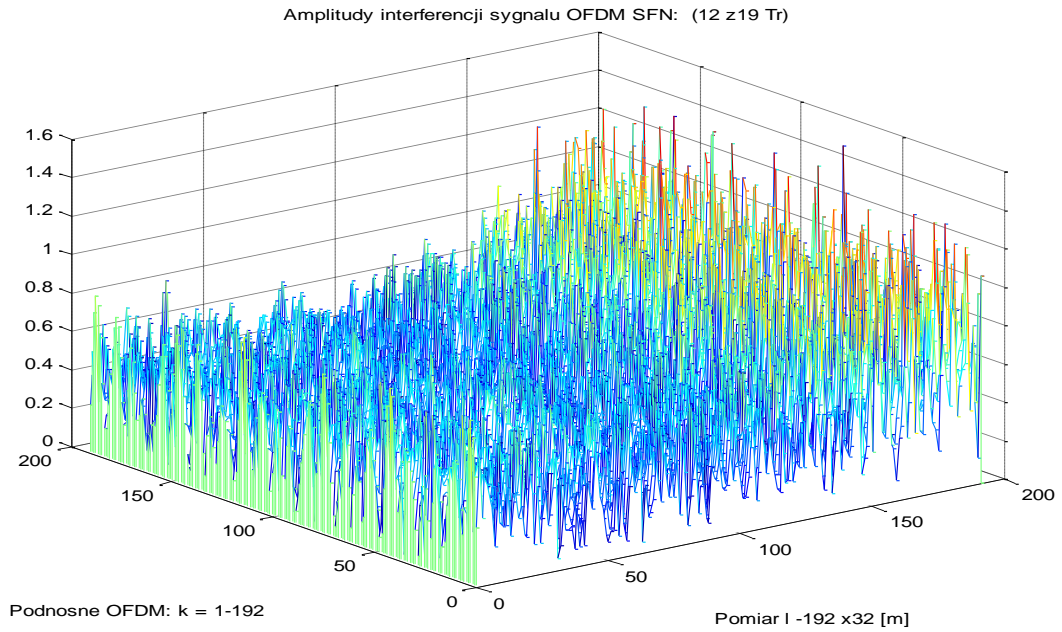
Nadajniki DAB o mocy promieniowania 1 kW i częstotliwości $f_c = 200$ MHz.



Rys. 4-18 Miejsce geometryczne punktów estymacji sygnału w sieci 19 SFN

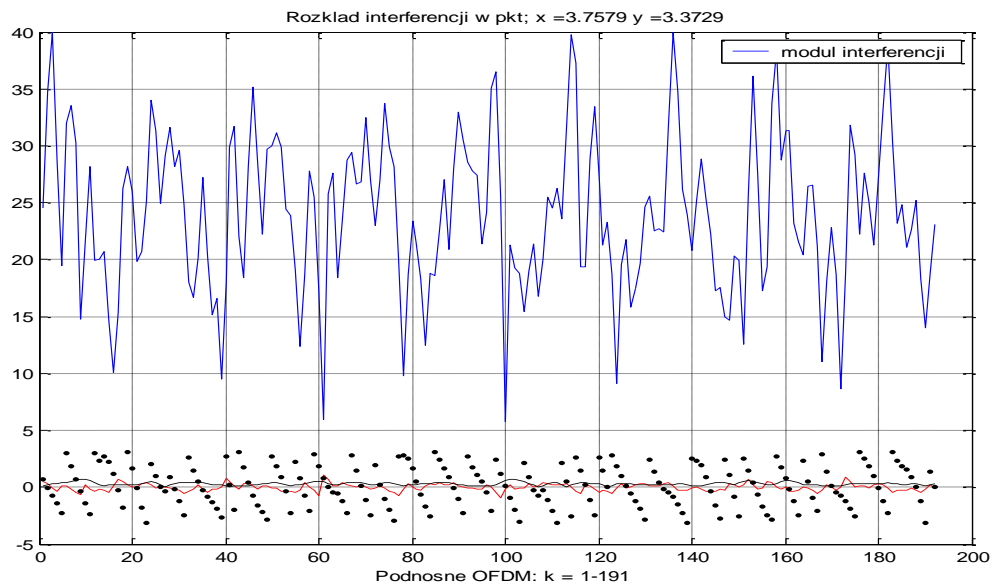


Rys. 4-19 Sygnał użyteczny sieci dziewiętnastoelementowej wzdłuż linii wskazanej z szkicu 4-18

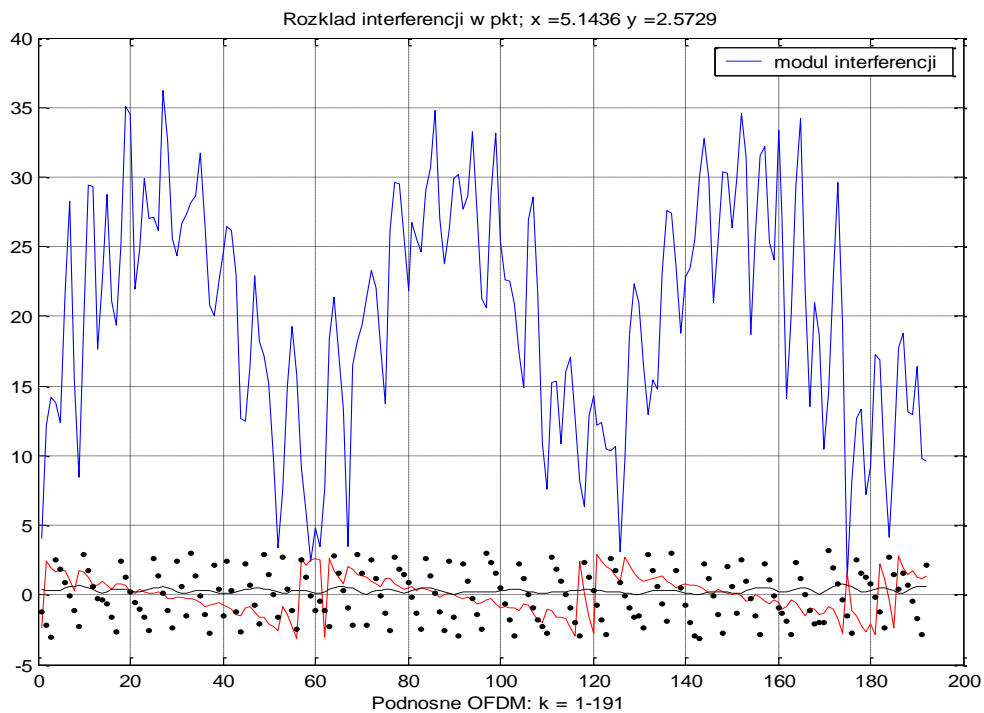


Rys. 4-20 Sygnał ISI sieci dziewiętnastoelementowej wzdłuż odcinka z szkicu 4-18

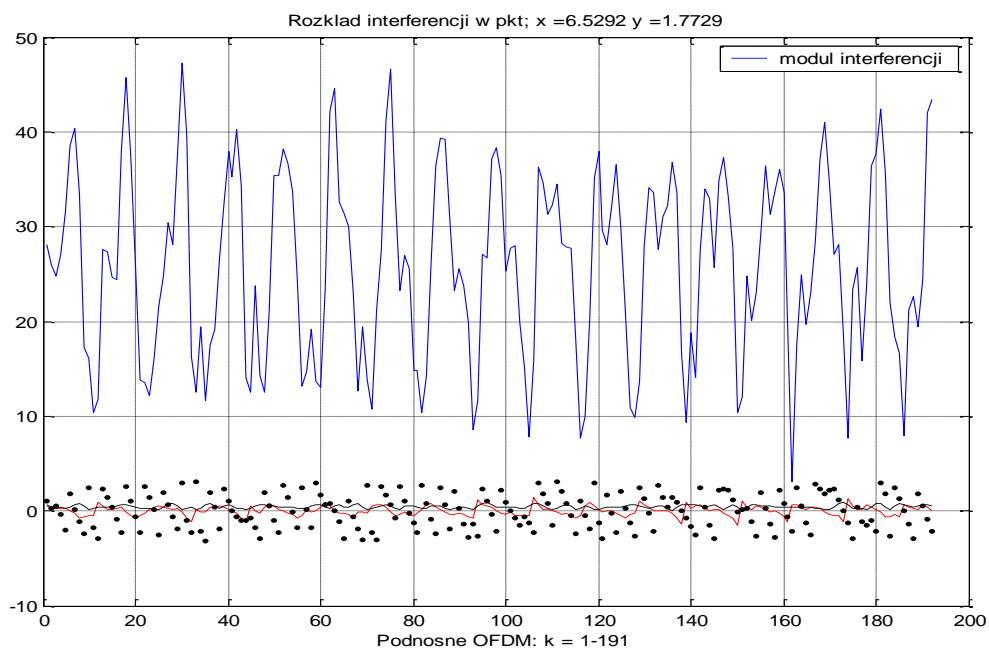
Przykładowe przekroje w punktach pomiarowych 50, 100 i 150 (x 32 m):



A. Amplitudy podnośnych sygnału użytecznego (wyżej) oraz interferencji między-symbolowej w punkcie 50 x 32 m z szkicu 4-18



**B. Amplitudy podnośnych sygnału użytecznego (wyżej)
oraz interferencji między-symbolowej w punkcie 100 x 32 m z szkicu 4-18**



**C. Amplitudy podnośnych sygnału użytecznego (wyżej)
oraz interferencji między-symbolowej w punkcie 150 x 32 m z szkicu 4-18**

**Rys. 4-21 Wybrane przykłady modułu funkcji przenoszenia kanału OFDM
w modelowej sieci dziewiętnastoelementowej**

4.3.3. Wnioski

Wprowadzenie fazorowej reprezentacji sygnału OFDM umożliwia analizę wielkości amplitud poszczególnych podnośnych w symbolach OFDM sieci SFN, a więc tego sygnału, który jest podstawą procesu demodulacji w odbiorniku. Ze względu na deterministyczny charakter stosowanego modelu jest to ‘zdjęcie’ stanu sygnału w kanale podstawowym w wybranych punktach obszaru pokrycia odpowiadające chwilowym warunkom odbioru. Obraz ten w ciągu czasu może ulegać wahaniom – linie obrazujące relacje amplitud mogą ulegać pewnym przesunięciom wraz ze zmianą parametrów propagacyjnych, lecz przebieg pola zachowa swój charakter.

A. Wpływ czasów opóźnień ścieżek sygnału na poziom podnośnych symboli OFDM w sieci SFN

Ponieważ relacje opóźnień czasowych poszczególnych ścieżek sygnału współdecydują o wypadkowym sygnale w odbiorniku, dlatego ich estymacja winna być włączona w procedury liczenia parametrów sygnału OFDM w warunkach wielodrogowości.

B. Wyznaczanie lokalizacji o odbiorze zagrożonym zanikami sygnału w obszarze pokrycia sieci SFN

- Ukazanie siatki charakteryzującej relacje amplitud oraz czasów opóźnienia ścieżek w obszarze pokrycia sygnałem OFDM znacznie upraszcza poznanie stanu amplitud podnośnych symboli OFDM. Wystarcza wyliczyć wypadkowe parametry (A , τ) wzdłuż linii łączącej pary źródeł promieniowania. Koła i hiperbole pozwalają stąd uzyskać dane dla reszty pokrycia.
Uwzględnienie rzeźby terenu spowoduje, że linie te ulegną odkształceniu, zachowując znaczenie w ramach wskazanej koncepcji.
- Analiza poziomu podnośnych sygnału OFDM w obszarze pokrycia sygnałem pozwala na wskazanie zjawisk wynikających z nakładania się różnych ścieżek:
 - Obszarów szczególnie zagrożonych niewiarygodnym odbiorem ze względu na możliwość występowania szeregu podnośnych zerowych
 - Rejonów na granicy sieci SFN o słabym oraz silnym sygnale.
- Stan fazorów reprezentujących podnośne poszczególnych symboli OFDM w zagrożonym odbiorem lokalizacjach może być podstawą wyboru parametrów kodera przepływu częstotliwości dla danego obszaru pokrycia sieci SFN.
- Analiza stanu podnośnych w sieci 2 SFN wskazuje na celowość różnicowania mocy nadajników, by uniknąć sytuacji zerowania jednocześnie wszystkich podnośnych symboli OFDM w pobliżu punktów równych odległości od nadajników.

5. MULTIPLEKSY DAB

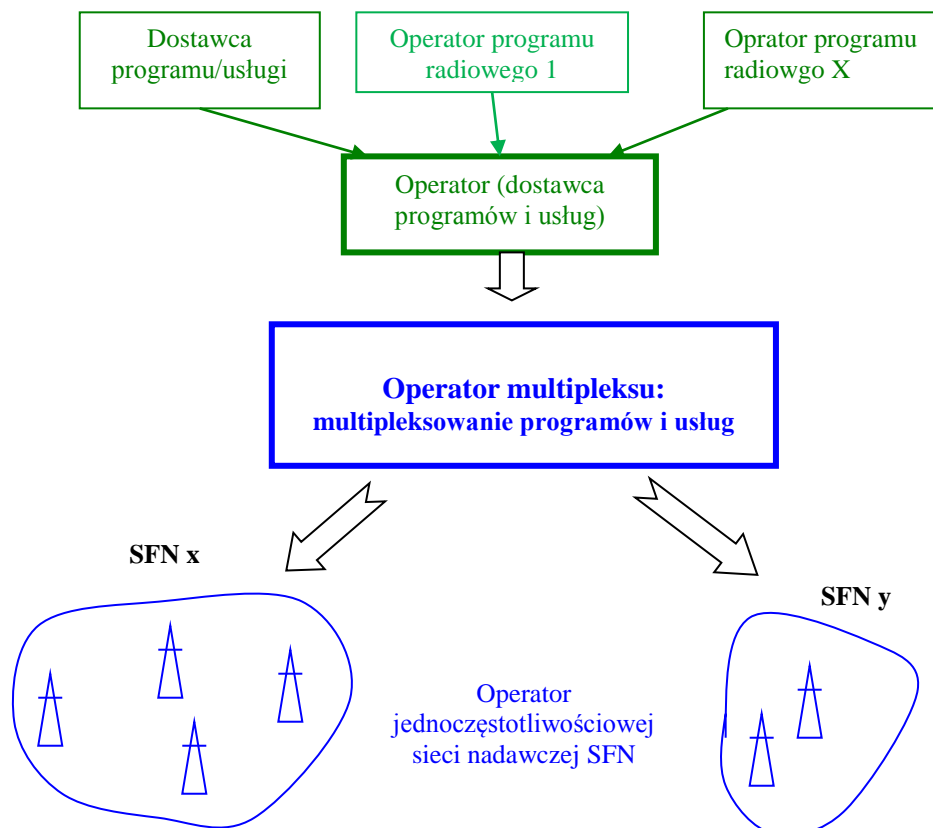
Do pojęć charakteryzujących radiofonię cyfrową systemu DAB, DAB+, czy DMB należy koncepcja multipleksu.

5.1. Koncepcja multipleksów

Koncepcja multipleksu obejmuje:

1. sieć zbiorczą programów i usług operatorów korzystających z wspólnego bloku częstotliwości,
2. wspólny blok częstotliwości modulowany sygnałem OFDM, w specyfikacjach określany mianem ansamblu (ang. ensemble). Ponieważ sygnał ten przenosi zmultipleksowane programy i usługi zorganizowane w podkanały – równoległe stosowanym określeniem jest nazwa sygnał multipleksu
3. wspólne nadajniki sygnału multipleksu lub wspólna sieć nadajników sygnału multipleksu pracujących w sieciach jednoczęstotliwościowych SFN

Szkic scentralizowanej organizacji multipleksu z jego wyróżnionymi elementami pokazuje Rys. 5-1.



Rys. 5-1 Schemat przekazu programów oraz usług od dostawcy do nadajników

Sygnal multipleksu tworzą programy i usługi wykorzystujące wspólny blok częstotliwości oraz wspólną sieć nadawczą. Elementem decydującym o organizacji multipleksu jest multiplekser. Multiplekser to urządzenie łączące sygnały programów i usług poszczególnych operatorów, o różnych przepływnościach, w sygnał głównego kanału transmisyjnego MSC (ang. Main Service Channel), patrz sekcja 2.9. Wykorzystanie pełnej przepustowości bloku wymaga równoczesnej transmisji szeregu programów jednocześnie. Zbiorczy sygnał wyjściowy multipleksa jest doprowadzany do jednoczęstotliwościowej sieci nadajników. W każdym nadajniku sygnał jest modulowany kanałowo i po zsynchronizowaniu z całą siecią, wspólnie emitowany.

Poszczególne podsieci multipleksu mogą być organizowane w sposób elastyczny.

Ad. 1. Wykorzystanie przepustowości bloku częstotliwości systemu DAB (1.536 MHz) wymaga równoległej transmisji szeregu programów równocześnie, do czego konieczna jest organizacja podsieci zbiorczej pozwalającej na łączenie tych programów w jeden strumień. Dostarczanie poszczególnych programów czy usług może odbywać się łączami telekomunikacyjnymi, radioliniami, czy łączami satelitarnymi. Opis transmisji usług opisany jest w paragrafie VIII. Operator ansamblu gromadzi dane poszczególnych operatorów wraz z parametrami dotyczącymi transmisji poszczególnych programów i usług, bliżej omawianych w paragrafie VI.

Transmisja programów i usług może odbywać się bezpośrednio do serwera operatora ansamblu, bądź poprzez pośrednie multipleksery usług.

Ad. 2. Organizacja multipleksu DAB, obok scentralizowanej konfiguracji przedstawionej na rys. 5-1, może zostać skonfigurowana w postaci rozproszonej, z pośrednimi multipleksami łączącymi część usług, czy programów [lit.34].

Ad. 3. W celu doprowadzenia sygnału multipleksu do nadajnika, czy każdego z nadajników sieci jednoczęstotliwościowych SFN można wykorzystać łącza sieci telekomunikacyjnych, radiolinie, bądź łącza satelitarne. Organizacja transportu ansamblu opisana jest w paragrafie IX. Sygnał multipleksu przechodzi przez koder konwolucyjny oraz modulator kanałowy OFDM dopiero w nadajnikach, aby uniknąć transmisji o zwiększanej przepływności przez nadmiarowy kod kodera konwolucyjnego.

Planowanie multipleksów związane jest więc :

- z uzgodnionymi międzynarodowo na ten cel blokami częstotliwości DAB
- z dopuszczonymi w wyniku transgranicznych uzgodnień obszarami pokrycia sieci SFN

Liczba radiostacji (redakcji) w multipleksie zależy od :

- wielkości bloku częstotliwości multipleksu
- stopnia kompresji fonii
- podziału przepustowości bloku częstotliwości DAB na przekazy radiowe oraz usługi dodane
- poziomu kodowania korekcyjnego

Jej wielkość określona jest przez relację części radiowej przepustowości bloku do przepustowości sygnału wyjściowego kodera fonii.

5.2 Planowanie multipleksów

W odróżnieniu od kanałów radiofonii analogowej w systemie DAB mamy bloki częstotliwości. Projektując wprowadzenie systemu radiofonii cyfrowej w Europie przyjęto wstępnie siatkę złożoną z 4 bloków zajmujących 4 ćwiartki częstotliwości jednego kanału telewizyjnego. Przypisując każdemu multipleksowi pewien obszar pokrycia zaproponowano hipotetyczną siatkę multipleksów sukcesywnie pokrywającą dowolny obszar stosując naprzemiennie pokrycia multipleksów ułożone w szachownicę nie zachodzących na siebie obszarów, zgodnie z rys. 5-2.

A	C	A	C	A
B	D	B	D	B
A	C	A	C	A
B	D	B	D	B
A	C	A	C	A

Rys. 5-2 *Wstępna propozycja przyporządkowania multipleksów A, B, C, D regionom geograficznym*

Przydział dalszych kanałów telewizyjnych radiofonii cyfrowej stwarza możliwość projektowania kolejnych sieci multipleksów DAB-owskich. Oparty na takim założeniu wstępny przydział bloków częstotliwości dla poszczególnych krajów jest następnie dostosowywany do realnych warunków:

- ograniczeń wynikających z ustaleń międzynarodowych
- ograniczeń wynikających z dwustronnych ustaleń trans granicznych między sąsiadującymi krajami
- topologii masztów anten nadawczych
- ograniczeń wynikających z topografii terenu

Ustalenia Konferencji w Wiesbaden (1995 r.) oraz w Berlinie (1996 r.) przyznały dla systemu DAB w zakresie pasma VHF:174 - 230 MHz oraz 230 - 240 MHz. Dla transmisji satelitarnych zaplanowano zakres 1452 - 1492 MHz w paśmie L.

Uwzględniając realia można było planować warianty rozkładu pokryć multipleksów. Wcześniej jednak okazało się, że multipleksy w przewidzianym dla systemu naziemnego DAB zakresie III VHF nie wystarczają dla stworzenia miejsc działającym operatorom radia analogowego, dlatego dodatkowo przyznano dolny zakres częstotliwości w paśmie L:

1452 - 1474 MHz

przeznaczonych pierwotnie dla transmisji satelitarnych DAB.

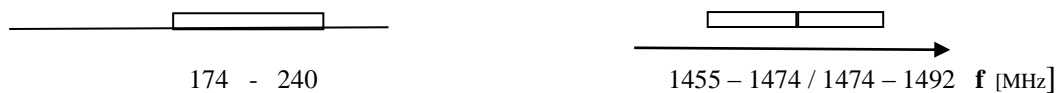
Tak więc zakres częstotliwości nadajników dla transmisji naziemnych mieści się w technicznie uzasadnionych granicach

174 - 240 MHz (zakresy III VHF)

oraz/ lub

1452 - 1492 MHz (pasmo L)

z możliwością strojenia **co 16 kHz**.



Rys. 5-3 *Zakresy częstotliwości planowane dla systemu DAB w Europie*

W odróżnieniu od systemów analogowych, gdzie podstawowym pojęciem jest kanał częstotliwości odpowiadający jednemu programowi - w systemie cyfrowym DAB podstawowymi jednostkami są bloki częstotliwości o wielkości 1,536 MHz. Przepustowość bitowa brutto każdego bloku wynosi 2309 kbit/s.



Rys. 5-4 *Przykład międzynarodowego planu przydziału bloków z pasma L (za DMB 'Eureka', luty 2013, wg. raportu roboczego ECC 188)*

W jednym bloku częstotliwości nadajnik DAB może transmitować do 6 programów w systemie DAB lub 10 programów w systemie DAB+ jednocześnie oraz pewne informacje dodane. Właśnie z tego powodu, by odróżnić działanie radiofonii DAB od klasycznej radiofonii, gdzie każdy program zajmuje oddzielny kanał częstotliwości, wprowadzono pojęcie bloku częstotliwości. Ilość programów przenoszonych w bloku może być mniejsza. Pozostaje wówczas większa pojemność na przekaz usług dodanych. Usługi zawierają transmisję tekstu, szkiców, zdjęć, obrazów, wykresów, itp. Pewne rodzaje usług mogą być w odbiorniku prezentowane w postaci skorelowanej, np. czasowo, gdy nagrany komentarz ma być odtwarzany jednocześnie z omawianym obrazem, lub przestrzennie, gdy tekst ma być wyświetlany razem ze szkicem sytuacyjnym. Takie skorelowane składowe tworzą łącznie **obiekty multimedialne**, a poszczególne składowe nazywamy **monomediami**. Obiekty takie wyma-

gają transmisji z dodatkowymi parametrami pozwalającymi na ich kojarzenie w trakcie prezentacji. W systemie DAB odpowiednie procedury zostały opracowane, stąd DAB to **radiofonia multimedialna**.

Zasadniczym nośnikiem programów i informacji jest kanał MSC. Informacje w kanale FIC, wprowadzane do nadajnika równocześnie z programami głównego kanału - w odbiorniku dekodowane są o 384 milisekundy wcześniej. Wynika to z pominięcia w kanale FIC układu przeplotu czasowego ramek, który opóźnia proces transmisji. Przyjęcie stałej sprawności kodera konwolucyjnego 1/3 w tym kanale również przyspiesza jego dekodowanie. Szybsza transmisja w kanale FIC konieczna jest do przekazania parametrów multipleksera do odbiornika w celu przygotowania demultipleksera do rozplotu ramek poszczególnych programów oraz informacji cyfrowych.

Nadajnik DAB może pracować w jednym z **czterech trybów** związanych z parametrami symboli generowanych przez koder kanałowy OFDM. Trzy pierwsze zakładane były od początku, tryb 4-ty wprowadzony został ze względu na warunki radiofonii kanadyjskiej. Sygnał studyjny jest tam próbkowany z częstotliwością **24 kHz**, dwukrotnie niższą niż w Europie. Podstawowe parametry ramek wyjściowych poszczególnych trybów przedstawiamy w **Tab. 1**:

parametr	tryb I	tryb II	tryb III	tryb IV
częstotliwość próbkowania	48 kHz	48 kHz	48 kHz	24 kHz
RAMKA T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
liczba symboli w ramce OFDM	76	76	152	76
symbol zerowy T_0	1.297 ms	0.324 ms	0.168 ms	0.6484 ms
symbol t_s	1 ms	0.250 ms	0.125 ms	0.5 ms
odstęp ochronny D	0.246 ms	0.62 ms	0.31 ms	0.123 ms
pełny symbol T_s	1.246 ms	0.312 ms	0.156 ms	0.623 ms
liczba podnośnych	1536	384	192	768
odstęp między podnośnymi	1 kHz	4 kHz	8 kHz	2 kHz

Tab. 1 Tryby pracy nadajnika DAB

Tryby pracy są związane z warunkami pracy nadajnika. I tak tryb I zalecany jest dla emisji naziemnej w pasmach I, II i III ; tryb II dla emisji naziemnej w pasmach I - V oraz 1.5 GHz (pasmo L); tryb III przewidywany jest również dla emisji satelitarnej. Tryb IV wprowadzono w celu zwiększenia efektywności i obszaru pokrycia nadajników naziemnych pracujących w paśmie L. Tryb I zapewnia największą odporność na zakłócenia ze względu na najdłuższe odstępy między symbolami w ramce OFDM. Z tego samego względu pozwala na większe odległości między nadajnikami jednoczesnościowej sieci nadawczej (patrz par. IX).

Pojedynczy nadajnik, którego działanie opisano w pkt. II, może pracować dla transmisji lokalnych programów. W przypadku, gdy program ma obejmować większy obszar – pokrycie sygnałem wymaga zastosowania sieci nadajników. Najbardziej ekonomiczne rozwiązanie, z punktu widzenia optymalnego wykorzystania częstotliwości, to sieć jednoczesnościowa SFN. Sieć taka wymaga transmisji sformatowanego sygnału multipleksu DAB (ang. DAB ensemble) do każdego z nadajników. Ponieważ koszty transmisji wzrastają wraz z przepustowością łącza – celowe jest przesyłanie sygnału bez kodu nadmiarowego generowanego przez koder konwolucyjny, tym bardziej, że protokół sieci transmisyjnej gwarantuje własne zabezpieczenia. Koder konwolucyjny przeniesiony więc został do terminali sieci rozprowadzającej – do nadajników DAB. W każdym z nadajników SFN multipleks DAB

jest kodowany zgodnie z zadanymi parametrami, a następnie modulowany, wzmacniany, filtrowany i emitowany przez antenę nadajnika.

6 KANAŁY LOGICZNE. WARSTWOWY OPIS TRANSPORTU W SYSTEMIE DAB

6.1 Wprowadzenie

System radiofonii cyfrowej DAB przeznaczony jest do transmisji multimedialnych treści programowych. Jego specyfikacja określa zarówno organizację kanałów transmisyjnych, którymi programy są przekazywane, jak i identyfikację treści programów.

W systemie DAB jeden nadajnik może emitować jednocześnie szereg programów radiowych z towarzyszącymi komentarzami multimedialnymi bądź programy niezależnych usług multimedialnych. Wymaga to nowego podejścia do ich organizacji. W pierwszym rzędzie identyfikacji poszczególnych elementów takich bloków programów. Strukturę hierarchiczną konstruowania multipleksu programów radia DAB stanowią:

- informacja o organizacji kanałów multipleksu
- organizacja elementów programów i usług w ramach multipleksu

Sygnał multipleksu DAB składa się z różnych programów oraz usług. Każdy program może być zbudowany z różnych składowych audio bądź usług multimedialnych. Poszczególne elementy programowe multipleksu wymagają jednoznacznej identyfikacji. Niezbędne jest wskazanie w jakim kanale, w jakim trybie oraz jakie elementy i typy programu będą transmitowane. Konieczna jest więc informacja o strukturze, podziałach oraz powiązaniach podkanałów w kanałach transmisyjnych systemu DAB.

W odbiorniku różne programy czy usługi w ramach jednego ansamblu nie są rozróżniane poprzez różne częstotliwości, lecz intyfikatory oraz etykiety, które pozwolą na proste wybranie żądanych treści przez użytkownika. Wcześniej konieczna jest weryfikacja jakie dekodery znajdują się w oprogramowaniu odbiornika, a więc jakie elementy programu będą mogły być w nim odtwarzane.

6.1.1 Proces sterowania w systemie DAB

Proces sterowania w systemie DAB organizowany jest poprzez kanał szybkich informacji FIC zbudowany z grup szybkich informacji FIG (ang. Fast Information Group).

Sterowanie procesem przepływu informacji w systemie DAB dotyczy z jednej strony organizacji struktury kanałów MSC oraz FIDC (podział na subkanały), a z drugiej – organizacji treści programowych (multimedów) przekazywanych tymi kanałami. Oba te procesy są ściśle ze sobą związane. Podział kanałów na subkanały jest dostosowywany do liczby aktualnie nadawanych programów oraz ich treści, czyli udziału różnych monomedów w multimedialnych programach. System sterowania nie tylko musi informować układy demultipleksa odbiornika o zmianie liczby i konfiguracji subkanałów, ale także kontrolować transport różnych monomedialnych treści składających się na programy.

W zależności od pełnionej roli funkcjonalnej wyróżniamy 8 typów ramek FIG, z czego 3 przeznaczone są jako rezerwa, a aktualnie wykorzystywane pozostałe 5 typów ramek to typ 0, typ 1, typ 5, typ 6 oraz typ 7. W każdym z typów mogą być przekazywane parametry w zależności od kategorii określanej kodem rozszerzenia typu (Ext).

6.2 Kanaly transmisyjne w systemie DAB/DAB+

6.2.1 Tryby pracy systemu DAB

Przewidziane dla systemu DAB zakresy częstotliwości mieszczą się w pasmach od 240 do 750 MHz oraz 1450 do 1500 MHz. Podczas odbioru ruchomego przesunięcia Dopplera $f^D = (v/c)f_c$ będą więc zależeć nie tylko od prędkości auta na kierunku nadajnik - odbiornik, ale również od częstotliwości nośnej f_c . Ścieżki sygnału z różnych kierunków będą miały różne przesunięcia, co uniemożliwia ich jednoczesne ograniczanie. W celu niwelowania wpływu przesunięcia Dopplera na odbiór przyjmuje się więc, że przesunięcia odpowiadające maksymalnej dopuszczalnej prędkości auta nie powinny przekraczać 5% odstępu międzytonowego modulatora OFDM. Wynika stąd, że odstępy międzytonowe winny wzrastać w kanałach o wyższych częstotliwościach nośnych.

W modulatorze OFDM wielkości odstępów międzytonowych Δf są równe odwrotności długości pola użytecznego (ortogonalnego) T_U symboli OFDM, w celu utrzymania ortogonalności podnośnych w dekodерze FFT odbiornika. Mamy więc:

$$\Delta f = 1/T_U,$$

a stąd $T_U = 1/\Delta f \leq 1/(20 \cdot f^D) = (1/f_c) \cdot c / (20v_{\max})$

Tak więc dla wyższych częstotliwości nośnych f_c długość symboli OFDM T_U winna być krótsza.

W systemie DAB przyjęto cztery różne długości symboli OFDM. Każdy typ symboli OFDM grupowany jest w indywidualny typ *ramek fizycznych*. Cztery typy symboli tworzą w konsekwencji cztery tryby pracy systemu DAB. Wybór trybu związany jest z pasmem częstotliwości, w którym system pracuje.

Bit y niosące informacje grupowane są w fragmenty nazywane *ramkami logicznymi*. W systemie DAB warunek rzutowania 1 : 1 ramek fizycznych i logicznych uwarunkował skonstruowanie czterech typów ramek logicznych. Zbudowane są one z podstawowych ramek wspólnego przeplotu CIF o pojemności niezależnej od trybu transmisji, co pozwala uniezależnić organizację transmisji danych od fizycznej realizacji kanału.

W każdej ramce logicznej konieczna jest informacja o podziale jej zasobu na podkanały dla poszczególnych operatorów, oraz dane i parametry związane z transmisją. Informacje takie zawarte są w polach na początku każdej ramki.

6.2.2 Organizacja ramek logicznych w różnych trybach pracy DAB

W systemie DAB mamy cztery typy ramek logicznych związanych z różnymi zakresami częstotliwości kanału rozsiewczego. Typ ramki wyznacza tryb pracy systemu zgodnie z rys. 6-1.

Niezależnie od trybu pracy każda ramka rozpoczyna się polem synchronizacji. W polu tym – poza bitami synchronizacji – wariantowo mieszczą się kody indywidualnych nadajników TII (ang. Transmitter Identification Information) sieci jednoczęstotliwościowej w obszarze których program może być lokalnie odbierany.

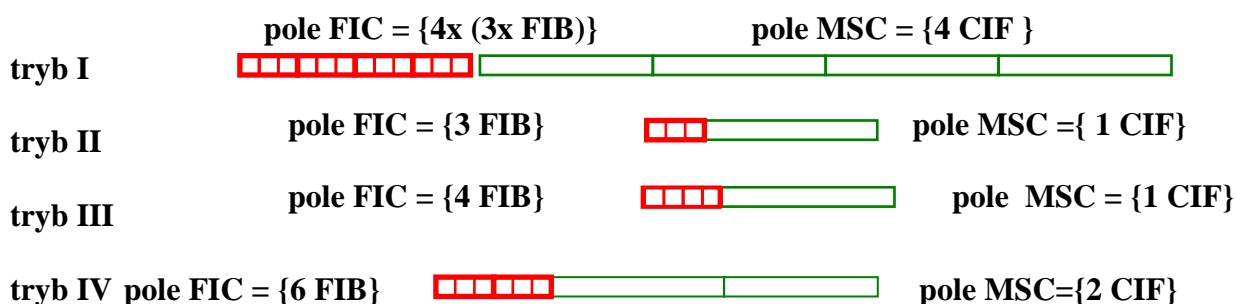
Za polem synchronizacji mamy ramki kanału szybkich informacji FIC (ang. *Fast Information Channel*). Ramki te zbudowane są z bloków FIB (ang. *Fast Information Block*) – po jednym bloku na każdą ramkę CIF. Każdy blok FIB zawiera kilka grup FIG. Grupy szybkich informacji w nadajniku przetwarzane są z pominięciem przeplotu czasowego, co przyspiesza ich transmisję w stosunku do pozostałych informacji. Zabezpieczenie wysokiej odporności na zakłócenia zapewnia się poprzez stały dla wszystkich grup współczynnik kodowania 1/3.

Za polem FIC następują pola wspólnego przeplotu CIF (ang. *Common Interleaved Frame*) - podstawowe cegiełki, z których każda ramka logiczna jest budowana. Nazwa bie-

rze się stąd, że pierwotna ramka fonii, czy usług, która w wyniku przeplotu czasowego ulega rozpraszaniu, po przeplotcie nie wykracza poza zakres pola CIF. Dzięki temu w odbiorniku przetwarzanie sygnału prowadzące do odbudowy pierwotnej ramki audio czy danych ogranicza się do jednego pola CIF.

W trybie I występują cztery pola CIF, w trybie IV dwa pola, w pozostałych trybach jedno pole CIF.

Zestawienie pól w ramki logiczne rzutowane następnie na ramki fizyczne zależy od parametrów symboli OFDM, a więc częstotliwości nośnej, oraz częstotliwości zegara sterującego pracą systemu.



Rys. 6-1 Ramki logiczne systemu DAB trybów I – IV

Każda ramka wspólnego przeplotu CIF składa się z 864 jednostek pojemności CU (ang. *Capacity Unit*) w celu adresowania różnych kanałów i określania ich przepustowości. Każda jednostka CU zawiera 64 bity, ramka CIF liczy 55 296 bitów.

Pojemności bitowe poszczególnych części ramek DAB prezentuje tabela 6-1.

	Ramka DAB (bity)	pole MSC $n \times \text{CIF}$ (bity)	pole FIC $n \times \text{FIB}$ (bity)	Nagłówek synchro. (bity)
Tryb I	225 024	$4 \cdot 55\,296 = 221\,184$	$4 \cdot 3 \cdot 256 = 3072$	768
tryb II	56 832	$1 \cdot 55\,296$	$3 \cdot 256 = 768$	768
tryb III	57 088	$1 \cdot 55\,296$	$4 \cdot 256 = 1024$	768
tryb IV	112 896	$2 \cdot 55\,296 = 110\,592$	$6 \cdot 256 = 1536$	768

Tabela 6-1 Pojemności bitowe brutto ramek DAB

6.2.3 Kanały transportowe

Programy w systemie DAB przekazywane są kanałami transportowymi. W odróżnieniu od systemów analogowych, gdzie różne kanały transmisyjne są związane z różnymi częstotliwościami nośnymi, kanał transportowy w systemie DAB tworzy podzbiór pól CU o wspólnym adresie w kolejnych ramkach DAB. Pozwala to na ich włączanie i wyłączanie z wspólnej z innymi kanałami transmisji poprzez identyfikację adresów.

W systemie DAB rozróżniamy podstawowe kanały:

- *kanał synchronizacji* (ang. Synchronization channel)
- *kanał szybkich informacji FIC* (Fast Information Channel)
- *kanał usług w kanale szybkich informacji FIDC* (ang. Fast Information Data Channel)

- **główny kanał programów MSC** (Main Service Channel)
 - Każdy z kanałów dzieli się na podstawowe części składowe: ramki o stałej budowie specyficznej dla każdego kanału.
 - Kanał MSC składa się z **ramek wspólnego przeplotu CIF** (ang. Common Interleaved Frame) o stałej przepływności każda. Jest to podział niezależny od trybu pracy systemu.
 - Kanał FIC składa się z ramek **FIC**.
 - Kanał synchronizacji dzielimy na ramki synchronizacji.
 - Ramki poszczególnych kanałów łączone są w ramki systemu DAB.
- Przepustowości poszczególnych kanałów systemu DAB zawiera tabela 6-2.

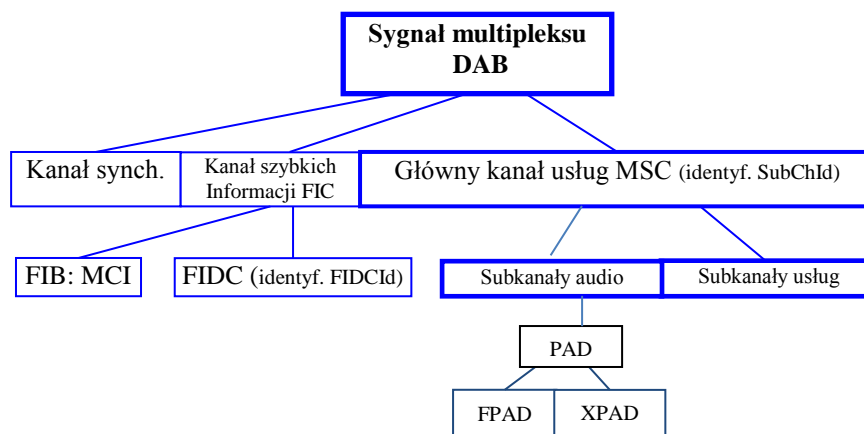
Tryb (częstotliwość próbki [kHz])	kanal MSC brutto (kbit/s)	kanal FIC brutto/netto (kbit/s)	kanal synchronizacji (kbit/s)	kanal DAB brutto (kbit/s)
tryb I (48)	2304	96/32	32	2432
tryb II (48)	2304	96/32	32	2432
tryb III (48)	2304	128/42,6	32	2464
tryb IV (24)	2304	96/32	32	2432

Tabela 6-2 Przepustowości brutto kanałów DAB

6.2.3.1 Subkanały transmisyjne

W ramach statycznego podziału na kanały, co związane z podstawową organizacją ramek systemu DAB, tworzone są dynamicznie **subkanały** dla transmisji danych. Strukturę organizacji kanałów DAB przedstawia rys. 6-2.

W głównym kanale usług MSC dane są zorganizowane w subkanałach. Jednocześnie mogą występować maksymalnie 64 subkanały rozróżniane przez swoje adresy. Pojemności ramek subkanału odpowiadają krotności trzech jednostek CU.



Rys. 6-2 Hierarchia kanałów w systemie DAB

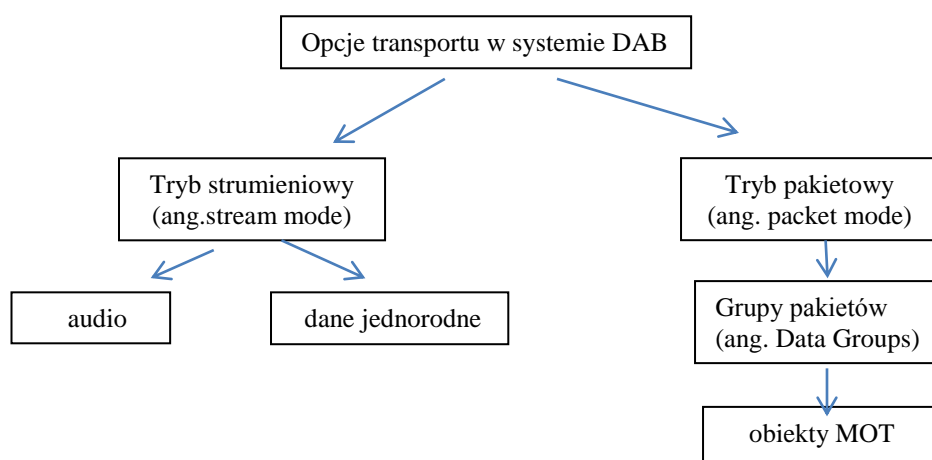
W kanale szybkich informacji w blokach FIB zawarta jest informacja o konfiguracji multipleksu MCI (Multiplex Configuration Information) oraz ściśle określone usługi w kanale szybkich informacji FIDC (Fast Information Data Channel) wskazane przez typ składowej [TCId = 5] i dookreślone przez rozszerzenie.

W głównym kanale parametry kanału to adres startu oraz rozmiar ramek kanału w jednostkach CU (Common Units).

6.3 Organizacja transportu w systemie DAB

Transport informacji w systemie DAB, w zależności od struktury informacji, może być prowadzony w jednym z dwóch trybów: strumieniowym lub pakietowym. Tryb strumieniowy dla usług jednorodnych związany jest z głównym kanałem transmisyjnym MSC (ang. Main Service Channel). Tryb pakietowy może korzystać bądź z kanału szybkich informacji FIC, jest to tzw. szybki kanał usług FIDC (ang. Fast Information Data Channel), lub głównego kanału transmisyjnego MSC. Ponieważ pojemność brutto podstawowych nośników informacji, pakietów - to tylko 3 CU, 6 CU, 9 CU, czy 12 CU - z nagłówkiem zawierającym jedynie parametry związane z transmisją (poziom sieci), na poziomie transportu wymagającym informacji o typie niesionych treści, czy adresacie informacji (np. w przypadku uprawnień do odbioru) wprowadzono bardziej pojemne nośniki, tzw. grupy danych (ang. Data Groups). Natomiast dla całych multimedialnych aplikacji nośnikami są obiekty transmisji multimedialnych MOT (ang. Multimedia Object Transfer). Obiekty MOT zawierające usługi są dzielone na segmenty i, po opisaniu, transportowane w grupach danych głównego kanału (ang. MSC Data Groups).

W przypadku głównego kanału tryb pakietowy może być prowadzony w subkanałach usług lub w kanale informacji PAD stowarzyszonych z sygnałem audio.



Rys. 6-3 Organizacja transportu w systemie DAB

Typ transportu jest określany przez identyfikator mechanizmu transportu TMId (ang. Transport Mechanism Identifier) przybierający cztery wartości wskazujące odpowiednio:

- transport strumieniowy audio w głównym kanale,
- transport strumieniowy usług w głównym kanale.,
- transport pakietowy w głównym kanale
- transport usług w szybkim kanale informacji

Na poziomie sieci usługi są transmitowane w postaci pakietów.

6.3.1 Transport strumieniowy audio

Aplikacje przeznaczone do transportu w trybie strumieniowym transmitowane są w subkanałach głównego kanału danych. Ponieważ przepustowości subkanałów są krotnościami 8 kbit/s, co odpowiada pojemności krotności 3 CU w ramce CIF - aplikacja musi zostać przed transmisją podzielona na części o takiej pojemności. Pojemność podstawowej jednostki CU wynosi 64 bity, stąd pojemność ramek aplikacji przesyłanych trybem jednorodnym winna być wielokrotnością 192 bitów, lub dopełniana do takiej pojemności. Odpowiada to przepływności $n \times 8$ kbit/s.

Pojemności rezerwowane w jednostkach CU dla subkanału są pojemnościami brutto, czyli zawierają treści programowe rozszerzone o nadmiarowe bity kodu. Przepustowość netto, odpowiadającą samej treści, obliczamy uwzględniając poziom ochrony związany z tą treścią zgodnie z regułą:

$$C \left(\text{netto}, \frac{\text{kbit}}{\text{s}} \right) = \frac{n (\text{brutto}, \text{CU})}{3} * 8 \left(\frac{\text{kbit}}{\text{s}} \right) * \text{wsp. kodowania}$$

W trybie jednorodnym przekazywany jest skompresowany sygnał audio radia DAB.

Zmiany przepustowości subkanałów jednorodnych mogą więc odbywać się jedynie skokowo co 8 kbit/s, co uwzględnia system kompresji dźwięku.

6.3.2 Transport strumieniowy usług

W trybie jednorodnym cały wybrany subkanał przeznaczony jest do transmisji usług jednego rodzaju, o ustalonej przepływności.

Aplikacja winna być sformatowana w taki sposób, by jej przepustowość brutto wynosiła krotność 8 kilobitów na sekundę ($n \times 8$ kbit/s). Wymóg ten związany jest z minimalną wielkością subkanału (3 CU per pole CIF). Np. dla I trybu oznacza to $4 \times 3\text{CU}$ per ramka DAB. Ponieważ mamy 10,41 ramek DAB na sekundę, oznacza to 8 kbit/s ($10,41 \cdot 12 \cdot 64 \text{ bit/s} \approx 8000 \text{ bit/s}$).

6.3.3 Transport pakietowy w kanałach MSC oraz FIDC

Dla usług

- o niewielkiej pojemności
 - wymagających współbieżnej transmisji z innymi
- wprowadzono w systemie DAB tryb pakietowy. Dopuszczalne pojemności pakietów w ramce wspólnego przeplotu CIF wynoszą 3 CU, 6 CU, 9 CU, 12 CU. Odpowiada to przepływnościom odpowiednich subkanałów równym odpowiednio 8, 16, 24 oraz 32 kbit/s. Pakiety składające się na jeden subkanał identyfikowane są przez jednoznaczny adres. Adres składa się z 10 bitów, co oznacza, że maksymalna liczba jednocześnie transportowanych aplikacji nie może przekroczyć 1023. Dana aplikacja porcjowana jest w sekwencyjnie transmitowane pakiety o jednym adresie. Pakiety różnych aplikacji (różne adresy, różne długości pakietów) mogą być przeplatane w jednym subkanale z zachowaniem sekwencyjnej kolejności każdej z nich

Szkic ramki pakietu ukazuje rys. 6-4.

Nagłówek: długość, adres, indeks kontynuacji	Pole usług	CRC (G ₁)
--	------------	-----------------------

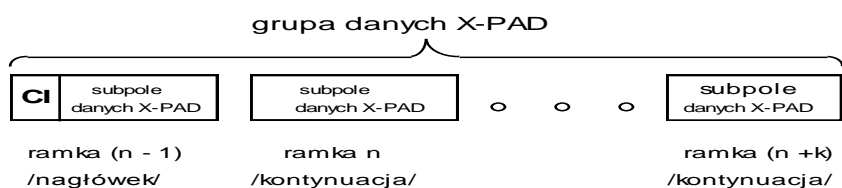
Rys. 6-4 Ramka pakietu systemu DAB

Pakiety mogą być przesyłane w głównym kanale MSC, kanale informacji towarzyszących programowi PAD, lub - dla ściśle określonych aplikacji - w kanale FIC w podkanale usług szybkiego kanału usług FIDC (ang. Fast Information Data Channel).

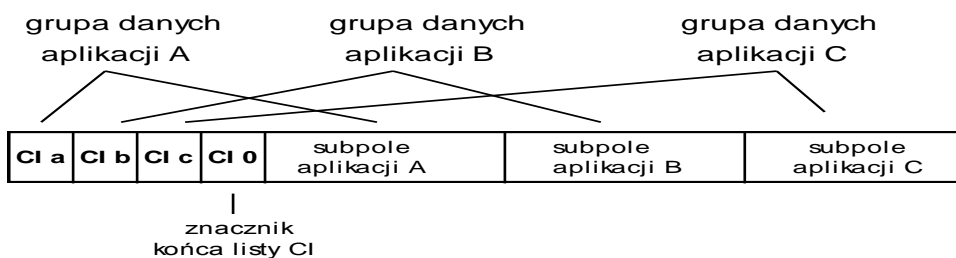
6.3.4 Transport pakietowy w kanale towarzyszącym programowi PAD

6.3.4.1 Warstwa transportu

Usługi dodane w kanale stowarzyszonym z programem DAB, F-PAD lub jego rozszerzeniem X-PAD zapakowane na poziomie transportu w grupy pakietów, są dzielone na kolejne ramki X-PAD z wskaźnikiem typu usług CI (Content Indicator), jeśli zawierają usługi jednego rodzaju. W przypadku transmisji kilku aplikacji wskaźniki są przesyłane na początku, w oderwaniu od ramek usług.



A. Grupa usług jednego rodzaju rozmieszczona w kolejnych ramkach pola X - PAD /Extended PAD/

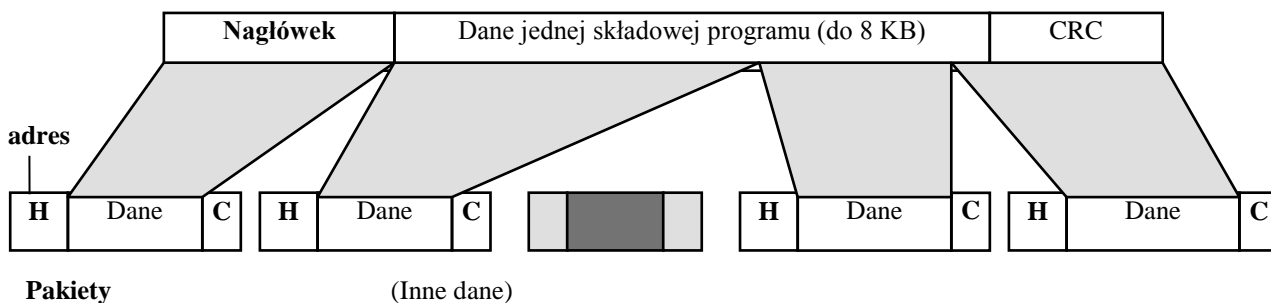


B. Sposób rozmieszczenia kilku aplikacji w jednym polu X-PAD

Rys. 6-5 Sposoby przesyłania usług w polu X-PAD

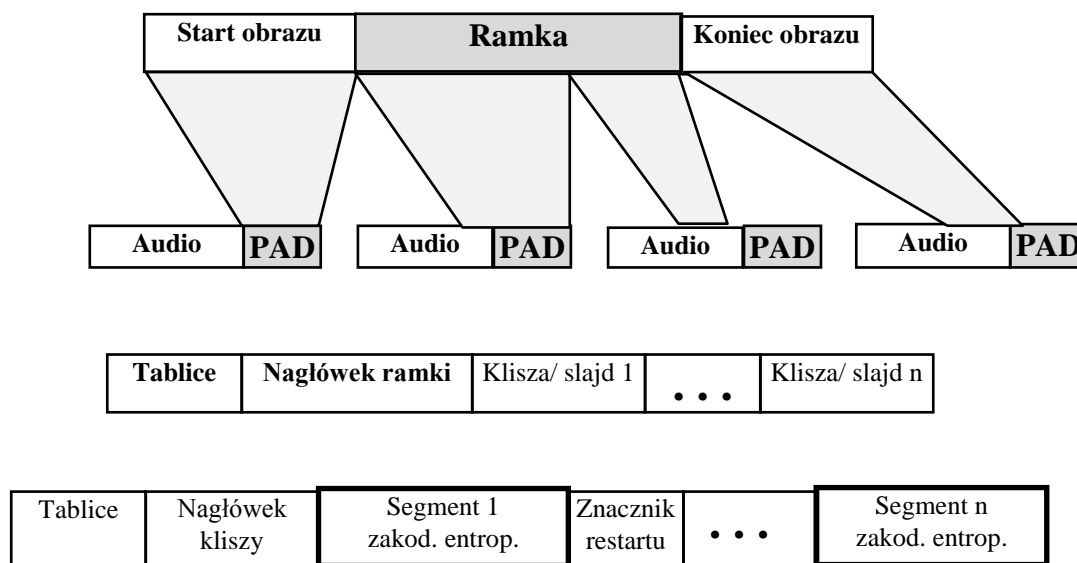
6.3.4.2 Warstwa sieci w kanale PAD

Podział grupy danych na pakiety jest naturalny (rys. 6-6).



Rys. 6-6 Przesyłanie usług w trybie pakietowym DAB. Podział grup danych

Przykład transmisji obrazu (format pliku JFIF):



Struktura pliku JFIF (JPEG File Interchange Format)

Rys. 6-7 Transport obrazów w kanale PAD

6.3.5 Grupy pakietów w głównym kanale MSC

Grupy pakietów (ang. data groups) stanowią ogniwo pośrednie w transporcie usług pomiędzy obiektami multimedialnymi w ramach MOT (ang. Multimedia Object Transport), a pakietami stanowiącymi elementarne adresowalne nośniki usług w kanałach logicznych. Jest naturalne, że informacje o rozkładzie programów i usług winny wyprzedzać ich zawartość i być szybko osiągalne po włączeniu terminala. Ze względu na specyfikę kanałów rozsiwczycych dane o treści zawarte w nagłówkach są więc transmitowane w sposób niezależny od pola usług w tzw. grupach pakietów (ang. MSC data groups). Podobnie w grupach pakietów transmitowane są informacje o systemach dostępowych do wybranych usług.

Niosące różne rodzaje danych grupy pakietów oznaczane są różnymi typami. Dotychczas wyróżniono spośród przeznaczonych na ten cel 16 możliwości typy grup danych zawierających określone pozycje:

- informacje o uprawnieniach odbiorcy do korzystania z wskazanych usług programu (patrz rozdział 10)
- nagłówek obiektu MOT
- zawartość obiektu MOT
- parametry dostępu warunkowego do obiektu MOT`

Bliżej o zastosowaniach i budowie grup pakietów patrz par. 7.2.2 na temat segmentacji obiektów MOT.

6.4 Identyfikacja programów i usług w ramach multipleksu

Programy i usługi w ramach sygnału DAB (ansamblu) rozróżniane są poprzez liczbowe identyfikatory. Taka forma pozwala na szybkie wynajdywanie wskazanych treści przez systemy nadajnika oraz odbiornika. Jest też znacznie krótsza niż opisy słowne, więc oszczędza przepustowość kanału. Jednak dla użytkownika systemu ważne są czytelne słowne opisy informujące o treści dostępnych programów i usług. Tę rolę pełnią etykiety (ang. labels). Etykiety są słownymi skrótowymi nazwami kojarzonymi z treścią prezentowanych programów i służą do celów prezentacji, a umieszczane są w bazach danych poza samymi programami, by można było je eksponować z chwilą włączenia odbiornika, bez czekania na rozkodowanie treści wszystkich dostępnych w ansamblu programów.

6.4.1 Identyfikatory programów oraz usług

W danej sieci jednoczesnościowej SFN mogą być transmitowane treści z kilku różnych multipleksów (ang. ensemble) różnych operatorów i to z różnych krajów. Dlatego identyfikator każdego programu zawiera kod kraju oraz referencje multipleksu. Następnie dla każdego programu oraz każdego z związanych z nim składowych w ramach multipleksu należy wskazać typ kanału, w którym mają być nadawane: głównym kanale MSC, kanale stowarzyszonym z programem PAD, kanale usług rozszerzonych X-PAD, bądź kanale usług FIDC w kanale szybkiej informacji FIC. Konieczne jest także wskazanie trybu transmisji: strumieniowego, czy pakietowego.

Identyfikator multipleksu (ansamblu) EId (ang. Ensemble Identifier). Poszczególne ansamble systemu DAB identyfikowane są 16-bitowym kodem. Identyfikator ansamblu pojawia się na początku każdej ramki DAB w grupie **FIG(0/0)**.

Identyfikator programu (Sid - Service Identifier). W ramach jednego ansamblu można jednocześnie nadawać kilka programów naogół różnych operatorów. W trakcie transmisji programy te transportowane są w postaci ramek. Ramki jednego programu (operatora) wyróżniane są przez identyfikator programu. Jest to konieczne do niezależnego wybierania i łączenia ramek wybranego programu w odbiorniku. Koncepcja identyfikatora przyjęta została zgodnie z systemem RDS (Radio Data System). Ponieważ programy w systemie DAB będą mogły być wymieniane między różnymi radiofoniami, czy wręcz obejmować swym pokryciem obszary wykraczające poza ramy kraju (emisja satelitarna) - identyfikator programu zawiera

- kod kraju, z którego jest nadawany,
- kod obszaru pokrycia przez sieć nadawczą
- kod identyfikatora programu.

i pozwala jednoznacznie rozróżnić każdy indywidualny program. Struktura kodu identyfikacyjnego programu zaznaczona jest na rys. 6-8 i 6-9.

W przypadku kontynuacji znanych programów ograniczamy się do kodu 16 bitowego (patrz norma RDS). Jest to suma 4 bitowego kodu kraju pozwalającego identyfikować do 16 krajów oraz 12 bitowa klasyfikacja programu:

b ₁₅	b ₁₂	b ₁₁	b ₈	b ₇	b ₀
kod kraju		kod programu		typ programu	

Rys. 6-8 Struktura skróconego kodu identyfikacyjnego programu

Nowe programy i treści nowego typu identyfikujemy przy pomocy jednoznacznego w skali globalnej 32 bitowego identyfikatora. Kod kraju składający się z kodu ECC klasyfi-

kującego 256 grup krajów oraz kodu kraju w grupach (jak wyżej), a także rozszerzonej 20 bitowej klasyfikacji programu ma formę jak na rys. 6-9:

b ₃₂ kod ECC	b ₂₅	B ₂₄ kod kraju	b ₂₁	b ₂₀ kod programu	b _n typ programu	b ₀
----------------------------	-----------------	------------------------------	-----------------	---------------------------------	--------------------------------	----------------

Rys. 6-9 Struktura rozszerzonego kodu identyfikatora programu

Kod identyfikatora programu zawarty jest na początku nagłówka każdej ramki DAB, w grupie **FIG(0/2)**.

Każdy z programów może składać się z różnych monomedialnych składowych. Ich liczba nie może przekraczać 12. Są one rozróżniane przez identyfikator składowej programu

Identyfikator składowej programu w trybie pakietowym (SCId - Service Component Identifier). Każdy program może składać się z prostszych, monomedialnych treści. W ramach każdego programu może jednocześnie występować do 12 takich monomedialnych składników. Składniki danego programu mogą być przenoszone bądź w subkanałach programu w głównym kanale MSC lub w ramach kanału usług w szybkim kanale informacji FIDC. Monomedia należące do określonego programu wyróżnione są własnym identyfikatorem. Jest to kod 12-bitowy jednoznacznie wyróżniający każdą składową monomedialną każdego programu, czy usługi, w ramach multipleksu.

Typ składowej programu audio (ASCTy - Audio Service Component Type) – parametr określający charakter sygnału (pierwszoplanowy, drugoplanowy) oraz typ kodera sygnału audio (sygnał mono, stereo, dookólny; techniczny typ kodera).

Składowe programu audio są bliżej opisywane przez parametry:

- **Typ programu (PTy - Program Type)**. Jest to kod jednej z 31 kategorii programu dołączany po stronie nadawczej do każdej składowej programu w celu ułatwienia selekcji treści programów według typów w odbiorniku. Tablica kodów typu jest określana przez Europejską Unię Nadawców Radiowo-Telewizyjnych, EBU-UER (European Broadcasting Union) zgodnie z ustaleniami dla systemu RDS (Radio Data System).
- **Numer programu (PNum - Program Number)**. Kod typu programu pozwalający na preselekcję treści programu w odbiorniku. Baza kodów typu programu transmitowana jest w grupie FIG(0/16).

Typ składowej programu usług w kanale MSC (DSCTy - Data Service Component Type). Jest to 6-cio bitowy kod ustalonych usług określający typ kodera i pozwalający na zdekodowania tej usługi w terminalu (rys. 6-8). Kod podzielony jest na dwa pola: 3 bitowy identyfikator typu składowej oraz 3 bitowe rozszerzenie.

W kanale szybkich informacji FIC dopuszcza się kanał usług FIDC dla transmisji tylko wyraźnie zdefiniowanych komunikatów w grupach FIG(5/0-7). Typ składowej programu usług w kanale FIDC jest określony przez parametry:

- **Identyfikatory kanałów w kanale usług szybkich informacji FIDCId** (Fast Information Data Channel Identifier).
- **Typ składowej programu (SCTy - Service Component Type)**. Jest on określany przez 8-mio bitowy kod składowej programu.
- **Identyfikator typu składowej (TCId - Type Component Identifier)**. 3 bitowy identyfikator jednego z możliwych ośmiu typów składowych odpowiadających danemu rozszerzeniu (Extension)

Specyficzny typ składowej programu (SSCTy - Specific Service Component Type). Jest to 6-cio bitowe pole określające wybrane typy składowej programu.

Identyfikator Programu: (SId)	Typ Transmisji: (TMId)	Identyfikator typu transportu:	Typ składowej:	Identyfikator subkanału:
-------------------------------	------------------------	--------------------------------	----------------	--------------------------

SId MSC, audio Tryb strumieniowy TMId = 00

Typ składowej programu audio **ASCTy**
(ang. Audio Service Component Type):
typ kodera; dźwięk pierwszoplanowy, drugoplanowy, wielokanałowy,...

SId MSC, usługi Tryb strumieniowy TMId = 01

- 0: dane nieokreślone
- 1: komunikaty transportowe TMC
- 2: komunikaty ostrzegawcze EWS
- 3: ITTS
- 4: paging
- 5: nie zdefiniowane
- ..
- 60: obiekt **MOT**
- 61: usługi własne
- 62: tabela usług operatora
- 63: tabela rozszerzeń usług

SId MSC, usługi, Tryb pakietowy TMId = 11

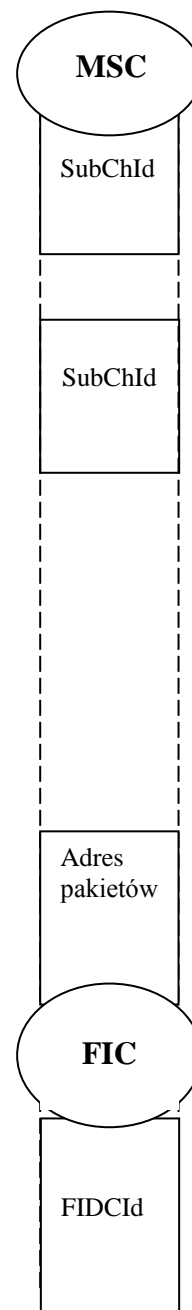
Identyfikator składowej programu **SCId**
(ang. Service Component Identifier)

dalsze dane: **FIG (0/3)**

SId FIC, Grupy pakietów TMId = 10

Identyfikator kanału usług w kanale szybkich informacji **FIDCId**

dalsze dane: **FIG (5/ 0 – 7)**



Rys. 6-10 Parametry programów w grupie FIG(0/2)

6.4.2 Etykiety programów oraz usług

Informacja o możliwych do wyboru programach jest prezentowana poprzez etykiety. **Etykieta programu** (ang. Service Label) służy do celów identyfikacji programów oraz typów usług w bazie servera systemu i jest przeznaczona do wyświetlania na monitorze odbiornika. Etykiety transmitowane są w kanale szybkich informacji w grupach FIG typu 1:

- FIG 1/0** : etykiety bloku programowego (**Ensemble Id** -->
16-literowa nazwa do skrótowego wyświetlenia)
- FIG 1/1** : etykiety programów (**Service Id** -->
16-literowa nazwa do skrótowego wyświetlenia)
- FIG 1/2** : dynamiczna definicja kodu **Pty**.
Związek między zgrubnym a dokładnym kodem
- FIG 1/3** : etykiety regionów (**Region Id** -->
16-literowa nazwa do skrótowego wyświetlenia)

6.5 Procedury uruchamiania odbioru

Przystosowanie do odbioru po włączenia odbiornika wymaga informacji o aktualnie obowiązującej konfiguracji kanałów i programów. Funkcje te pełni informacja o konfiguracji multipleksu MCI (ang. Multiplex Channel Information). Na informację MCI składa się zbiór danych zawartych w grupach FIG typu 0 z rozszerzeniami od 1 do 4 oraz 7, transmitowany w kanale szybkich informacji FIC (ang. Fast Information Channel).

Podobnie, aby układy odbiornika skonfigurować do odbioru nowej usługi w ewentualnie zmienionym kanale, konieczne jest podawanie informacji MCI z planowanymi zmianami konfiguracji kanałów czy programów z odpowiednim wyprzedzeniem.

W okresie, gdy konfiguracja multipleksu nie ulega zmianie informacje MCI muszą być periodycznie przekazywane ze względu na włączających się nowych odbiorców systemu.

Z chwilą włączenia odbiornika układy wejściowe przenoszą sygnał do kanału podstawowego o częstotliwości nośnej $f_c = B/2$, gdzie jest dekodowany poprzez operacje transformacji FFT symboli OFDM, demodulację różnicową, dekodowanie konwolucyjne - Viterbiego, oraz odwrotny przeplot częstotliwościowy i czasowy. Następnie system operacyjny identyfikuje początek ramki DAB, oraz stopniowo rozpoznaje i dekoduje ramki grup FIB, a w każdej z nich grupy FIG rozróżnialne przez swoje nagłówki. Pierwszą w pełni dekodowaną grupą jest ramka FIG(0/0) zawierająca informację, czy opis konfiguracji multipleksu dotyczy bieżącej, czy planowanej konfiguracji.

W przypadku kolejnej konfiguracji ważna jest informacja o adresie zmiany konfiguracji, również zawarta w FIG(0/0).

Następnie – niezależnie od tego, czy dotyczy to bieżącej, czy przyszłej konfiguracji - następuje rozpakowywanie kolejnych grup FIG z parametrami niezbędnymi do skonfigurowania systemu odbiornika

Proces włączania odbiornika zawiera procedury umożliwiające wybór wskazanego programu bądź usługi. Wybór elektronicznego przewoźnika po programach i usługach jest indywidualną decyzją poszczególnych producentów odbiorników

6.5.1 Informacje o organizacji multipleksu

Podstawowe informacje o organizacji multipleksu zawarte są w grupach FIG typu 0 z rozszerzeniami 0, 1, 2, 3, 4 oraz 7 (stosujemy oznaczenia FIG T/R na oznaczenie grupy typu 'T' o rozszerzeniu 'R'). Relacje między grupami szybkich informacji typu 0 z rozszerzeniami 0–4 oraz 7 ilustruje rys. 6-11.

W kanale szybkich informacji FIC odpowiednio mamy:

FIG 0/0 : sygnalizacja zmian na początku każdej ramki DAB:

- **EId** - identyfikator multipleksu
- **flagę zmian** : 00 - bez zmian
 - 01 - zmiana organizacji subkanału
 - 10 - zmiana organizacji programu
 - 11 - zmiana organizacji subkanału oraz programu
- **flagę alarmu**: 0 - brak dostępu do komunikatów alarmu
 - 1 - dostęp do komunikatów alarmu
- licznik ramek wspólnego przepływu **CIF** dla sterowania re-konfiguracją multipleksa.
- w przypadku planowanej zmiany: numer ramki **CIF** od której zaczyna się nowa konfiguracja

FIG 0/1 : organizacja **subkanałów** (max: 63) w kanale MSC usług podstawowych

- Liczba subkanałów
- Dla każdego subkanału:
 - Identyfikator
 - Adres startu w ramce logicznej DAB (nr CU)
 - Rozmiar ramek subkanału
 - Poziom ochrony – bliższe dane w FIG(0/14)

FIG 0/2 : **organizacja programów** w kanale MSC/ FIDC

- Dla każdej składowej:
 - Identyfikator programu
 - Identyfikator typu transmisji:
 - Transmisja strumieniowa audio (typ programu, identyfikator subkanału)
 - Transmisja strumieniowa usług (typ programu, identyfikator subkanału)
 - Transmisja w kanale FIDC (typ jednej z 5-ciu usług, identyfikator subkanału)
 - Transmisja pakietowa (intyfikator składowej)
 - Flaga dostępu warunkowego CA

FIG 0/3 : dodatkowe dane o organizacji usług **w trybie pakietowym**

- Dla każdej składowej:
 - Identyfikator
 - Identyfikator subkanału
 - Adres pakietu
 - Opcjonalnie parametry dostępu warunkowego w polu SCCA

FIG 0/4 : dodatkowe dane o organizacji usług **w trybie strumieniowym**

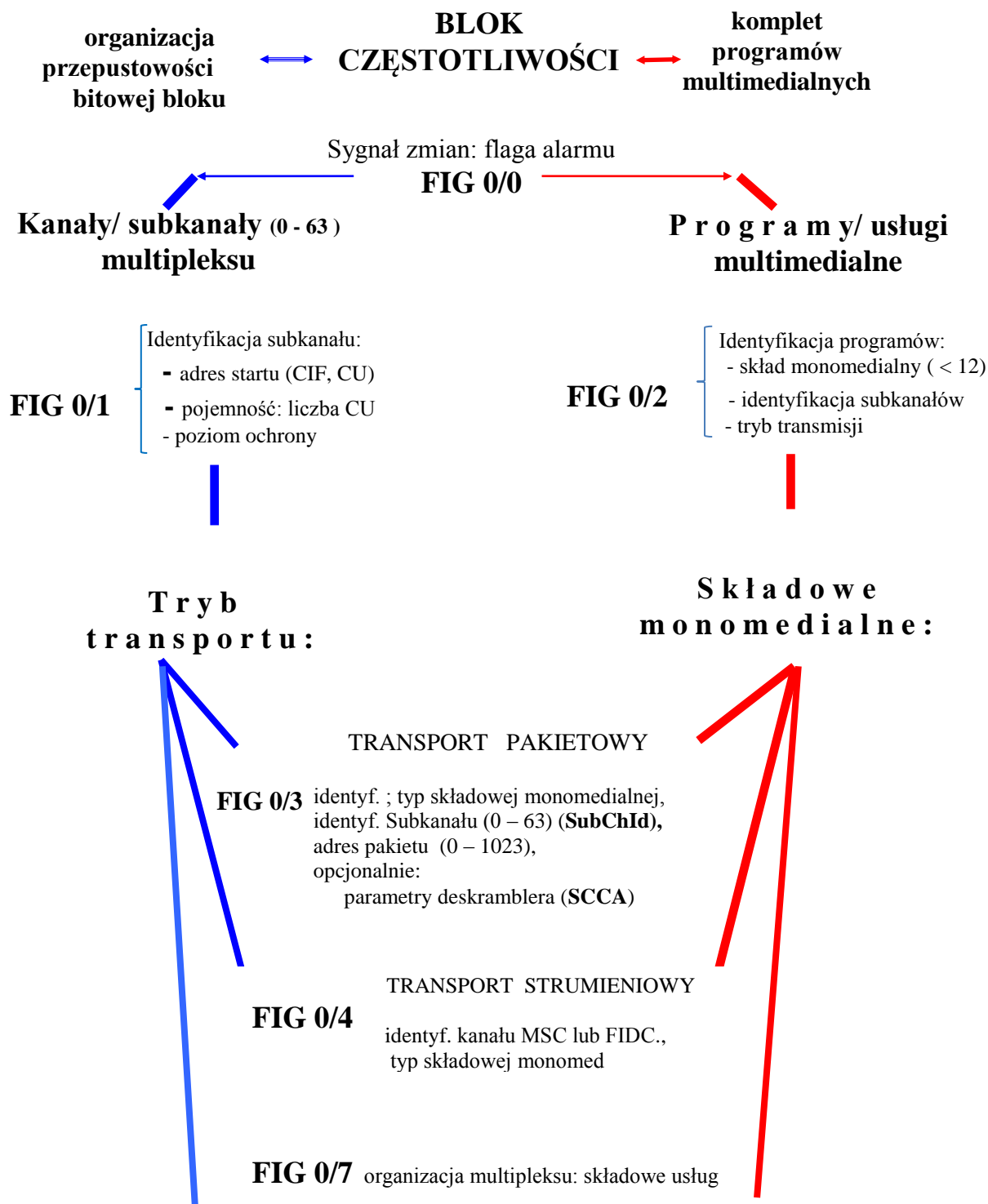
- Dla każdej składowej w trybie strumieniowym:
 - Wskazanie kanału składowej: MSC lub FIC
 - Identyfikator subkanału
 - Parametry dostępu warunkowego w polu SCCA

FIG(0/7) dodatkowe parametry usług dodanych w multipleksie MCI

FIG(0/8) parametry składowej usługi, z której korzystają różne multipleksy

Organizacja kanałów

Organizacja programów



Rys. 6-11 Organizacja multipleksu: parametry programów oraz trybów transportu

6.5.2 Algorytm włączania odbiornika

Zarządzanie i kontrola transmisji informacji w systemie DAB zawarta jest w kanale FIC w grupach FIG typu 0 z rozszerzeniami 0,1,2,3, 4 i 7.

Sygnal o mających zajść zmianach bądź to w organizacji subkanałów, bądź w treściach programów, a także jednoczesnej zmianie obu struktur zawarty jest w grupie **FIG (0/0)** umieszczanej na początku każdej ramki DAB, np. w trybie I co 96 ms. Sygnal taki wyprzedza anonsowane zmiany o czas do 6 sekund. W okresie tym musi być powtarzany przynajmniej 3 razy. Po zmianie nowa konfiguracja winna trwać stabilnie też co najmniej 6 sekund. Grupa **FIG (0/0)** zawiera licznik ramek CIF modulo 256, służących do ustalania adresu przesyłanych w nich informacji, oraz numer ramki CIF od której obowiązuje nowa konfiguracja multipleksera w przypadku zmiany organizacji

Jak wspomniano wyżej - ramka CIF może zawierać pola najwyżej 64 subkanałów o łącznej pojemności 864 jednostek CU.

Jeżeli zmiany dotyczą podziału CIF na subkanały - dalszych informacji o układzie subkanałów należy szukać w grupie **FIG (0/1)**. Zawiera ona dla każdego subkanału:

- identyfikator (6-cio bitowy numer wskazujący jeden z maksimum 64 kanałów),
- adres startu (numer jednostki pojemności CU w aktualnej ramce CIF, od której zaczyna się identyfikowany kanał),
- dla sygnału audio:
 - indeks w tabeli rozmiarów (tabela 7 w ETSI EN 300 401 [1]). Dla zadanej przepustowości netto sygnału audio i zadanego poziomu ochrony w tabeli wskazany jest rozmiar podkanału w jednostkach CU i przypisany indeks
- dla pozostałych sygnałów:
 - poziom ochrony
 - rozmiar ramek podkanału (liczba kolejnych CU przyporządkowanych danemu subkanałowi w CIF)

Jeżeli zmiany dotyczą organizacji programów w kanale MSC – kolejne szczegółowe informacje umieszczone są w grupie **FIG (0/2)**. Zawierają one dla każdego programu:

- identyfikator,
- wskaźnik kontroli dostępu
- liczbę i parametry każdej monomedialnej składowej programu wraz z jej typem i identyfikatorem subkanału, w którym ta składowa jest transmitowana

Liczba składowych monomedialnych jednego programu nie może przekroczyć liczby 12. Natomiast liczba różnych rodzajów monomediiów, z których możemy jednocześnie wybierać składowe programu wynosi maksymalnie 1023.

Zależnie od tego, czy dana składowa transmitowana jest w trybie strumieniowym, czy pakietowym, dalsze informacje zawarte są w ramach grup **FIG (0/4)** bądź **FIG (0/3)**.

Dodatkowe informacje o organizacji usług w trybie strumieniowym w grupie **FIG (0/4)** dotyczą - dla każdej monomedialnej składowej z FIG 0/2 - wskazania czy transmisyjny subkanał znajduje się w kanale MSC, czy FIDC, a także parametry dostępu warunkowego (deskramblera) dla tego subkanału.

Dodatkowe dane o organizacji monomediiów w trybie pakietowym umieszczone w grupie **FIG (0/3)** i zawierają identyfikator każdej monomedialnej składowej z **FIG (0/2)**, wskaźnik warunkowego dostępu, identyfikator subkanału z adresem pakietu oraz parametry deskramblera.

Ramki FIG typu 0 z rozszerzeniami 0,...,4 przenoszone są w pierwszym bloku FIB każdej ramki DAB.

6.5.3 Rekonfiguracja subkanałów i programów

Ze względu na korelację przepustowości kodera źródłowego i sprawności kodera konwolucyjnego oraz przepustowości subkanałów - zmiana przepustowości subkanału wymaga wyprzedzenia przez informacje sterujące o 15 ramek, czyli 384 ms. Jest to związane z reorganizacją przeplotu czasowego danego subkanału w nadajniku.

Każda zmiana w strukturze nadawanego programu czy w podziale subkanałów po stronie nadawczej musi być z wyprzedzeniem przekazywana do bufora odbiornika w celu dostosowania jego parametrów do działania zgodnie z podziałem na subkanały. Informacje o organizacji multipleksera oraz strukturze programów i usług transmitowana jest kanałem FIC. W nadajniku ramki FIC nie są poddawane przeplotowi czasowemu więc też odpowiednio w odbiorniku – operacji odwrotnej. Uzyskany w ten sposób czas wyprzedzenia informacji o ewentualnej reorganizacji subkanałów pozwala na rekonfigurację parametrów bufora. Analogicznie z aktualizacją bazy etykiet programów w przypadku zmian organizacji programów.

6.6 Opcjonalne parametry programów i usług

Dane zawarte w grupach MCI (ang. Multiplex Configuration Information) konieczne do uruchomienia odbiornika obowiązkowo muszą być transmitowane przez każdy nadajnik DAB, a każdy odbiornik DAB musi być zdolny do rozkodowania tych informacji. System radia cyfrowego o działaniu ograniczonym do takich podstawowych funkcji z punktu widzenia użytkownika nie różniłby się w swej ofercie od systemu radia analogowego. Tymczasem możliwości transmisji cyfrowej oraz przetwarzania sygnału cyfrowego pozwalają na znaczne rozszerzenie oferty usług systemu DAB. Rozwijanie tej oferty wymaga korzystania z dodatkowych danych i parametrów opisanych w normie systemu jako informacje programowe SI (ang. Service Information) [1] i szczegółowo omówionych w specyfikacji [28]. Korzystanie z tych informacji uzupełniających wymaga rozbudowy systemu operacyjnego zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej i pozostawione jest do decyzji administracji i producentów sprzętu jako oferta opcjonalna.

Informacje uzupełniające SI przesyłane są w kanale szybkich informacji FIC w grupach szybkich informacji FIG. Dane te dotyczą dodatkowych parametrów oraz mechanizmów aktualnego ansamblu, innych ansamblów nadawanych w multipleksach w innych blokach częstotliwości, a także równolegle nadawanych programów w systemach AM/FM.

Szczegółowe dane o typach monomediów, używanych językach, warunkach dostępu, związkach między programami, etc. - umieszczone są w grupach FIG typu 0 o rozszerzeniach 5 – 31.

Grupy FIG typu 1 zawierają etykiety programów i zostały omówione w sekcji 5.4.1.

Grupy FIG typu 2, 3 i 4 są zarezerwowane dla przyszłych zastosowań.

Parametry i zastosowania grup FIG typu 5, 6 i 7 omawiamy w kolejnych sekcjach.

6.6.1 Parametry multipleksu opisane w grupach FIG typu 0

Bazy danych zawierające parametry opcjonalne zawarte są w grupach FIG typu 0 z rozszerzeniami 5, 6, 9, 11, 18, 21, 22, 24, 25, 27. Długość każdej z tych grup jest wolnym parametrem. Flaga C/N (current/next), w przypadku transmisji baz danych określana sygnalizacją SIV (Service Information Version), wskazuje, czy grupa o danym rozszerzeniu zawiera początek bazy (0), czy kolejną porcję danych (1). W przypadku wprowadzania zmian do bazy stosuje się indywidualnie dla każdej bazy klucz CEI (Change Event Indication).

Grupy typu 0 z pozostałymi rozszerzeniami to omówione wcześniej informacje o organizacji multipleksu oraz dane pomocnicze. Zawartość poszczególnych grup jest szczegółowo omówiona w specyfikacji systemu [1], oraz wprowadzeniu do implementacji [28] – [31], gdzie umieszczone są też informacje o częstości powtarzania tych grup i ich powiązania z innymi usługami. Niżej wskazujemy podstawowe dane o ich treści.

FIG 0/5 : informacja o językach poszczególnych składowych programu (Service Component Language). Jest to kod języka składowej audio programu

FIG 0/6 : informacja o powiązaniach programów (service linking information)

FIG 0/7 : parametry multipleksu MCI, patrz sekcja 6.5

FIG 0/8 : parametry multipleksu MCI, patrz sekcja 6.5

FIG 0/9 : lokalny offset czasu (Country LTO&International Table)

lokalny offset czasu, oraz rozszerzony kod kraju ECC (Extended Country Code)

FIG 0/10 : data i czas (Date and Time)

Stemple czasowe zsynchronizowane z odbieranym sygnałem, opcjonalnie w zerowym symbolu ramek DAB, w kanale synchronizacji. Data wg. zmodyfikowanego Juliańskiego kalendarza [62], czas uniwersalny z dokładnością do godzin i minut, lub w rozszerzonej wersji dodatkowo sekund i milisekund, czas lokalny, kod kraju.

FIG 0/11: definicje regionów (Region Definition)

Oznaczenia regionów, gdzie dostępne wskazane usługi:

- Jako suma obszarów pokrycia sygnałem nadajników SFN o wskazanych identyfikatorach TII (spośród zawartych w Fig(1/3))
- poprzez wskazanie współrzędnych sferycznego równoległoboku o bokach określonych z rozdzielczością do 250 m

FIG 0/12: informacja o kodach typów planowanych programów

FIG 0/13: informacje o typie aplikacji. Powiązanie aplikacji z właściwym dekoderelem użytkownika

FIG 0/14 : parametry kodu Reeda-Salomona stosowanego w subkanałach

FIG 0/15: baza kodów typu programu pozwalająca na preselekcję kategorii programu w odbiorniku. Opcjonalnie data i czas przekierowania odbioru na nowy wskazany program.

FIG 0/16 : kod programu PNum (Programme Number)

Jest to jednoznaczna etykieta oraz nominalny początek programu wraz z flagami ciągłości i aktualizacji. Umożliwia programowanie odbioru audycji, czy jej rejestrację, a także sygnalizuje zmiany programu

FIG 0/17 : typ programu PTy (Programme Type)

Typ programu PTy (ang. Programme Type) przypisywany w nadajniku ma na celu umożliwienie wyboru kategorii programu poprzez jego specyfikację ogólną (muzyka klasyczna, pop, sport, opera, ...) oraz uszczegółowioną (muzyka barokowa, skrzypcowa,...). Adekwatne kody ogólnych typów wymagają ustaleń międzynarodowych. Kody szczegółowe można dobierać w każdym kraju również niezależnie. (Dynamiczna definicja kodu PTy w **FIG (1/2)**)

FIG 0/18: baza słownych komunikatów (Announcement suport)

Element mechanizmu wprowadzania słownych komunikatów poprzez przerwania do aktualnego programu. Komunikaty są parametryzowane poprzez:

- identyfikator źródła (SId)
- klasyfikacja typu komunikatu (dobór flag typu Asu)
- identyfikatory klastrów pełniących rolę skrzynek pocztowych danego komunikatu. W ansamblu można umieścić do 255 klastrów

Klastry wyznaczają poziomy przerwań komunikatów. Ustalone międzynarodowo kategorie typów komunikatów określa tabela:

Bit w polu flag	Typ komunikatu
b ₀	alarm
b ₁	organizacja ruchu drogowego
b ₂	organizacja transportu
b ₃	ostrzeżenia
b ₄	przeгляд wiadomości
b ₅	lokalna pogoda
b ₆	ogłoszenie o imprezie
b ₇	szczególne wydarzenie
b ₈ – b ₁₅	zarezerwowane do zdefiniowania

Klaster '1111 1111' jest zarezerwowany dla alarmów, upoważnionych do przerywania każdego programu

FIG 0/19: przełączanie słownych komunikatów (Announcement switching)

Parametry komunikatów dopuszczonych do przerwania danego programu:

- identyfikator klastra (z jakiej skrzynki)
- wskazanie typów komunikatów dopuszczonych do przerwania (flagi Asw)
- identyfikator podkanału, gdzie umieszczony komunikat
- opcjonalnie: określenie regionu, do którego ograniczony odbiór komunikatu

FIG 0/20: spust składowej programu (SCT: Service Component Trigger)

Wyznaczenie czasu uruchomienia lub zakończenia wskazanej usługi dla określonej grupy odbiorników

FIG 0/21: info. o częstotliwościach nośnych programów w zasięgu bloku (multipleksy DAB oraz programy FM)

FIG 0/22: baza identyfikatorów nadajników TII

Baza kodów TII, współrzędnych oraz czasowych opóźnień nadajników sieci SFN. Dla każdego nadajnika o kodzie TII w sieci SFN podanie współrzędnych głównego nadajnika p (0 – 69) oraz nadajników podrzędnych c (0 – 23) sieci SFN. Kod TII każdego nadajnika jest określony przez układ współczynników modulujących podnośne symboli OFDM w polu synchronizacji ramki DAB

FIG 0/23: obszar lokalnego odbioru /pokrycia (Service Id, Region Id)

FIG 0/24: oferta programowa równoległych multipleksów DAB

FIG 0/25: informacja o komunikatach w równoległych multipleksach

FIG 0/26: informacja o przełączaniu komunikatów w innych multipleksach
Cechy bloków innych programów (OE = 1)

FIG 0/ 27 : informacja o komunikatach w programach zakresu FM

FIG 0/28 : informacja o przełączaniu komunikatów w programach zakresu FM

FIG 0/ 29 : radiodyfuzja satelitarna

Parametry przejścia funkcji nadajnika programu między rozsiewczymi satelitami HEO: zbliżającym się (przejmującym) oraz oddalającym (warunki przejścia programu DAB przez wstępującą satelitę: identyfikator bloku programowego Blok Id, numer pierwszej przejmowanej ramki CIF 0

FIG 0/ 30 : baza parametrów radiodyfuzji satelitarnej

Częstotliwość nośna, przesunięcia Dopplera

FIG 0/ 31: wskazanie numerów rozszerzeń grup FIG o rozszerzeniach 0,1 do przesyłania w kanale AIC (Auxiliary Information Channel w MSC)

6.7 Usługi w kanale szybkich informacji

Kanał szybkich informacji FIC przeznaczony jest przede wszystkim do transmisji informacji o strukturze i powiązaniach multipleksu (MCI – Multiplex Channel Information), oraz informacji dodatkowych o programach i związanych z nimi opcjonalnych parametrach (SI – Service Information). Jednak ze względu na wyjątkowe znaczenie szybkości przekazu klas komunikatów ostrzegawczych dopuszczono ich transmisję również w kanale FIC tworząc podkanał usług FIDC (Fast Information Data Channel). Dla tych wyjątkowych klas komunikatów zarezerwowano osiem grup szybkich informacji FIG typu 5, z których aktualnie opisane są grupy o rozszerzeniach 0, 1, i 2

FIG 5/0 : System przywoławczy (ang. paging)

W kanale szybkich informacji FIC zamieszczane są **dane** bądź **adres wskaźnikowy** danych w kanale głównym MSC w zależności od stanu flagi D1, a także określany stan dostępu, **jawny** lub **warunkowy** w zależności od stanu flagi D2.

Adres wskaźnikowy zawiera numery subkanału i pakietu, adres ramki logicznej, czas transmisji, oraz dane adresata.

FIG 5/1 : Kanał komunikatów o ruchu drogowym (ang. Traffic Message Channel TMC)

Dla kanału komunikatów o ruchu drogowym TMC – zgodnie z specyfikacją – przeznaczony jest kanał danych FIDC kanału szybkich informacji FIC w ramach grup FIG(5/1). W tym wariantcie komunikaty o ruchu drogowym winny być transmitowane w postaci kodów ustalonych międzynarodowo zgodnie z protokołem **Alert C** i rozszerzonym o ustalenia protokołu TPEG (ang. Transport Protocol Expert Group) [43].

Taka organizacja komunikatów drogowych związana jest z warunkiem odbioru komunikatów niezależnie od kraju i miejscu transmisji w języku wybranym przez odbiorcę. Szybka transmisja kodu do terminala w kanale FIC jest sprawą prostą. Odczytanie kodu wymaga w odbiorniku dekodera kodów TPEG, przypisania ich komunikatom o założonej treści w wybranym języku, a następnie ekspozycji w wariantcie zależnym od rozwiązania przyjętego w danym typie odbiornika (syntetyzowany głos, tekst, szkic sytuacyjny z symbolami zdarzenia , itp).

Każdy komunikat TMC zajmuje 37 bity w ramce FIG(5/1)

FIG 5/2 : System ostrzegawczy w stanach zagrożenia

(ang. Emergency Warning System EWS)

Ramka FIG 5/2 zawiera albo Kontrolną Informację (D2), albo układ komunikatów wg standardu **EN 50067** - zakończone zerowymi bitami dopełniającymi. Komunikaty te współtworzą system ostrzegania w stanach zagrożenia i są transmitowane do regionu zagrożonego katastrofą, powodzią, pożarem, etc.

7 APLIKACJE MULTIMEDIALNE – PROTOKÓŁ MOT

7.1 *Rozwój koncepcji ‘usług dodanych’ w systemie DAB*

System DAB nazywany jest mianem radiofonii ze względu na pierwotne swe przeznaczenie. Jednak możliwości systemu są znacznie szersze. System DAB przystosowany jest do transmisji obiektów multimedialnych.

Obiektami multimedialnymi nazywamy obiekty składające się z wielu (multi) mediów takich jak tekst, grafika, obrazy, dźwięk, video. Poszczególne media powiązane w logiczną całość i zsynchronizowane czasowo oraz przestrzennie tworzą obiekty multimedialne.

Szczególną klasą multimediiów są tzw. hipermedia (ang. hypermedia). Hipermedia tworzą sieć elementów informacyjnych zwanych węzłami, które powiązane są relacyjnie w sposób pozwalający na nie-sekwencyjne ich wybieranie.

Poszczególne media mogą być kodowane w różnych formatach. W szczególności multimedialne aplikacje w systemie DAB/DAB+ są kierowane do dekodów:

Obiekty ASCII - do dekodera języka tekstowego
Obiekty MPEG - do dekodera wideo lub audio
Obiekty MHEG - do przeglądarki hipermediów
Obiekty JAVA - do dekodera obiektów JAVA
.....
obiekty JPEG - do dekodera zdjęć

Terminal systemu DAB przystosowany do odbioru multimediiów musi posiadać oprogramowanie umożliwiające dekodowanie i prezentację wybranych multimediiów. W praktyce oznacza to, że odbiornik multimedialny zbliża się w swojej konstrukcji do specjalizowanego komputera. W przypadku notebooków czy laptopów – z odpowiednią kartą PCMCIA. W przypadku telefonów komórkowych – układy radiowe sprzężone z ekranem.

Odbiorniki stacjonarne oraz samochodowe mogą posiadać w obudowie również część komputerową a także dodatkowo ekrany o minimalnej, wymaganej dla ekspozycji wideo rozdzielczości 320x240 pikseli z 8-bitową skalą kolorów na piksel [33,34].

7.2 *Multimedia w systemach rozsiewczych*

Aby uniezależnić transmisję multimediiów w systemie DAB od ich indywidualnych cech (systemu synchronizacji, doboru i podziału pól, etc.) wprowadzono jednolity system transportu obiektów multimedialnych o akronimie MOT od angielskiej nazwy Multimedia Object Transfer. Obiekty MOT pełnią rolę uniwersalnych kapsuł pozwalających transmitować dowolne multimedia w kanale DAB i dopiero po przetransportowaniu do odbiornika stosować ich własne parametry do rozpakowania, scalania w radiowym buforze, dekodowania i prezentacji.

Każdy obiekt MOT składa się z nagłówka zawierającego dane o obiekcie, oraz pola mieszczącego transmitowany obiekt. Ze względu na specyfikę systemu rozsiewczego, nagłówki oraz pole obiektu transmitowane są niezależnie, z różną częstotliwością. Aby bowiem organizować szybko odbiór obiektu użytkownik winien mieć w najkrótszym czasie po włączeniu odbiornika dostęp do oferty transmitowanych obiektów i usług. Tak więc nagłówki transmitowane jest częściej niż same obiekty multimedialne.

Biorąc pod uwagę możliwość wystąpienia błędów podczas transmisji, co wymaga repetycji uszkodzonego fragmentu, zarówno nagłówki jak i pole obiektu są naogół dzielone

na segmenty, co pozwala na ograniczenie repetycji jedynie do uszkodzonego segmentu, a nie całego obiektu

Organizacja oraz protokół transmisji obiektów MOT opisane są w specyfikacjach [5], [30].

7.2.1 Protokół transmisji obiektów multimedialnych MOT

Aby odbierany w terminalu obiekt multimedialny mógł być eksponowany - program w odbiorniku (interfejs) musi kierować go do właściwego programu wykonawczego. Informacja o typie obiektu multimedialnego zawarta jest w nagłówku ramki transportowej obiektu MOT. Obok informacji o typie transportowanego obiektu protokół MOT zawiera warunki i parametry jego prezentacji w odbiorniku.

Obiekt MOT składa się z podstawowych części (rys. 7-1):

- rdzenia nagłówka (ang. Header Core)
- rozszerzenia nagłówka (ang. Header Extension)
- pola obiektu (ang. Object Body) o wielkości do 256 MB.

Rdzeń nagłówka określa:

- długości nagłówka oraz pola obiektu,
- typ obiektu oznaczający jego kategorię (np. ogólne dane, tekst, obraz, audio, video, obiekt MOT, z rezerwacją miejsc na dalsze zastosowania)
- szczegółowy podtyp obiektu (typ kodera lub format pliku).

Rozszerzenie nagłówka zawiera charakterystykę oraz parametry określające warunki ekspozycji aplikacji stanowiącej obiekt MOT. Są to:

a) parametry czasowe określające warunki prezentacji obiektu:

- data wykreowania aplikacji (ang. CreationTime)
- początek uprawnienia do ekspozycji (ang. StartValidity)
- czas dezaktualizacji ekspozycji (ang. ExpireTime)
- czas ekspozycji aplikacji (ang. TriggerTime)
- okres repetycji (RetransmissionDistance). Jest to maksymalna odległość czasowa między kolejnymi powtórzeniami transmisji obiektu MOT podawana z dokładnością do 1/10 sekundy.

b) priorytet oraz wersja obiektu

c) parametry identyfikujące obiekt

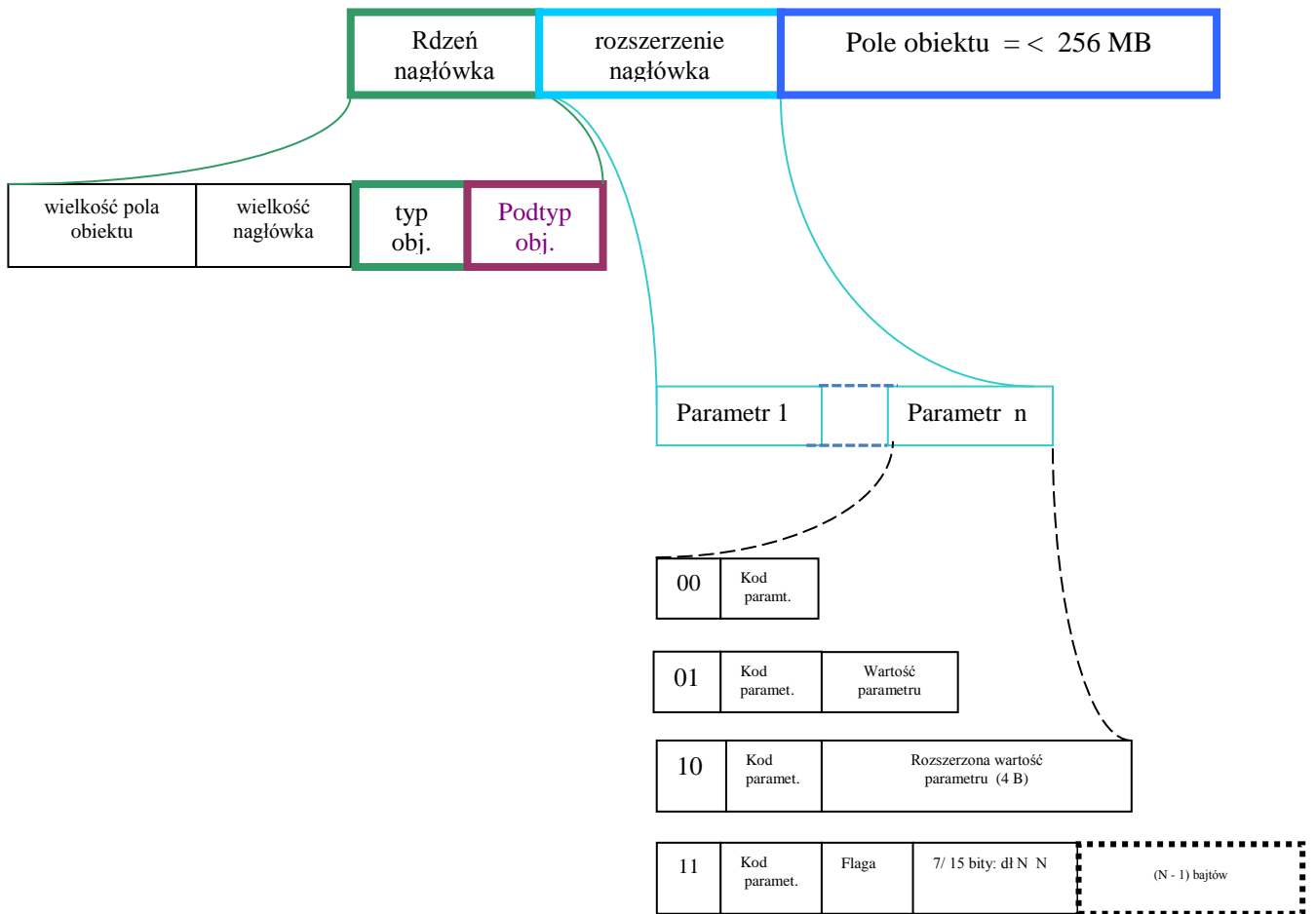
- grupa przynależności
- etykieta zawartości (label)
- zawartość (content name)
- opis zawartości

Znaczenie pięciu parametrów czasowych ekspozycji obiektu MOT określonych w rozszerzeniu nagłówka obrazuje rys. 7-2. Wszystkie parametry czasowe są podawane w formacie UTC (ang. Universal Time Co-ordinated). Określa on czas z dokładnością do milisekund (forma dłuższa) bądź minut (forma krótsza). Ramka czasu zawiera też datę podawaną według kalendarza juliańskiego MJD (ang. Modified Julian Date).

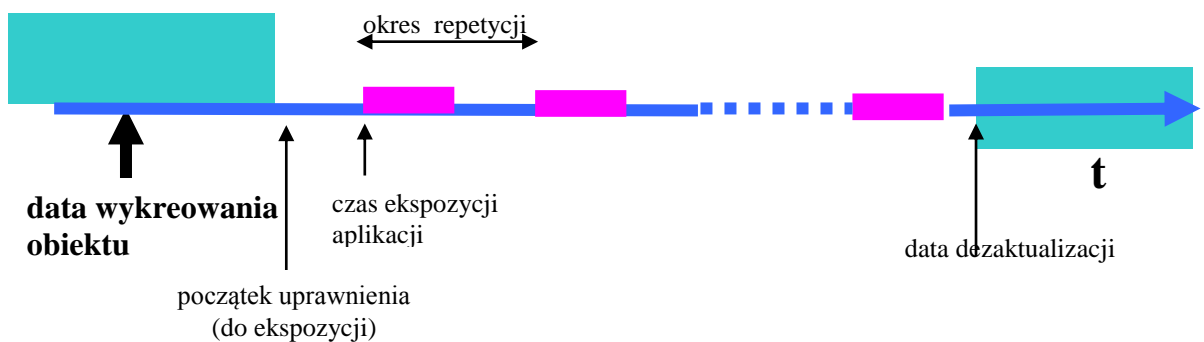
Dalsze parametry charakteryzujące obiekt MOT to:

- *numer wersji obiektu.* (ang. VersionNumber)

Dany obiekt może podlegać aktualizacji (np. informacja o wolnych miejscach parkingowych w mieście, czy liczbie wolnych pokoi w hotelu), przy czym parametry ekspozycji pozostają bez zmian. W celu rozróżniania kolejnych wersji wprowadzono parametr 'numer wersji' (ang. VersionNumber) zmieniający się od 1 modulo 256. Zmiana wersji oznacza konieczność czytania zawartości pola obiektu na nowo.



Rys. 7-1 Organizacja ramki MOT



Rys. 7-2 Ilustracja parametrów czasowych ekspozycji obiektu MOT z rozszerzenia nagłówka ramki

- *okres repetycji (ang. Repetition Distance)*
Okres repetycji to zadany okres między powtórzeniami obiektu. Powtórzenia mogą być częstsze – okres repetycji określa maksymalny odstęp czasu między powtórzeniami danego obiektu
- *grupa odniesienia (ang. Group Reference)*
Każdy obiekt multimedialny składa się z kilku obiektów jednorodnych (monomediiów) logicznie powiązanych ze sobą. Poszczególne składniki takiego obiektu stanowią indywidualne obiekty MOT identyfikowane poprzez wspólny parametr ‘identyfikator grupy’ (ang. GroupId) stanowiący pierwszą część ‘grupy przynależności’. Druga część ‘grupy przynależności’ to liczba elementów obiektu. Specyfikacja dopuszcza do 65 535 elementów składowych obiektu (grupy).
- *priorytet (ang. Priority)*
Parametr przyjmujący wartości od 255 (najniższy priorytet) do 0 (najwyższy priorytet). W przypadku przeładowania pamięci terminala priorytet decyduje o kolejności zachowania poszczególnych obiektów MOT. Dotyczy to również składowych jednego obiektu multimedialnego.
- *etykieta usługi (ang. Label)*
Jest to nazwa kategorii obiektu o długości do 16 liter oraz wybranym kroju czcionek, przeznaczona do wyświetlania na monitorze odbiornika. Kategorie obiektów określa specyfikacja systemu.
- *identyfikator obiektu (ang. ContentName)*
Jest to nazwa obiektu pozwalająca na jego szczegółową identyfikację.
- *opis zawartości (ang. Content Description)*
Tekst opisujący zawartość obiektu i przeznaczony do ekspozycji na monitorze odbiornika. Długość tekstu określana jest przez wskaźnik niestandardowej długości rozszerzenia nagłówka.
- *własny parametr aplikacji (ang. Application Specific)*
Parametr ten służy do przekazywania danych między serwerem DAB oraz nadajnikiem i jest określany przez operatora systemu stosownie do potrzeb.
Algorytm konstrukcji podstawowej części obiektu MOT przedstawia rys. 7-3.

7.2.2 Segmentacja obiektów MOT w systemie DAB. Grupy pakietów

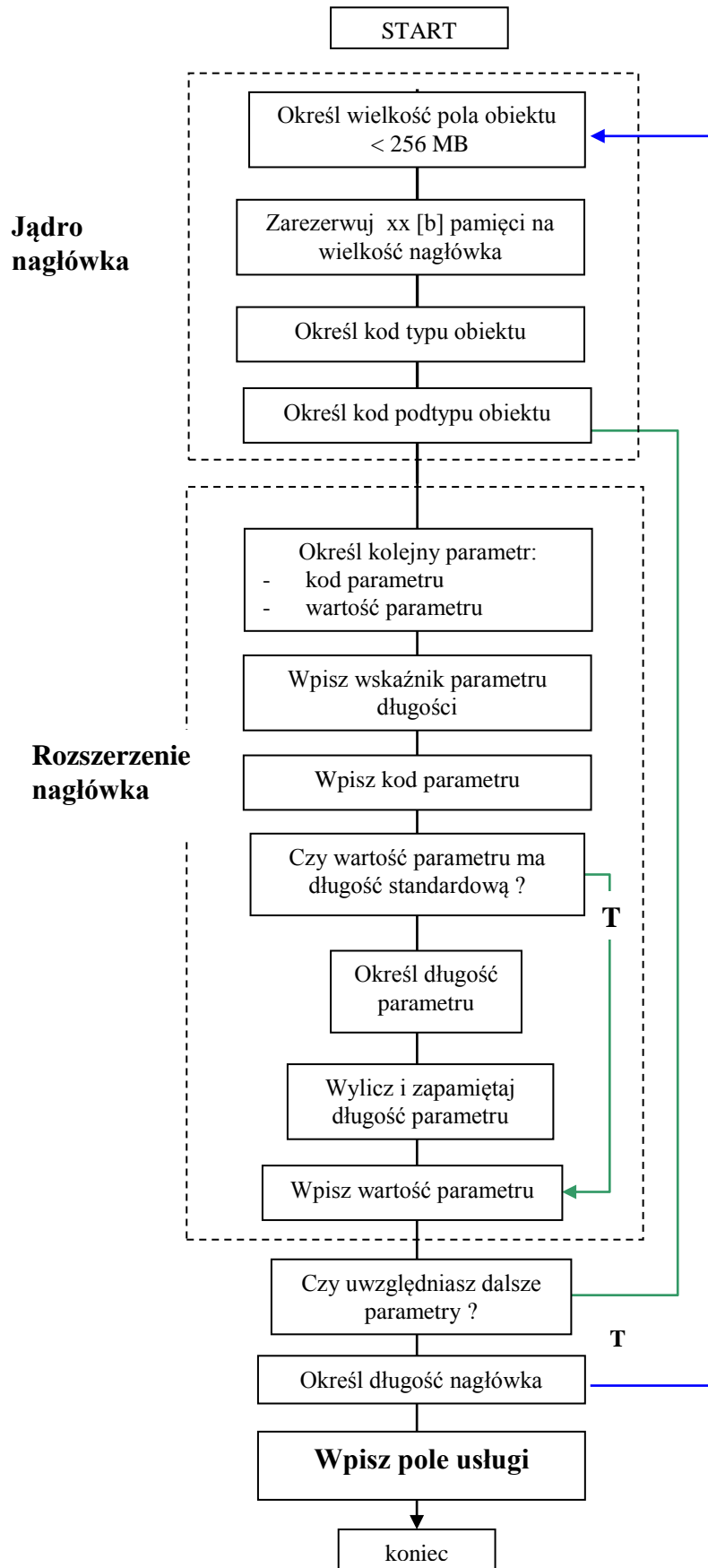
Pole usług obiektu MOT posiada pojemność do 256 MBajtów. Transmisja takiego obiektu w całości zablokowałaby kanał DAB dla innych obiektów na czas co najmniej dwóch minut, nawet dla najniższego poziomu ochrony.

Z drugiej strony nawet pojedyncze błędy transmisji obiektu MOT zmuszałyby do powtórzenia transmisji całego obiektu.

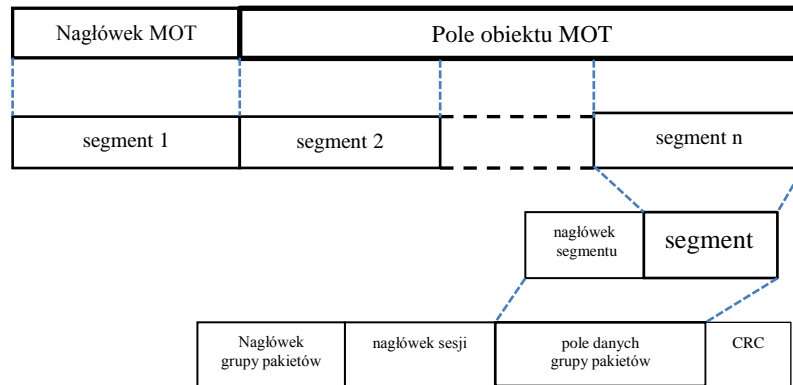
Ze względu na wskazane powody obiekty MOT są transmitowane po podziale na mniejsze fragmenty. W warstwie transportu obiekty MOT dzielone są na co najmniej dwa segmenty o pojemności nie większej niż 8191 B (2^{13} bajtów) każdy. Osobno dzielony na segmenty jest nagłówek (rdzeń i rozszerzenie), osobno pole usług. Wielkość segmentów nagłówek może być różna od wielkości segmentów ciała obiektu. Proces podziału obiektów MOT ukazuje rys. 7-4.

Do każdego segmentu dobudowywany jest nagłówek składający się z dwóch części:

- licznika powtórzeń, który zawiera liczbę pozostałych do wykonania repetycji. Przyjmuje się, że liczba powtórzeń jest albo nie większa niż 6, albo nie jest zdefiniowana i powtórzenia powinny trwać w okresie uprawnienia obiektu do ekspozycji
- długości segmentu – 13-bitowego pola długości segmentu w bajtach



Rys. 7-3 Podstawowy algorytm opisu obiektu MOT



Rys. 7-4 Podział obiektu MOT na segmenty i rzutowanie na grupy pakietów

Nagłówek segmentu nie zawiera informacji o trybie transportu obiektu (segmentów). W związku z tym segmenty z nagłówkami opakowywane są w dodatkowy podwójny nagłówek oraz zakończenie z kontrolą błędów tworząc grupy pakietów.

Grupę pakietów określają:

- nagłówek grupy pakietów (ang. Data Group header)
- nagłówek sesji (ang. Session header)

Nagłówek grupy pakietów zapewnia ciągłość transmisji segmentów, określa typ segmentów, występowanie dostępu warunkowego oraz występowanie nagłówka sesji. Pola nagłówka grupy pakietów to:

- flagi:
 - pola rozszerzenia nagłówka,
 - kodu CRC,
 - pola sesji,
 - pola dostępu użytkownika

(dwa ostatnie pola decydują o występowaniu nagłówka sesji)

- typ obiektu w polu danych grupy pakietów:
 - segment nagłówka MOT,
 - segment usług MOT,
 - parametry dostępu warunkowego CA,
 - inne dane
- indeks kontynuacji (modulo 27). Indeks kontynuacji jest zwiększany jedynie w przypadku wznowienia kolejki danego typu grup pakietów przerwanej grupą o innej zawartości
- indeks repetycji. Jest to 4 bitowa liczba powtórzeń danej grupy. Jest to liczba od 0 do 26. Liczba 27 (1111) oznacza ciągłość repetycji
- pole rozszerzenia (16 b). Pole to zawiera ramkę warunkowego dostępu DGCA z IM (modyfikatorem inicjalizacji) wraz z dodatkowymi parametrami CA (patrz rozdział o dostępie warunkowym)

Nagłówek sesji zawiera:

- wskaźnik końcowego segmentu
- numer segmentu od 0 wzwyż do $32\,767 = 2^{15} - 1$, co odpowiada maksymalnemu plikowi 256 MB, gdyż każdy segment zawiera do 8 kB)
- pole dostępu użytkownika

oraz opcjonalnie w polu dostępu użytkownika:

- 3 bity do późniejszego wykorzystania
- flaga identyfikatora transportu
- wskaźnik długości pól:

- identyfikatora transportu (jest to *identyfikator obiektu MOT* z nagłówkiem)
- adresu końcowego użytkownika

7.2.3 Transport pojedynczych obiektów MOT w systemie DAB

Obiekty MOT mogą być transmitowane:

- w głównym kanale transportowym MSC w trybie pakietowym
- w kanale usług stowarzyszonych z programem PAD

Transport segmentów nagłówka podlega innym regułom, niż transport segmentów usług:

- a) nagłówek musi być transmitowany co najmniej raz przed transmisją pola usług
- b) nagłówek transmitowany jest wystarczająco często, by użytkownik systemu po włączeniu terminala miał szybki dostęp do informacji o ofercie usług oferowanych przez operatora

Segmenty oraz grupy pakietów jednego obiektu MOT muszą być transmitowane sekwencyjnie, wraz z wzrastającym numerem segmentu.

7.3 Transmisja slajdów w kanale DAB

W celu umożliwienia prezentacji slajdów, czyli sekwencji obrazów, w odbiornikach wyposażonych w monitory opracowano w systemie DAB specyfikację pokazu slajdów wykorzystującą protokół MOT (ang. MOT Slide Show) [34]. Zastosowania specyfikacji to np. zdjęciowa ilustracja podawanych wiadomości, fotosów wykonawców odtwarzanych utworów, bądź niezależna od programu prezentacja reklamowanych usług. Transmisja pokazu slajdów jest sygnalizowana w grupie FIG (0/13).

Proponowane są dwa profile pokazu slajdów:

- prosty (ograniczona skala kolorów; obrazy mniejsze niż ekran są umieszczane w środku z czarną obwódką; większe przycinane z prawej strony i z dołu)
- podwyższony (większa skala kolorów; po stronie odbiorczej możliwość skalowania wymiarów w zakresie 0.5 - 1.5, oraz kontrola tempa przeglądu slajdów)

Pokaz slajdów wymaga odbiornika wyposażonego w ekran o zalecanych wymiarach ekranu 320 x 240 pikseli; inne wymiary mogą powodować deformacje slajdów (dla profilu podwyższonego minimalne wymiary to 160 x 120 pikseli). Wymagany jest dekodery obrazów w systemie JPEG lub PNG (wersja 1.1) o rozdzielczości:

- do 8 bitów na każdy z 4 kolorów dla profilu prostego
- od 15 bitów na piksel dla profilu podwyższonego

Animowane prezentacje PNG (specyfikacja APNG, wersja 1.0) o czasie trwania pojedynczych ramek nie mniejszym niż 100 ms, prezentowane są z szybkością nie większą niż 10 ramek na sekundę. Jeśli szybkość przetwarzania procesora odbiornika nie będzie wystarczająca, w miejsce animacji pojawią się wybrane ramki stacjonarne.

Kolejnością i czasem ekspozycji slajdów steruje operator pokazu po stronie nadawcy korzystając z parametru czasu odpalania (TriggerTime) transportowanego razem z slajdami.

7.3.1 Transport slajdów

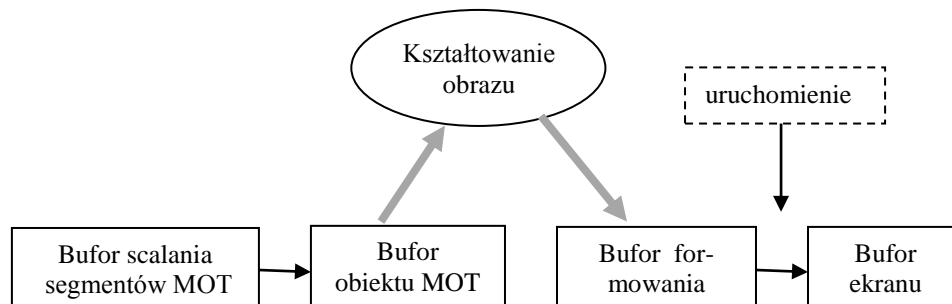
Slajdy przesyłane są do odbiornika sukcesywnie, każdy slajd z własnymi parametrami jako indywidualny obiekt multimedialny MOT. Dla celów transmisji obiekt dzielony jest na segmenty i pakowany w grupy pakietów transmitowane wariantowo poprzez:

- kanał PAD, jako usługa towarzysząca programowi audio
- kanał MSC, w trybie pakietowym jako składowa usługa
- kanał MSC, w trybie pakietowym jako usługa podstawowa

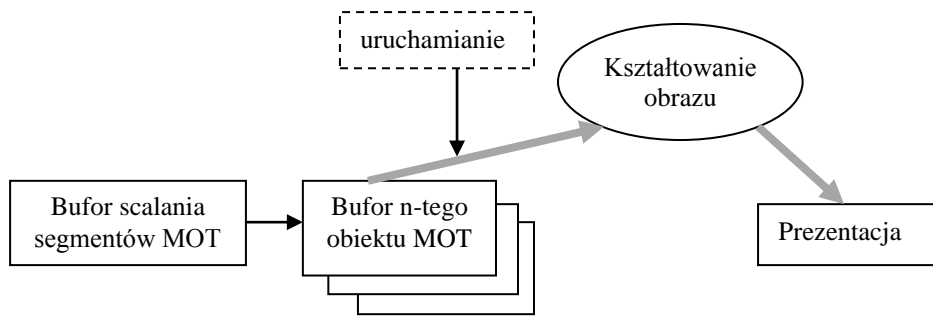
Jeśli slajdy mają służyć jako prezentacja ilustrująca relacje w audycji, wówczas slajdy mogą być przesyłane bądź w kanale towarzyszącym programowi (PAD), bądź jako składowa programu w głównym kanale transportowym. Jako usługa niezależna od programu z własnym identyfikatorem (Sid) pokaz slajdów będzie transportowany w głównym kanale MSC. Taką funkcję slajdy mogą pełnić w celu reklamy usług, promocji towarów, czy obrazowania wydarzeń niezależnie od bieżącego programu.

W celu zwiększenia wiarygodności poprawnego odbioru można stosować repetycje segmentów zgodnie z protokołem transmisji obiektów MOT, jednak bez przemieszczania segmentów różnych slajdów. Poszczególne slajdy są scalane, rozpakowywane i dekodowane w czasie zależnym od parametrów procesora odbiornika. Aby ich ekspozycja była zgodna z programem który ilustrują, momenty wywołania są wyznaczone przez niezależne od procesu przetwarzania komendy z parametrem TriggerTime uruchamiającym ekspozycję. Taka procedura wymaga zarządzania pamięcią z rozbudowanymi buforami dla poszczególnych etapów przetwarzania, zgodnie z rys. 7-5A. W przypadku profilu podwyższonego bufor scalonego obiektu MOT jest zwielokrotniony, jak na rys. 7-5B, by móc gromadzić większą liczbę slajdów (w profilu prostym nowy slajd usuwa slajd poprzedzający z monitora). Dzięki temu proces ekspozycji slajdów można w odbiorniku regulować.

W profilu prostym uruchomienie ('odpalenie') obrazu następuje po jego ukształtowaniu (renderowaniu) kończącym się mapą bitową. W profilu podwyższonym zakłada się, że kształtowanie obrazu zachodzi w czasie rzeczywistym i dlatego odpalenie slajdu może być uruchamiane już w buforze obiektu MOT, skąd, z niewielkim opóźnieniem na kształtowanie, slajd jest prezentowany na ekranie. Jeśli bufor jest przepełniony - wcześniejsze obiekty MOT ulegają stopniowej eliminacji, aż do uzyskania miejsca na bieżące slajdy.



A. Profil prosty



B. Profil podwyższony

Rys. 7-5 Etapy dekodowania slajdów w odbiorniku

Wymiary pozostałych buforów determinowane są przez pojemność największego obiektu MOT oraz wielkość obrazu.

7.3.2 Parametry MOT dla pokazu slajdów

Czas wywołania każdego slajdu ('Trigger Time') typowo podawany jest w rozszerzeniu nagłówka obiektu MOT, który przynosi slajd. Czas ten synchronizowany jest z czasem odniesienia zawartym w grupie FIG(0/10). Można jednak transportować slajd do bufora obiektów MOT w odbiorniku bez tego parametru, a adekwatny czas odpalenia przekazać w transmitowanej później aktualizacji nagłówka ('Header update') z wskazaniem odpowiedniego obiektu przez parametr zawartości ('ContentName'). W przypadku podwyższonego profilu może to być seria aktualizacji dla slajdów oczekujących w buforze obiektów MOT.

7.4 Karuzela obiektów. Katalog MOT

Karuzelę obiektów multimedialnych (ang. MOT carousel) tworzy zbiór plików sformatowanych jako obiekty MOT w serwerze aplikacji nadajnika i cyklicznie retransmitowanych w celu eksponowania w terminalu DAB z możliwością repetycji i aktualizacji poszczególnych elementów. Przykłady takich obiektów to zbiór wiadomości, każda jako obiekt audio w formacie MOT, regularnie retransmitowanych jako ciąg obiektów MOT z możliwością aktualizacji indywidualnych niusów, by włączając odbiornik mieć do nich szybki dostęp. Podobnie z reklamami skompresowanymi jako pliki audio, czy każdym innym zbiorem informacji.

Opis zawartości karuzeli MOT i szybki dostęp do poszczególnych informacji zapewnia katalog MOT.

Katalog MOT (ang. MOT directory) to plik z informacjami z nagłówek zbioru obiektów MOT tworzących karuzelę wraz z parametrami określającymi warunki ich prezentacji. Odbiór pliku zawierającego katalog MOT pozwala na wybór dowolnego obiektu karuzeli i uruchomienie procedury jego wywołania, nawet wtedy, gdy transmisja obiektu jeszcze nie nastąpiła. W odbiorniku występuje zawsze tylko jeden katalog MOT: ewentualny nowy katalog zastępuje poprzedni.

Długość katalogu zależy od długości listy parametrów oraz ilości anonsowanych obiektów MOT w karuzeli. Katalog zawiera podstawowe pola:

- długość katalogu
- liczba opisywanych obiektów
- okres powtarzalności obiektów karuzeli
- długość segmentów po podziale katalogu w czasie transmisji
- długość rozszerzenia katalogu = długość listy parametrów
 - rozszerzenie katalogu: lista parametrów z ich wartościami (parametry z rozszerzenia nagłówka pojedynczego obiektu MOT, z wartościami dotyczącymi całej karuzeli)
 - kolejno dla każdego obiektu MOT w karuzeli: identyfikator obiektu (Transport Id), oraz treść nagłówka obiektu (rdzeń + rozszerzenie)

W przypadku segmentacji poszczególne segmenty katalogu są przesyłane w grupach danych o numerach 6 (gdy katalog nie poddany kompresji), lub 7 (gdy skompresowany). Dzięki temu dekodery MOT w odbiorniku może w pierwszym rzędzie integrować te segmenty umożliwiając ich scalenie i następnie prezentację oferty obiektów karuzeli ujętej w katalogu. W czasie kolejnych transmisji dekodery MOT kontroluje numer wersji każdego z obiektów umieszczony w nagłówku, a więc również w katalogu MOT, i w przypadku wykrycia zmiany aktualizuje skład obiektów karuzeli.

7.5 Transmisja stron internetowych

Ogrom informacji zawartych w Internecie skłania do wykorzystywania ich również dla wzbogacania przekazów w radiofonii cyfrowej. Jednakże internetowe protokoły:

- TCP/IP (ang. Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) dla kontroli poprawności transmisji w Internecie, oraz
- HTTP (ang. Hyper Text Transfer Protocol) dla wymiany informacji klienta z serwerami HTTP,

wymagają dwustronnej komunikacji, nie nadają się więc bezpośrednio dla transmisji w systemie DAB. Biorąc pod uwagę, że serwer HTTP stanowi w zasadzie zbiór plików, przekazane kanałami DAB wybrane aplikacje (strony internetowe) w buforze odbiornika można traktować jako bufor lokalnego serwera BWS (Broadcast Website) oraz wprowadzić mechanizm serfowania w ramach tych aplikacji. Wyszukiwarka takiego systemu oparta jest na protokole MOT z wykorzystaniem karuzeli aplikacji HTTP i katalogu MOT. Specyfikacja takiego mechanizmu opisana jest w dokumentach systemu [33] [34] [35].

7.5. 1. Organizacja transmisji

Internetowe strony WWW zawierają łącza kodowane jako URL (Uniform Resource Locators) nie tylko w ramach jednej lokalizacji. Aby umożliwić serfowanie w ramach zbioru BWS (ang. Broadcast Website) winien on zawierać komplet powiązanych stron HTML. W przypadku braku strony system winien reagować komunikatem błędu.

Po stronie nadawczej system MOT BWS [53] wykorzystuje serwer aplikacji internetowych.

7.6 Przegląd wiadomości: karuzela TopNews

W analogii do lokalnego serfowania po stronach internetowych można wprowadzić w systemie DAB mechanizm wybierania i odsłuchiwanie skompresowanych krótkich plików dźwiękowych z ostatnimi wiadomościami różnych kategorii. W tym celu wprowadzono specyfikację karuzeli MOT z obiektami TopNews [35]. Ta specyficzna karuzela jest przewidziana szczególnie dla odbioru w aucie, pozwalając na wybieranie informacji interesujących kierującego i odbiór w formie komunikatów audio w dowolnym czasie, niezależnie od bieżącego programu.

7.6.1 Struktura aplikacji TopNews

Usługi TopNews są realizowane jako profil w aplikacji MOT BWS korzystając z karuzeli MOT. Transmisja TopNews może odbywać się kanałem PAD lub w głównym kanale MSC w trybie pakietowym. Katalog MOT może być aktualizowany, lecz nie częściej, niż co 2 minuty ze względu na ewentualną korekcję błędów transmisji katalogu wymagającą jego repetycji w kolejnym cyklu karuzeli. Kategorie obiektów TopNews oraz ich opis ustala operator usługi poprzez parametry katalogu MOT 'ContentSorting' oraz 'ContentDescription'. W każdej kategorii na początku winien pojawić się słowny indeks zawartości, 'service index' – przerywany, gdy przeglądarka wybiera do odsłuchania wskazany obiekt. Kolejność obiektów w ramach kategorii jest ustalana poprzez parametr 'ContentSorting'. W odbiornikach wyposażonych w ekrany równoległe z nagraniem informacji może być wyświetlany opis tekstowy obiektu sygnalizowany poprzez parametr 'ContentDescription' w katalogu MOT.

Przeglądarka usługi zapewnia możliwość zmiany zarówno kategorii, jak i konkretnej usługi. Chwilowy brak gotowości sygnalizowanego w indeksie obiektu winien być zaznaczony dźwiękowym sygnałem.

Zgodnie z specyfikacją usługi TopNews pojemność indywidualnych obiektów audio nie powinna przekraczać 512 kilobajtów, co niewiele przekracza czas dwóch minut dla głosu w kodzie o przepływności 32 kilobitów na sekundę [kbps]. Przyjmuje się, że kanał transportujący tę usługę winien być ograniczony do 64 kbps. W odbiorniku minimalna pojemność pamięci buforowej przeznaczona na obsługę karuzeli TopNews to 8 megabajtów, co odpowiada czasowi odtwarzania głosu w kodzie 32 kbps przez ponad 30 minut.

7.6.2 Parametry karuzeli MOT TopNews

Parametry MOT dla całej karuzeli TopNews zawierają:

- Typ oraz podtyp określające ogólny oraz szczegółowy typ obiektów, co implikuje kategorię kodera transmitowanej aplikacji, oraz konkretny typ kodera
- Typ profilu (ProfileSubset)
- Nazwę (ContentName)
- Wersję pliku (UniqueBodyVersion)
- Sortowanie treści (ContentSorting)
- Opis treści (ContentDescription)
- Treść nagłówka (Headline)
- Czas trwania (Duration)
- Prezentację (Presentation)

Indywidualne obiekty karuzeli MOT TopNews są określane przez parametry z rozszerzenia katalogu MOT.

7.7 Elektroniczny przewodnik po programach EPG

Elektroniczny przewodnik po programach EPG (ang. Electronic Programme Guide) [50] [44] ma na celu ułatwienie wyboru programu lub konkretnej usługi w dostępnej bieżąco lub przewidywanej ofercie programowej. Dotyczy to zarówno aktualnie odbieranego multipleksu, jak i pozostałych multipleksów DAB oraz równolegle nadawanych programów w lokalizacji użytkownika. W zależności od oferty usług zaimplementowanych w systemie odbiornika zakres pobieranych i prezentowanych informacji z EPG może być różny. Tak więc system EPG musi działać w odbiornikach różnych typów, o różnych możliwościach prezentacji, pojemności pamięci oraz zakresu oprogramowania.

Przewodnik po programach w systemie DAB opisany jest w dwóch specyfikacjach:

- ETSI TS 102 818 [50] opisującej system organizowania i oprogramowania przewodnika
- ETSI TS 102 371 [44] określającej metody kodowania, kompresji i transportu przewodnika

Nижej podajemy podstawowe informacje na temat specyfikacji DAB EPG.

7.7.1 Specyfikacja systemu EPG

Celem systemu EPG jest dostarczenie przez operatorów systemu informacji o aktualnej i przyszłej ofercie programowej z jej parametrami czasowymi i atrybutami, co stwarza możliwość wykorzystania tych danych po stronie odbiorczej, między innymi, w celu:

- Ekspozycji harmonogramu oferty programowej
- Nawigacji pośród aktualnych programów i wyboru wskazanej usługi do odbioru, bądź rejestracji i przyszłego odtwarzania
- Przeglądu oferty programowej z różnych grup tematycznych

System EPG w radiofonii DAB opisany jest w języku XML (ang. eXtensible Markup Language) skonstruowanym dla opisu danych w układzie hierarchicznym. Zgodnie z spe-

cyfikacją systemu DAB EPG informacje EPG przesyłane są w plikach XML trzech rodzajów:

- Informacje o stacjach radiowych (SI) (ang. Service Information). Tworzą je pliki opisujące podział sygnału multipleksu na kanały (operatorów) począwszy od wskazanej daty
- Informacje o programach (PI) (ang. Programme Information) zawarte są w plikach opisujących rozkład dzienny programów i usług wskazanego operatora uporządkowane przez czas rozpoczęcia, w dniu o określonej dacie, w ramach czasu między 00:00:00 oraz 23:59:59
- Informacje o grupach (GI) (ang. Group Information). Tworzą je pliki opisujące usługi powiązane tematycznie, czy seryjnie i łączone w informację grupową w ramach jednego kanału począwszy od wskazanej daty

Każdy program, czy usługa, opisana jest przez swój identyfikator, nazwę operatora, może zawierać słowny krótki opis, numer wersji, czas wykreowania, oraz szereg dalszych parametrów, które mogą zostać wykorzystane do budowy informacji o programach EPG w odbiorniku. W zależności od wielkości pamięci przeznaczonej na dekodery EPG w specyfikacji opisano dwa profile: bazowy oraz zaawansowany. Bazowy, dla odbiorników o pamięci nie większej niż 25 kB, zawiera ograniczoną liczbę elementów i atrybutów kodowanych w prostym, binarnym kodzie [50, aneks A]. Profil zaawansowany uwzględnia również pozostałe atrybuty zakodowane binarnie oraz dodatkowo poddane kompresji.

Programy łączone w grupy są klasyfikowane przez typy:

- serie, są to programy szeregowane w pewne sekwencje
- pokaz (ang. show), zbiór serii
- koncepcję
- magazyn (ang. magazine), zbiór programów edytowanych koherentnie
- topic
- kompilację
- inny zbiór
- inny wybór

Sposób prezentacji w odbiorniku informacji o programach zależy od producenta. Należy się spodziewać, że odpowiednie informacje będą dostosowywane stopniowo do indywidualnych upodobań odbiorców [lit. 38].

7.7.2 Kodowanie oraz transport przewodnika po programach w systemie DAB

Przewodnik EPG opisany w języku XML jest rozprawiany i aktualizowany w systemie DAB jako zespół multimedialnych obiektów MOT tworzących karuzelę. System EPG może informować o programach i usługach multipleksów różnych od aktualnie transmitowanego. Pliki EPG XML przed transmisją podlegają prostemu binarnemu kodowaniu oraz fragmentacji. Pliki z profili podstawowego (basic) oraz zaawansowanego (advanced) dotyczące jednego multipleksu muszą znajdować się w ramach jednej karuzeli

MOT, ponieważ pliki zaawansowanego profilu zawierają uzupełnienie danych profilu podstawowego i dekodery EPG profilu zaawansowanego musi dekodować oba pliki.

Indywidualne obiekty MOT tworzy każdy z plików EPG XML opisujących profil podstawowy w ramach każdego typu informacji.

Dodatkowe parametry i atrybuty programów multipleksu uwzględniane w ramach profilu zaawansowanego mogą podlegać dalszej kompresji i tworzą nowe obiekty o elastycznej organizacji: podział na obiekty może wynikać z podziału na kanały, bądź dni. Aby obiekty MOT zawierające parametry z podstawowych oraz zaawansowanych profili mogły być dekodowane łącznie – pliki z dopełniającymi się informacjami zawierają rozróżniające je identyfikatory oraz numery wersji.

Obiekty MOT profilu podstawowego nie mogą przekraczać 16 kB. Obiekty profilu zaawansowanego nie mają ograniczonej pojemności.

W celu ograniczenia pojemności plików przesyłających informacje przewodnika po programach dane EPG przed transmisją podlegają kompresji poprzez kodowanie.

Transmitowane obiekty MOT zawierające informacje EPG nie są przetwarzane w odbiornikach, w których ta funkcja nie została zaimplementowana.

8 TRANSMISJA USŁUG W SIECI ZBIORCZEJ MULTIPLEKSU DAB: INTERFEJS STI

Jeżeli system DAB ma służyć do radiotransmisji usług multimedialnych – dostawcy takich usług muszą posiadać możliwość komunikowania się w zunifikowany sposób z operatorem multipleksu systemu DAB. Unifikacja ma na celu stosowanie programowego wspomaganie organizacji oraz obsługi funkcji multipleksu.

Komunikacja dostawcy usługi z operatorem multipleksu ma na celu dwie podstawowe funkcje:

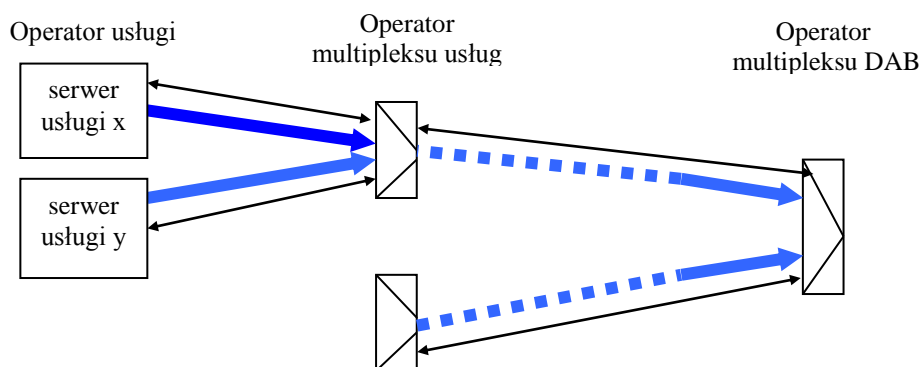
- ustalenie warunków i kolejnych parametrów radiotransmisji usługi w multipleksie DAB
- transmisję samej usługi a także opisujących ją parametrów

Wskazane funkcje realizowane są przez interfejs transportu usług STI (ang. Service Transport Interface) [3], lub jego części ujętych w trzech poziomach dla realizacji ograniczonych funkcji [41].

Ustalenie warunków i kolejnych parametrów radiotransmisji usługi w multipleksie DAB wymaga komunikacji dwukierunkowej między operatorami usługi oraz multipleksu i jest realizowana poprzez część kontrolną interfejsu STI oznaczaną akronimem STI-C (ang. Service Transport Interface - Control part).

Transmisja kolejnych składników różnych usług odbywa się w trybie jednokierunkowym od dostawcy czy operatora usługi do operatora multipleksu poprzez część transportową interfejsu STI o akronimie STI-D (ang. Service Transport Interface-Data part).

Transmisja usług do operatora multipleksu DAB może być przeprowadzana kilkustopniowo w konfiguracji drzewa. Interfejs STI służy wówczas do obsługi pośrednich połączeń operator usługi – operator multipleksu pośredniego oraz multipleksu pośredniego z multipleksem DAB. Ten system połączeń ilustruje rys. 8-1.

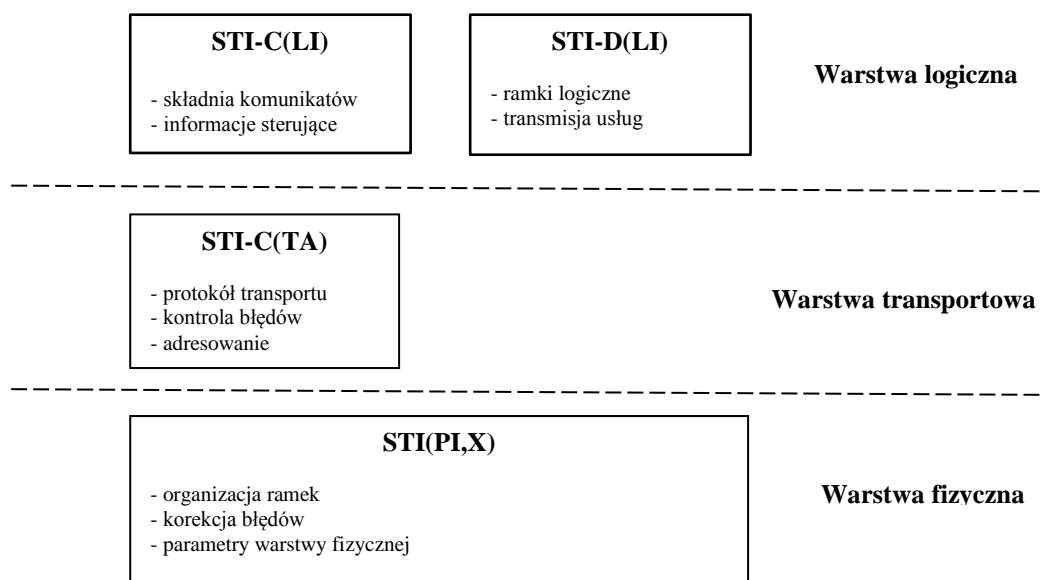


Rys. 8-1 Transmisja usług dla systemu DAB : konfiguracja drzewa

Każdy operator sieci zbiorczej usług multipleksu posiada własny unikalny identyfikator. Operator podrzędnego multipleksu usług posiada identyfikator SPID (ang. Service Provider Identifier), a operator nadrzędnego multipleksu usług identyfikator EPID (ang. Ensemble Provider Identifier).

Do komunikacji między operatorem usługi oraz operatorem multipleksu, czy operatorem multipleksu podrzędnego oraz operatorem multipleksu nadrzędnego, można wykorzystywać łącza różnego typu. Uniezależnienie organizacji komunikatów od typu łącza transmisyjnego wymagało wprowadzenia warstw interfejsu STI:

- warstwy logicznej LI (ang. Logical Interface) interfejsu STI, dla każdej z części:
 - a) części kontrolnej STI-C, STI-C(LI)
 - b) części transportowej usług STI-D, STI-D(LI)
 - warstwy adaptacyjnej TA (ang. Transport Adaptation) części kontrolnej STI-C(TA)
 - warstwy transportu dla STI-C oraz STI-D
 - warstwy fizycznej
- zgodnie z rys. 8-2.



Rys. 8-2 Warstwy protokołu STI

8.1 Warstwa logiczna interfejsu transportu usług STI

Logiczna warstwa interfejsu transportu usług STI składa się z części kontrolnej STI-C(LI) oraz części transmisji usług STI-D(LI).

8.1.1 Interfejs STI-C(LI)

Interfejs STI-C(LI) realizowany jest poprzez wymianę komunikatów między operatorem usługi i operatorem multipleksu.

Każdy komunikat składa się z pól:

- kodu komendy CMD (ang. Command) określający kategorię komunikatu
- rozszerzenia EXT (ang. Extension) precyzującego typ komunikatu
- pól parametrów (ang. Data fields) o liczbie określonej przez typ komunikatu
- ogranicznika DELIM (ang. Delimiter)

Interfejs STI-C(LI) uwzględnia siedem kategorii komunikatów odpowiadających różnym zadaniom:

- 1) komunikaty akcji (ang. action messages)
- 2) komunikaty konfiguracyjne (ang. configuration messages)
- 3) komunikaty pakietu FIG (FIG file messages)
- 4) komunikaty siatki FIB (ang. FIB grid messages)
- 5) komunikaty zasobów (ang. resource messages)
- 6) komunikaty informacyjne (information messages)

7) komunikaty nadzoru (ang. supervision messages)

Liczba typów komunikatów w poszczególnych kategoriach waha się od 6 do 16. Dla uzyskania określonych informacji powtarzane są zestawy komunikatów tworzących tzw. sesje. Inicjatywa rozpoczynania sesji zależy od kategorii komunikatów oraz poszczególnych typów w ramach kategorii komunikatu.

Ad 1). Komunikaty akcji (6 typów) służą do informowania operatora usług o czasie startu oraz parametrach kolejnej konfiguracji. Informacje przekazuje operator multipleksu na żądanie operatora usługi.

Ad 2) Komunikaty konfiguracyjne (łącznie 10 typów) pozwalają na ustalenie konfiguracji usługi w ramach multipleksu

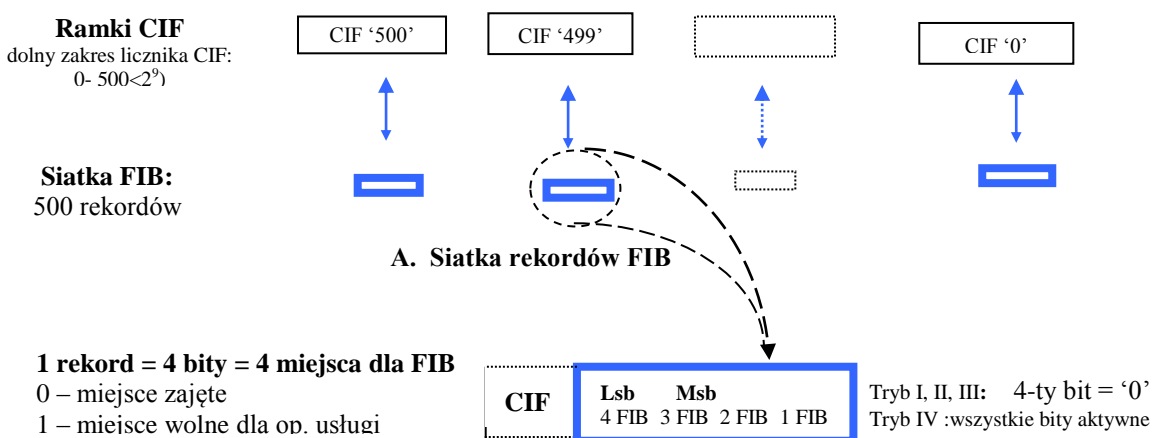
- podkanału
- typ usługi
- składowej usługi (programu)
- składowe programu
- ustalonej ramki FIG

Zdefiniowaną konfigurację aktywuje się komunikatami z kategorii komunikatów akcji.

Ad 3) Komunikaty pakietu FIG (8 typów) służą do definiowania, monitorowania oraz wzajemnego transferu między operatorami kolejno wybranych ramek FIG oraz wskazania ramek FIG do radiotransmisji.

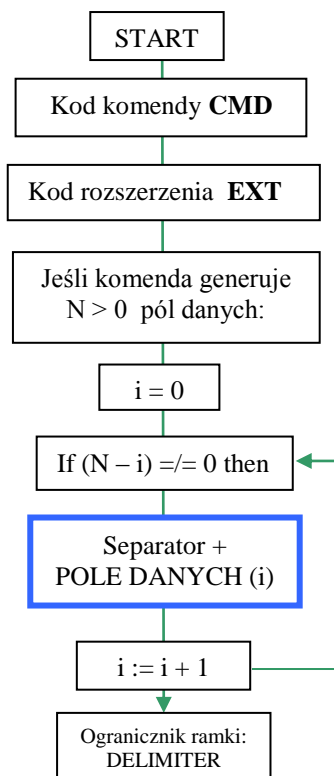
Nie dotyczy to ramek FIG definiujących konfigurację multipleksu (MCI): są one wyłączone z pakietu, ponieważ może je kreować jedynie operator multipleksu

Ad 4) Komunikaty siatki FIB (6 typów) służą do uzgodnień kolejności synchronicznego włączania bloków FIB do ramek CIF w strukturze sygnału DAB. Siatkę FIB stanowi 500 rekordów, z których każdy reprezentuje status bloku FIB związanego z jedną ramką CIF. Koncepcję siatki FIB przedstawia **rys. 8-3**. Status rekordu FIB określa czy treść danego FIB jest już zdefiniowana przez operatora multipleksu czy pozostaje do wypełnienia przez operatora usługi. Informacja o siatce FIB przekazywana jest od operatora multipleksu do operatora usług w celu wskazania, w których ramach CIF spośród kolejnych 500 są wolne miejsca do wstawienia bloków FIB. Każdy rekord siatki określa status jednego miejsca (wolne lub zajęte).

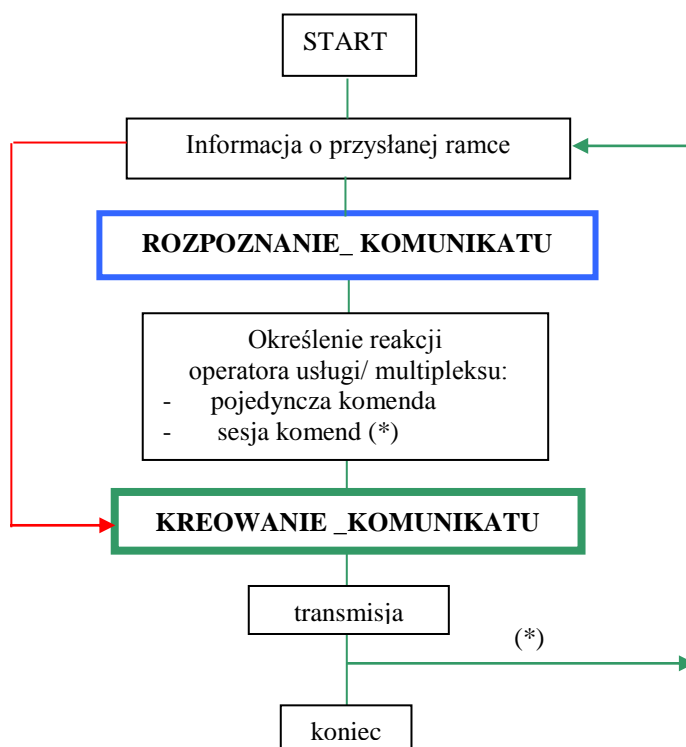


A. Budowa rekordu FIB

Rys. 8-3 Koncepcja siatki FIB



Rys. 8-4 Algorytm kreowania/ rozpoznania komunikatu STI_C(LI)



Rys. 8-5 Algorytm określania warunków transmisji ze strony operatora usługi lub multipleksu poprzez komunikaty STI-C(LI)

Siatka FIB transmitowana jest od operatora multipleksu do operatora usług w sesji złożonej z 10-ciu kolejnych komunikatów po 50 rekordów każdy. Bloki FIB operatora usług odpowiadające wolnym miejscom w siatce FIB zwracane są operatorowi multipleksu w postaci strumienia FIC FIB poprzez interfejs STI-D (patrz par. 8.1.2) synchronicznie z ramkami strumieni podkanałów MSC.

Ad 5) Komunikaty zasobów (łącznie 8 typów)

Komunikaty zasobów służą do informowania operatora usług przez operatora multipleksu o aktualnej organizacji zasobów przyznanych operatorowi usług w ramach multipleksu:

- liczbie identyfikatorów podkanałów
- liczbie identyfikatorów składowych programu
- liczbie identyfikatorów usług kanału szybkich informacji
- liczbie składowych w trybie pakietowym

Informacje o zasobach są dostarczane w ramach sesji. Na początku sesji operator multipleksu informuje o liczbie komunikatów w różnych kategoriach zasobów, które zostają następnie w sesji przesłane.

Ad 6) Komunikaty informacyjne (łącznie 16 typów)

Komunikaty tej kategorii dotyczą możliwych oraz stosowanych konfiguracji multipleksu. Można je podzielić na grupy komunikatów konfiguracyjnych dotyczących:

- multipleksu, dla określenia liczby czy nazw konfiguracji MCI możliwych do zapamiętania oraz aktualnie będących w użyciu
- plików FIG, dla określenia liczby czy nazw plików FIG, które można przechować, a także liczby plików aktualnie używanych
- licznika ramek i czasu, stosowane przez operatora usług dla określenia relacji między licznikiem ramek CIF, licznikiem ramek STI-D oraz czasem uniwersalnym w formacie UTC

Ad 7) Komunikaty nadzoru (łącznie 7 typów)

Komunikaty kategorii nadzoru pozwalają na:

- wymianę komunikatów o błędach protokołu STI-C(LI)
- przekazanie statusu alarmu interfejsu STI-D(LI), błędów warstwy fizycznej interfejsu oraz błędów aparatury

Jak wspomiano wyżej - komunikacja określona interfejsem STI-C działa obustronnie na łączu operator usługi – operator multipleksu. Ogólny algorytm współpracy operatorów podczas sesji komunikacyjnej zawiera rys. 8-4 oraz rys. 8-5. Należy tu brać pod uwagę, że pewne komunikaty występują jedynie w ramach sesji. Inicjacja wymiany informacji nie zawsze jest dozwolona równorzędnie obu stronom.

Informacje uzyskane bądź zweryfikowane w trakcie sesji STI-C służą do formowania ramek części transportowej interfejsu STI-D(LI).

8.1.2 Część transportowa interfejsu transportu usług STI-D(LI)

Część transportowa interfejsu transportu usług STI-D(LI) definiuje organizację logiczną jednokierunkowej transmisji usług od operatora (dostawcy) usługi do operatora multipleksu. Logiczną warstwę interfejsu tworzą ramki zawierające pojedynczą lub więcej usług w postaci strumieni danych oraz strumienie składające się z plików pakietów FIG lub FIB.

Ramki interfejsu STI-D(LI) posiadają stałą długość po 24 milisekundy. Pojemność ramki DL (ang. Data Length) jest określona przez liczbę strumieni i ich indywidualne pojemności ($< 2^{13}$ B).

Indywidualne strumienie służą przekazywaniu treści stanowiących wkład do głównego kanału transmisyjnego MSC lub kanału szybkich informacji FIC, w różnych trybach. Wyjątkiem są dane MSI (ang. Multipleks Service Information), gdyż interfejs STI-D(LI) nie służy przekazywaniu informacji o multipleksie. O sposobie organizacji transportu otrzymanych danych decyduje operator multipleksu.

Program audio po kompresji transmitowany jest w postaci ramek: jedna ramka MPEG w jednej ramce STI-D dla częstotliwości próbkowania 48 kHz, lub dla częstotliwości próbkowania 24 kHz dwie połówki ramki MPEG w dwóch kolejnych ramkach STI-D.

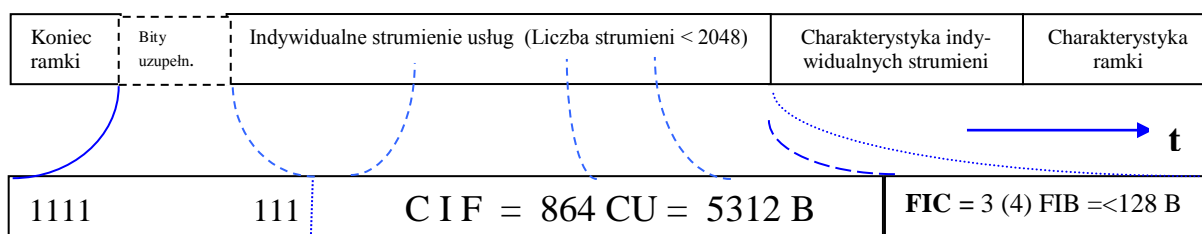
Analogicznie postępuje się z innymi usługami w trybie strumieniowym.

Usługi w trybie pakietowym włączane są asynchronicznie: liczba pakietów w ramce STI-D określana przez przydział pojemności w ramce CIF w ramach wymiany informacji między operatorami usługi oraz multipleksu poprzez interfejs STI-C (patrz kolejny paragraf).

Grupy szybkich informacji FIG przewidziane do włączenia do kanału FIC transmitowane są w ramach STI-D w liczbie uzgodnionej między operatorami usług oraz multipleksu. Transmisja ramek STI-D przez operatora usług winna zapewnić repetycje ramek FIG z wymaganą periodycznością.

Transmisja ramek STI-D z strumieniem bloków szybkich informacji FIB (< 4 dla trybu I, II, IV oraz < 5 dla trybu III) przeprowadzana jest dla asynchronicznego (dopuszczalne opóźnienie w serwerze nadajnika DAB) lub synchronicznego (bez zatrzymań) włączenia do kanału FIC.

Ramka STI-D może zawierać równocześnie strumienie różnych usług.



Rys. 8-6 Relacja zawartości ramek STI-D(LI) oraz CIF

Algorytm organizacji ramki interfejsu STI-D(LI) przedstawiony jest na **rys. 8-7**.

Tak jak i ramka algorytm zawiera:

- status błędu ERR (ang. Error)
- charakterystyka ramki FC (ang. Frame Characterisation)
- charakterystyka indywidualnych strumieni STC (ang. Stream Characterisation)
- główny strumień danych MST (ang. Main Stream Characterisation)
- pole stempla czasowego (opcjonalnie) TIST (ang. Time Stamp)

Ad A. Status błędu ERR ramki STI-D(LI)

Status błędu (1B) przybiera jedną z czterech wartości (0 – 3). Poziom zerowy oznacza bezbłędną transmisję, poziom 3 – błędy transmisji dyskwalifikujące dalszą transmisję danych. Zawartość pola ERR wynika z oceny jakości transmisji ramki po odbiorze po stronie multipleksu. W zależności od wartości pól CRC nagłówka (EOH) oraz indywidualnych strumieni danych (MST) ustalamy status błędu ERR:

- 0 – gdy kody CRC pól nagłówka EOH oraz strumieni MST są poprawne
- 1 - gdy tylko kod CRC pola strumieni usług MST nie jest poprawny
- 2 - gdy tylko kod CRC nagłówka EOH nie jest poprawny
- 3 – kody CRC zarówno nagłówka EOH jak i pola strumieni usług MST wskazują na błędy

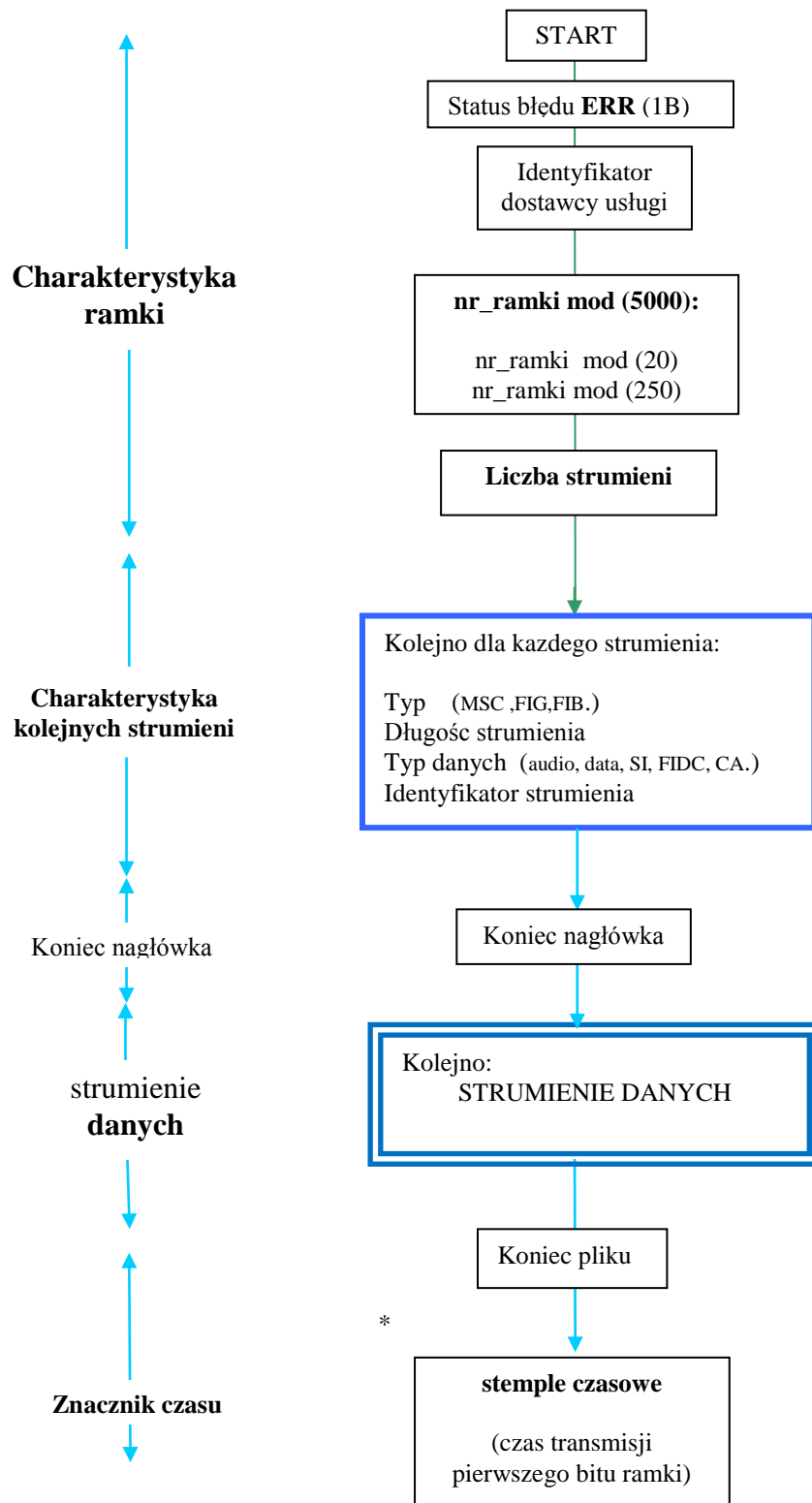
Bez przeszkód przetwarzane są dalej ramki ze statusem błędu 0 i 1. Ramki ze statusem błędu 2 w szczególnych przypadkach mogą przejąć nagłówek poprzedniej ramki i być dalej transmitowane. Status błędu równy 3 oznacza koniec przetwarzania ramki.

Ad B. Charakterystyka ramki zawiera pola określające:

- identyfikator dostawcy usługi SPID (ang. Service Provider Identifier)
- długość DL (ang. Data Length field) całej ramki STI-D
- numer ramki modulo 5000
- liczbę indywidualnych strumieni danych DFCT (ang. Data Frame Count)

Ad C Charakterystyka indywidualnych strumieni kolejno dla każdego strumienia danych podaje jego parametry:

- *identyfikator typu* transmitowanych danych TID (ang. Type Identifier).
Jest to kod oznaczający odpowiednio:
 - podkanał MSC
 - składowa podkanału MSC:
 - strumień FIG kanału FIC
 - strumień FIB kanału FIC
 - informacje wewnętrzne na użytek operatora
- *długość strumienia* danych STL (ang. Stream Length)
(Długość strumienia danych w bajtach podawana jest w 13-bitowym polu. Stąd długość poszczególnych strumieni mieści się w zakresie do 8 kbajtów)
- *rozszerzenie identyfikatora typu* transmitowanych danych TIDext (ang. Type Identifier extension). Jest to pole z kodem rozszerzenia, który dla każdego typu określa klasyfikację zawartości strumienia danych typu:
 - Podkanał MSC:
 - strumień audio
 - tryb jednorodny
 - tryb pakietowy
 - Składowa podkanału MSC:
 - tryb pakietowy
 - Strumień FIG kanału FIC:
 - informacje programowe SI
 - usługi kanału szybkich informacji FIDC
 - informacje o dostępie warunkowym CA
 - Strumień FIB kanału FIC:
 - asynchroniczne wprowadzanie
 - synchroniczne wprowadzanie
- *Identyfikator strumienia* danych (ang. STID – Stream Identification)
(Dla określonego dostawcy usługi każdy strumień danych jest jednoznacznie określony przez 12-bitowy kod identyfikujący strumień)



Rys. 8-7 Podstawowa struktura ramek protokołu STI-D(LI)

Ad D. *Indywidualne strumienie usług_ MSD* (ang. Main Stream Data)

Zgodnie z ‘charakterystyką indywidualnych strumieni danych’ w nagłówku ramki w trzeciej części ramki STI-D(LI) przesyłane są kolejne strumienie.

Ad E. Opcjonalnie do pakietu dołączone może być *pole stempla czasowego TST* (ang. Time Stamp). W polu tym umieszczany jest czas transmisji pierwszego bitu ramki STI-D(LI). Informacja zawarta w tym polu pozwala na określenie czasu transmisji ramki od dostawcy usługi do nadajnika. Umożliwia to synchronizację różnych usług oraz składowych usług podczas organizacji ramek multipleksu w serwerze nadajnika DAB.

8.2 Warstwa adaptacyjna części kontrolnej interfejsu STI

Transmisja komunikatów interfejsu STI-C(LI) z pomocą różnego rodzaju łączy wymaga wyposażenia ich w niezbędne do transmisji informacje. Służy do tego warstwa adaptacyjna składająca się z:

- warstwy transportu
- warstwy sieci
- warstwy łączącej

W wyniku adaptacji otrzymujemy dostosowane do transportu ramki STI-C(TA) (TA - ang. Transport Adaptation).

8.3 Warstwa transportu interfejsu STI

Warstwa transportu interfejsu STI składa się z ramek pozwalających na transport osobno ramek STI-D(LI), ramek STI-C(TA), bądź obu tych typów ramek jednocześnie.

W rezultacie otrzymujemy uniwersalną ramkę STI(PI,X) implementowaną następnie w warstwie fizycznej (PI – Physical Interface) dla wybranego łącza fizycznego X.

8.4 Warstwa fizyczna interfejsu STI

Warstwa fizyczna interfejsu STI określa rzutowanie ramki transportu STI(PI,X) na pakiety wybranych typów łączy transmisyjnych. Ze względu na różne warunki dla transmisji synchronicznych oraz asynchronicznych rozróżniamy dwie klasy łączy:

Łącza synchroniczne:

- G.703
- V.11
- WG1/2
- IEC958
- G.704/1 (łącze G.704 z korekcją błędów transmisji)
- G.704/2 (łącze G.704 bez korekcji błędów transmisji)
- H.221

Łącza asynchroniczne:

- V.24

Przejście od warstwy transportu do warstwy sieci i szczegółowe transformacje ramek STI(PI,X) na ramki łączy różnych systemów opisane są w specyfikacji interfejsu.

9. TRANSMISJA SYGNAŁU DO SIECI ROZSIEWCZEJ: INTERFEJS ETI

W wyniku zmultipleksowania programów i usług powstaje uporządkowany ciąg ramek logicznych tworzących sygnał multipleksu. Po zakodowaniu konwolucyjnym ramki multipleksu zostaną przekształcone w ramki logiczne systemu DAB. Ponieważ kodowanie konwolucyjne zwiększa pojemność sygnału multipleksu, czyli koszty jego transmisji do nadajników - ekonomika rozprowadzania sygnału z serwera multipleksera do nadajników sieci jednoczesnościowych nakazuje transmitować sygnał multipleksu zamiast pełnego sygnału DAB. Do transmisji sygnału multipleksu można użyć łączy różnego typu (satelitarne, radioliniowe, telefoniczne publiczne lub dzierżawione, etc.). Aby uniezależnić transmisję sygnału multipleksu od typu stosowanego łącza – transport multipleksu został zunifikowany przez specyfikację interfejsu ETI (ang. Ensemble Transport Interface) [5].

Organizację transmisji multipleksu rozdzielono na dwie części :

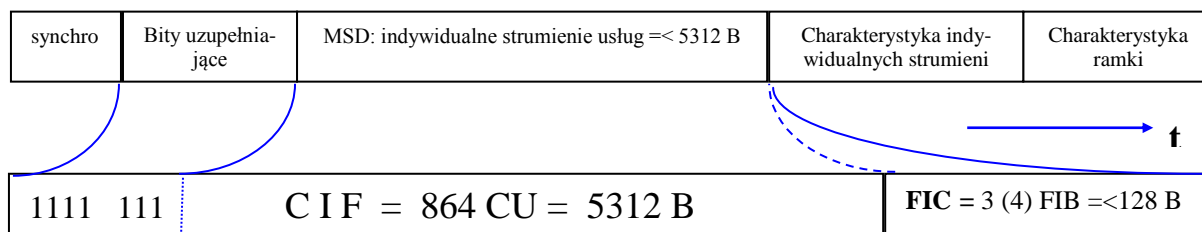
- niezależny od fizycznego typu sieci transmisyjnej interfejs ETI(NI) (ang. Ensemble Transport Interface – Network Independent)
- adaptowany do konkretnego typu sieci interfejs ETI(NA,n) (ang. Ensemble Transport Interface – Network Adaptation), gdzie ‘n’ to wskaźnik typu łącza.

Niżej omawiamy podstawowe cechy interfejsu ETI.

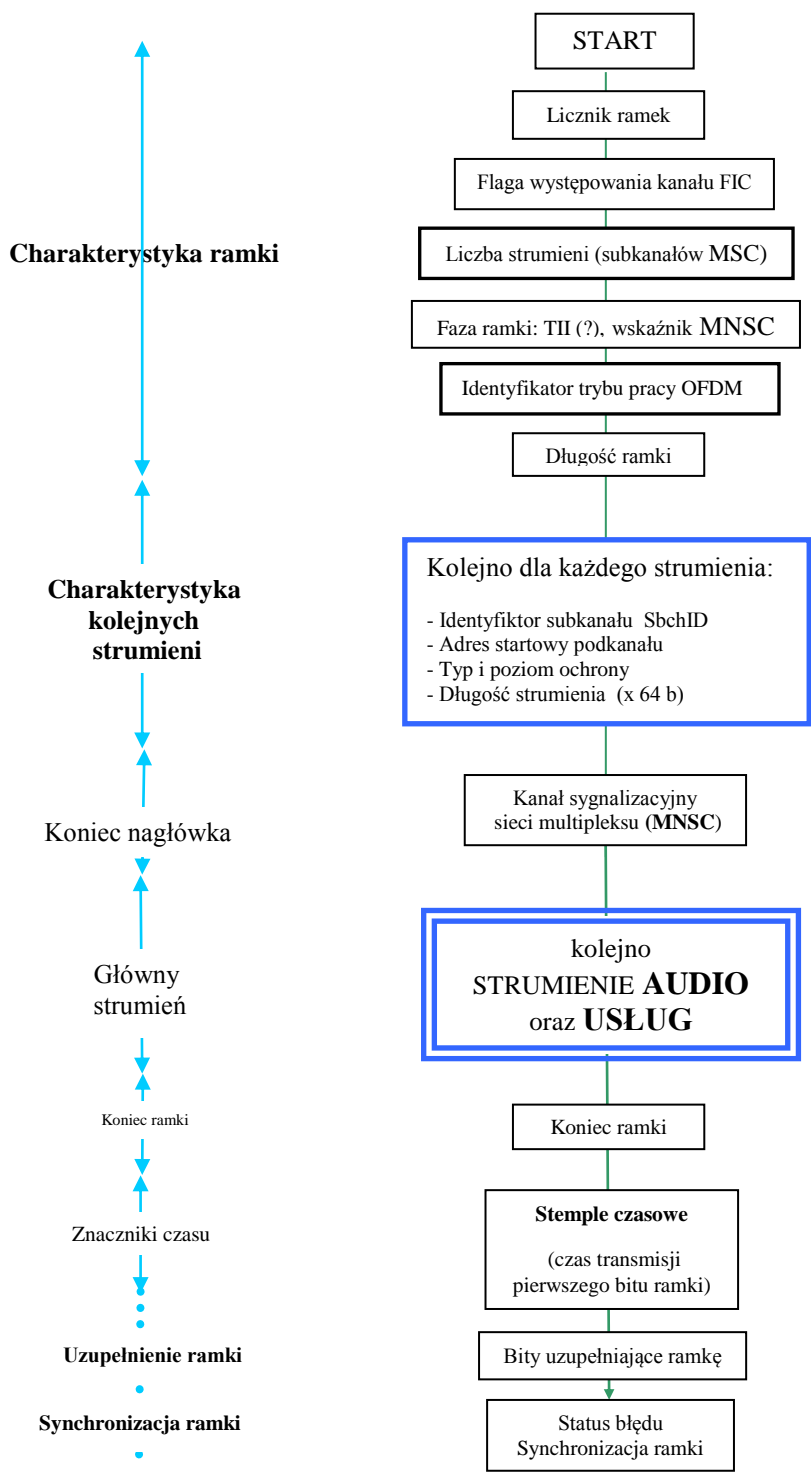
9.1 Interfejs ETI(NI)

Warstwę logiczną interfejsu transportu ‘ensemble’u’ ETI (ang. Ensemble Transport Interface) tworzą ramki ETI(NI). Strukturę ramki opisuje algorytm przedstawiony na rys. 9-2. Czas każdej ramki wynosi 24 ms, pojemność 6 144 bajtów, więc wymagana przepustowość netto łącza dla tego interfejsu wynosi 2 048 kbit/sek.

Ramka ETI(NI) przynosi treść jednej ramki wspólnego przeplotu CIF (ang. Common Interleaved Frame) o pojemności 864 jednostek CU (ang. Common Unit) czyli łącznie 5312 bajtów oraz dane o organizacji kanału i informacje uzupełniające. Treść ramki przekazywana jest w polu głównego strumienia usług w postaci strumieni danych, z których jeden może zawierać treść kanału FIC, a każdy z pozostałych odpowiada jednemu z dopuszczalnych (max 64) podkanałów głównego kanału transmisyjnego MSC (ang. Main Service Channel). Relację zasadniczych zawartości ramek ETI(NI) oraz ramek DAB ilustruje rys. 9-1.



Rys. 9-1 Relacja zawartości ramek ETI(NI) oraz CIF



Rys. 9-2 Organizacja ramki ETI(NI)

Ramka ETI (NI) dzieli się na podstawowe części:

- A. charakterystykę ramki FC (ang. Frame Characterisation)
- B. charakterystykę kolejnych strumieni STC (ang. Stream Characterisation)
- C. koniec nagłówka EOH (ang. End of Header)
- D. główny strumień usług MST (ang. Main Stream data)
- E. koniec pliku EOF (ang. End of File)
- F. znacznik czasu TIST (ang. Time Stamp)
- G. dopełnienie ramki FRPD (ang. Frame Padding)
- H. pole synchronizacji SYNC (ang. Synchronisation)

Ad. A. Charakterystyka ramki składa się z pól:

- licznika ramek modulo 250
Licznik ramek odpowiada dolnej części licznika ramek CIF z FIG(0/0)
- jednobitowej flagi kanału szybkiej informacji FICF (ang. FIC Flag).
Jeśli ramki kanału FIC są umieszczone w polu głównego strumienia wówczas $FICF = 1$
- liczby strumieni NST (ang. Number of Streams).
Liczba strumieni jest równa liczbie podkanałów głównego kanału usług ansamblu DAB i dlatego NST zawiera się w granicach od 1 do 64. Gdy jednak nadajnik rozpoczyna pracę – pierwsze 15 ramek może zawierać jedynie ramki FIG ze względu na dłuższy czas przetwarzania ramek logicznych głównego kanału transmisyjnego (przeplot czasowy !). W tym czasie liczba strumieni $NST = 0$
- faza ramki FP (ang. Frame Phase).
Jest to trzybitowy licznik modulo 8 pełniący podwójną rolę:
 - a) jako wskaźnik włączenia identyfikatora nadajnika TII (ang. Transmitter Identification Information) do zerowego symbolu generatora OFDM zgodnie z parametrami końca nagłówka w komunikatach ASS typu 0
 - b) bity 2,3 numerują kolejne pary bajtów w kanale sygnalizacyjnym sieci multiplexu MNSC (Multiplex Network Signalling Channel) zgodnie z komunikatem FSS typu 0 w końcu nagłówka
- identyfikatora trybu pracy MID (ang. Mode Identity) generatora OFDM
Dwubitowe pole MID określa tryb pracy generatora OFDM:
0 – IV, 1 – I, 2 – II, 3 – III
- długości ramki FL (ang. Frame Length)
Pole FL (11 b) nie określa stałej długości całej ramki (6 144 B = 1 536 słów) lecz liczbę słów (słowo = 32 b) pól merytorycznych

Ad B. Charakterystyka strumieni STC podaje kolejno dla strumieni (= podkanałów)

- od 1 → NST (ang. Number of Streams) parametry pól:
 - identyfikator podkanału SbcID (ang. Subchannel Identifier)
 - adres startowy podkanału SAD (ang. Subchannel start Address) w jednostkach CU
 - typ oraz poziom ochrony podkanału, TPL (ang. Type and Protection Level)
Jest to pole alternatywnie zawierające:
 - a) parametry ochrony określone przez tabelę współczynników ochrony dla sygnału audio, [1]
 - b) poziom ochrony dla multimedialnych
- długość strumienia podkanału, STL (ang. Stream Length), w liczbie jednostek CU niekodowanego strumienia podkanału w głównym strumieniu MST

Ad C. Koniec nagłówka składa się z dwóch pól:

- kanału sygnalizacji sieci multipleksu MNSC (ang. Multiplex Network Service Channel)

Kanał sygnalizacyjny między serwerem ETI oraz nadajnikiem DAB. Tworzą go 2 bajty w każdej ramce ETI(NI). Pary bajtów z czterech kolejnych ramek ETI tworzą tzw. grupę sygnalizacyjną. Komunikaty w grupach sygnalizacyjnych mogą być przesyłane synchronicznie z ramką (FSS – Frame Synchronous Signalling), bądź asynchronicznie w stosunku do zawartości ramek (ASS – Asynchronous Signaling). Wskaźnik MNSC w polu fazy ramki określa pary bajtów grupy sygnalizacyjnej w aktualnej ramce ETI. Najważniejszy komunikat FSS typu 0 zawiera grupę informacji czasowych (Time Information Group). Określają one datę i czas z dokładnością do mikrosekund. Opcjonalnie czas dotyczy emisji pierwszego bitu ramki ETI, ale może też nie być zsynchronizowany z ramką. Poza typem zerowym istnieją typy komunikatów FSS zarezerwowane dla dalszych zastosowań (Rfu), oraz definiowane przez użytkownika.

Komunikaty ASS dzielą się na grupy. Komunikat ASS typu 0 pozwala operatorowi sieci SFN ustalić dla każdego nadajnika sieci o określonym adresie ustalić kod TII, offset czasu z dokładnością do mikrosekund oraz 16-bitowe słowo kontrolne nadajnika ustalone przez operatora.

Operator multipleksu powyższe dane może ustalić w FIG(0/22), jednak operator sieci SFN poprzez komunikaty ASS typu 0 również uzyskuje wpływ na te ustalenia.

- kod CRC nagłówka ramki

Ad D. Główny strumień MST

Główny strumień usług tworzą strumienie FIC oraz podkanałów MSC:

- strumień FIC – gdy flaga kanału FIC (FICF) w charakterystyce ramki ustawiona jest na 1
- strumienie audio oraz usług od 1 do NST, gdzie NST – liczba strumieni – podana jest w charakterystyce ramki. Długość każdego strumienia STL (podkanału SchID) w jednostkach CU podana jest w charakterystyce strumieni

Ad E. Koniec ramki EOF

Pole końca ramki składa się z dwóch części:

- kodu CRC dla pola MST
- dwóch bajtów wypełnionych jedynekami i zarezerwowanych dla przyszłych zastosowań

Ad F. Znacznik czasu TST

Znaczniki czasu określają czas z maksymalną dokładnością do 61 ns. Gdy pole nie wykorzystywane – wypełnione jedynekami

Ad G. Dopelnienie ramki FRPD

Ponieważ ramka ma określoną pojemność 6 144 bajtów – konieczne jest pole uzupełniające. Jest ono wypełniane jedynekami. W warstwie transportowej pole to może zostać pominięte

Ad H. Synchronizacja ramki SYNC

Synchronizacja ramki składa się z dwóch pól:

- statusu błędu ERR (ang. Error)
- synchronizacji ramki FSYNC

9.2 Interfejs ETI-NA

Ramki warstwy logicznej interfejsu ETI (ang. Ensemble Transport Interface) mogą być przenoszone przez łącza cyfrowe o przepustowości minimum 2.1 Mbit/sek. Rzutowaniem struktury logicznej interfejsu ETI , tj. ETI(NI) na konkretną strukturę logiczną fizycznego łącza typu 'n' zajmuje się interfejs adaptacji interfejsu ETI do sieci oznaczany akronimem ETI(NA,n) (ang. Ensemble Transport Interface – Network Adaptation).

Specyfikacja interfejsu ETI(NI) związana jest z konkretnym typem łącza transmisyjnego. Wchodzenie w opisy konkretnych łącz wykracza poza ramy niniejszego opracowania. Dlatego zainteresowanych zapoznaniem się z specyfikacją interfejsu ETI(NA,n) odsyłamy do oryginalnego materiału [5].

10 MECHANIZMY DOSTĘPU WARUNKOWEGO W SYSTEMIE DAB

Dostęp warunkowy w systemie DAB to zespół procedur odpowiedzialnych za kontrolę dostępu jedynie upoważnionym kategoriom odbiorców do określonych programów oraz usług. Blokada dostępu jest realizowana poprzez kontrolowane zniekształcanie użytecznego sygnału w procesie tzw. skremblingu (ang. scrambling). Polega on na sumowaniu bitów wskazanego programu z bitami ciągu pseudolosowego. Odczytanie takiego sygnału w odbiorniku wymaga powtórnego zsynchronizowanego sumowania z identycznym ciągiem pseudolosowym. A do tego potrzebna jest znajomość kodu uruchamiającego generator ciągu pseudolosowego. Kod udostępniany jest po sprawdzeniu, czy dany odbiorca jest do tego uprawniony. System dostępu warunkowego radiofonii DAB zawiera mechanizmy dystrybucji uprawnień do odbioru wskazanych (wykupionych) treści i usług.

10.1 Zastosowania systemu dostępu warunkowego

Ograniczenie dostępu do określonych usług systemu DAB może wynikać z różnych powodów:

- warunku odpłatności za określone usługi
- poufności pewnych komunikatów i danych np. dla upoważnionych służb państwowych
- ochrony niepełnoletnich przed dostępem do wskazanych treści
- zastrzeżenia wskazanych usług dla zamkniętego kręgu odbiorców, np. sieci sklepów
- ograniczenia informacji do określonego rejonu geograficznego

Oferta radiofonii DAB może zawierać różnego rodzaju multimedialne usługi. Samofinansowanie systemu wymaga, by przynajmniej część z nich była płatna, a więc niedostępna dla osób nieuprawnionych.

Wskazane funkcje zabezpiecza **system dostępu warunkowego CA** (ang. Conditional Access) radiofonii DAB. System dostępu warunkowego pozwala na elastyczne określanie uprawnień:

- operatora systemu CA
- operatorów usług oferowanych w systemie DAB
- różnych grup użytkowników systemu

Specyfikacja systemu DAB uwzględnia różne możliwości podając ogólne ramy dla wprowadzenia systemu CA poprzez podanie mechanizmów transportu komunikatów systemu CA i jego parametrów. System DAB nie definiuje konkretnego systemu warunkowego dostępu pozostawiając w tym względzie swobodę administracjom krajowym oraz poszczególnym operatorom.

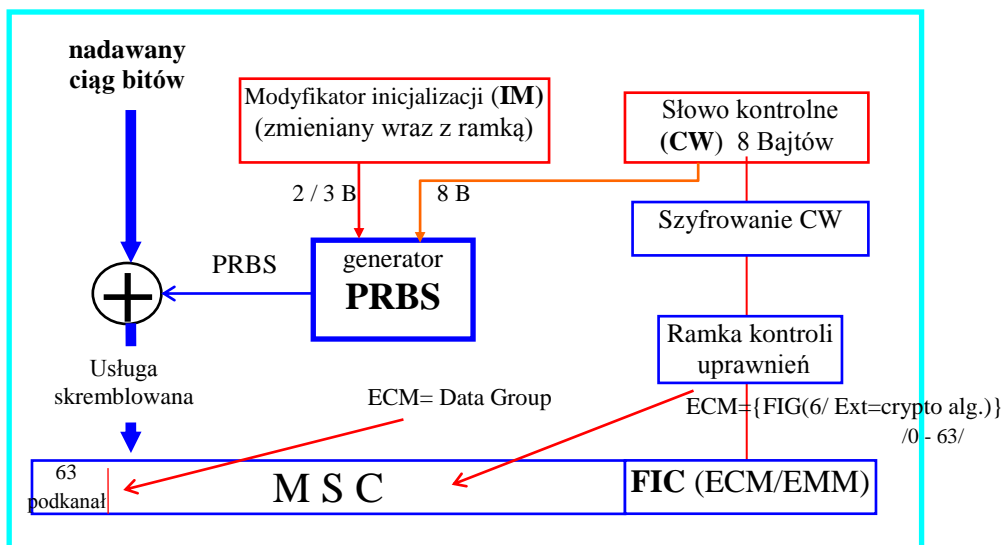
10.2 Fizyczna realizacja systemu CA

Ograniczenie dostępu do określonych programów czy usług w systemie DAB realizowane jest poprzez zniekształcanie tych danych w procesie tzw. skremblingu (ang. scrambling).

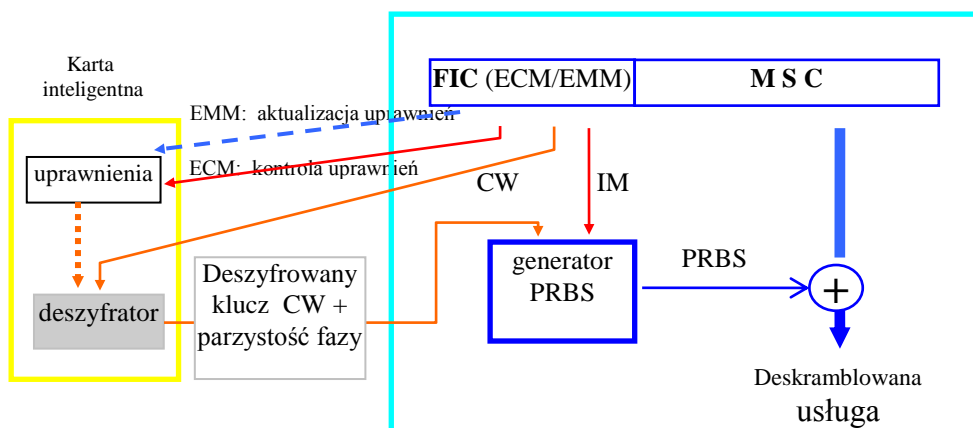
Koncepcję mechanizmów skremblingu po stronie nadawczej oraz deskremblingu po stronie odbiorczej przedstawia rys. 10-1.

Skrembling polega na sumowaniu modulo 2 użytecznego ciągu bitów z bitami ciągu pseudolosowego z generatora ciągu pseudolosowego bitów PRBS (ang. Pseudo-Random Bit Series). Przykładem generatora PRBS jest rozbudowany generator Mealy'ego zgodnie ze spe-

Po stronie nadajnika:



Po stronie odbiornika:



Znaczenie akronimów:

IM (ang. Initialization Modifier) – modyfikator inicjalizacji (słowo współinicjujące start generatora PRBS)

PRBS (ang. Pseudo Random Binary Sequence) – binarny ciąg pseudolosowy

CW (ang. Control Word) – słowo kontrolne, generowane okresowo

EMM (ang. Entitlement Management Message) – komunikat zarządzania uprawnieniami

ECM (ang. Entitlement Checking Message) – komunikat kontroli uprawnień

Rys. 10-1 Koncepcja mechanizmu skremlingu w systemie DAB

cyfikacją EUROCRYPT [10]. Inicjalizacja pracy generatora następuje po wprowadzeniu **słowa inicjującego IW** (ang. Initialisation Word) o długości 10 lub 11 bajtów, w zależności od sposobu transportu usługi w danym podkanale. Słowo inicjujące składa się z dwóch części:

- **modyfikatora inicjalizacji IM** (ang. Initialisation Modifier) wyliczanego wraz ze zmianą każdej ramki logicznej DAB. W odbiorniku ta część słowa inicjującego jest odtwarzana w oparciu o parametry sygnału (licznik ramek, numer podkanału w kanale MSC)
- **słowa kontrolnego CW** (ang. Control Word), okresowo generowanej części słowa inicjującego. Słowo kontrolne CW jest szyfrowane i przesyłane w kanale szybkich informacji FIDC lub kanale 63 MSC do odbiornika

Skremblowane usługi są ładowane do ramek głównego kanału transmisyjnego MSC lub kanału usług szybkich informacji FIDC. Do transmisji szyfrogramu słowa kontrolnego służą **ramki komunikatów kontroli uprawnień ECM** (ang. Entitlement Control Message). Obok szyfrogramu słowa kontrolnego zawierają one warunki, które musi wypełniać użytkownik systemu uprawniony do odbioru danej usługi. Przed deszyfrowaniem słowa kontrolnego w odbiorniku procesora **systemu kontroli dostępu ACS** (ang. Access Control System) sprawdza, czy założone warunki dostępu do usługi są spełnione.

Role procesora ACS w odbiorniku może pełnić plastikowa karta inteligentna.

Kupując kartę z określonymi uprawnieniami uzyskujemy dostęp do związanych z nimi usług w systemie DAB.

Zakres parametrów ograniczających dostęp do określonych usług operator usług może zmieniać. Zależnie od typu upoważnienia:

- subskrypcja tematyki, poziomu, klasy;
- rezerwacja opłaty za program, usługę
- czas korzystania z usługi

odpowiednie dane zawarte w ACS operator warunkowego dostępu może modyfikować przesyłając komunikaty zarządzające uprawnieniami. Do tego celu służą **komunikaty zarządzające uprawnieniami EMM** (ang. Entitlement Management Messages). Ponieważ karty plastikowe posiadają swoje indywidualne adresy – zarządzanie uprawnieniami można kierować do określonych grup użytkowników systemu, aż do indywidualnych odbiorców włącznie.

10.3 Dostęp warunkowy w systemie DAB

W systemie DAB skremblowanie programów oraz usług możliwe jest dla transportu:

1. sygnału audio w głównym kanale transmisyjnym
2. sygnału usług w trybie strumieniowym w głównym kanale transmisyjnym
3. sygnału usług w trybie pakietowym w głównym kanale transmisyjnym, z możliwością skremblowania na poziomie:
 - 3.1. grup pakietów, dzielonych następnie na pakiety
 - 3.2. indywidualnych pakietów
4. sygnału usług w kanale FIDC z możliwością skremblowania na poziomie:
 - 4.1. poszczególnych usług w kanale FIDC przed podziałem na ramki FIG 5
 - 4.2. indywidualnych ramek FIG z rozszerzeniem 5

Specyfikacja systemu DAB dla każdego trybu transportu podaje:

- sposoby sygnalizacji o kodowanych programach i usługach
- typ słowa inicjującego

- źródła informacji o stosowanych krypto-algorytmach
- sposoby transportu komunikatów o zarządzaniu uprawnieniami EMM oraz uprawnieniach ECM

Informacja o nowym programie czy usłudze pojawia się w komunikacie o nowej konfiguracji multipleksu MCI (ang. Multiplex Configuration Information) w ramce FIG(0/0).

W opisie każdej nowej usługi (FIG(0/2)) zawarte są dane dotyczące zastosowanego systemu CA:

- identyfikator systemu dostępu warunkowego **CAId** (ang. Conditional Access Identifier). Trzy-bitowe pole identyfikatora dopuszcza 7 możliwości. Aktualnie zdefiniowane są trzy warianty:
 - brak warunkowego dostępu
 - norweski standard NR-MSK
 - specyfikacja Eurocrypt [10]
- dla każdej składowej programu czy usługi określona jest:
 - flaga warunkowego dostępu składowej **CA flag** ('0' – bez CA, '1' – CA zastosowane)

Generator RPBS uruchamiany jest przez **słowo inicjujące IW** (ang. Initialization Word) właściwe dla stosowanego trybu transmisji.

Dolna część słowa inicjującego stanowi **słowo kontrolne CW** (ang. Control Word). Słowo kontrolne może być:

- ustalone lokalnie na stałe zarówno w nadajniku jak i odbiorniku. W tym przypadku nie ma potrzeby transportu słowa kontrolnego do odbiornika
- generowane okresowo. W tym przypadku trzeba je przesyłać do odbiornika, co wymaga uprzedniego zaszyfrowania. *Kryptogram słowa kontrolnego* przesyłany jest w ramce ECM wraz z parametrami szyfru. Sześciobitowy *kod typu* krypto-algorytmu umieszczany jest w ramach komunikatu ramki ECM obok jednobitowej fazy. Faza zmienia się wraz z każdą zmianą słowa kontrolnego. W przypadku generacji okresowej słowa kontrolnego jest ono odnawiane przez moduł systemu dostępu warunkowego ACS (ang. Access Control System) co 250 ramek CIF czyli 6 sekund (250x24 ms).

Specyfikacja systemu DAB nie określa algorytmu szyfrującego słowo kontrolne dopuszczając 64 możliwych różnych systemów szyfrowania.

Drugą część słowa inicjującego stanowi *modyfikator inicjalizacji IM* (ang. Initialization Modifier). Budowa tej części słowa inicjującego, a także sposób transmisji parametrów systemu CA, ramek ECM oraz ramek EMM zależą od trybu transmisji skremblowanego sygnału i jest zarysowana w Aneksie C, a szczegółowo opisana w specyfikacji systemu DAB [1].

10.4 Specyfikacja EUROCRYPT jako wariant systemu CA

Jako przykład systemu dostępu warunkowego dla systemu DAB przyjęto specyfikację EUROCRYPT'u [10]. Udziałowcami systemu dostępu warunkowego są:

- zarządca systemu dostępu warunkowego (ang. issuer) decydujący o dystrybucji i modyfikacji upoważnień operatorom programów i usług
- operatorzy programów oraz usług
- użytkownicy systemu

Podstawowym narzędziem pozwalającym na realizację uprawnień systemu dostępu warunkowego są tzw. 'klucze' (ang. key). Klucze są to kody identyfikujące operatorów usług,

bądź same usługi (jeden operator może oferować kilka rodzajów usług). Wyróżniamy dwie kategorie kluczy:

- *klucze zarządzające* (ang. management keys) stosowane do ładowania i zarządzania uprawnieniami
- *klucze operacyjne* (ang. operation keys) służące do szyfrowania w nadajniku słów kontrolnych indywidualnych usług oraz ich deszyfrowania w procesorze odbiornika

Ponieważ każdy operator usług posiadający klucz usługi (ang. service key, **SK**) może oferować szereg różnych usług – każda z nich musi mieć własny klucz dystrybucji programu (ang. Programme SK, **PDK**), z którym związany jest zbiór własnych uprawnień.

Podobnie określona usługa, np. meteo, charakteryzująca się swoim kluczem **PDK** może być transmitowana przez różnych operatorów usług czy programu z kluczem **SK**.

Przydziałem kluczy zajmuje się *operator systemu dostępu warunkowego*. W szczególności w ramach swych zadań operator systemu:

- przydziela klucze operatorom usług
- kontroluje ładowanie kluczy do procesora odbioru warunkowego w odbiorniku

Po stronie odbiorczej klucze są ładowane do procesora bezpieczeństwa **ACS** (ang. Access Control System) w odbiorniku. W praktyce procesor bezpieczeństwa jest realizowany w postaci karty inteligentnej (ang. smart card). Procesor ACS zawiera dane:

- klucze operatorów
- klucze usług
- uprawnienia skojarzone z kluczami z możliwością wyboru kategorii według kryteriów:
 - okresu ważności
 - kredytu do wykorzystania
 - rejonu odbioru, ect.

Działanie procesora bezpieczeństwa polega na wypełnianiu funkcji:

- sprawdzaniu uprawnień do odbioru usługi
- deszyfracji słowa kontrolnego **CW**, co pozwala uruchomić deskrembler

Uprawnienia do odbioru określonej usługi mogą być zmieniane przez wprowadzanie nowych parametrów czy zmianę istniejących parametrów usługi w procesorze bezpieczeństwa ACS. Dokonuje się tego poprzez komunikaty **EMM** (ang. Entitlement Management Messages). Komunikaty związane z usługami określonego operatora przekazują swe parametry pod adresem odpowiadającym *identyfikatorowi operatora usługi PPID* (ang. Programme Provider Identifier).

Komunikaty mogą być adresowane do wybranych grup odbiorców przez określenie adresu użytkownika. Adresy mogą definiować:

- indywidualnych odbiorców poprzez adres **UA** (ang. Unique Address)
- grupy użytkowników z adresem **GCA** (ang. Group Customer Address)

Procedury dostępu warunkowego włączają również kontrolę upoważnień realizowaną poprzez sprawdzenie parametrów karty inteligentnej, posiadanej przez użytkownika systemu. Jeżeli czytniki kart będą stanowić część wyposażenia odbiorników DAB można będzie programowo skontrolować, czy właściciel karty jest upoważniony do odbioru określonego programu czy usługi. Również programowo można będzie w razie potrzeby odpowiednimi sygnałami z nadajnika zmienić parametry karty określonej grupy użytkowników zmieniając ich uprawnienia. Na tym polega mechanizm zarządzania upoważnieniami.

11 ROZWÓJ ZASTOSOWAŃ SYSTEMU

Telekomunikacja znajduje się w trakcie rewolucyjnych przemian związanych z cyfryzacją, koncepcjami multimediiów i hipermediów, integracją funkcji Internetu i sieci telekomunikacyjnych, cyfryzacją systemów rozsiewczych, integracji systemów telekomunikacyjnych oraz komputerowych. Rozwój tych koncepcji rzutował również na rozszerzanie funkcji cyfrowej radiofonii.

Kolejne fazy rozwoju systemu to:

- A. Radiofonia o jakości płyty kompaktowej
- B. Radiowa infostrada /radiostrada/
- C. System 'informacji na żądanie' dla odbioru ruchomego

Dwie pierwsze fazy objęte były przez prace projektu Unii Europejskiej EUREKA 147 DAB. Dalsze etapy to prace projektu ACTS AC054 MEMO (Multimedia Environments for Mobiles) oraz wspólnych działań konsorcjów DAB i MEMO.

Rozwój koncepcji systemu związany jest z technicznymi osiągnięciami w dziedzinie dekodowania w czasie rzeczywistym pełnej liczby podnośnych multipleksu OFDM (FFT, Viterbi).

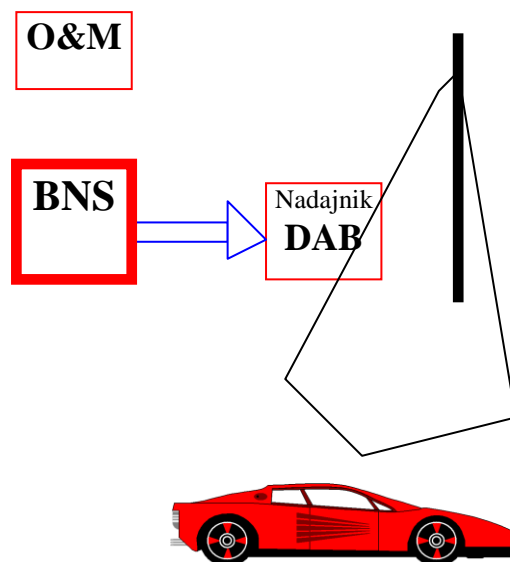
Według **koncepcji A (rys. 11-1)** system DAB to radiofonia cyfrowa o jakości dźwięku porównywalnej z jakością płyty kompaktowej. Usługi dodane to rozszerzone usługi systemu RDS (ang. Radio Data System). Informacje te są przesyłane w kanale szybkich informacji FIC (Fast Information Channel) w ramach FIG (Fast Information Group).

Zgodnie z **koncepcją B** system DAB (**rys. 11-2**) wprowadza rozszerzone usługi cyfrowe. Klasyczne programy radiowe to podstawowy, ale tylko jeden z elementów multimedialnej oferty z informacjami cyfrowymi o zawartości interesującej dla szerokich kręgów odbiorców. Mogą to być szkice sytuacyjne wybranego fragmentu terenu, zdjęcia, czy slajdy.

System DAB z odbiornikami wyposażonymi w układ pozycjonowania GPS (Global Positioning System) pozwala na filtrację informacji dotyczących lokalnych zdarzeń i oferty usług.

Zgodnie z obecnie realizowaną **koncepcją C** system DAB rozszerzony o kanał zwrotny realizowany poprzez telefonię komórkowa (**rys. 11-3**) stanowi infostradę dla szerokiej gamy usług. W zależności od typu posiadanego terminala użytkownik będzie mógł ograniczyć się do słuchania wybranego programu radiowego, bądź - słuchając radia - wybrać i wyświetlić na display'u oferowane informacje. Informacje dla ograniczonego kręgu odbiorców, bądź wybranego użytkownika systemu, można będzie zamówić poprzez telefonię komórkową bezpośrednio z multimedialnego serwera usług multimedialnych systemu. Server usług DAB będzie połączony z Internetem oraz sieciami wybranych instytucji - oferentów usług poprzez DAB. Według tej koncepcji radiofonia DAB będzie połączona z systemem 'informacji na żądanie' dla najszerszych kręgów odbiorców, gdyż transmitowanej w najtańszy sposób, tj. drogą rozsiewczą.

Koncepcja B jest już realizowana w krajach Unii Europejskiej. Koncepcja C znajduje się w fazie prób polowych oraz rozbudowy oprogramowania.

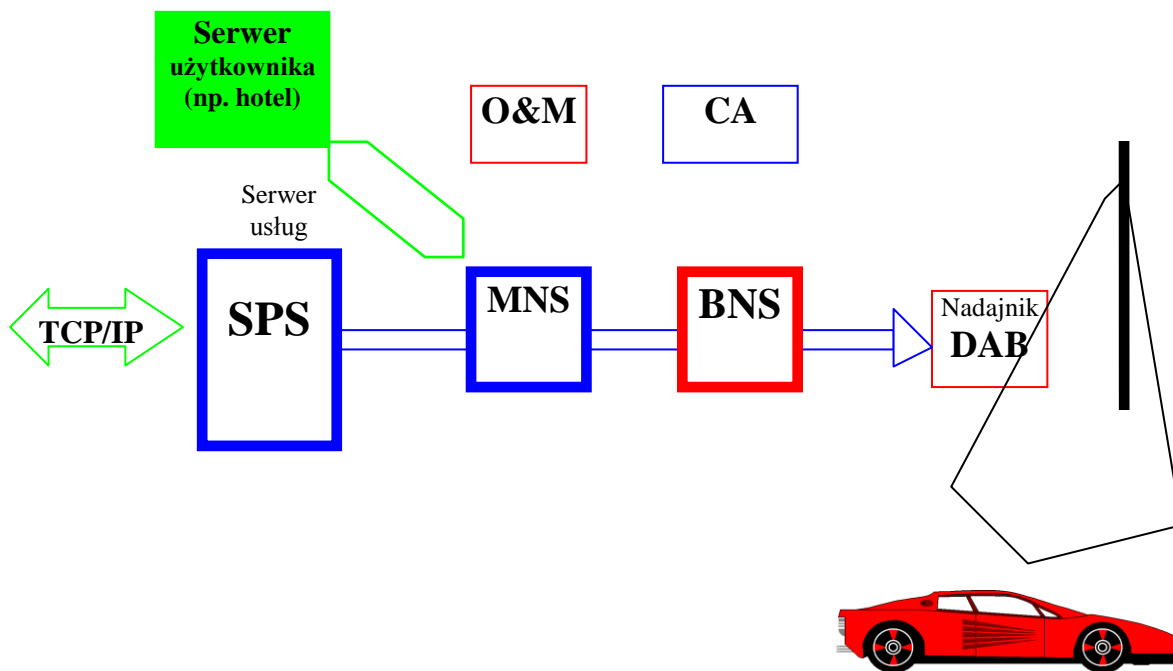


BNS - Broadcast Network Server - **serwer sieci rozsiewczej**

O&M - Operation and Management System – **system sterowania i kontroli**

DAB - Digital Audio Broadcasting - **nadajnik DAB**

Rys. 11-1 Infrastruktura organizacyjna sieci DAB. Wersja A



SPS - Service Provider Server - **serwer dostawcy usług**

NS - Multiple Network Server- **serwer wielosieciowy**

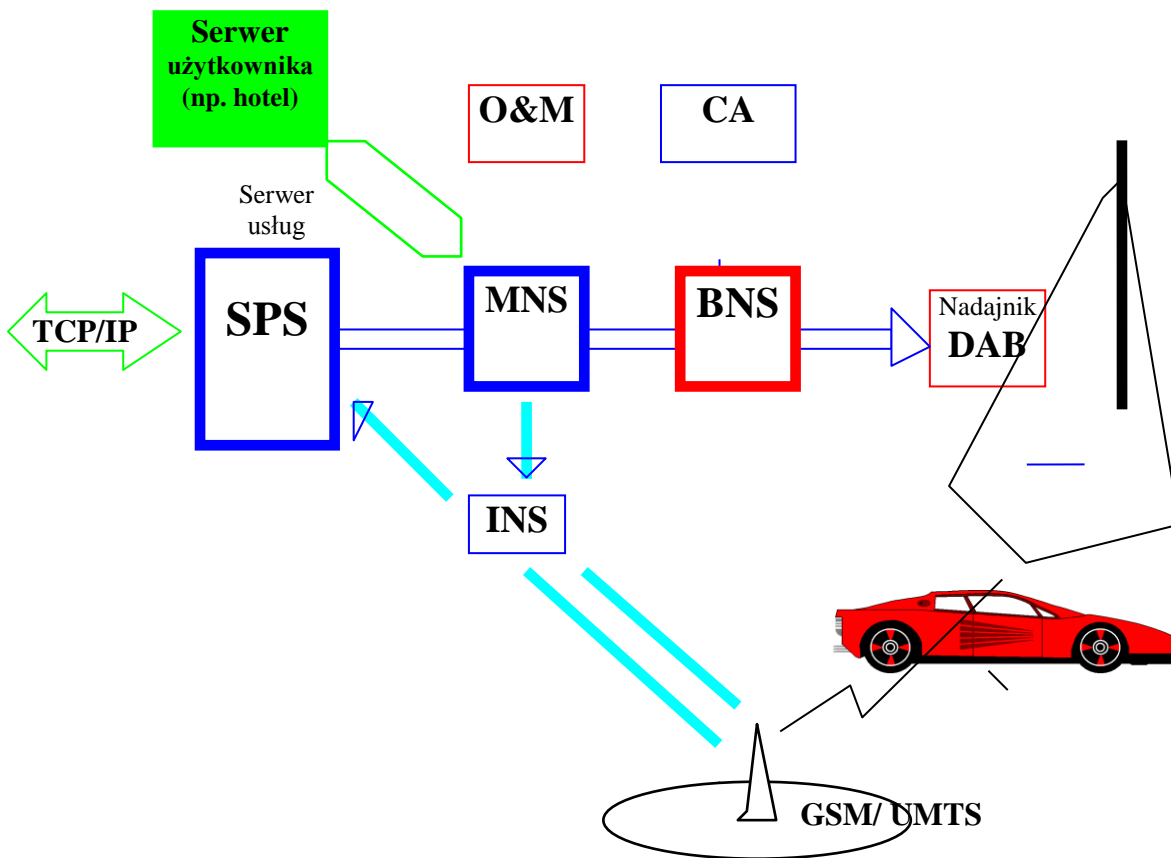
BNS - Broadcast Network Server - **serwer sieci rozsiewczej**

O&M - Operation and Management System – **system sterowania i kontroli**

CA - Coditional Access System - **system dostępu warunkowego**

DAB - Digital Audio Broadcasting - **nadajnik DAB**

Rys. 11-2 Infrastruktura organizacyjna sieci DAB. Wersja B



- SPS** - Service Provider Server - **serwer dostawcy usług**
MNS - Multiple Network Server - **serwer wielosieciowy**
BNS - Broadcast Network Server - **serwer sieci rozsiewczej**
INS - Interaction Network Server - **serwer kanału zwrotnego**
O&M - Operation and Management System - **system sterowania i kontroli**
CA - Conditional Access System - **system dostępu warunkowego**
DAB - Digital Audio Broadcasting - **nadajnik DAB**
GSM - Global communication Mobile System - **sieć GMS (+ PSTN)**
UMTS - Universal Mobile Telecommunication System - **sieć UMTS (+ PSTN)**

Rys. 11-3 Infrastruktura organizacyjna sieci MEMO. Wersja C

Spis akronimów

- AAC (Advanced Audio Coding) - algorytm stratnej kompresji danych dźwiękowych
- ACS (Access Control System) - system kontroli dostępu
- AIC (Auxiliary Information Channel) - kanał w MSC dla rozszerzenia danych z FIG
- AIFF (Audio Interchange File Format) – format wymiany pliku audio
- ALC (Asynchronous Layered Coding) - warstwowe kodowanie asynchroniczne
- APGN (Animated Portable Network Graphics) – animowana grafika sieci przenośnych
- ASCII (American Standard Code for Information Interchange) – amerykański standard kodu dla wymiany informacji
- ASF (Advanced Streaming Format) - rozwinięty format transmisji (Microsoft)
- ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coding) – adaptacyjna transformacja kodu akustycznego
- AU (Access Unit) - jednostka dostępu
- AV (Audio-Visual) - audio-wideo
- A/V (Audio/Video) - audio/wideo
- BER (Bit Error Ratio) - bitowa stopa błędu
- BIFS (BINARY Format for Scene) - format opisu kompozycji obrazu wideo
- BNS (Broadcast Network Server) - serwer sieci rozszewczej
- bslbf (bit string, left bit first) - struna bitowa, pierwszy lewy bit
- BWS (Broadcast WebSite) - radiodyfuzja stron internetowych
- CA (Conditional Access) - dostęp warunkowy
- CCA (Component Conditional Access) – dostęp warunkowy składowej programu/usługi
- CAT (Conditional Access Table) - tabela dostępu warunkowego
- CBMS (Convergence of Broadcast and Mobile Services) – zbieżność usług rozszewczych i ruchomych
- CEI (Change Event Indication) - klucz bazy danych opcjonalnych
- CGI (Common Gateway Interface) - interfejs wspólnej bramki
- CIF (Common Interleave Frame) - ramka wspólnego przeplotu
- ClusterId (Cluster Identifier) - identyfikator klastra (obszaru pokrycia nadajników)
- C/N (Carrier-to-Noise Ratio) - stosunek poziomu sygnału nośnego do szumu
- COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) – kodowany multipleks z ortogonalnym podziałem częstotliwości
- CRC (Cyclic Redundancy Check) - cykliczny kod nadmiarowy
- CU (Capacity unit) - jednostka pojemności pola CIF w kanale MSC
- CW (Control Word) - szyfrowane słowo kontrolne dla uruchomienia (z IM) generatora kodu pseudolosowego PRBS

DAB (Digital Audio Broadcasting)	- cyfrowa radiofonia DAB
DAB+ (DAB with AAC codec)	- cyfrowa radiofonia DAB+
DFT (Digital Fourier Transform)	- cyfrowa transformata Fouriera
DG (Data Group)	- grupa pakietów (pojemność pomiędzy pakietami, a obiektami MOT)
DGCA (Data Group Conditional Access)	- dostęp warunkowy grupy pakietów
DGI (DAB Gateway Interface)	- interfejs bramki DAB
DLS (Dynamic Label Segment)	- segment dynamicznej etykiety
DMB (Digital Multimedia Broadcasting)	- system transmisji multimedialnych
DRM (Digital Radio Mondiale)	- cyfrowa radiofonia długo- i średniofalowa
DVB (Digital Video Broadcasting)	- radiodyfuzja cyfrowego sygnału wideo
DVB-H (DVB-Handheld)	- system przenośnego odbioru DVB
DVB-T (DVB – Terrestrial)	- system naziemny DVB
EBU-UER (European Broadcasting Union)	- Europejska Unia Nadawców Radiowo-Telewizyjnych
ECC (Extended Country Code)	- rozszerzony kod kraju
ECM (Entitlement Checking Message)	- komunikat kontroli uprawnień
ED (Energy dispersal)	- układ rozpraszania energii
EMM (Entitlement Management Message)	- komunikat zarządzania uprawnieniami
Ensemble (signal)	- sygnał zbudowany z ramek fizycznych DAB / DAB+
EPG (Electronic Programme Guide)	- elektroniczny przewodnik po programach
EPID (Ensemble Provider Identifier)	- identyfikator operatora multipleksu
EPM (Enhanced Packet Mode)	- podwyższony tryb pakietowy
ES (Elementary Stream)	- strumień elementarny
ESG (Electronic Service Guide)	- elektroniczny przewodnik po programach
ESM (Enhanced Stream Mode)	- rozszerzony tryb strumieniowy
ETI (Ensemble Transport Interface)	- interfejs transportu sygnału multipleksu
ETI(NA) (ETI Network Adaptation)	- adaptacja sieciowa interfejsu ETI
ETI(NI) (ETI Network Independent)	- sieciowo niezależny interfejs ETI
ETS (European Telecommunication Standard)	- Standard Europejskiej Telekomunikacji
ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	- Instytut Standaryzacyjny Europejskiej Telekomunikacji
FEC (Forward Error Correction)	- korekcyjny kod wyprzedzający
FFT (Fast Fourier Transform)	- szybka transformata Fouriera
FIB (Fast Information Block)	- blok szybkich informacji

FIC (Fast Information Channel)	- kanał szybkich informacji
FIDC (Fast Information Data Channel)	- kanał usług w kanale szybkich informacji
FIDCCA (FIDC Conditional Access)	- dostęp warunkowy kanału usług kanału szybkich informacji
FIDCCA (Fast Information Data Channel Conditional Access)	- dostęp warunkowy kanału usług w kanale FIC
FIG (Fast Information Group)	- grupa szybkich informacji w kanale FIC
FLUTE (File deLivery over Unidirectional Transport)	- protokół jednokierunkowej transmisji plików
F – PAD (Fixed Programme Associated Data)	- część stała usług stowarzyszonych z programem
GCA (Group Customer Address)	- adres grupowy odbiorców
GIF (Graphic Interchange Format)	- format wymiany grafiki
HDTV (High Definition TeleVision)	- telewizja wysokiej rozdzielczości
HE AAC (High-Efficiency Advanced Audio Coding)	- zawansowany kod audio wysokiej wydajności
HF (High Frequency)	- wysoka częstotliwość
HTML (Hypertext Markup Language)	- język znaczników w Internecie
HTTP (Hypertext Transfer Protocol)	- protokół transferu z serwera WWW do przeglądarki
I signal (In-phase)	- składowa synfazowa sygnału
ICI (Inter-Carrier-Interference)	- interferencje między-tonowe (między podnośnymi)
IEC (International Electrotechnical Committee)	- Międzynarodowy Komitet Elektrotechniczny
IETF (Internet Engineering Task Force)	- międzynarodowe ciało odpowiedzialne za rozwój standardów Internetu
IK (Issuer Key)	- klucz operatora systemu
IM (Initialization Modifier)	- modyfikator inicjalizacji (część słowa inicjującego gen. PRBS zmienna z numerami ramek logicznych lub grup pakietów)
IW (Initialization Word)	- słowo inicjujące generator ciągu pseudolosowego PRBS
INS (Interaction Network Server)	- serwer kanału zwrotnego
IOD (Initial Object Descriptor)	- wstępny deskryptor obiektu
IP (Internet Protocol)	- protokół Internetu
IPDC (IP Data Casting)	- transmisja radiowa danych technologiami IP
IPDC (InterNational Programme for the Development of Communication)	- program UNESCO rozwoju komunikacji w obszarach wiejskich
ISI (Inter-Symbol Interference)	- interferencja między-symbolowa
ISO (International Standardisation Organisation)	- Międzynarodowa Organizacja Standaryzacyjna
ITU (International Telecommunications Union)	- Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna
JFIF (JPEG File Interchange Format)	- format wymiany pakietów JFIF

JPEG (Joint Photographic Expert Group) - połączona grupa ekspercka ds. fotografii

JTC1 – Joint Technical Committee on Information Technology – połączony komitet techniczny ds technologii informatycznych

LCT (Layered Coding Transport) - warstwowy transport kodów

MainId (MainIdentifier) - identyfikator głównego nadajnika w klastrze

MBMS (Multimedia Broadcast/ Multicast Service) – radiotransmisja multimediiów/ usługi wielopunktowe

MCI (Multiplex Configuration Information) - informacje o konfiguracji multipleksu

MDP (Multipath Delay Profile) - profil opóźnień wielodrogowych

MEMO (Multimedia Environment for Mobiles) – środowisko multimedialne dla odbioru ruchomego

MFN (Multiple Frequency Network) - sieć wieloczęstotliwościowa (sieć nadajników jednego programu na różnych nośnych)

MHEG (Multimedia and Hypermedia information coding Expert Group) – grupa ekspercka ds kodowania multimediiów i hipermediiów

MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) – uniwersalne rozszerzenie poczty internetowej, format MIME

MJD (Modified Julian Date) - data w zmodyfikowanym kalendarzu juliańskim

MNS (Multiple Network Server) - serwer wielosieciowy

MOT (Multimedia Object Transfer) - obiekt transmisji multimedialnych

MOT, protocol - protokół transportu obiektów multimedialnych

MOT, directory - katalog obiektów MOT w karuzeli

MOT BWS (MOT broadcast website) - protokół transmisji obiektów HTML w DAB

MPE (Multi Protocol Encapsulation) - kapsuła wielo-protokołowa

MPEG (Moving Pictures Expert Group) - komitet normalizacyjny standardów kompresji dla ruchomych obrazów oraz audio

MPEG-2 TS (MPEG-2 Transport Stream) – tryb strumieniowy transportu kodu MPEG-2

MP2 (Multimedia Protocol, Layer 2) - MPEG 1 lub 2, Audio warstwa 2

MP3 (Multimedia Protocol, Layer 3) - MPEG 1 lub 2, Audio warstwa 3

MSC (Main Service Channel) - główny kanał transmisyjny

Multiplex (signal) - sygnał zbudowany z ramek logicznych DAB / DAB+

NIT (Network Information Table) - tablica informacyjna sieci

OD (Object Descriptor) - deskryptor obiektu

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) - multipleks rozdzielonych częstotliwości ortogonalnych

O&M (Operation and Management System) - system sterowania i kontroli

PACT (President’s Advisory Committee on Future Technology) – komitet doradczy prezydenta w dziedzinie przyszłych technologii

PAD (Programme Associated Data)	- usługi stowarzyszone z programem
PAT (Programme Association Table)	- tablica usług stowarzyszonych z programem
PCM (Pulse Code Modulation)	- modulacja kodowo-impulsowa
PCR (Programme Clock Reference)	- znacznik czasu w kodzie MPEG-2
PDA (Personal Digital Assistant)	- cyfrowy osobisty asystent
PDK (Programme Distribution Key)	- klucz dystrybucji programów
PES (Packetized Elementary Stream)	- strumień elementarny w formie pakietowej
PI (Punctured Index)	- indeks perforacji
PID (Program Identifier)	- identyfikator program
PLI (Parameter Length Indicator)	- wskaźnik długości parametru
PMT (Programme Map Table)	- tablica mapy programu
PNG (Portable Network Graphics)	- grafika sieciowa dla urządzeń mobilnych
PPID (Programme Provider Identifier)	- identyfikator dostawcy programu/ usługi
PPUA (Programme Provider Unique Address)	- adres operatora program
PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)	- binarny ciąg pseudolosowy
PS (Parametric Stereo)	- sparametryzowany dźwięk stereo
PSI (Programme Specific Information)	- informacje związane z programem
PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)	- relacja szczytowej wartości sygnału do szumu
Q signal (Quadrature)	- składowa kwadraturowa sygnału
RDS (Radio Data System)	- system transmisji usług w radiu FM
RFC (Request For Comments)	- element procesu standaryzacji i rekomendacji stosowany przez IETF
Rfa (Reserved for future addition)	- (bity) zarezerwowane dla przyszłego uzupełnienia
Rfu (Reserved for future use)	- (bity) zarezerwowane dla przyszłego zastosowania
RS (Reed-Solomon)	- (kod) Reeda-Solomona
SA (Service Address)	- adres programu / usługi
SAT (Sub-channel Assignment Table)	- tablica przydziału sub-kanalów
SBR (Spectral Band Replication)	- replika pasma częstotliwości
SCId (Service Component Identifier)	- identyfikator składowej usługi
SCCA (Service Component Conditional Access)	- dostęp warunkowy do składowej programu
SDP (Session Description Protocol)	- protokół opisu sesji
SDT (Service Description Table)	- tablica opisu programu
SI (Service Information)	- informacja o nadawanych/ planowanych programach
SId (Service Identifier)	- identyfikator usługi

SIV (Service Information Version)	- wersja (opcjonalnej) usługi
SK (Service Key)	- klucz programu / usługi
SL (Synchronization Layer)	- warstwa synchronizacji
SPID (Service Provider Identifier)	- identyfikator operatora usług
SPS (Service Provider Server)	- serwer dostawcy usług
SRTP (Secure Real-time Transport Protocol)	- protokół bezpiecznego transportu w czasie rzeczywistym
SSCTy (Specific Service Component Type)	- specyficzny typ składowej programu
STI (Service Transport Interface)	- interfejs transportu usług
STI-C (STI-Control part)	- część kontrolna interfejsu STI
STI-C(LI) (STI-C Logical Interface)	- warstwa logiczna części kontrolnej
STI-D (STI-Data part)	- część transportowa interfejsu STI
STI-D(LI)	- warstwa logiczna j.w.
SubId (Sub-Identifier)	- identyfikator nadajnika w klastrze głównego nadajnika
SubChId (Sub-channel Identifier)	- identyfikator subkanału
TC (Technical Committee)	- Komitet Techniczny
TCP (Transmission Control Protocol)	- protokół kontroli transmisji
TDC (Transparent Data Channel)	- transparentny (przejrzysty) kanał usług
TDT (Time and Date Table)	- tablica daty i czasu
TN (TopNews)	- protokół transmisji skategoryzowanych obiektów audio
TMId (Transport Mode Identity)	- identyfikator typu transportu
TPEG (Transport Protocol Experts Group)	- grupa ekspercka protokołu transportu
TS (Transport Stream)	- warstwa transportu strumieniowego
TSDT (Transport Stream Description Table)	- tablica opisu transport strumieniowy
TMId (Transport Mechanism Identifier)	- identyfikator mechanizmu transportu
UA (User Application)	- użytkownik aplikacji
UA (Unique Address)	- adres użytkownika
UDP (User Datagram Protocol)	- protokół użytkownika
umssf (unsigned integer, most significant bit first)	- wielkość bez znaku, pierwszy najwyższy bit
UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	- system telefonii komórkowej
URI (Uniform Resource Identifier)	- jednolity identyfikator zasobów
URL (Uniform Resource Locator)	- jednolity lokalizator zasobów
URN (Uniform Resource Name)	- jednolite nazewnictwo zasobów

UTC (Universal Time Coordinated) - uniwersalny czas koordynowany
VBR (Variable Bit Rate) - zmienna przepływność bitowa
XML (eXtensible Markup Language) - rozszerzalny język znaczników
X-PAD (eXtended Programme Associated Data) – rozszerzenie usług stowarzyszonych
z programem

Adresy internetowe związane z radiofonią DAB

http://www.worlddmb.org/	- adres stowarzyszenia Digital Mobile Broadcasting
http://www.tpeg.org/	- informacje o organizacji TPEG
http://www.adept.eu.com/	- informacje na temat stowarzyszenia ADEPT
http://docbox.etsi.org/Reference	- źródło dokumentów ETSI

Spis literatury

ITU (International Telecommunication Union),	ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
EBU (European Broadcasting Union)	EN (European Norm)
ES (European Specification)	TS (Technical Specification)
TR (Technical Report)	R - radio, T - telecommunication

1. Normy i specyfikacje

DAB w świetle norm międzynarodowych oraz technicznych projektów ACTS i MEMO, oraz specyfikacje w tych aktach wykorzystywane

1. ETSI EN 300 401 „Radio broadcast systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers”, V1.4.1, 2006 (PN-ETSI EN 300 401 V1.4.1, 2008)
2. ETSI EN 300 751 “Radio Broadcasting System; Data Radio Channel (DARC); System for Wireless Infotainment Forwarding and Teledistribution ’, V1.2.1, 2003
3. ETSI EN 300 797 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Service Transport Interface (STI), V1.2.1, 2005
4. ETSI EN 300 798 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Digital baseband In-phase and Quadrature (DIO) interface”, V1.1.1, 1998
5. ETSI TS 300 799 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces;. Ensemble Transport Interface (ETI)”, V2.1.1, 2006
6. ETSI EN 301 234 "Digital Audio Broadcasting (DAB); Multimedia Object Transfer (MOT) protocol", V2.1.1, 2006
7. ETSI EN 301 700 “VHF/ FM Broadcasting; cross-referencing to simulcast DAB services by RDS-ODA 147”, 2000
8. EN 50 094 “Access control system for the MAC/packet family: Eurocrypt”, 1992
9. EN 50 255 “Digital Audio Broadcasting system – preliminary specification of the receiver data interface (RDI)’, 1996
10. EN 50 094 “Access control system for the MAC/packet family: EU-ROCRYPT”, 1993
11. ITU-R Recommendation BS 1194 “Data Radio Channel (DARC)”,
12. ITU-T Recommendation X.24 „List of definitions for interchange circuits between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-terminating Equipment (DCE) on public data networks”, 1988
13. ITU-T Recommendation G.703 „Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces: Section 6. Interface at 2 048 kbit/sek’, 1972

14. ITU-T Recommendation G.704 “Synchronous frame structures used at primary and secondary hierarchical levels: Section 2.3. Basic frame structure at 2 048 kbit/sek”, 1988
15. ITU-T Recommendation G.706 “Frame alignment and cyclic redundancy check (CRC) procedures relating to basic frame structures in Recommendation G.704”, 1988
16. ITU-T Recommendation H.221 “Frame structure for a 64 to 1920 kbit/sek channel in audio-visual teleservices”
17. ITU-T Recommendation H.242 “System for establishing communication between audio-visual terminals using digital channels up to 2 Mbit/s”
18. ITU-T Recommendation H.263 “Transmission of non-telephone signals; Video coding for low bit rate communication”
19. IEC 958 “Digital audio interface”
20. ISO/IEC 646 “Information technology – ISO 7-bit coded character set for information interchange”
21. ETR 165 “Human Factors (HF); Recommendation for a tactile identifier on machine readable cards for telecommunication terminals”, 1995
22. EBU B/TPEG Project: BPN 027-1 “TPEG specification – Part 1: Introduction, Numbering and Versions TPEG-INV/004”, 2000
23. EBU B/TPEG Project BPN 027-2 “TPEG specifications – Part 2: Syntax, Semantics and Framing Structure TPEG-SSF_1.2/002”, 2000
24. ETSI ES 201 735 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Internet Protocol (IP) datagram tunnelling, 2000
25. ETSI ES 201 736 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Network Independent Protocols for Interactive Services”, 2000
26. ETSI ES 201 737 “Interaction channel through Global System for Mobile communications (GSM), the Public switched Telecommunications System (PSTN), Integrated Services Digital Network (ISDN) and Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT)”, 2000
27. ETSI TS 101 428 v1.2.1 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User Application Specification”, 2009
28. ETSI TR 101 495 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Guide to DAB standards; Guidelines and Bibliography”, V1.3.1, 2006
29. ETSI TR 101 496-1 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Guides and rules for implementation and operation; Part 1: System outline”, V1.1.1., 2000
30. ETSI TR 101 496-2 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Guides and rules for implementation and operation; Part 2: System features “, V.1.1.1, 2000
31. ETSI TR 101 496-3 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Guides and rules for implementation and operation; Part 3: Broadcast network”, V1.1.2, 2001
32. ETSI TR 101 497 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Rules of Operation for the Multimedia Object Transfer Protocol”, V1.1.1, 2002

33. ETSI TS 101 498-1 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); Broadcast website; Part 1: User application specification”, V2.1.1, 2006
34. ETSI TS 101 498-2 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Broadcast website; Part 2: Basic profile specification”, V1.1.1, 2000
35. ETSI TS 101 498-3 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); Broadcast website; Part 3: TopNews basic profile specification", V2.1.1, 2005
36. ETSI TS 101 499 “Digital Audio Broadcasting (DAB); MOT Slide Show; User Application Specification”, V2.2.1 (2008-07)
37. ETSI TS 101 756 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); Registered Tables", V1.4.1, 2009
38. ETSI TS 101 757 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); Conformance Testing for DAB Audio”, V1.1.1, 2000
39. ETSI TS 101 758 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); Signal strengths and receiver parameters; Targets for typical operation”, V1.1.1, 2000
40. ETSI TS 101 759 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); Data Broadcasting – Transparent Data Channel”, V1.2.1, 2005
41. ETSI TS 101 860, “Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution Interfaces; Service Transport Interface (STI); STI levels”, V1.1.1, 2001
42. ETSI TS 101 993 “Digital Audio Broadcasting (DAB); A Virtual Machine for DAB; DAB Java Specification”, V1.1.1, 2002 “
43. ETSI TS 102 182 “Emergency Communications (EMTEL); Requirements for communications from authorities/organizations to individuals, groups or the general public during emergencies”, v1.2.1, 2006
44. ETSI TS 102 367 " Digital Audio Broadcasting (DAB); Conditional access", V1.2.1, 2006
45. ETSI TS 102 368 “ Digital Audio Broadcasting (DAB); DAB-TMC (Traffic Message Channel", V1.1.1, 2005
46. ETSI TS 102 371 V1.3.1, "Digital Audio Broadcasting (DAB); Digital Radio Mondiale (DRM); Transportation and Binary Encoding Specification for Electronic Programme Guide (EPG)", V1.3.1, 2008
47. ETSI TS 102 427 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Data Broadcasting – MPEG-2 TS streaming”, v1.1.1, 2005-07
48. ETSI TS 102 428 “Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User application specification”, v1.2.1, 2009-04
49. ETSI TS 102 563 ”Digital Audio Broadcasting (DAB); Transport of Advanced Audio Coding (AAC) audio”, V1.2.1, 2010-05
50. ETSI TS 102 632 “Digital Audio Broadcasting (DAB); Voice Applications", V1.1.1, 2008
51. ETSI TS 102 652 ”Digital Audio Broadcasting (DAB); Intellitext; Application specification”, V1.1.1, 2007-10

52. ETSI TS 102 818, "Digital Audio Broadcasting (DAB); Digital Radio Mondiale (DRM); XML Specification for DAB Electronic Programme Guide (EPG)", V1.4.1, 2008
53. ETSI TS 102 978 " Digital Audio Broadcasting (DAB); IPDC Services; Transport specification", V1.1.1 2008
54. ETSI TS 102 979 " Digital Audio Broadcasting (DAB); Journaline; User application specification", V1.1.1, 2008
55. ETSI TS 102 980 " Digital Audio Broadcasting (DAB); Dynamic Label Plus (DL Plus); Application specification", v1.1.1, 2008
56. IETF RFC 1945 "Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.0"
57. IETF RFC 2068 "Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1"
58. IETF RFC 1738 "Uniform Resource Locator (URL)"
59. IETF RFC 2045 "Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) – Part 1"
60. IETF RFC 2046 "Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) – Part 2"
61. IETF RFC 2047 "Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) – Part 3"
62. IETF RFC 2048 "Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) – Part 4"
63. IETF RFC 2049 "Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) – Part 5"
64. ISO/IEC 13 522-5 "Information technology – Coding of multimedia and hypermedia information. Part 5: Support for base-level interactive applications", 1997
65. ISO/IEC 13 818-6 "Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information. Part 6: Extension for Digital Storage Media Command and Control, 1996
66. ISO/IEC 14 496-1 "Information Technology—Coding of Audio-Visual Objects—Part 1: System", 2001
67. AC054 MEMO Multimedia Environment for Mobiles "Draft basic elementary service definition (Teleservices)", 1997
68. AC054 MEMO Multimedia Environment for Mobiles, "Information Package", 1997
69. AC054 MEMO Multimedia Environments for Mobiles "Definition of Support Services", 1997
70. AC054 MEMO Multimedia Environments for Mobiles "Final Specification of API", 1997
71. AC054 MEMO Multimedia Environments for Mobiles "Application Software", LUTCHI, 1997
72. AC034 and AC054 OnTheMove and MEMO "Using DAB as a Testbed for a Mobile Middleware System", 1997
73. AC054 MEMO Multimedia for Mobiles "Implementation Guidelines for Multimedia Broadcast", 1997

74. AC054 MEMO Multimedia for Mobiles “Protocol Standards for Broadcasting and Interaction”, 1998
75. AC054 MEMO Multimedia for Mobiles “Components for Trials”, 1998
76. AC054 MEMO Multimedia Environments for Mobiles “Project Overview”, 1997
77. ACTS Mobile Summit '98 “Toward High Integrated Terminals for a Hybrid DAB/GSM Communication System for Mobile Multimedia Services”, 1998
78. AC054 MEMO Multimedia for Mobiles “MEMO System Functional Specification”, 1999
79. AC054 MEMO Multimedia for Mobiles “Exploitation/ Market Implications of MEMO with DVB-T”, 1999
80. AC054 MEMO Multimedia for Mobiles “MEMO/ DVB-T Prototype”, 1999
81. CENELEC EN 62106, "Specification of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz"
82. MEMO Specifications Version 1.1.

Protocol Specifications:

- PS1. Broadcast Network Submission Protocol, 1999
- PS2. Mobility Management Protocol, 1998
- PS3. Extended TCP, 1998
- PS4. Access Control Protocol, 1998

System Function Specifications:

- SFS1. Personal Service Routing, 1998
- SFS2. Personal Service Transport, 1998
- SFS3. Interactive Broadcast, 1998
- SFS4. Mobility Management, 1998
- SFS5. Security, 1998

API Specifications

- AS1. Mobile Terminal API, 1998
- AS2-1. Correspondent Node API (Low Level), 1999
- AS2-2. Correspondent Node API (High Level), 1998

System Reference Document

- SRD1. MEMO System Reference Model, 1999
- SRD2. MEMO System Architecture, 1999

83. Workshop on Multimedia for Mobiles M4M “Developing the Infrastructures for Integrated Broadcasting and Telecommunications Services”, 1999

84. ERTICO Committee on DAB-based Multimedia ITS Applications “DAB-based Multimedia ITS Applications. ERTICO strategy for implementation”, Version 1, 1998
85. European Commission Brussels, COM(97)623 “Green Paper on the Convergence of the Telecommunications, Media and Information Technology Sectors, and the Implications for Regulation. Towards an Information Society Approach”, 1997
86. Federal Ministry of Economics and Technology ‘Introduction of digital broadcasting in Germany: “Launch Scenario 2000”. Status report and recommendations by the “Digital Broadcasting” Initiative on the digitisation of radio and television taking account of the cable, satellite and terrestrial paths, 2000
87. ETSI ES 201 980 "Digital Radio Mondiale (DRM); System specification"
88. ETSI 300 744 "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", January 2000

2. Publikacje

1. W. Hoeg, T. Lauterbach, 'Digital Audio Broadcasting. Principles and Applications of Digital Radio', John Wiley and Sons, 2003
2. 'Advanced digital techniques for UHF satellite sound broadcasting', Collected papers on concepts for sound broadcasting into the 21st century, EBU, August 1988
3. Eureka Project 147, 'Digital Audio Broadcasting System. Guidelines for Implementation and Operation', vol. II: System features – Implementation and Operation, Issue 2.2, prepared by the Joint Eureka -147 DAB WG1/EBU Task Force on System Standardisation, July 1995
4. 'Digital Audio Broadcasting Eureka-147. Minimum Requirements for Terrestrial DAB Transmitters', Prepared by WorldDAB, September 2001
5. 'Digital Radio Receiver Profiles', World DMB Forum, December 2008
6. Hermann, L. A. Erismann, M. Prosch, 'The evolution of DAB', EBU Technical Review, 2007
7. S. Meltzer, G. Moser, 'HE-AAC v.2 – audio coding for today's digital media world', EBU Technical Review, January 2006
8. M. Oziewicz, Z. Odoj, Opracowanie koncepcji, warunków i programu realizacji w kraju eksperymentalnej emisji w systemie DAB, Praca statutowa IŁ nr. 21.3.03.3; 1993
9. W. Hołubowicz, K. Kaczmarek, M. Oziewicz, Cyfrowa radiofonia rozsiewcza – DAB, Przegląd Telekomunikacyjny, nr 2, 1994
10. W. Hołubowicz, K. Kaczmarek, M. Oziewicz, Cyfrowa radiofonia DAB - stan badań w Europie, referat na KST '93; materiały KST '93, tom E
11. Z. Odoj, M. Oziewicz, Porównanie systemów radiofonii cyfrowej: EUREKA 147 i IN-Band, referat na KST '94; materiały KST '94, tom E
12. Z. Odoj, M. Oziewicz, Cyfrowa radiofonia rozsiewcza DAB – możliwości wykorzystania na potrzeby obrony, referat na sesji plenarnej; materiały KNSŁ - 94, Zegrze
13. M. Oziewicz, Z. Odoj, Koder fonii MUSICAM, Przegląd Techniki, RiTV, nr 1, 95 (70-lecie radia)
14. Z. Odoj, M. Oziewicz, Radiofonia cyfrowa DAB - nowy system przekazu danych alfanumerycznych, materiały KST '95, Bydgoszcz
15. Z. Odoj, M. Oziewicz, Cyfrowa radiofonia średniofalowa koncepcje europejskie oraz amerykańskie, Konferencja KST'96, Bydgoszcz
16. Z. Odoj, M. Oziewicz, System DAB/MEMO projektu ACTS ACO54 (Multimedia Environments for Mobiles), Sympozjum KST '98, Internet, strona MEMO
17. Z. Odoj, M. Oziewicz, Radiofonia cyfrowa – DAB, Sympozjum KKRR'98, Internet, strona MEMO

18. Wolfgang Klingenberg, Andreas Neutel: MEMO: A Hybrid DAB/GSM Communication System for Mobile Interactive Multimedia Services. ECMAST 1998: 493-503
19. M. Oziewicz, Cyfrowa radiofonia DAB jako unilateralny system transmisji danych (radiostrada) projekt EUREKA 147 DAB, Konferencja POLMAN, 1998, Internet, strona MEMO
20. A. J. Viterbi, 'Convolutional Codes and Their Performance in Communication Systems', IEEE Trans. On Communications Technology, vol. com-19, n0. 5, October 1971
21. G. Birkhoff, T.C. Bartee, 'Współczesna algebra stosowana', PWN, Warszawa 1983
22. H. Sari, G. Karam, I. Jeanclaude, "Transmission Techniques for Digital Terrestrial TV Broadcasting", IEEE Communication Magazine, Feb. 1995
23. T. O'Leary, J. Rutkowski, 'Combining multiple interfering field strengths: the simplified multiplication method and its physical and mathematical basis', Telecommunication Journal, vol. 49, November 1982
24. "Criteria for the Coordination of Frequencies to be Used by Terrestrial Digital Audio Broadcasting (T-DAB) Transmitters and TV Transmitters", CEPT/ SEWG, Oporto 29 March 1993
25. M. Magele "CEPT – Preparations for the Introduction of Terrestrial DAB", cept Conf. 1993 (with 11 Annexes)
26. "Derivation of Re-use Distance for the T-DAB allotment Plan", CEPT SE11 (94), Stockholm
27. "How to Use the (Rec. 370) Curves for Single L-Band Transmitters", annex to letter of Vesa Erkkila to M. Magele, 25 Apr. 1994
28. T.A.Prosch, 'A Possible Frequency Planning Method and Related Model Calculations for the Sharing of VHF Band II between FM and DAB Systems', IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 37, no. 2, June 1991
29. R.Rebhan, J. Zanders, 'On the Outage Probability in SFN Networks for Digital Broadcasting', IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 39, no 4, Dec. 1993
30. R. Beuler, 'Optimization of Digital Single Frequency Networks', Frequenz, no. 49, 1995
31. F.Perez-Fontan, J.M.Hernando-Rabanos, 'Comparison of Irregular Terrain Propagation Models for use in Digital Terrain Data Based Radiocommunication System Planning Tools', IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 41, no. 2, June 1995
32. S.Gokhun Tanyer, T.Yucel, S. Seker, 'Topography Based Design of the T-DAB SFN for a Mountainous Area', IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 43, no. 3, September 1997

33. G. Malmgren, 'Network Planning of Single Frequency Broadcasting Networks', Dissertation submitted to the Royal Institute of Technology, April 1996
34. G. Malmgren, 'On the Performance of Single Frequency Networks in Correlated Shadow Fading', IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 43, no. 2, June 1997
35. A. Ligeti, J. Zanders, 'Minimal Cost Coverage Planning for Single Frequency Networks' Radio Communication Systems Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1997
36. G.Faria, 'The Secret of a Successful DAB Launch? The Distributed Multiplexing', Conf. ASBU 99, Tunis, October 1999
37. M. Ma Velez, P. Angueira, D. de la Vega, J. L. Ordiales, A. Arrinda, 'L-Band DAB Eureka 147 Field Trials and Coverage Measurements in Urban Areas', IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 48, no. 2, June 2002
38. ECC Report 49, 'Technical Criteria of Digital Video Broadcasting Terrestrial (DVB-T) and Terrestrial – Digital Audio Broadcasting (T-DAB) Allotment Planning', Copenhagen, April, 2004
39. J. Doeven, 'Planning of Single Frequency Networks', ITU/EBU workshop on Digital Broadcasting, Sofia, June 2004
40. R. Brugger, K. Mayer, 'RRC-06 – technical basis and planning configurations for T-DAB and DVB-T', EBU-UER Technical Review, 2005, pp. 66-73
41. H. Schatter, Ch. Brautigam, M. Neuman, "Personal Digital Audio Recording via DAB. Enhanced Radio as Interface"
42. M. Oziewicz, 'Phasor Description of the COFDM Signal in a Multipath Channel', 6th International OFDM-Workshop (InOWo'01), Hamburg, 2001
43. M. Oziewicz, 'Phasor Description of the OFDM Signal in the SFN Network', IEEE Transactions on Broadcasting, March 2004
44. M. Oziewicz, Rozprawa doktorska, 'Metoda estymacji parametrów ścieżek sygnału OFDM z podnośnymi pilotowymi w bezprzewodowym kanale wielodrogowym', Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Zakład Radiokomunikacji, Warszawa, 2004
45. J. Modelski, M. Oziewicz, "Distortions of the OFDM Sub-carriers in SFN Baseband Channel", EUROCON 2007, Int. Conf. on 'Computer as a Tool', Warsaw, Sept., 07
46. M. Oziewicz, "Report on RDS-TMC Workshop 'RDS-TMC in Central and Eastern Europe' organized by ERTICO and Hungarian Ministry of Transport, IŁ, Wrocław, 1999
47. M. Oziewicz, Z. Odoj, "The Centre for Multimedia Applications for Digital Radio DAB, Confrence KST, Bydgoszcz, 2001
48. M. Oziewicz, "European digital radio projects for transport telematics systems", II International Conference on Transport Systems Telematics TST'02, Silesian University of Technology, 2002

Spis ilustracji

Rys. 1-1 Zmiana jakości odbioru z odległością od anteny nadajnika	9
Rys. 1-2 Prosty kanał transmisji skompresowanego dźwięku oraz informacji towarzyszących	9
Rys. 1-3 Funkcje nadajnika DAB II generacji	10
Rys. 1-4 Włączenie usług multimedialnych w nadajniku DAB	11
Rys. 1-5 Podstawowy schemat blokowy nadajnika DAB	11
Rys. 1-6 Transmisja programów oraz usług multimedialnych	12
Rys. 2-1 Blokowy układ lokalnego nadajnika DAB	14
Rys. 2-2 Schemat blokowy toru fonii nadajnika DAB	15
Rys. 2-3 Schemat blokowy toru usług nadajnika DAB	15
Rys. 2-4 Schemat blokowy toru pakietowego nadajnika DAB	16
Rys. 2-5 Schemat ramki logicznej DAB	16
Rys. 2-6 Statyczny próg maskowania ucha przeciętnego człowieka	17
Rys. 2-7 Dynamiczny próg maskowania	18
Rys. 2-8 Sygnał analogowy, próbki sygnału cyfrowego oraz szum kwantowania	19
Rys. 2-9 Poziomy dopuszczalny szum kwantowania w subpasmach	20
Rys. 2-10 Koncepcja działania kodera MUSICAM	22
Rys. 2-11 Algorytm kodowania kanału monofonicznego dla poziomu I i II, [1]	23
Rys. 2-12 Organizacja ramki sygnału monofonicznego	24
Rys. 2-13 Pola ramki sygnału dwukanałowego lub stereofonicznego	24
Rys. 2-14 Schemat organizacji subpasm zwartego sygnału stereofonicznego	25
Rys. 2-15 Pola ramki zwartego sygnału stereofonicznego	25
Rys. 2-16 Głośniki w układzie 3/2 stereo	26
Rys. 2-17 Idea systemu MUSICAM - Surround	26
Rys. 2-18 Ramka kodera w systemie dźwięku dookólnego MUSICAM- Surround	27
Rys. 2-19 Algorytm dekodowania ramki kanału monofonicznego dla poziomu II	28
Rys. 2-20 Dynamika wypełniania ramek kodera MUSICAM	29
Rys. 2-21 Dane stowarzyszone z audio ramki ($n + 1$) występują w poprzedzającej ramce n	29
Rys. 2-22 Konfiguracja pola F-PAD (Fixed-PAD) z własną treścią pola	30
Rys. 2-23 Idea działania kodera HE AAC w kanale monofonicznym, [6]	33
Rys. 2-24. Koncepcja transmisji fonii wielokanałowej	33
Rys. 2-25 Budowa super ramki dla różnych jednostek dostępowych AU	34
Rys. 2-26 Kroki dekodowania superramki	35
Rys. 2-27 Miejsce koderów fonii w układzie nadajnika oraz odbiornika DRM	36
Rys. 2-28 Struktura opisu i transmisji przykładowego obiektu wideo (wg [66])	38
Rys. 2-29 Kształtowanie strumienia wideo w nadajniku DAB	40
Rys. 2-30 Schemat warstwowej transmisji obiektów multimedialnych w systemie DAB	40
Rys. 2-31 Realizacja układowa kodera spłotowego	42
Rys. 2-32 Układ blokowy funkcji kodera spłotowego z perforacją	44
Rys. 2-33 Miejsce kodera w systemie komunikacyjnym	44
Rys. 2-34 Koncepcja przepłotu czasowego	45
Rys. 2-35 Organizacja przepłotu czasowego ramek w systemie DAB	45
Rys. 2-36 Parametry ramek logicznych na wejściu i wyjściu multiplexera	47
Rys. 2-37 Schemat budowania ramki logicznej systemu DAB	48
Rys. 2-38 Koncepcja interfejsu WG1/WG2	48
Rys. 2-39 Fizyczny obraz sygnałów kodera kanałowego OFDM	50
Rys. 2-40 Obraz podnośnych symbolu OFDM	50
Rys. 2-41 Obwiednia częstotliwościowa sygnału OFDM	51
Rys. 2-42 Relacje parametrów systemu z jedną oraz wieloma podnośnymi	52
Rys. 2-43 Wpływ zakłóceń ISI na stan kodera wielotonowego	52
Rys. 2-44 Eliminacja zakłóceń międzysymbolowych przez wprowadzenie odstępów ochronnych	53
Rys. 2-45 Schemat budowy symbolu OFDM z cyklicznym przedrostkiem	53
Rys. 2-46 Zmiana obwiedni sygnału OFDM po wprowadzeniu odstępów ochronnych	54
Rys. 2-47 Schemat blokowy modulatora OFDM	56
Rys. 2-48 Fazy przetwarzania sygnału OFDM w nadajniku oraz odbiorniku	57
Rys. 2-49 Ilustracja zjawiska PAPR w systemie OFDM	58
Rys. 2-50 Formowanie ramki sygnału OFDM	59

Rys. 2-51 Parametry ramki OFDM	60
Rys. 2-52 Zestawienie parametrów ramek kodera OFDM dla trybów pracy I – IV.....	61
Rys. 2-53 Odwzorowanie ramek logicznych DAB na symbole ramki OFDM	64
Rys. 2-54 Rzutowanie ramki logicznej DAB na ramkę fizyczną OFDM. Tryb I	67
Rys. 3-1 Relacje poziomów sygnałów uwzględniane przy planowaniu parametrów nadajnika	77
Rys. 3-2 Fazorowa reprezentacja niemodulowanego symbolu OFDM	79
Rys. 3-3 Reprezentacja fazorowa ścieżek sygnału o wielodrogowym profilu MDP	80
Rys. 3-4 Przykład sygnału w kanale wielodrogowym	83
Rys. 3-5 Interpretacja kształtu obwiedni widma sygnału DAB między sygnałami UKF FM	84
Rys. 3-6 Interpretacja obwiedni widma sygnału DAB między sygnałami UKF FM	85
Rys. 3-7 Interpretacja widma sygnału DAB z stłumionymi niskimi częstotliwościami	86
Rys. 3-8 Interpretacja kształtu obwiedni widma sygnału DAB z rejonu Warszawy	87
Rys. 3-9 Elipsa jako miejsce geometryczne punktów odbicia sygnału	88
Rys. 3-10 Fazorowa reprezentacja sygnału o profilu MDP	90
Rys. 3-11 Relacje czasowe ścieżki $\tau > T_g$ w ramach okna DFT.....	91
Rys. 4-1 Koncepcja sieci MFN oraz sieci 4 SFN DAB	94
Rys. 4-2 Wybór trybu pracy kodera OFDM dla odbioru ruchomego w sieci SFN.....	95
Rys. 4-3 Relacje czasowe sygnałów w obszarze stacji dopełniającej.....	98
Rys. 4-4 Koncepcja programów lokalnych w ramach pokrycia SFN.....	99
Rys. 4-5 Geometria sieci 2 SFN	100
Rys. 4-6 Charakterystyczne linie stałych relacji amplitud	101
Rys. 4-7 Rozkład amplitud podnośnych na linii $\alpha_{12} = 1$ między nadajnikami sieci 2 SFN.....	101
Rys. 4-8 Punkty estymacji amplitud pola sieci 2 SFN na hiperboli z 10 minimami	103
Rys. 4-9 Amplitudy podnośnych sieci 2 SFN w punktach estymacji	103
Rys. 4-10 Hiperbole stałych różnic czasów opóźnień w sieci 2 SFN.....	104
Rys. 4-11 Szkic sieci 7 SFN: obszary wewnętrznych interferencji ISI/ IC.....	104
Rys. 4-12 Miejsce geometryczne punktów estymacji w modelu sieci 6 SFN.....	105
Rys. 4-13 Rozkład amplitud podnośnych sygnału użytecznego	105
Rys. 4-14 Rozkład amplitud podnośnych sygnału interferencji	106
Rys. 4-15 Przekrój sygnału użytecznego (wyżej) oraz interferencyjnego	106
Rys. 4-16 Konfiguracja sieci siedmioelementowej z zaznaczoną linią estymacji.....	107
Rys. 4-17 Rozkład sygnału użytecznego sieci siedmioelementowej.	107
Rys. 4-18 Miejsce geometryczne punktów estymacji sygnału w sieci 19 SFN	108
Rys. 4-19 Sygnał użyteczny sieci dziewiętnastoelementowej	108
Rys. 4-20 Sygnał ISI sieci dziewiętnastoelementowej wzdłuż odcinka z szkicu 4-18	109
Rys. 4-21 Wybrane przykłady modułu funkcji przenoszenia kanału OFDM	110
Rys. 5-1 Schemat przekazu programów oraz usług od dostawcy do nadajników.....	112
Rys. 5-2 Wstępna propozycja przyporządkowania multipleksów A, B, C, D.....	114
Rys. 5-3 Zakresy częstotliwości planowane dla systemu DAB w Europie	115
Rys. 5-4 Przykład międzynarodowego planu przydziału bloków z pasma L.....	115
Rys. 6-1 Ramki logiczne systemu DAB trybów I – IV.....	120
Rys. 6-2 Hierarchia kanałów w systemie DAB	121
Rys. 6-3 Organizacja transportu w systemie DAB	122
Rys. 6-4 Ramka pakietu systemu DAB	123
Rys. 6-5 Sposoby przesyłania usług w polu X-PAD	124
Rys. 6-6 Przesyłanie usług w trybie pakietowym DAB. Podział grup danych	124
Rys. 6-7 Transport obrazów w kanale PAD.....	125
Rys. 6-8 Struktura skróconego kodu identyfikacyjnego programu.....	126
Rys. 6-9 Struktura rozszerzonego kodu identyfikatora programu	127
Rys. 6-10 Parametry programów w grupie FIG(0/2)	128
Rys. 7-1 Organizacja ramki MOT.....	140
Rys. 7-2 Ilustracja parametrów czasowych ekspozycji obiektu MOT.....	140
Rys. 7-3 Podstawowy algorytm opisu obiektu MOT	142
Rys. 7-4 Podział obiektu MOT na segmenty i rzutowanie na grupy pakietów	143
Rys. 7-5 Etapy dekodowania slajdów w odbiorniku.....	146
Rys. 8-1 Transmisja usług dla systemu DAB : konfiguracja drzewa	152
Rys. 8-2 Warstwy protokołu STI.....	153
Rys. 8-3 Koncepcja siatki FIB	154

<i>Rys. 8-4 Algorytm kreowania/ rozpoznania komunikatu STI_C(LI)</i>	155
<i>Rys. 8-5 Algorytm określania warunków transmisji ze strony operatora usługi</i>	155
<i>Rys. 8-6 Relacja zawartości ramek STI-D(LI) oraz CIF</i>	157
<i>Rys. 8-7 Podstawowa struktura ramek protokołu STI-D(LI)</i>	159
<i>Rys. 9-1 Relacja zawartości ramek ETI(NI) oraz CIF</i>	161
<i>Rys. 9-2 Organizacja ramki ETI(NI)</i>	162
<i>Rys. 10-1 Koncepcja mechanizmu skremblingu w systemie DAB</i>	167
<i>Rys. 11-1 Infrastruktura organizacyjna sieci DAB. Wersja A</i>	172
<i>Rys. 11-2 Infrastruktura organizacyjna sieci DAB. Wersja B</i>	173
<i>Rys. 11-3 Infrastruktura organizacyjna sieci MEMO. Wersja C</i>	174

Aneks A. Podstawowe parametry systemu DAB

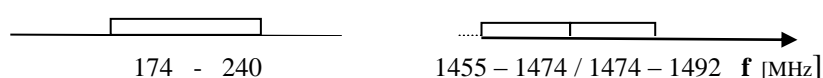
Zakres częstotliwości nośnej nadajnika mieści się w technicznie uzasadnionych granicach

174 - 240 MHz (zakres III VHF)

oraz

1452 - 1492 MHz (pasmo L)

z możliwością strojenia **co 16 kHz**. Pierwszy zakres przeznaczony jest dla wprowadzania radiofonii naziemnej, drugi miał służyć satelitarnej radiofonii DAB. Jednak w szeregu krajów zapotrzebowanie na pasma częstotliwości dla DAB nie mogą być zaspokojone w niższym zakresie. Dlatego dopuszczono podział pasma L na dwie części: dolna część została przeznaczona dla naziemnych transmisji radiofonii DAB, górną pozostawiono dla satelitarnych systemów rozsiewczych DAB



Rys. Zakresy częstotliwości planowane dla systemu DAB w Europie

W systemie cyfrowym DAB oraz DAB+ podstawowymi jednostkami są **bloki częstotliwości o wielkości 1,536 MHz**. Przepustowość bitowa brutto każdego bloku wynosi **2309 kbit/s**.

Zasadniczym nośnikiem programów i informacji jest kanał MSC. Informacje w kanale FIC, wprowadzane do nadajnika równocześnie z programami głównego kanału - w odbiorniku dekodowane są o 384 milisekundy wcześniej. Wynika to z pominięcia w kanale FIC układu przepływu czasowego ramek, który opóźnia proces transmisji. Przyjęcie stałej sprawności kodera konwolucyjnego 1/3 w tym kanale również przyspiesza jego dekodowanie. Szybsza transmisja w kanale FIC konieczna jest do przekazania parametrów struktury sygnału ramki do odbiornika w celu ustalenia opcji systemu operacyjnego odbiornika odpowiedzialnego za rozplot i buforowanie podkanałów ramki.

Nadajnik DAB może pracować w jednym z **czterech trybów** związanych z parametrami symboli generowanych przez koder kanałowy OFDM. Trzy pierwsze zakładane były od początku, tryb 4-ty wprowadzony został ze względu na warunki radiofonii kanadyjskiej. Sygnał studyjny jest tam próbkowany z częstotliwością **24 kHz**, dwukrotnie niższą niż w Europie. Podstawowe parametry ramek wyjściowych poszczególnych trybów przedstawiamy w **Tab. A-1:**

parametr	tryb I	tryb II	tryb III	tryb IV
częstotliwość próbkowania	48 kHz	48 kHz	48 kHz	24 kHz
ramka T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
pojemność ramki OFDM brutto	236 544 bity	59 136 bity	59 136 bity	118 272 bity
liczba symboli w ramce OFDM	77	77	154	77
symbol zerowy T_0	1.297 ms	0.324 ms	0.168 ms	0.6484 ms
symbol t_s	1 ms	0.250 ms	0.125 ms	0.5 ms
odstęp ochronny T_g	0.246 ms	0.062 ms	0.031 ms	0.123 ms
pełny symbol T_s	1.246 ms	0.312 ms	0.156 ms	0.623 ms
liczba podnośnych	1536	384	192	768
odstęp między podnośnymi	1 kHz	4 kHz	8 kHz	2 kHz

Tab. A-1. Tryby pracy nadajnika DAB

Aneks B. Terminologia ramki kodera MUSICAM

Norma ISO MPEG 11172 opisuje proces transkodowania wejściowego sygnału dźwiękowego w kodzie PCM w skompresowany i sformatowany sygnał wyjściowy, a także proces odtwarzania próbek sygnału dźwiękowego przez dekodowanie sformatowanego sygnału cyfrowego. Procesy kodowania i dekodowania opisane są poprzez podanie algorytmów oraz stabilizowanych parametrów pozwalających na stopniowe określenie wielkości przekazywanych w ramce wyjściowej sygnału dla każdej z trzech warstw kodowania.

A. Opis ramki kodera

Ramka wyjściowa sygnału kodera warstwa II (częstotliwość próbkowania 48 kHz) powstaje z transkodowania 1152 próbek sygnału wejściowego (dla warstwy I: 384 próbek). Po filtracji subpasmowej oznacza to 36 (dla warstwy I: 12) próbek w każdym z 32 subpasm.

Pojemność ramki zależy od warstwy kodowania i jest funkcją zadanej *przepływności wyjściowej* R kodera oraz czasowej długości ramki:

$$N^{(out)} [\text{bity}] = R^{(out)} [\text{kbit/s}] \cdot T_F [\text{ms}] \quad (\text{a})$$

,gdzie:

$R^{(out)}$ przepływność wyjściowa kodera audio,
 T_F czasowa długość ramki

Dla przepływności $R^{(out)} = 8 \cdot n$ kbit/s i ramki 24 ms mamy stąd

$$N^{(out)} [\text{bity}] = 192 \cdot n [\text{bitów}]$$

Dla powiązania pojemności ramki wejściowej kodera z częstotliwością próbkowania korzystamy z wzoru określającego pojemność ramki jako liczbę próbek pomnożoną przez przydział bitów na próbkę. Dla sygnału wejściowego przydział bitów na próbkę jest stały, więc:

$$N^{(in)} = B_{pr}^{(in)} [\text{bits/próbka}] \cdot f_p [\text{kHz}] \cdot T_F [\text{ms}], \quad (\text{b})$$

,gdzie

$B_{pr}^{(in)}$ - liczba bitów na próbkę sygnału wejściowego (16 bits)
 f_p - częstotliwość próbkowania [kHz]
 T_F - czasowa długość ramki [ms]
 $N^{(in)}$ - pojemność ramki wejściowej

Porównując wyrażenia na T_F w równaniach (a) i (b) dla poziomu II oraz III mamy:

$$\begin{aligned} N^{(out)} [\text{bity}] &= N^{(in)} \cdot R^{(out)} [\text{kbit/s}] / \{ (B_{pr}^{(in)}) \cdot (f_p [\text{kHz}]) \} = \\ &= 1152 \cdot R^{(out)} [\text{kbit/s}] / f_p [\text{kHz}] \end{aligned}$$

Dla częstotliwości próbkowania 48 kHz oraz kolejno $R^{(out)} = 32, 128, 256, 384$ kbit/s mamy odpowiednio pojemności ramek wyjściowych kodera audio $N^{(out)} = 24 \cdot R^{(out)} = 768, 3072, 6144, 9216$ bitów. Dla częstotliwości 24 kHz odpowiednio dwukrotnie więcej.

Gdy liczba N nie jest całkowita (dla aktualnych parametrów DAB ten przypadek nie ma miejsca) dodaje się bity uzupełniające w celu otrzymania najbliższej większej liczby całkowitej, zaznaczając to w nagłówku ramki, w pozycji 7 (patrz tabela).

Podstawowe części ramki to:

- 1 - nagłówek [32 bity],
- 2 - kontrola błędów [16 bitów],

- 3 - pole próbek audio [wielkość określona poziomem kompresji, trybem pracy, polem PAD]
 4 - pole uzupełniające [wolne bity w ramce po określeniu pola danych]
 5 - pole usług stowarzyszonych z programem (PAD) [co najmniej 2 bajty w końcu ramki]

B. Nagłówek ramki

Pola nagłówka ramki informują o typie kodera i trybie pracy

nr pola	liczba bitów	znaczenie	komentarz
1	12	synchronizacja	ciąg bitów: '1111 1111 1111'
2	1	identyfikacja algorytmu	1 (ISO/IEC 1172-3 MPEG II audio)
3	2	nr warstwy algorytmu	'10' dla II
4	1	wskaźnik kontroli błędów	'0' - nadmiarowość dodana
5	4	wskaźnik przepływności	wartości przepływności (patrz tabela 3)
6	2	częstotliwość próbkowania	'00' - 44.1 kHz; '01' - 48 kHz; '10' - 32 kHz; '11' - rezerwa
7	1	wskaźnik uzupełnienia	'1' - bity dodatkowe dla dopełnienia do ramki; '0' - bez dopełniających bitów
8	1	prywatny bit	nie wykorzystany w normie
9	2	wskaźnik trybu pracy*)	'00' stereo; '01' łączny stereo; '10' kanał dualny; '11' mono
10	2	rozszerzenie trybu	tryb łączny stereo: wybór subpasma 'ogr' **) = 4, 8, 12, 16
11	1	prawo kopiowania	'0' - możliwość kopiowania; '1' - ochrona zapisu
12	1	audycja oryginalna / kopia	'0' - kopia; '1' - oryginał
13	2	rodzaj deemfazy	'00' - brak ; '01' - 50/15 us; '10' - rezerwa; '11' - CCITT J.17

Tabela B-1. Specyfikacja pól nagłówka ramki MPEG 2

Kontrola błędów, uruchamiana dla zerowej wartości bitu kontroli w nagłówku, wykorzystuje cykliczny kod nadmiarowy (CRC) z wielomianem generującym $G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$. Służy on do wykrywania błędów wśród 16-tu bitów nagłówka poczynając od wskaźnika przepływności z 5-tego pola (pierwsze 16 bitów nagłówka nie musi być chronionych, gdyż zawiera powtarzające się informacje; w zastosowaniu do DAB ta część nagłówka zastąpiona jest przez synchronizowane dane usług fonicznych ASSD - Audio Service Synchronised Data).

Pole próbek sygnału fonii zależy od zadanej przepływności wyjściowej skompresowanego sygnału, warstwy algorytmu, oraz wskaźnika trybu pracy kodera podanych w nagłówku.

Pole uzupełniające wynika z różnicy między pojemnością ramki wyznaczonej przez wyjściową przepustowość sygnału oraz wypełnieniem określonym przez algorytm kodera.

Pole usług stowarzyszonych z programem PAD (ang. Programme Associated Data) wyznaczone w końcu ramki MUSICAM jest przeznaczone m.in. do transmisji multimediów o treści skorelowanej z aktualnie nadawanym programem radiowym (np. opis utworu, tekst piosenki, zdjęcie wykonawcy, etc.)

C. Pole próbek

Kluczowe pojęcia występujące w opisie algorytmu warstwy II specyfikacji:

- **alokacja bitów (bit allocation)** - liczba bitów przydzielona do kodowania próbek w poszczególnych subpasmach. Wielkość warunkowana zadaną wyjściową przepływnością sygnału, a więc liczbą bitów przypadających na ramkę. Alokacja bitów w poszczególnych subpasmach jest określana w sposób iteracyjny uwzględniający aktualny rozkład czasowy i spektralny sygnału (efekt maskowania).

- **współczynnik skali (scalefactor)** - czynnik skalujący układ próbek w każdym subpaśmie przed kwantowaniem. Współczynnik skali jest wyliczany jako moduł ekstremalnej wielkości w grupie kolejnych 12 próbek. W każdym subpaśmie warstwy II mierzymy trzy współczynniki skali (w warstwie I jeden współczynnik w subpaśmie). Przekazywane są one w osobnym polu ramki ponieważ określając dynamikę dźwięku (od 0 do 120 dB co 2 dB) podlegają szczególnej ochronie; jest to ułatwione wówczas, gdy są wydzielone.

- **tablica współczynników skali (scalefactor select information)** - informacje o liczbie przekazywanych współczynników skali, gdy nie wszystkie współczynniki są transmitowane. Dzieje się tak, jeżeli dwa lub trzy z nich niewiele się różnią.

W przedziałach szybkich zmian sygnału nadawane są wszystkie współczynniki skali. Podczas niewielkich zmian sygnału ograniczenie ich liczby zwiększa kompresję sygnału w stosunku do poziomu I, gdzie wyboru współczynników nie wprowadzono (ramka poziomu I obejmuje po jednym współczynniku dla każdego subpasma).

kody próbek sygnału w subpasmach (subband samples) - są to zakodowane względne wartości próbek podzielonych przez wartości współczynnika skali danego przedziału. Kodowane są próbki tylko z tych podpasm, na które w procesie alokacji przydzielono bity. Dla najniższych przydziałów bitów Q na próbkę tj. 4, 3, 2 i 1 odpowiednie liczby poziomów kwantowania $q = 2^Q - 1$ wynoszą 15, 7, 3 i 1. Ponieważ względy praktyczne zalecają większy wybór, szczególnie mniejszej liczby poziomów, dopuszczono dodatkowo kwantowanie 9-cio oraz 5-cio poziomowe. Nie są to potęgi liczby 2 zmniejszone o 1, wprowadzono więc średnią dla trzech kolejnych próbek, grupując je w tzw. ziarno ('gr' od ang. 'granule'). Dla liniowej kombinacji próbek w ziarnie przeznaczono łącznie odpowiednio 10 oraz 7 bitów, a także 3 bity dla ziaren w subpasmach z trzema poziomami kwantowania. W celu ujednoczenia oprogramowania indywidualnie kodowane próbki są formalnie grupowane w trójki, a określanie ich pozycji dokonuje się poprzez podanie numeru 'gr' ziarna (3-ki) oraz pozycji 's' próbki w ziarnie ($s < 4$). Numer próbki w subpaśmie jest więc równy $3gr + s$. Ziarna kodowane łącznie oznaczamy symbolem [gr], próbki kodowane indywidualnie symbolem [s].

Aneks C. Grupowanie bitów kodu konwolucyjnego w kanałach FIC oraz MSC

Ogólny schemat kodowania konwolucyjnego w systemie DAB stosowany jest do poszczególnych kanałów z różnymi indeksami perforacji PI.

W przypadku ramek audio stosowane są kody z różnymi układami indeksów perforacji w poszczególnych polach ramek.

A. Kodowanie słów kanału szybkich informacji FIC

Z układu rozpraszania energii - poprzedzającego koder - otrzymujemy słowa wyjściowe o długości 768 bitów (**tryb I, II i IV**). Po koderze splotowym z 4-krotnie dłuższym kodem matki – odpowiednie słowa są przekształcane zgodnie ze schematem:

Kolejne słowa wejściowe kodera o długości 768 bitów przetwarzane jest w ciąg bitów wyjściowych kodu matki $\{u_i\}$:

$$(768 + 768 + 768 + 768 + 24 \text{ bity ogona}),$$

Następnie dzielone na grupy: $(6 \cdot 128 + 6 \cdot 128 + 6 \cdot 128 + 6 \cdot 128 + 24 \text{ bity ogona})$,
oraz wektory perforacji po 32 bity: $(24 \cdot 32 + 24 \cdot 32 + 24 \cdot 32 + 24 \cdot 32 + 24 \text{ bity ogona})$

W kanale FIC mamy stały schemat perforacji z indeksami perforacji:

$$(PI=16) \quad (PI=15) \quad (PI=8 \text{ dla } 24 \text{ bitów ogona})$$

Indeks perforacji PI=16 stosujemy do 84 wektorów perforacji, indeks PI=15 do pozostałych dwunastu. Do bitów ogona stosujemy indeks PI=8. Łącznie daje to słowo wyjściowe kodera o długości:

$$84 \cdot 32 \cdot [(8 + 16)/32] + 12 \cdot 32 \cdot [(8 + 15)/32] + 24 \cdot [(8 + 8)/32] = 2304 \text{ bity} = 3 \cdot 768 \text{ bitów}$$

Wydajność kodu wynosi więc $1/3 = 768 / (3 \cdot 768)$.

Dla **trybu III**, gdzie słowo wyjściowe układu rozpraszania energii ma długość 1024 bity, analogiczną procedurę opisuje schemat:

Słowa wejściowe o długości bitowej 1024 po zastosowaniu kodu matki ma długość bitową:

$$(1024 + 1024 + 1024 + 1024 + 24 \text{ bity ogona}),$$

czyli 128 wektorów perforacji po 32 bity oraz bity ogona.

Po podziale na 116 oraz 12 zespoły stosowany jest schemat perforacji z ustalonymi indeksami perforacji:

$$128 \cdot 32 + 24 \Rightarrow 116 \cdot 32 (PI=16) + 12 \cdot 32 (PI=15) + 24 \text{ bity ogona } (PI=8)$$

Wyjściowe słowo kodowe liczy więc

$$116 \cdot 32 \cdot [(8+16)/32] + 12 \cdot 32 \cdot [(8+15)/32] + 24 \cdot [(8 + 8)/32] = 3072 = 3 \cdot 1024 \text{ [bity]}$$

Daje to stałą wydajność kodu 1/3. Każda ramka o użytecznej pojemności 256 bitów w wyniku kodowania splotowego zwiększana jest do 768 bitów.

B. Kodowanie aplikacji głównego kanału transmisyjnego

W kanale MSC, gdzie docelowe sprawności kodera dla różnych aplikacji mogą być różne w zależności od potrzeb - wprowadzono układy indeksów perforacji w celu zwiększenia elastyczności kodera.

Przepustowość subkanałów głównego kanału usług jest krotnością 8 kbit/s (co odpowiada krotności trzech jednostek CU w ramce logicznej DAB).

W subkanale o przepustowości $n \cdot (8 \text{ kbit/s})$ usługi transmitowane są w 24-milisekundowych ramach logicznych o pojemności $n \cdot (3\text{CU})$ bitów każda. Ramki te ($n \cdot 3 \cdot 64$ bity) są elementami wejściowymi kodera.

Na wyjściu kodera-matki otrzymujemy ramki o pojemności $4 \cdot 192 \cdot n$ bitów = $128 \cdot 6 \cdot n$ bitów, czyli $6n$ grup po 128 bitów, oraz 24 bity ogona.

Podział $6n$ grup na zespoły po L_i grup 128 bitowych o ustalonych indeksach perforacji oznacza, że:

$$\sum_{i=0}^n L_i = 6n \quad /a/$$

Dobierając w każdym zespole L_i indeks perforacji PI_i ($0 < PI_i < 25$) stały w 4-ch 32-bitowych wektorach perforacji, a dla 'ogona' przyjmując $PI=8$, można sformułować warunek, by ramki wyjściowe kodera miały pojemność równą krotności 64 bitów (jednostek CU):

$$\sum 4 \cdot 32 \cdot L_i \cdot [(8+PI_i)/32] + 12 = 64 K$$

Ponieważ każda ramka wejściowa liczy $3n \cdot 64$ bity, więc dla ramki wyjściowej mamy

$$K \cdot (\text{CU}) = n \cdot (3\text{CU}) + k \cdot (\text{CU}),$$

gdzie k oznacza liczbę nadmiarowych 64-bitowych jednostek CU. Stąd:

$$\sum L_i (8+PI_i) + 3 = 16 \cdot (3n+k)$$

lub, po uproszczeniu $\sum L_i \cdot PI_i + 3 = 16 \cdot k$ /b/

oraz sprawność kodu: $C = 3n / K = 3n / (3n + k)$ /c/

Przyjmując w /b/ maksymalne wielkości indeksów perforacji $PI=24$ otrzymujemy dla liczby k zakres wartości:

$$1 \leq k \leq 9n \quad /c1/$$

Ponieważ liczby 'n' oraz 'k' są liczbami naturalnymi – warunek /c1/ ogranicza dopuszczalne sprawności kodu C do wartości $3/4, 3/5, 1/2, 3/7, 3/8, 1/3, 3/10, 3/11, 1/4$.

Dla ustalonej przepustowości subkanału można dobrać kilka podziałów na zespoły z indeksami perforacji spełniającymi warunki a i b. Zapewnić one będą sprawności określone wzorem c. W celu parametryzacji wybranych podziałów i indeksów perforacji wprowadzono pojęcia profilu ochronnego oraz poziomu ochrony:

Profil ochronny: ustalony układ indeksów perforacji PI_1, \dots, PI_k dla podziału L_1, \dots, L_k

Poziom ochrony: odpowiednik sprawności kodu określony dla danej przepustowości sygnału przez dobór profilu ochronnego

Odpowiednie zależności przedstawia łańcuch:

przepustowość sygnału \rightarrow pojemność ramki \rightarrow liczba sub-bloków kodu matki \rightarrow

→podział (L_1, \dots, L_5) → profil ochronny (PI_1, \dots, PI_4) → poziom ochrony

Poziomy ochrony od 1 (największe zabezpieczenie) do 5 (najmniejsze zabezpieczenie) odpowiadają w przybliżeniu wydajnościom kodu $1/3, 3/7, 1/2, 3/5, 3/4$. Dla różnych szybkości bitowych wielkości te mogą nieco się różnić.

Informacje o aktualnych parametrach kodowania transmitowanej aplikacji $\{L_i, PI_i\}$ przekazywane są do dekodera odbiornika w sparametryzowanej postaci poziomu ochrony. Dla danej przepustowości n subkanału poziom ochrony jednoznacznie wyznacza parametry perforacji poprzez wyspecyfikowaną tabelę [1].

Ramki sygnału audio kodowane są perforowanym kodem splotowym o sprawnościach adaptowanych do znaczenia każdego z 4-ch pól ramki.

Liczba bitów słów wyjściowych kodera (ramka audio) jest funkcją założonej przepustowości wyjściowej kodera MPEG. Koder splotowy matki zwiększa tę liczbę 4-krotnie oraz dodaje 24 bitowy 'ogon'. Liczba 128 bitowych grup kodu matki jest więc uzależniona od przepustowości sygnału audio. Ta liczba grup dzielona jest na 4 bloki (L_1, L_2, L_3, L_4) i każdemu z nich przypisujemy układ indeksów perforacji (PI_1, PI_2, PI_3, PI_4), który - w połączeniu z pozostałymi 24 bitami 'ogona' perforowanymi z $PI=8$ - daje wyjściową ramkę kodera.

Nierównomierne poziomy ochrony poszczególnych pól ramki fonii narzucają dodatkowe warunki podziału na bloki i profile ochronne. 128-bitowym grupom kodera matki odpowiadają $128/4=32$ bitowe pola ramek wejściowych. Tak więc 4 pola ramki kodera fonii o długościach równych krotnościom 32 bitów mogą być kodowane z różnymi indeksami perforacji, a więc o różnych cząstkowych wydajnościach kodu dla tych pól.

Dążenie do przypisania wybranym sprawnościom kodu wyjściowego parametrów w postaci poziomów ochrony - niezależnie od przepustowości - wprowadza ograniczenie dla wartości k z warunku /c1/ dla każdego n, oraz wypełnianie warunków /a/ i /b/. W nielicznych przypadkach wymaga to dodania do wyjściowej ramki kilku bitów uzupełniających (4 lub 8 bity zerowe w końcu słowa kodowego) by długość słów wyjściowych była krotnością 64 bitów (dla ustalonych n i k warunek /b/ spełniony w przybliżeniu: lewa strona wymaga dopełnienia). W ten sposób dla każdej przepustowości - dobierając podziały na bloki oraz odpowiadające im indeksy perforacji - można uzyskać od 3 do 5 poziomów ochrony. Sprawności kodu odpowiadające danemu poziomowi ochrony dla różnych wartości przepływności nieco się różnią. Wartości przeciętne podaje **tabela B-2**:

poziom ochrony fonii	1	2	3	4	5
przeciętna sprawność kodu dla różnych przepływności sygnału fonii	0.34	0.43	1/2	0.6	3/4

Tab. B-2. Poziomy ochrony sygnału fonii

Transmitowany do dekodera odbiornika poziom ochrony aplikacji w podkanałe o danej przepustowości jednoznacznie określa parametry kodowania $\{L_i, PI_i\}$ wraz z informacją o bitach uzupełniających.

Szczegółowe wartości parametrów kodera ujęte są w specyfikacji systemu w postaci tabel.

Dla usług transmitowanych w trybie strumieniowym lub pakietów dla wypełnienia warunków /a-c/ wystarczy podział na grupy dwóch bloków. Dla aplikacji o przepustowości 8n kbit/s mamy więc profil ochronny $\{PI_1, PI_2\}$ oraz warunki:

$$L_1 + L_2 = 6n \quad /a1/$$

$$L_1 PI_1 + L_2 PI_2 + 3 = 16k \quad /b1/$$

$$C = 3n/(3n+k) \quad /c1/$$

Jak wspominaliśmy wyżej – nie dla każdego C można spełnić warunek /c1/

Przyjmując 4 poziomy ochrony odpowiadające sprawnościom kodu C odpowiednio równym $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ możemy z warunków /a1-c1/ dobrać odpowiednie profile ochronne. Jest to zadanie niejednoznaczne. W specyfikacji systemu [1] przyjęto wartości określone jako typ A:

poziom ochrony	1A	2A	3A	4A
sprawność kodu C	1/4	3/8	1/2	3/4
Podział $\{L_1, L_2\}$	{6n-3,3}	{2n-3,4n+3}	{6n-3,3}	{4n-3,2n+3}
Profil ochronny $\{PI_1, PI_2\}$	{24, 23}	{14, 13}	{8, 7}	{3, 2}
Wejściowa pojemność ramki kodera	3nCU	3nCU	3nCU	3nCU
Wyjściowa pojemność ramki kodera	12nCU	8nCU	6nCU	4nCU

Tab. B-3. Poziomy ochrony (typ A) usług multimedialnych o przepustowości 8n kbit/sek

Dla usług multimedialnych o przepływności równej krotności 32 kbit/s, czyli $n=4n'$, możemy rozwiązać warunki /a-c/ dla sprawności kodu 4/9, 4/7, 2/3, 4/5. Uzyskane w ten sposób dodatkowe poziomy ochrony określamy mianem typu B [1].

poziom ochrony	1B	2B	3B	4B
sprawność kodu C	4/9	4/7	4/6	4/5
Podział $\{L_1, L_2\}$	{24n-3,3}	{24n-3,3}	{24n-3,3}	{24n-3,3}
Profil ochronny $\{PI_1, PI_2\}$	{10, 9}	{6, 5}	{4, 3}	{2, 1}
Wejściowa pojemność ramki kodera	12nCU	12nCU	12nCU	12nCU
Wyjściowa pojemność ramki kodera	27nCU	21nCU	18nCU	15nCU

Tab. B-4. Poziomy ochrony (typ B) usług multimedialnych o przepustowości 8n kbit/sek

Poziom ochrony podawany jest w postaci 2-bitowej liczby:

00 – poziom 1A (1B) (najwyższy)

01 – poziom 2A (2B)

- 10 – poziom 3A (3B)
- 11 – poziom 4A (4B) (najniższy)

Wybór parametrów kodera konwolucyjnego jest wynikiem kompromisu pomiędzy:

- efektywnością kodera określaną przez oczekiwaną max stopę błędu transmisji
- wzrostem zajętości kanału przez nadmiarowe kodowanie
- wielkością wahań opóźnienia wnoszonym przez koder

Parametry kodowania i perforacji sygnału ustalane są przez operatora multipleksera. Operator multipleksera ustala poziom ochrony dla poszczególnych programów i usług na podstawie wymagań operatora usług oraz informacji od operatora sieci DAB na temat warunków propagacji. Wstępnie można przyjąć dla programu kodowania ustalone wartości przeciętne.

Kodowanie splotowe zwiększa wymaganą przepływność aplikacji. Wobec ustalonej maksymalnej przepustowości systemu ograniczana przez to jest użytkowa przepustowość systemu DAB. Dopuszczalną przepustowość systemu określają parametry kodera OFDM dla wybranego typu modulacji podnośnych oraz zadanego bloku częstotliwości systemu, patrz pkt. II.7.

Aneks D. Transport parametrów dostępu warunkowego w systemie DAB

Kontrola dostępu warunkowego CA polega na stwierdzeniu:

- czy dana składowa programu lub usługi podlega ograniczeniu dostępu?
- jakie uprawnienia należy posiadać, by uzyskać dostęp do jej odbioru?
- gdzie znajdują się parametry słowa kontrolnego do uruchomienia generatora PRBS w celu deskremblingu danych?

Ponieważ modyfikator inicjalizacji IM w słowie kontrolnym zależy od bieżących parametrów transmisji, jest on różny dla różnych typów transmisji i stąd różne umiejscowienie jego składowych dla transportu strumieniowego sygnału audio i usług, oraz transportu usług w kanale FIC i transportu pakietowego w kanale MSC.

A. Dla sygnału audio w głównym kanale transmisyjnym MSC:

Modyfikator inicjalizacji IM składa się z 3 części

- a) wartości identyfikatora SubChId subkanału MSC, w którym sygnał audio jest nadawany. Identyfikator subkanału danej usługi znajduje się w FIG(0/4),
- b) dwóch zerowych bitów uzupełniających
- c) stanu licznika modulo 250 ramek logicznych LFC (ang. Logical Frame Counter) z FIG(0/0).

Identyfikator subkanału składowej danej usługi określony jest w FIG (0/4). Pozostałe informacje systemu CA zawarte są w parametrze *dostępu warunkowego składowej usługi SCCA* (ang. Service Component Conditional Access), który również znajduje się w FIG(0/4). W parametrze SCCA zawarte są informacje:

- jaki typ słowa kontrolnego jest stosowany (CW stałe, czy zmienne)
- czy warunki dostępu warunkowego uległy zmianie (informacja co 32 ramki)
- czy tryb transmisji ramki z uprawnieniami ECM uległ zmianie
- tryb przyszłego skramblingu
- identyfikator ramki z kontrolą uprawnień ECM (EMM)
- flagi transportu z informacją o trybie transmisji ramek z uprawnieniami usługi lub zmian tych uprawnień ECM/ EMM. Dla sygnału audio dopuszczalne warianty transmisji w zależności od stanu flag to:
 - ECM oraz EMM w polu danych ramek FIG 6
 - ECM w FIG 6; EMM w podkanale 63
 - ECM i EMM w podkanale 63

Flagi transportu oraz identyfikator pozwalają na jednoznaczne umiejscowienie ramki ECM lub EMM dla każdej składowej programu bądź usług.

Ramka ECM w polu identyfikatora komunikatu zawiera 6-cio bitowy typ krypto algorytmu zastosowany do szyfrowania słowa kontrolnego CW oraz fazę tego słowa (bit przełączany wraz z zmianą CW). W polu danych ramki ładowany jest kryptogram CW oraz parametry uprawnień do odbioru danej usługi. Szczegółowa organizacja tego pola zależy od systemu warunkowego dostępu. Określa go identyfikator warunkowego dostępu CAId z FIG (0/2).

Ramka EMM zawiera flagę typu adresu (indywidualny czy grupowy i jaki), sam adres indywidualny lub grupowy uprawnionych odbiorców komunikatu, typ kryptoalgorytmu użytego do szyfrowania pola danych, oraz w polu danych parametry wprowadzanych czy zmienianych uprawnień do odbioru określonych usług. Organizacja tego pola jest definiowana przez system dostępu warunkowego określony przez CAId.

B. Dla usług w trybie strumieniowym w głównym kanale transmisyjnym MSC:

Słowo inicjujące zbudowane jest jak w p.1. Informacje o subkanale usługi, a także ramka dostępu warunkowego składowej usługi SCCA znajdują się w FIG(0/4).

Dopuszczalne flagi transportu ramek ECM/ EMM określają odpowiednio ich umiejscowienie:

- ECM i EMM w polu usług ramek FIG 6
- ECM w FIG 6; EMM w podkanale 63
- ECM i EMM w podkanale 63

Flagi transportu oraz identyfikator pozwalają na jednoznaczne umiejscowienie ramki ECM lub EMM.

C. Dla usług w kanale szybkich informacji FIC

C1. Usługi skremblowane przed podziałem na ramki FIG 5

Modyfikator inicjalizacji IM tworzy 6-cio bitowe pole wypełnione zerami oraz 10-cio bitowe *słowo modyfikatora inicjalizacji* IMW. Słowo modyfikatora inicjalizacji transportowane jest w parametrze *dostępu warunkowego kanału usług kanału szybkich informacji* FIDCCA bądź jego rozszerzeniu FIDCCA_Ext (rozszerzenie zawiera dodatkowo pola flag transportu oraz identyfikator ramek ECM lub EMM).

Parametr FIDCCA transportowany jest w ramce FIG 5

Dopuszczalne flagi transportu ramek ECM/ EMM określają odpowiednio umiejscowienie:

- ECM i EMM w polu danych ramek FIG 6
- ECM w FIG 6; EMM w podkanale 63
- ECM i EMM w podkanale 63

C2. Skremblowanie ramek FIG 5, na które podzielona została usługa

Dopuszczalne flagi transportu ramek ECM/ EMM określają odpowiednio:

- ECM i EMM w polu danych ramek FIG 6
- ECM w FIG 6; EMM w podkanale 63
- ECM i EMM w podkanale 63

D. Dla usług w trybie pakietowym w kanale MSC

D1. Usługi skremblowane po podziale na grupy pakietów DG

Dopuszczalne flagi transportu ramek ECM/ EMM określają odpowiednio:

- ECM i EMM w polu danych ramek FIG 6
- ECM w FIG 6; EMM w podkanale 63
- ECM i EMM w podkanale 63
- ECM w pakietach ‘ ‘ podkanału usługi;
- EMM w pakietach ‘ ‘ podkanału usługi, lub w podkanale 63

D2. Skremblowanie pakietów, na które podzielona została usługa

Dodatkowe informacje o składowych usług przesyłanych w trybie pakietowym znajdują się w FIG(0/3)), w polu *dostępu warunkowego składowej usługi* SCCA (ang. Service Component Conditional Access).

Dopuszczalne flagi transportu ramek ECM/ EMM określają odpowiednio warianty:

- ECM i EMM w polu danych ramek FIG 6
- ECM w FIG 6; EMM w podkanale 63
- ECM i EMM w podkanale 63
- ECM w pakietach podkanału usługi; EMM w pakietach podkanału usługi, lub w podkanale 63

Aneks E. Propozycje usług w systemie DAB

System radiofonii cyfrowej dla bezpieczeństwa i gospodarki

Grupy zadań:

- A. System ostrzegawczy dla ludności cywilnej
- B. Telematyka dla transportu: informacje w ramach aglomeracji miejskich
- C. Organizacja reklam usług lokalnych w wersji cyfrowej

Uzasadnienie:

System DAB/DAB+/DMB ma wbudowane mechanizmy:

- Zewnętrznego przełączania kanałów
- Szyfrowania informacji zastrzeżonych
- Ograniczania przekazu do wyznaczonych obszarów

Radiofonia jest i będzie najpowszechniejszym i najtańszym środkiem informacji.

Ad A. Zalecenia ITU wskazują na konieczność równoległego stosowania wszystkich systemów komunikacyjnych w stanach zagrożenia. Systemy komórkowe w rejonach zagrożeń przestają działać ze względu na przekraczanie pojemności komórek. Radio cyfrowe pozwala na nadawanie ograniczone do zagrożonego rejonu oraz zewnętrzne przełączanie programu na kanał z sygnałem alarmowym i komunikatami ostrzegawczymi, których częstotliwość i ramy czasowe można z góry programować

Ad B. Byłoby to przeniesienie systemu ‘mobilnego GIS’ na system DAB. System GPS prowadzi do wybranego adresu i ostrzega o zdarzeniach ujętych w bazie danych. W celu informowania o lokalnych zdarzeniach drogowych lokalne władze muszą mieć możliwość bieżącego i bezpośredniego informowania o zmianach w ruchu na terenie aglomeracji, co daje odpowiednio zaprojektowana i kodowana komunikacja z studium lokalnego radia.

Telematyka dla transportu jest przedmiotem prac normalizacyjnych TPEG oraz w ramach UE agencji ERTICO koordynującej różne projekty krajowe i lokalne. Lokalne projekty winny korzystać z systemów kodów przyjętych ogólnie.

Ad C. Rynek reklam radia jest ograniczony. Jest to jedna z przyczyn obaw o zwiększanie liczby programów w radiofonii cyfrowej. Ofertę reklam można rozszerzyć nie ograniczając czasu antenowego dla podstawowego programu, jeśli informacje reklamowe umieścimy w podkanałach z możliwością wywoływania na żądanie. Podobnie rozszerzając ofertę reklam o graficzne informacje, niezależne od sygnału audio, powiązane z wskazaniem systemu pozycyjnego (GPS), można liczbę reklam rozszerzyć o usługi lokalne. W minimalnej formie byłaby to struktura drzewa informująca o usługach w określonym promieniu, czy wskazanej usłudze w najbliższej odległości.

Ze względu na ograniczoną przepustowość zalecana jest transmisja kodów zdarzeń, a nie ich opis. W odbiornikach powinna więc znajdować się pamięć pozwalająca na umieszczenie lokalnej bazy dekodera.

Konkretne zadania w każdej grupie dotyczą komunikacji:

- Klient (dla alarmu informator) → studio (automatyczne kodowanie czasu, miejsca, typu usługi,...)
- Studio → nadajnik (lub grupa nadajników sieci jednoczęstotliwościowej)
- Dekodowania oraz ekspozycja w odbiorniku (synchronizacja z GPS, syntetyzowane komunikaty, ...)

Marian Oziewicz Wrocław, 2012.02.12

Aneks F: Bloki częstotliwości systemu DAB w III zakresie UKF w Europie

Blok	DAB	Częstotliwość nośna MHz
5A		174.928
5B		176.640
5C		178.352
5D		180.064
6A		181.936
6B		183.648
6C		185.360
6D		187.072
7A		188.928
7B		190.640
7C		192.352
7D		194.064
8A		195.936
8B		197.648
8C		199.360
8D		201.072
9A		202.928
9B		204.640
9C		206.352
9D		208.064
10A		209.936
10B		211.648
10C		213.360
10D		215.072
11A		216.928
11B		218.640
11C		220.352
11D		222.064
12A		223.936
12B		225.648
12C		227.360
12D		229.072
13A		230.748
13B		232.496
13C		234.208
13D		235.776
13E		237.448
13F		239.200

