

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Andrej Skenderović

ZEMALJSKI PRIJENOS DIGITALNE TELEVIZIJE

Seminarski rad

Mentor:  
Doc.dr.sc Sonja Grgić

Zagreb, svibanj 2001

# Sadržaj:

1. Uvod.....	2
1.1 DVB-T kao primjer prijenosnog sustava .....	2
2. COFDM - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex.....	4
2.1. Što znači COFDM? .....	4
2.2. COFDM : Kako organizirati kanale? .....	5
2.2.1. Kanalno dijeljenje .....	5
2.2.2. Umetanje podnosioca .....	5
2.2.3. Zaštita intervala umetanja .....	6
2.2.4. Sinkronizacijski kanal .....	7
2.3. COFDM: Kako prenositi podatke? .....	7
2.3.1. Glavne karakteristike .....	7
2.3.2. Hijerarhijski dijagram stanja .....	8
3. Karakteristike hijerarhijske modulacije .....	9
3.1 Hijerarhijska modulacija: zašto? .....	10
3.1.1. Radiodifuzija prema fiksnim i prijenosnim prijemnicima .....	10
3.1.2. Povećanje mrežne brzine prijenosa kanala .....	11
3.1.3. Difuzija na mobilne prijemnike .....	12
3.2. Istovremeni prijenos digitalne televizije visoke i standardne kvalitete .....	13
4.Sposobnost COFDM-a u jednofrekvencijskim mrežama .....	13
5. Izgradnja jednofrekvencijskih mreža SFN-a .....	14
5.1. Ograničenja frekvencijske domene .....	14
5.1.1. Radna frekvencija odašiljača .....	14
5.1.2. Frekvencija procesiranja COFDM-a .....	16
5.2. Ograničenja vremenske domene SFN .....	17
5.2.1. Vremenska sinkronizacija : zašto? .....	18
5.2.2. Kašnjenje u distribucijskoj mreži .....	19
5.2.3. Usklađivanje vremena u SFN-u .....	20
6. Zaključak.....	22
7. Literatura: .....	23

# 1. Uvod

Ne tako davno većina oblika električnih komunikacija su bile analogne od ulaza do izlaza. Dok je to vodilo minimiziranju složenosti sustava rezultat je bio komunikacijski link sa manje nego optimalnim šumom, spektralnom korisnošću i/ili pouzdanošću. S brzim razvojem u integriranim krugovima posebno u području obrade visokofrekvencijskih digitalnih signala, mnogi komunikacijski linkovi su danas projektirani da koriste digitalnu modulaciju.

Unatoč uobičajeno većoj složenosti sustava, postoji dobar razlog da komunikacijski linkovi koriste digitalnu modulaciju. Za danu širinu pojasa i odnos signal/šum (S/Š) dostupna je veća količina podataka. Razlog tome je činjenica da osnovni pojas informacije može biti obrađen da izgleda slučajnije, dopuštajući bolju iskoristivost radiofrekvencijskog spektra. Nadalje, daljnja složenost je u prvom redu implementirana digitalno i češće u softveru, čineći sustav stabilnijim i pouzdanijim nego jednostavniji analogni linkovi.

## 1.1 DVB-T kao primjer prijenosnog sustava

Kod stvaranja prijenosnih standarda koji se tiču radiodifuzije digitalnog video signala - DVB (*Digital Video Broadcasting*) potrebno je dublje razumijevanje kanala prijenosnih medija. Širina kanala kod satelitske komunikacije je 33 MHz i dosta je ograničen snagom te na njega dosta jako utječu nelinearnosti napona napajanja na satelitu, dok je koaksijalni kabel uže prijenosne karakteristike i ograničen je snagom u tom smislu da kumulativna snaga svih signala ne smije prijeći granice koje su zadane kod pojačala postavljenih u kabelskoj mreži. Jedan od glavnih zahtjeva u difuziranju DVB prijenosa za sve prijenosne medije je potreba da se prenosi velika količina podataka u kratkom vremenu. Iz toga je očito da ova dva prijenosna sustava zahtijevaju različita rješenja. Razvijeni su standardi satelitski DVB (DVB - *Satellite*) i kabelska DVB (DVB - *Cable*).

Najsloženiji DVB prijenosni sustav od svih je zemaljski DVB (DVB - *Terrestrial*). Ova specifikacija je dovršena početkom 1996 god., dvije godine nakon DVB-S. Trebalo je razviti DVB-T da mu performanse budu slične DVB-S.

Komercijalni zahtjevi za DVB-T su bili:

- DVB-T bi trebao biti dosta sličan DVB-S da bi se postigla proizvodnja multistandardnih prijemnika po najnižoj cijeni
- trebao bi biti podržan konceptualni model "paketi podataka" koji se koristi za DVB-S i DVB-C. "Paketi podataka" rezultat su kanalnog prijenosa i modulacije i uz činjenicu da DVB osigurava prijenos bez pogreške - QEF (*Quasi Error Free*) prijenos različitih tipova podataka unutar pojedinog kanala u kablu, preko satelita ili zemaljski. QEF je metoda zaštite od pogrešaka koja je u mogućnosti reducirati greške skoro na nulu ( $< 10^{-11}$ ) uz uvjet da je odnos signal/šum (S/Š) u fizičkom prijenosnom kanalu dovoljno velik. Dogodi li se da uvjeti u kanalu utječu na taj način da je S/Š malen BER (*Bit Error Rate*) će narasti i kanal će postati neupotrebljiv. Za DVB su osmišljeni sustavi za radiodifuziju. Zanimljiva popratna pojava ovakvog konceptualnog modela je da se DVB može vrlo fleksibilno koristiti za radio, HDTV - televizija visoke kvalitete (*High Definition Television*), SDTV - televizija standardne kvalitete (*Standard Definition Television*) i

svaku mješavinu takvih usluga po paketu, dok god to kapacitet paketa dozvoljava. Za DVB-S je to 38 Mbps.

- Veličina paketa podataka za DVB-T bi trebala biti što veća. Primarno bi trebalo biti tolerirano korištenje 8 MHz kanala. Prilagodba na 7 MHz i 6 MHz trebala bi biti potpuno ista.
- Sustav treba biti dimenzioniran na taj način da se pomoću stacionarnih krovnih antena može postići široka pokrivenost. Trebao biti omogućen prijem mobilnih prijemnika (dok rade u stacionarnom modulu). Kod mobilnih prijema nema zahtjeva, ali su poželjne dobre performanse.
- Sustav mora biti sposoban raditi na jednofrekvencijskim mrežama (SFN – *Single Frequency Network*). U SFN odašiljači mogu koristiti iste frekvencije samo ako odašilju apsolutno identične pakete podataka
- Ova vrsta tehnologije mora biti izgrađena do 1997 god za prve prodaje skupih DVB prijemnika
- Kao opcija treba biti uključena i hijerarhijska modulacija

Europski standard uključuje veliki broj modova za transmisiju koji omogućavaju obradu COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*) signala za široku raznolikost radiodifuzijskih usluga. Među njima, hijerarhijska modulacija odvaja radiofrekvencijski (RF) kanal u dva virtualna kanala, od kojih svaki može nositi prijenosni tok sa namjenskom zaštitom.

U prvom pristupu, ta DVB-T mogućnost se sagledava kao način za definiranje dviju različitih površina prekrivanja za dati odašiljač.

Danas odašiljači namjeravaju koristiti DVB-T standard da se omogući velika raznolikost usluga.

- Neke zemlje namjeravaju koristiti DVB-T za radiodifuziju HDTV. Prema tome oni trebaju DVB-T multipleks u njegovim visokim i standardnim definicijama, da obuhvate dvije kategorije prijemnika koji će se koristiti tijekom faze uvođenja digitalne televizije.
- Drugo veliko očekivanje je korištenje DVB-T obuhvaćanjem mobilnih prijemnika u javnom prijevozu, biti će velika prednost uspostaviti jedinstvenu mrežu odašiljača da bi se obuhvatili kućni i vanjski prijemnici.

Zbog nedostatka dostupnih frekvencija DVB-T hijerarhijska modulacija postaje zanimljiv način na koji jedan radiofrekvencijski kanal može obuhvatiti dvije kategorije prijemnika i kao posljedica dva marketinška segmenta.

Nakon objašnjenja hijerarhijski moduliranog DVB-T COFDM signala detaljnije su objašnjeni tehnički kompromisi koje odašiljač mora zadovoljiti da bi odašiljao DVB-T hijerarhijsku modulaciju.

## 2. COFDM - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex

COFDM je vrlo poznati koncept koji je rasprostranjen svijetom, npr. trenutno ga predstavljaju preko radiodifuzije digitalnog audio signala - DAB (*Digital Audio Broadcasting*) u mnogim zemljama Europe. Glavna dobit COFDM je da se serijski osnovni pojas prijenosa podataka koji treba prenijeti razdjeli pomoću mnogo blisko postavljenih individualnih nosilaca (frekvencijska raspodjela). Ovaj način širenja čini signal osjetljiv na efekte višestaznog širenja (*Multipath*) i uskopojasne interferencije. Individualni set takvih nosilaca koji se procesiraju u određenom vremenu se zove CO FDM simbol.

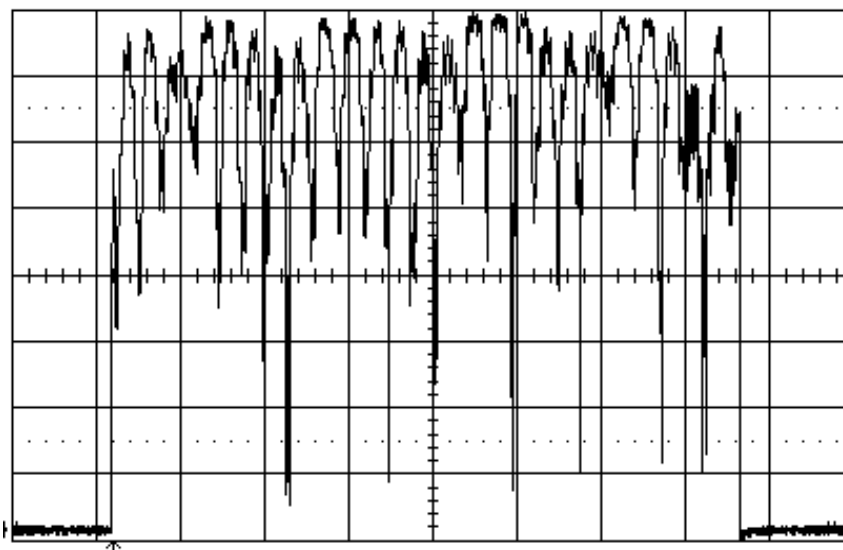
Od početka ere radiodifuzije, planiranjem se frekvencija pokušava izbjeći interferencija uzrokovana preklapanjem područja djelovanja odašiljača. Nažalost, preklapanje odašiljača nije jedini izvor interferencija: zemaljski kanal ima složen propagacijski model koji proizvodi refleksiju (višesmjerna propagacija) te pri komunikaciji s mobilnim prijemnicima Dopplerov efekt. Kao posljedica, u svakoj točki područja pokrivanja, signal prihvaćen u prijemniku je zbroj nekoliko osnovnih signala, uključujući i izvorni signal, zakašnjele replike izvornog signala te šum u kanalu.

Za izbjegavanje fizičkog slabljenja signala, tradicionalni postupak bio je povećanje snage izvornog signala (tzv. snaga odašiljanja). Izravna posljedica ovog postupka je povećavanje ograničenja ponovne upotrebljivosti kanala i, prema tome, umjetno pridonosenje zauzetosti spektra radijskih frekvencija.

Početkom '80 godina, istraživački laboratorij France Telecoma CCETT (*Centre Commun d'Etudes en Telediffusion et Telecommunication*) je proučavao modulacijski sustav dovoljno snažan i učinkovit da prenosi digitalne signale i da pritom sačuva spektar radijskih frekvencija: kodirani ortogonalni višestruki pristup po frekvencijama - COFDM. Njihov rad je pridonio donošenju dvaju standarda za odašiljanje: radiodifuzija digitalnog audio signala (DAB) te zemaljska radiodifuzija digitalnog videosignala (DVB -T ).

### 2.1. Što znači COFDM?

Na slici 1. je prikazan spektar jednog radiofrekvencijskog kanala. Kada bi analizirali ovaj signal, čini se da odziv zemaljskog kanala nije jednak za sve podpojaseve svake frekvencije: zbog zbroja primljenih signala



Slika 1. Odziv kanala

(izvornoga i reflektiranog), ponekad nije primljena nikakva energija, a ponekad je primljeno više nego je odaslano!

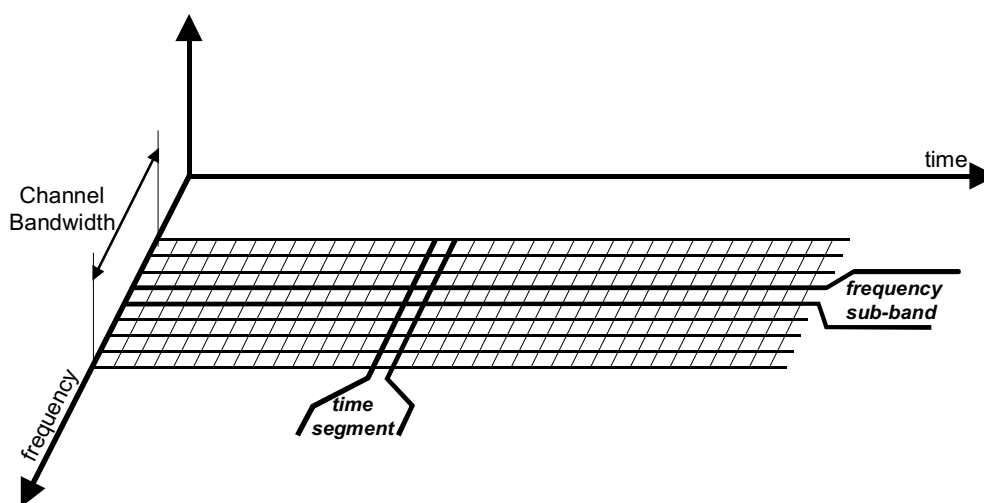
Zaključak ove prve analize je : mjerenja pokazuju da su pojedini potpojasevi dobro preneseni, dok su neki drugi znatno promijenjeni kroz propagaciju zemaljskog kanala. Ako se želi koristiti ovaj radio -frekvencijski kanal za odašiljanje digitalnog signala, jednostavna ideja je širenje podataka preko velikog broja uskih frekvencijskih potpojaseva: u tom slučaju biti će moguće obnoviti dio signala prenesenog na nepromijenjenim potpojasevima. Za obnavljanje ostatka signala, jednostavna ideja je prijenos digitalnih podataka pomoću zaštitnih kodova. Ti kodovi više-manje omogućuju ispravljanje podataka u promijenjenim potpojasevima.

## 2.2. COFDM : Kako organizirati kanale?

Nažalost, karakteristike transmisijskih kanala nisu konstantne u vremenskoj domeni. Ali, tijekom kratkog vremenskog intervala karakteristike zemaljskog prijenosa kanala su stabilne.

### 2.2.1. Kanalno dijeljenje

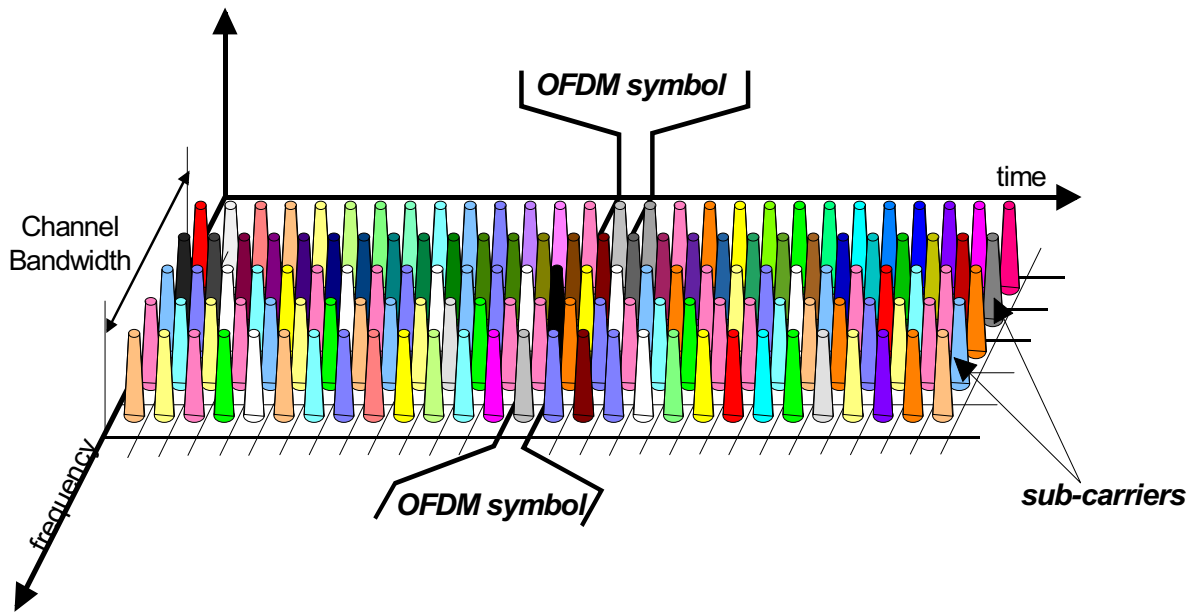
Prema slici 2. COFDM implementira dijeljenje zemaljskog kanala u obje, i u vremenskoj i u frekvencijskoj, domene, da organizira RF kanal kao set uskih "frekvencijskih podpojaseva" i kao set malih susjednih "vremenskih segmenata"



Slika 2. Podjela kanala

### 2.2.2. Umetanje podnosioca

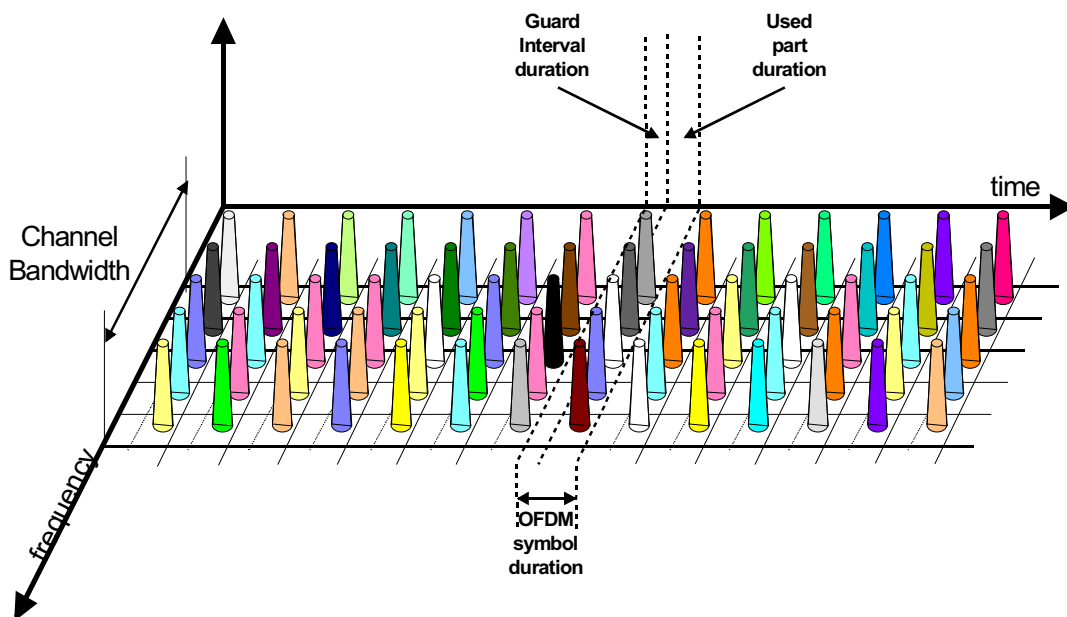
Unutar svakog vremenskog segmenta, nazvanog OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) simbol, jedan podnosioc je opremio svaki frekventni podpojas. Ta bi se izbjegla interferencija među nositeljima, i razmak između nositelja je odabran da bude jednak inverznom trajanju simbola : drugim riječima, podnosiocelji su ortogonalni. To je prikazano na slici 3.



Slika 3. Umetanje podnosioca

### 2.2.3. Zaštita intervala umetanja

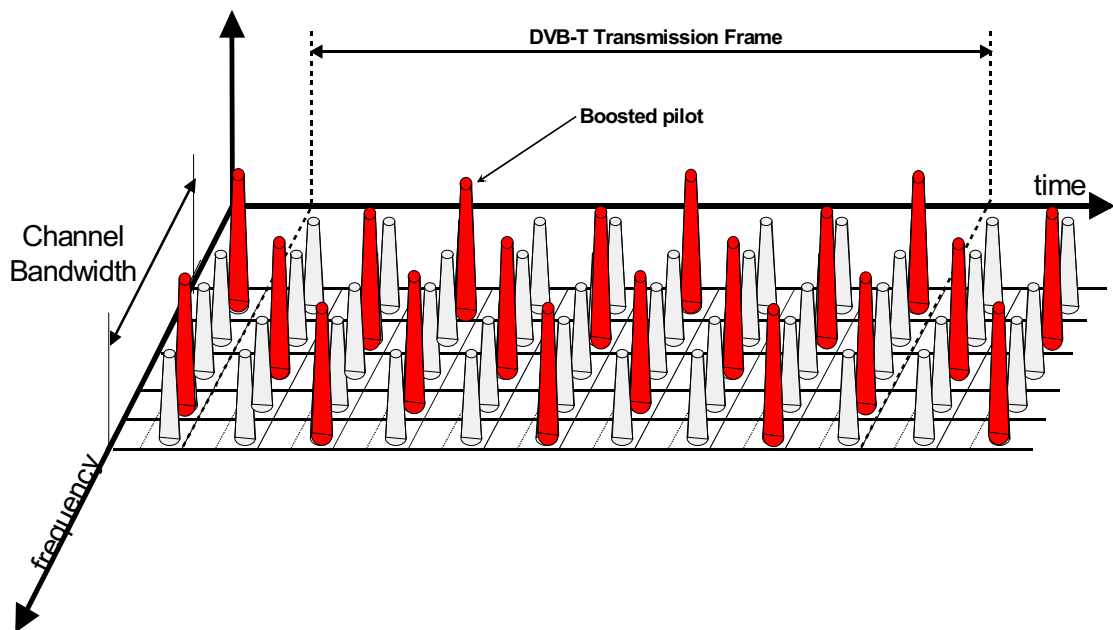
Budući da su refleksije sastavljene od pomaknutih kopija originalnog signala, kraj datog OFDM simbola može proizvesti interferenciju između simbola (intersimbolna interferencija) sa početkom od sljedećeg. Da bi se izbjegao taj efekt, umetnut je zaštitni interval između svakog OFDM simbola kao što je prikazano na slici 4. Tijekom trajanja zaštitnog intervala (*Guard Interval*), što odgovara periodu interferencije među simbolima, prijemnici trebaju ignorirati primljeni signal.



Slika 4. Umetanje zaštitnih intervala

## 2.2.4. Sinkronizacijski kanal

Da bi se signal ispravno demodulirao prijemnici ga trebaju primati tokom korisnog perioda od OFDM simbola (ne tijekom zaštitnog intervala). Prema tome vremenski prozor treba biti točno postavljen prema trenutku gdje se pojavi svaki emitirani OFDM simbol. DVB-T sistem koristi "pilot" podnosiocima pravilno raspoređene u transmisijskom kanalu kao sinkronizacijske markere kao što je prikazano na slici 5. Ta različita obilježja (kanalno dijeljenje, umetanje podnosioca, zaštitni interval i ubacivanje sinkronizacijskih markera) čine osnovne karakteristike COFDM modulacije. Nažalost, sva ta obilježja naslućuju gubitak sadržaja na kanalu ili redukcije njihove korisne brzine prijenosa. Suprotno, omogućavaju zahtjevi između otpornosti kanala i kapaciteta kanala. Da bi se primateljima dala sloboda koliko je moguće za prilagodbu zemaljske transmisije njihovim specifičnim situacijama, DVB-T standard je definirao niz vrijednosti za te parametre: njihove kombinacije čine DVB-T modove.



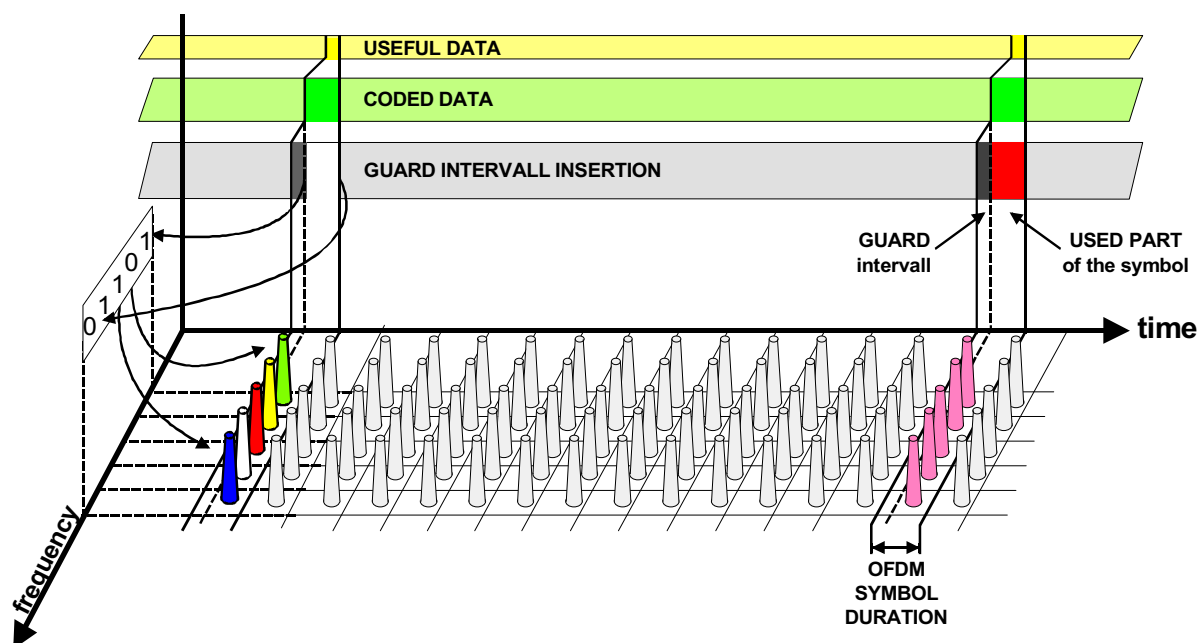
Slika 5. Sinkronizacijski marker

## 2.3. COFDM: Kako prenositi podatke?

COFDM omogućava širenje emitiranih podataka u vremenskoj i frekvencijskoj domeni nakon zaštite sa konvolucijskim prijenosom. Kako se javlja frekvencijsko slabljenje na susjednim frekvencijskim podpojasevima, susjedni bitovi podataka su raspršeni preko udaljenih podnosioca unutar svakog OFDM simbola. To obilježje poznato kao frekvencijsko proširenje koda je ilustrirano na slici 6.

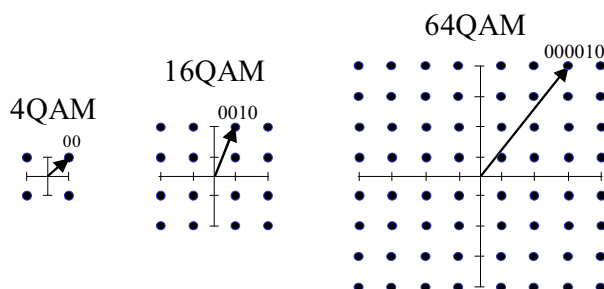
### 2.3.1. Glavne karakteristike

Pridruživanje podataka na OFDM simbole podrazumijeva moduliranje svakog podnosioca prema jednoj od tri osnovne DVB-T složene raspodjele. To su pravilni dijagrami stanja prikazani na slici 7. Ovisno o izabranoj karakteristici, 2 bita (4QAM, *Quadrature Amplitude Modulation* - kvadraturna amplitudna modulacija), 4 bita (16QAM) ili 6 bita (64QAM) se prenose u vremenu na svakom podnosiocu.



Slika 6. Preslikavanje podatkovnih bitova na podnosiocce

Svaka karakteristika ima namjensku otpornost prema minimumu odnosa signal/šum - C/N (*Carrier/Noise*) koji se tolerira za izvedivu demodulaciju. Grubo, (4QAM) je 4 do 5 puta više otporniji prema šumu nego (64QAM).

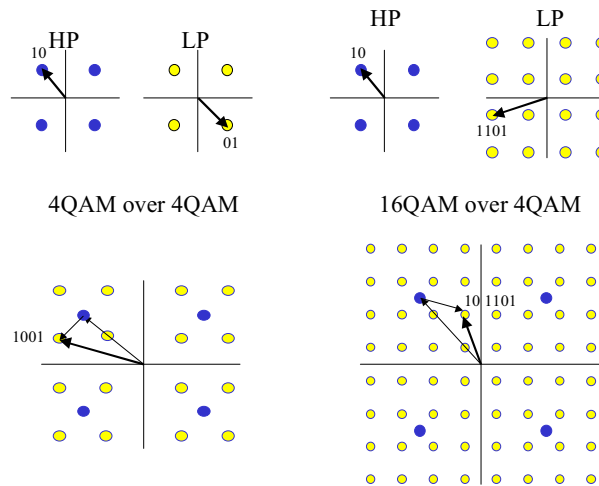


Slika 7. Osnovni dijagram stanja DVB-T

### 2.3.2. Hijerarhijski dijagram stanja

Hijerarhijsku modulaciju čini alternativna interpretacija (i korištenje) osnovnih 16QAM i 64QAM dijagrama stanja. Prema slici 8. hijerarhijska modulacija se može shvatiti kao separacija RF kanala na dvije virtualne struje, s tim da svaka ima specifičnu brzinu prijenosa, specifičnu grubost i prema navedenom, pokriva dvije neznatno različite površine. Različite karakteristike ta dva virtualna kanala dolaze od različitih kombinacija dijagrama stanja i brzine prijenosa primijenjenih na njima.

Praktično, to znači da je prvi tok podataka pridružen korištenjem 4 QAM raspodjela. Svaki bit -par tih tokova podataka će definirati kvadrant zauzet od podnosioca u dijagramu stanja. Tada je drugi tok podataka korišten za modificiranje unutar definiranog kvadranta, za realne i imaginarne komponente podnosioca. Ako se drugi tok podataka mapira sa bit parovima, tada hijerarhijska raspodjela je kao 4QAM preko 4QAM (slika 8.). Tada će rezultirajući raspodjela izgledati kao 16 QAM. Ako se umjesto toga koriste



Slika 8. Dijagram stanja hijerarhijskog DVB-T

4 bita, tada će se dobiti 16QAM preko 4QAM što rezultira 64QAM dijagramom stanja. Prvi tok podataka će uvijek koristiti 4QAM modulaciju, tada, kada će biti više grublji, naziva se tok s najvišim prioriteto (HP - *High priority*). Drugi, manje grublji, bilo u 4QAM ili 16QAM slučaju, se naziva tok s manjim prioriteto (LP - *Low Priority*).

Hijerarhijski modulacijski modovi nude dodatnu varijantu: alfa faktor. Taj daje pomak (*offset*) svakoj četvrtini raspodjela unutar kvadranta. Uglavnom, taj pomak čini HP 4 QAM modulaciju otpornijom i nažalost, modulacija preko LP, će podnositi dodatne slabosti.

### 3. Karakteristike hijerarhijske modulacije

Dvije glavne karakteristike DVB-T hijerarhijske modulacije su:

- omogućavanje odašiljanja, na istom radio frekvencijskom kanalu, dva nezavisna MPEG (*Moving Pictures Experts Group*) transportna toka.
- davanje namjenske zaštite, a tada i namjenskog prekrivanja, svakom transportnom toku.

Zasigurno, razlike u grubosti između HP i LP toka će ovisiti o dijagramu stanja (4QAM ili 16QAM) i o brzini prijenosa primijenjenoj na LP. HP tok, uvijek moduliran kao 4QAM će imati max. korisnu brzinu prijenosa ovisnu samo o zaštitnom kodiranju korištenom za zaštitu iste. Prateći LP tok predstavljen kao modulacija preko HP se može vidjeti kod prijemnika kao dodatni šum u kvadrantu od primljenog dijagrama stanja. Tada, će za HP tok podataka biti dopušten manji odnos C/N, u usporedbi s pravilnom 4QAM.

Dva su načina za kompenziranje ili za povećanje C/N od HP.

- ako korisna HP brzina prijenosa treba biti očuvana, tada sa povećanjem alfa faktora, HP ograničenja mogu biti kvaziponištena.
- ako je mala redukcija HP toka podataka brzina prijenosa je prihvatljiva tada se HP ograničenja ublažavaju s povećanjem njihove zaštite (njihove brzine prijenosa)

Izbor između ovih dviju strategija će ovisiti o ograničenjima koje primatelj prihvaća za LP tok (biti će jedna bez obzira koja se izabere). S obzirom na LP tok, njegova brzina prijenosa je direktno diktirana sa

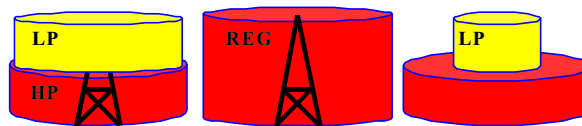
dijagramom stanja / brzinom prijenosa korištene kombinacije, koja je striktno istovjetna s regularnim 4QAM i 16QAM modulacijskim modovima. Ali pošto je LP 4QAM ili 16QAM modulacija korištena preko HP 4QAM, C/N potreban za demodulaciju LP je daleko važniji nego u nehijerarhijskom 4QAM i 16QAM modu. C/N koji je zahtijevan za LP tok, je u stvari usporediv sa onim koji je potreban kod uobičajene modulacije za cijeli dijagram stanja (tj. uobičajena 16QAM ili 64QAM). Situacija je lošija za LP kada se povećava alfa faktor za pojačanje HP zaštite.

### 3.1 Hijerarhijska modulacija: zašto?

U mnogim zemljama uvođenje digitalnih TV usluga je izvođeno dijeljenjem UHF/VHF pojasa sa postojećom analognom TV, često korištenjem zabranjenih kanala. Planiranje mreža je realno zbirano da optimizira korisnu brzinu prijenosa DVB-T kanala, što vodi općenito planere mreža da odaberu modulacijske sheme s vrlo gustim dijagramom stanja poput: 64QAM modulacija i 2/3 zaštitno kodiranje.

Topologija mreže i pokrivanja vodi do sljedećih izbora:

- izbor načina rada 2K/8K uvjetuje mrežni operacijski mod (MFN ili SFN) i max. Veličina transmisijske ćelije
- izbor zaštitnog intervala je diktiran od strane terena (urbano ili ruralno) jer okolina uvjetuje disperziju vremena zaostajanja u zemaljskom kanalu.



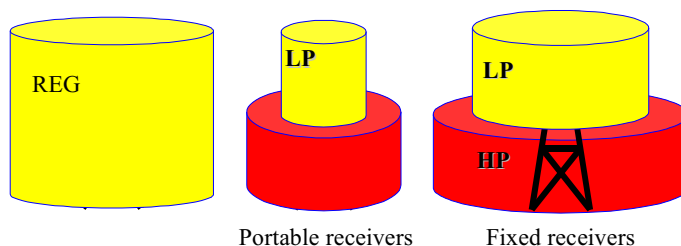
Slika 9. Simbolička pokrivenost za hijerarhijsku modulaciju

Na vrhu tih izbora obilježje hijerarhijske modulacije omogućava daljnje poboljšanje planiranja. U praksi izbor parametara hijerarhijske modulacije će diktirati opseg situacija između dva ekstrema prikazana na slici 9. Obilježja hijerarhijske modulacije predstavljaju novi kompromis između brzine prijenosa i otpornosti i kao rezultat daju novi kompromis između brzine prijenosa i pokrivena površina. U početku eksperimentiranja s DVB-T hijerarhijska modulacija je smatrana kao način za definiranje dvije površine pokrivanja za dati odašiljač. To je u suštini točno, ali samo u suštini: dvije površine pokrivanja ne moraju biti potrebne ako je predviđena samo jedna kategorija usluga. Ukratko, fleksibilnost ponuđena s hijerarhijskom modulacijom može se prilagoditi na nekoliko načina, što najviše ovisi o zahtjevu i stajalištima radiodifuzne organizacije. Neki primjeri nadalje govore u prilog tome.

#### 3.1.1. Radiodifuzija prema fiksnim i prijenosnim prijemnicima

Jedna primarna uporaba hijerarhijske modulacije je neznatno modificiranje modulacijskih parametara kako bi se olakšao prijem u zatvorenom za prijenosne prijemnike. Fiksni prijemnici će imati koristi od antena na krovovima, dok prijenosni prijemnici neće imati tu mogućnosti. Slika 10. prikazuje ih u usporedbi s regularnim modulacijskim modom, HP i LP će pokriti dvije različite površine: grublji tok podataka HP, sadržavajući glavne programe (jezgra) trebao bi se moći primati sa fiksnim i mobilnim prijemnicima. Ali s obzirom na prijenosne prijemnike HP površina pokrivanja će biti neznatno veća u

usporedbi s regularnim modulacijskim modom. Što se tiče fiksnih prijemnika samo će mali nedostaci utjecati na površinu prekrivanja. Praktički, što će biti kompromis ako se regularni mod 64QAM 2/3 konvertira u hijerarhijski kao HP: 4QAM 1/2 i LP: 16QAM 2/3?

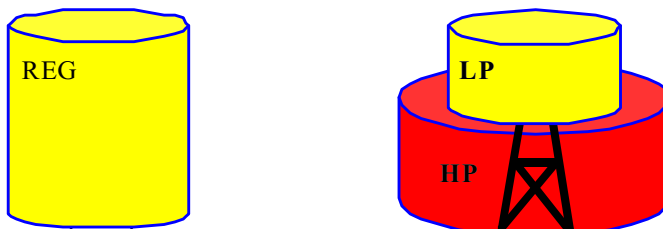


Slika 10.: Hijerarhijska modulacija za prijenosne prijemnike

Brzina prijenosa	REG : 24,13 Mbps	HP : 6,03 Mbps LP : 16,09 Mbps
C/N Gaussian	REG : 16,5 dB	HP : 8,9 dB LP : 16,9 dB

Tablica 1. Unutarnji prema vanjskom kompromisu

Sa stajališta korisne brzine prijenosa kapacitet se pomiče s 24.13 Mbps na hijerarhijsku 22.12 Mbps. Globalni kapacitet je tada reduciran sa 2.01 Mbps. Ali sa stajališta C/N u Gaussovom kanalu HP zaštita je daleko bolja, budući da je LP-ova identična regularnom transmisijskom modu. Općenito, sveukupna brzina prijenosa je manje reducirana nego što je robusnost povećana za HP tok, dok je LP pokrivenost kvaziidentična. To ostaje točno čak i u slučaju uskraćenih prijenosnih prijemnika, kao što je bilo potvrđeno tijekom terenskih probi u Velikoj Britaniji od strane BBC -ijevog odjela za istraživanje.



Slika 11. Hijerarhijska modulacija za više brzina prijenosa.

### 3.1.2. Povećanje mrežne brzine prijenosa kanala

U ovom pristupu organizacije koje se bave radiodifuzijom prihvatile su da će hijerarhijska modulacija promijeniti ukupnu pokrivenost u usporedbi s regularnim modom, kao što je na slici 11. Sukladno tome, umjesto regularne 64QAM 2/3 korištena je slijedeća hijerarhijska HP: 4QAM 3/4 i LP: 16QAM 3/4.

Što će biti nedostaci u vidu C/N u Gaussovom kanalu?

HP C/N postaje neznatno bolji (+2,8 dB), a LP C/N neznatno lošiji (-2,1 dB) s obzirom na regularni slučaj. Tada će pokrivenost biti neznatno manja za LP i neznatno veća za HP nego u regularnom modu. Ali brzina prijenosa se miče s 24,13 Mbps na 27,15 Mbps što predstavlja zamjetljivo povećanje od

3,02 Mbps. Općenito, za troškove distorzije u ukupnoj pokrivenosti (5 dB smanjenje između HP i LP ) i možda velikoj LP osjetljivosti na međukanalne interferencije, noseća kapacitivnost kanala će se povećati za nekoliko Mbps.

Brzina prijenosa	REG : 24,13 Mbps	HP : 9,05 Mbps LP : 18,10 Mbps
C/N	REG : 16,5 db	HP : 13,7 dB LP : 18,6 dB
Gaussian		

Table 2 : Brzina prijenosa

### 3.1.3. Difuzija na mobilne prijemnike

Različiti terenski pokusi i laboratorijski testovi provedeni dosad od strane MOTIVATE (europski istraživački projekt), demonstriraju da je mobilni prijem DVB-T signala podesiv. 16QAM i 4QAM sheme čine se izvedive ako su podržane sa strogom zaštitom. Kao što su mobilne aplikacije predv idene općenito za gradska područja (npr. javni prijevoz) tada će profili kanala biti karakterizirani sa kratkim odjecima. Slijedeći tu činjenicu, DVB-T modovi imajući visoku brzinu prijenosa i omogućavajući brzinu prijenosa od 8 do 12 Mbps (2-3 programa) čine se prikladnim za slanje Usluga na mobilne prijemnike. Kako uvesti usluge na mobilne, simultano sa DTV uslugama na fiksnim i prijenosnim prijemnicima u RF spektru prenatrpanom s analognim uslugama? Ako se mogu omogućiti dva RF kanala, primarna analiza će diktirati alociranje jednog od njih za mobilne usluge (otprilike 2 programa), a drugi za tradicionalne prijemnike (otprilike u EU 5-6 programa). Buduća analiza će razmatrajući hijerarhijsku modulaciju vjerojatno doći do drugih zaključaka. Izaberimo hijerarhijski model sa zaštitnim intervalom 1/16 i HP: 4QAM 1/2 , LP:16 QAM 3/4. Tada će brzina prijenosa dva hijerarhijska virtualna kanala biti za HP: 5,85 Mbps i za LP: 17,56Mbps. Te će raspodjele dati za svaki RF kanal kapacitet za jedan jako zaštićeni program za mobilne prijemnike u HP toku, i otprilike 4 programa za statički prijam u LP toku. Kako su dva RF kanala dostupna, ako je hijerarhijska modulacija primjenjena na njima, radiodifuzijski kapacitet će biti 2 programa za mobilne i 8 programa za fiksne prijemnike.

Za mobilne prijemnike	RF 1 ~	12 Mbps	~ 2 programa
Za fiksne prijemnike	RF 2 ~	24 Mbps	~ 6 programa
Za mobilne prijemnike	HP 1 :	5,85 Mbps	~ 1 program
Za fiksne prijemnike	LP 1 :	17,56 Mbps	~ 4 programa
Za mobilne prijemnike	HP 2 :	5,85 Mbps	~ 1 program
Za fiksne prijemnike	LP 2 :	17,56 Mbps	~ 4 programa

Table 3 : Fiksni vs mobilni kompromis

Zaključak je kristalno jasan:

- ako su RF kanali posvećeni specijalnom korištenju tada je moguće isporučiti max. 8 programa (2+6)
- ako se umjesto toga koristi hijerarhijska modulacija stvarajući virtualni tok unutar svakog RF kanala posvećen specifičnoj usluzi može se isporučiti max. 10 programa (2x(1+4)).

Ponovno, izgleda da hijerarhijska modulacija daje značajnu prednost u učinkovitom korištenju RF spektra.

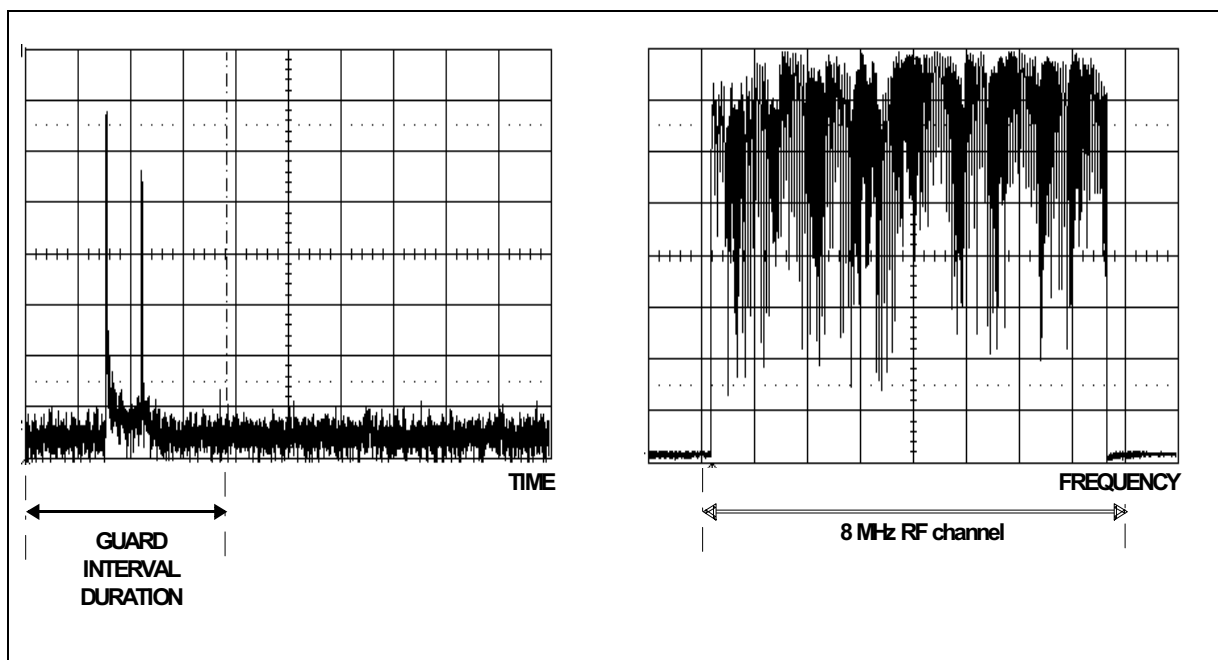
### 3.2. Istovremeni prijenos digitalne televizije visoke i standardne kvalitete

Van EU, velik broj zemalja uključujući Australiju namjerava ponuditi "visoko definirane" programe za podršku uvođenju digitalne TV. To je potvrđeno sa dostupnošću ekrana s visokom rezolucijom na tržištu po prihvatljivim cijenama u vremenskoj skali dolaska digitalne TV. Međutim, u periodu uvođenja DTV neće svi prijemnici imati mogućnosti visoke rezolucije. Da bi se ubrzalo oslobađanje od analognih kanala biti će potrebno istovremeni prijenos digitalne programe u oba formata HD i SD. Hijerarhijski mod korištenjem 1/16 zaštitnog intervala, HP: 4QAM 3/4 i LP: 16 QAM 3/4 će ponuditi dovoljne brzine prijenosa (HP : 8,78 Mbps i LP: 17,56 Mbps) za istovremeni prijenos DTV programa u HD i SD formatima. Ostaje moguće korištenje neravnomjernog hijerarhijskog dijagrama stanja (alfa faktor = 2 umjesto 1) za povećanje HP otpornosti toka (C/N: 10,8 dB umjesto 13,7 dB) i spasiti LP C/N sa povećanjem zaštitnog kodiranja(2/3 umjesto 3/4). Ta dodatna zaštita na LP ( 18,9 dB umjesto 21 dB) će nažalost dati gubitak kapaciteta sadržaja (15,61 Mbps umjesto 17,56 Mbps). Hijerarhijska modulacija korištena za istovremeni prijenos SD i HD usluga umjesto regularnog moda (namjenska usluga) omogućava štednju RF kanala za istu količinu prenesenih poruka.

## 4.Sposobnost COFDM-a u jednofrekvencijskim mrežama

Prednosti sofisticirane COFDM digitalne modulacije su brojne, ali jedna od njenih glavnih koristi jest ponašanje s refleksijom. U tradicionalnom svijetu radiodifuzije, refleksija nastaje višesmjernom propagacijom jednog signala odaslanog iz odašiljača koji pokriva neko područje. Ona je općenito vrlo nepoželjna. U COFDM radiodifuzijskom svijetu, prirodna refleksija nastala refleksijom ili refrakcijom je dragovoljno pojačana pomoću aktivnih izvora refleksije proisteklih iz istokanalnih odašiljača (npr. odašiljači koji rade na kanalu iste radio-frekvencije). COFDM je, zapravo, u stanju koristiti "pozitivnu refleksiju" (tj. onu koja pojačava primljenu snagu), te je u stanju zaobići negativne posljedice ostale refleksije. Prema tome, COFDM modulacija pruža odašiljateljima novi način rada njihovih zemaljskih mreža: povećati broj istokanalnih izvora signala radi poboljšanja kvalitete pokrivenosti. S sustavima baziranim na COFDM-u, postaje učinkovitije korištenje nekoliko odašiljača niske snage, nego jednog visoke snage koji neće biti u stanju izbjeći područja sjene u području pokrivanja. Slika 12. pokazuje dva dijagrama snimljena u području Rennesa (Francuska).

Lijevi dijagram pokazuje odziv impulsa u kanalu detektiranog DVB-T demodulatorom. Iako je prepoznati dva signala primljena iz dva istokanalna odašiljača (čija je međusobna udaljenost oko 30 km). Desni dijagram pokazuje odziv frekvencije u kanalu snimljen istim DVB-T modulatorom. On dokazuje mijenjanje primljenog signala od strane refleksije velike snage. Čak i u ovoj " lošoj situaciji", kako možemo nazvati



Slika 12. Dijagrami jednofrekvencijskih mreža snimljeni u Rennesu

refleksiju od 0dB u signalu, primljeni COFDM signal je ispravno demoduliran. Nakon dekodiranja multipleksa, prikazani TV program ne pokazuje nikakva oštećenja.

## 5. Izgradnja jednofrekvencijskih mreža SFN-a

Rezultati prikazani u dijagramima iz Rennesa mogu se dobiti jedino ako odašiljači rade u istokanalnom režimu. Ovo znači da je u svakoj točki područja posluživanja, rasprostrt isti digitalni signal. Ovo stanje može se sažeti pomoću sljedećih "Zlatnih pravila SFN-a" :

Svaki odašiljač uključen u SFN treba odašiljati:

- na istoj frekvenciji
- istovremeno
- iste bitove podataka

Ukratko, jedinstven i identičan COFDM simbol treba se odašiljati u eter istovremeno. Ova ograničenja izravno utječu na način postavljanja SFN odašiljača i primarnu distribuiranu mrežu i analizirana su u sljedećim odjeljcima.

### 5.1. Ograničenja frekvencijske domene

Ograničenja frekvencijske domene povezana su s radnom frekvencijom odašiljača i frekvencijom procesiranja COFDM modulatora, o čemu govore naredni tekstovi.

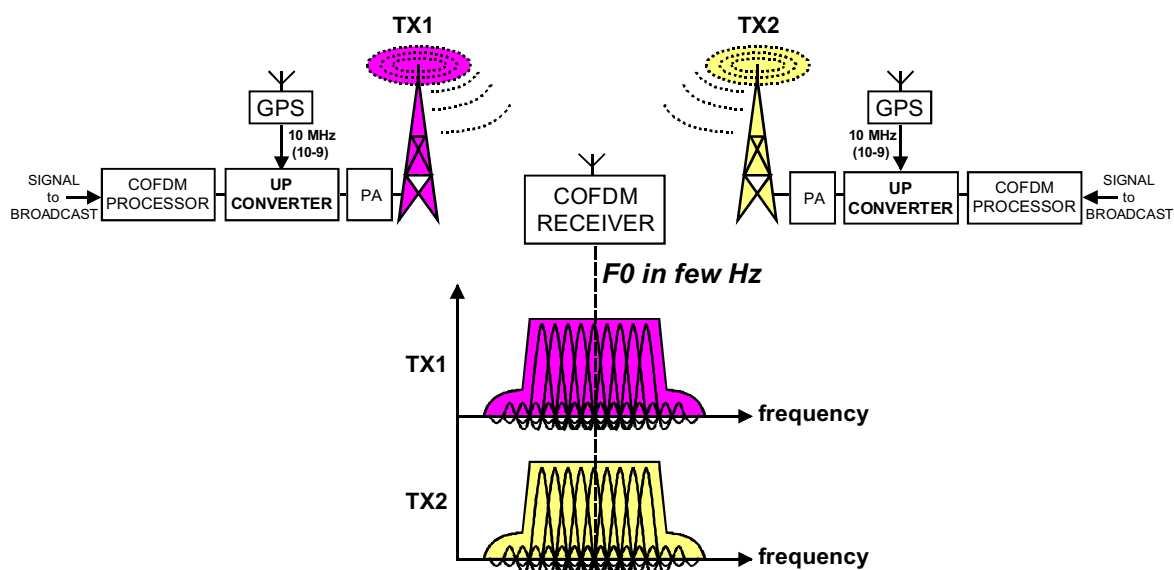
#### 5.1.1. Radna frekvencija odašiljača

DAB i DVB-T standardi definiraju nekoliko načina rada (modova), od kojih svaki koristi drugi broj podnosioca za izgradnju OFDM signala. Ovo je prikazano u tablici 4.

Način rada	DVB-T		DAB			
	8 K	2K	I	IV	II	III
Podnosioci u OFDM simbolu	6 817	1 705	1 536	768	384	192
. korišteni za sustav	769	193	-	-	-	-
. korišteni za korisne podatke	6 048	1 512	1 536	768	384	192
Zaštićeni bitovi u OFDM simbolu						
. D - QPSK	-	-	3 072	1 536	768	384
. 4 - QAM (QPSK)	12 096	3 024	-	-	-	-
. 16 - QAM	24 192	6 048	-	-	-	-
. 64 - QAM	36 288	9 072	-	-	-	-
Razmak među nosiocima (za 8 MHz RF kanal)	1 116	4 465	1	2	4	8
Apsolutna preciznost pozicije na podnosiocima	~ 1	~ 4	~ 10	~ 20	~ 40	~ 80

Tablica 4. DVB-T & DAB parametri u frekvencijskoj domeni

Zanimljivo je primijetiti da DVB-T sustav u svakom COFDM simbolu koristi neke podnosiocice za prijenos određenih informacija za kontrolu sustava (sinkronizacijski signal, detalji modulacije i sl.). Kasnije ćemo vidjeti da DAB sustav koristi informacije vremenske domene za dostavljanje tih informacija.



Slika 13. Upravljanje radnom frekvencijom odašiljača

Kao što je već bio slučaj u konvencionalnim mrežama s planiranjem frekvencija, radnu frekvenciju svakog SFN odašiljača potrebno je precizno motriti i upravljati njome. Međutim, za rad COFDM SFN, stabilnost i preciznost radne frekvencije odašiljača, trebaju osigurati da svi podnosioci imaju istu apsolutnu frekvencijsku poziciju u RF kanalu. Odabrani način rada sustava određuje gustoću podnosioca i tip modulacije. Ovi parametri izravno upravljaju bitovnim kapacitetom kanala. Nasuprot tome, gustoća podnosioca upravlja, u zadanoj fiksnoj pojasnoj širini RF kanala, iznos udaljenosti među nosiocima. Prema tome, preciznost pozicije podnosioca ne ovisi o frekvencijskom pojasu RF kanala, nego je

apsolutna. Praktično, mrežni operatori, za utvrđivanje radne frekvencije SFN odašiljača koriste referentnu frekvenciju ispostavljenu od strane GPS prijemnika, kao na slici 13.

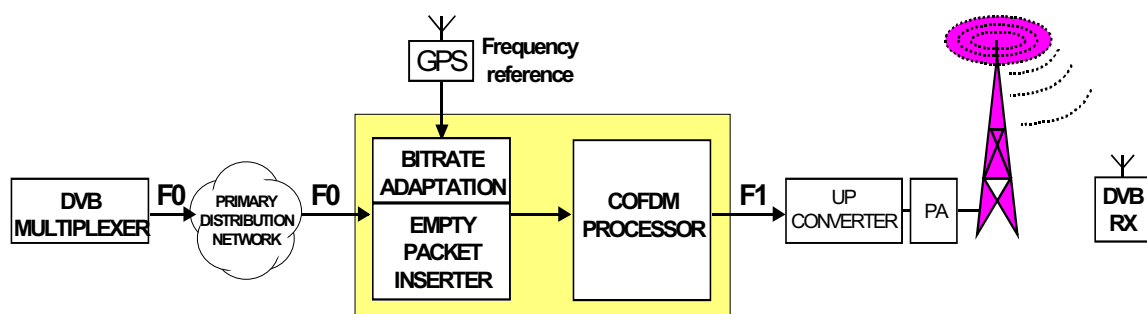
### 5.1.2. Frekvencija procesiranja COFDM-a

Druga frekvencija, koju treba kontrolirati, je frekvencija procesiranja COFDM modulatora. Postupak COFDM modulacije je u osnovi sinkron: svaki bit podataka ubačen u modulator pridonosi na stanku određenog broja OFDM podnosioca. Prema tome, stvaranje OFDM signala je precizno povezano s brzinom toka podataka multipleksa koji se odašilje. U DAB sustavu, cjelokupna mreža je sinkrona: od izvora do odašiljača, korištena je zajednička frekvencija. Nadalje, kapacitet kanala je nepromjenjiv bez obzira na način modulacije COFDM-a (brzina toka kodiranih podataka ponuđen od DAB-a, ne ovisi o DAB modu, već je postavljena na 2.304 Mbps). Kao posljedica, COFDM frekvencija procesiranja može se izvesti iz dolaznog toka bitova multipleksa, ili može biti vezana uz neku vanjsku referencu. Nasuprot tomu, DVB-T sistem je zasnovan na asinkronom postupku. Svaki procesorski entitet u DVB mreži proizvodi tok podataka s brzinom toka podataka malo većom od zbroja doprinosa koje prima. Posljedica modifikacije brzine toka podataka multipleksa, je ovisnost kapaciteta DVB -T kanala o korištenom modu COFDM-a (brzini toka kodiranih podataka koji nam pruža DVB-T sustav, ovisi o broju i tipu modulacije podnosioca, unutrašnjem omjeru toka podataka i dužini zaštitnog intervala. Postavljanje ovih parametara određuje DVB-T mode. Ovisеći o tome, brzina toka podataka kanala varira od 4.98 Mbps (jaka zaštita) do 31.67 Mbps (slaba zaštita)).

U višefrekvencijskim mreža (MFN – *Multi Frequency Network*), mogu se primijeniti dva postupka za podešavanje brzine toka podataka multipleksa na brzinu prijenosa u RF kanalu:

- precizno nadziranje brzine prijenosa DVB multipleksa da bi se dobio multipleks čija bi brzina toka podataka bila točno jednaka onoj u RF kanalu. Ovaj postupak uključuje nadziranje brzine toka podataka DVB multipleksa kao funkcije korištenog COFDM modela.
- primijeniti funkciju prilagodbe brzine prijenosa, na ulazu COFDM modulatora. Ovaj postupak izbjegava prenošenje ograničenja frekvencije na DVB multiplekser.

Funkcija prilagodbe brzine prijenosa, u kontekstu višefrekvencijskih mreža, je prikazana na slici 14.



Note :  $F1 = F0 + \Delta F0$ ,  $\Delta F0$  results on the overhead introduced by the COFDM modulation.

Slika 14. Upravljanje frekvencijom procesiranja COFDM-a u MFN

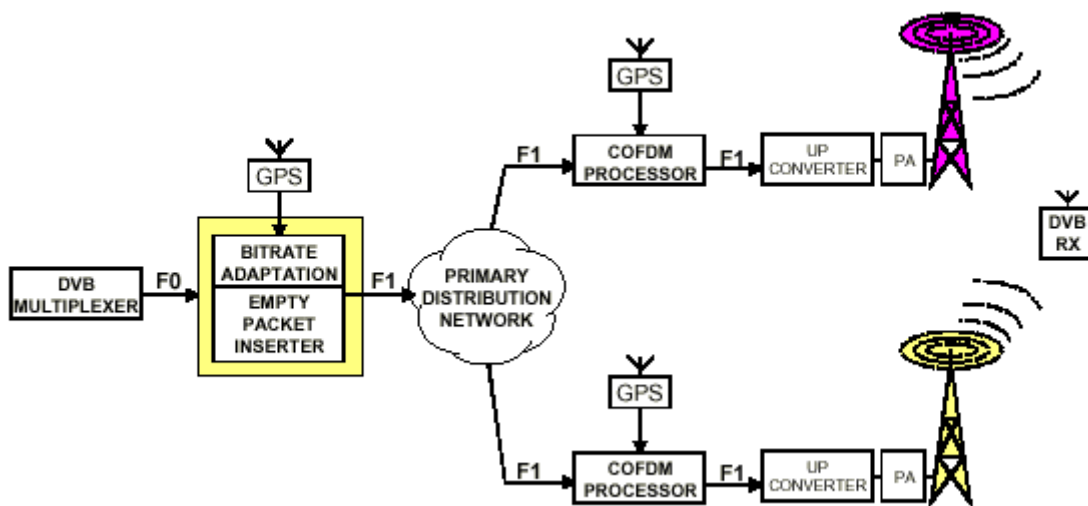
U ovakvoj primjeni, jedino ograničenje DVB multipleksa je ograničiti izlaznu brzinu prijenosa na vršnu vrijednost koja ugrubo odgovara onoj u RF kanalu. U toj situaciji, ograničenja na preciznost točnosti frekvencije i prilagodbe brzine prijenosa su riješeni u ograničenom području samog odašiljača. Nadalje,

postaje moguća distribucija DVB multipleksa na nekoliko odašiljača MFN -a koji rade s različitim COFDM modovima. Nažalost, u radu SFN-a, ovo rješenje ne može biti primijenjeno. Kako "umetatelj praznih paketa", koji realizira funkciju prilagodbe brzine prijenosa, djeluje u slučajnim trenucima, nastaju različiti multipleksi na svakom odašiljaču te prema tome krše "zlatna pravila SFN -a" (točnije, pravilo o istim bitovima podataka).

Iz tog razloga, pri radu SFN-a, funkcija prilagodbe bitova treba se pomaknuti na prednji dio primarne distribucijske mreže, kao na slici 15.

U ovakvoj primjeni, točnost brzine prijenosa multipleksa je utvrđena na početku primarne distribucijske mreže i neće biti promijenjen od strane COFDM procesora. Prema tome, SFN primarna distribucijska mreža postaje sinkrona mreža.

Bez obzira koja telekomunikacijska veza bila korištena za prijenos multipleksa (mikrovalna, satelitska, PDH/SDH/ATM unajmljene linije), ona će prenositi multipleks čija je brzina podešena na zajednički kapacitet RF kanala. Posljedica toga je da svaki COFDM procesor koristi isti multipleks i proizvodit će isti COFDM signal.



Slika 15. Upravljanje frekvencijom procesiranja COFDM u SFN-u

## 5.2. Ograničenja vremenske domene SFN

DAB i DVB-T sustavi provode nekoliko načina koji imaju različito trajanje zaštitnog intervala kao što je pokazano u tablici 5. Zanimljivo je primijetiti da DAB sustav koristi neke COFDM simbole, za prijenos informacija o kontroli sustava (nul simbol, vremenske/frekvencijske/fazne reference itd.). Ovo pojačava, nasuprot DVB-T sustavu, sinkronu prirodu DAB transmisijskog okvira koji je sastavljen od uzastopnih perioda od 24 ms. Iznos zaštitnog intervala odabran za rad SFN ima snažan utjecaj na topologiju SFN mreže : kako trajanje zaštitnog intervala upravlja maksimalnim zakašnjenjem refleksije primljenim od strane sustava, dakle upravlja i maksimalnom udaljenošću između istokanalnih odašiljača (proizvođači aktivne izvora refleksije). Određeni modovi dopuštaju postavljanje velikih SFN mreža s velikom udaljenošću između odašiljača visoke i srednje snage.

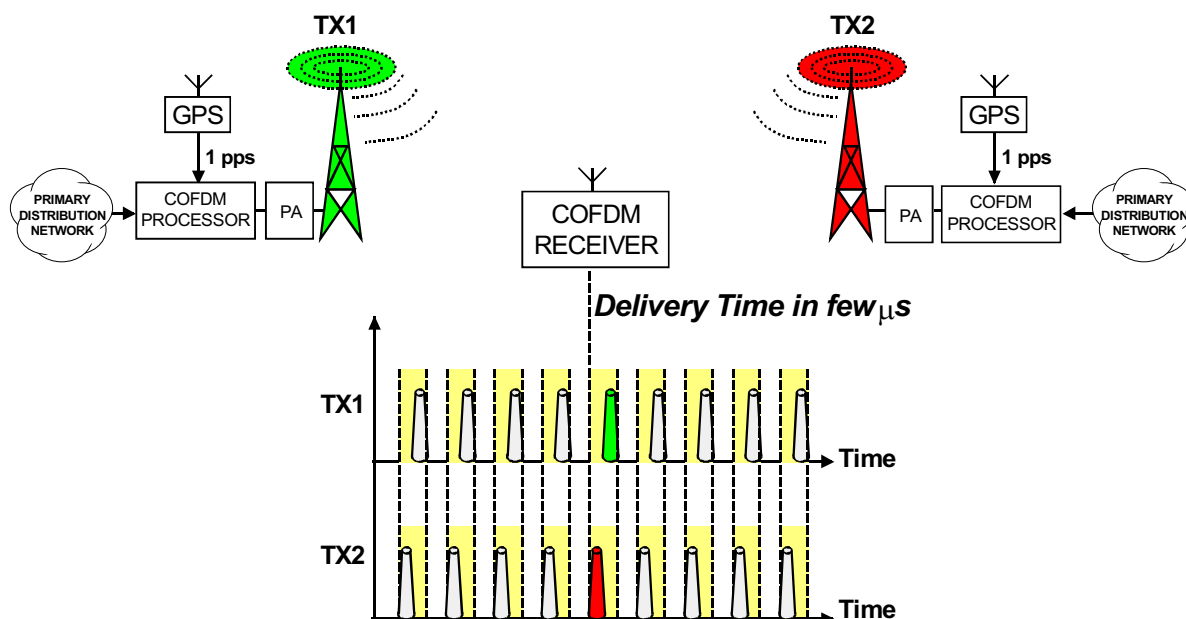
Način rada	DVB-T		DAB				Max. razmak odašiljača
	8 K	2K	I	IV	II	III	
Broj simbola / frameova	68	68	78	78	78	155	~ 3 kms ~ 6 kms ~ 12 kms ~ 24 kms ~ 48 kms ~ 96 kms
. korišteno za kontrolu	-	-	2	2	2	2	
. korišt. za podatke	68	68	76	76	76	153	
Trajanje korisnog simbola	896 $\mu$ s	224 $\mu$ s	1000 $\mu$ s	500 $\mu$ s	250 $\mu$ s	125 $\mu$ s	
Trajanje zaštitnog intervala	28 $\mu$ s 56 $\mu$ s 112 $\mu$ s 224 $\mu$ s	7 $\mu$ s 14 $\mu$ s 28 $\mu$ s 56 $\mu$ s	246 $\mu$ s	123 $\mu$ s	62 $\mu$ s	31 $\mu$ s	
Točnost vremena dostave (~10%)	2..22 $\mu$ s	0..5 $\mu$ s	24 $\mu$ s	12 $\mu$ s	6 $\mu$ s	3 $\mu$ s	

Tablica 5. DVB-T i DAB parametri u vremenskoj domeni

Neki drugi omogućuju manja područja posluživanja s većom gustoćom odašiljača niske snage. Velik broj modova ponuđen od strane DAB i DVB-T sustava pokazuje njihovo bogatstvo : onakvi kako su definirani, u stanju su suočiti se s različitim topologijama i veličinama mreža. Dodatno, DVB -T sustav nudi različite kapacitete kanala.

### 5.2.1. Vremenska sinkronizacija : zašto?

Ograničenje vremenske domene predstavlja novi izazov za odašiljačelje: da bi se držali "Zlatnih pravila SFN-a", svaki odašiljač mora odašiljati isti OFDM simbol istovremeno. Ovo proizlazi iz činjenice da se refleksija (nastala prirodnim putem ili umjetno od strane istokanal nih odašiljača) treba zarobiti u periodu

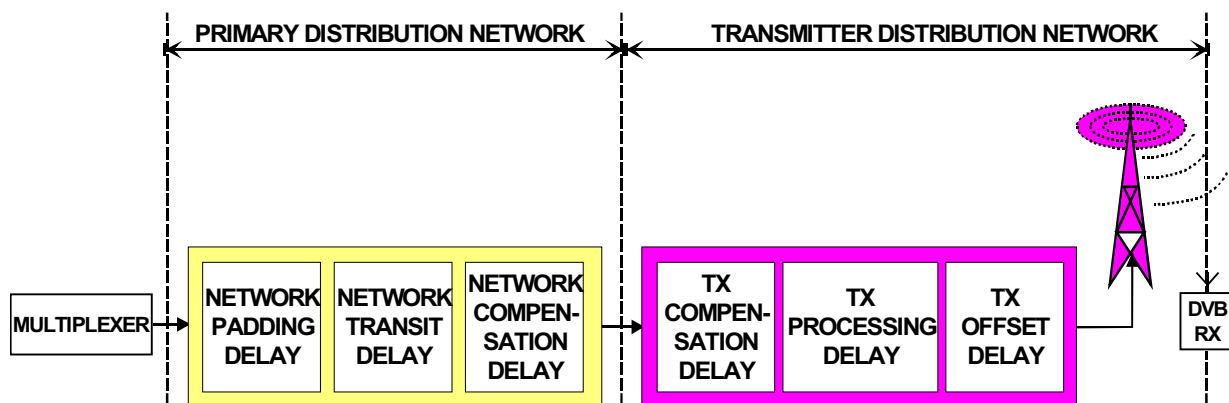


Slika 16. Vremenska sinkronizacija u SFN mreži

zaštitnog intervala. Ovo je prikazano na slici 16. COFDM prijemnici moraju uspostaviti vremenski prozor unutar kojeg uzorkuju COFDM signal koji je u eteru. Cilj je uskladiti ovaj vremenski prozor s periodom korisnog OFDM signala. Prema tome, prijemnik će ignorirati signal za vrijeme perioda zaštitnog intervala, gdje se primljeni signal sastoji od mješavine dva COFDM simbola. Ako odašiljači istovremeno odašilju isti OFDM simbol, ili sa zanemarivim intervalom od nekoliko  $\mu\text{s}$ , različito kašnjenje zbog puta propagacije do COFDM prijemnika ostat će unutar perioda zaštitnog intervala. Prema tome, zbroj primljenih signala biti će konstruktivan, jer će oni biti sastavljeni od istog COFDM simbola (nema interferencije među signalima). Ukratko, na zaštitni interval treba gledati kao na zalihu: treba ga potrošiti u eteru, a ne koristiti za kompenziranje loše vremenske usklađenosti SFN odašiljača. U praksi, operatori mreže koriste signal jednog impulsa u sekundi odaslan od GPS prijemnika. Ova vremenska referenca omogućava označavanje multipleksa s oznakom vremena dostave. Nakon toga, ova vremenska oznaka bit će korištena od COFDM procesora za proizvodnju odgovarajućeg OFDM simbola u odgovarajućem trenutku. Ova pojednostovljenost ovog postupka bit će prikazana kasnije.

### 5.2.2. Kašnjenje u distribucijskoj mreži

Distribucijska mreža prenosi “svojstva paketa” od položaja multipleksa, gdje je nastao, do položaja odašiljača gdje se multipleks modulira i odašilje. Pri radu SFN-a, distribucijska mreža trebala bi biti sinkronizirana od svojeg izvora do prijemnika: sva kašnjenja koja se zbivaju između ovih točaka trebala bi biti točno poznata i nadzirana. Prema tome, zanimljivo je analizirati topologiju u tih kašnjenja. Model raspodjele je predložen na slici 17.



Slika 17. Raspodjela kašnjenja u SFN mreži

Od multipleksa do prijemnika, javljaju se dvije kategorije kašnjenja:

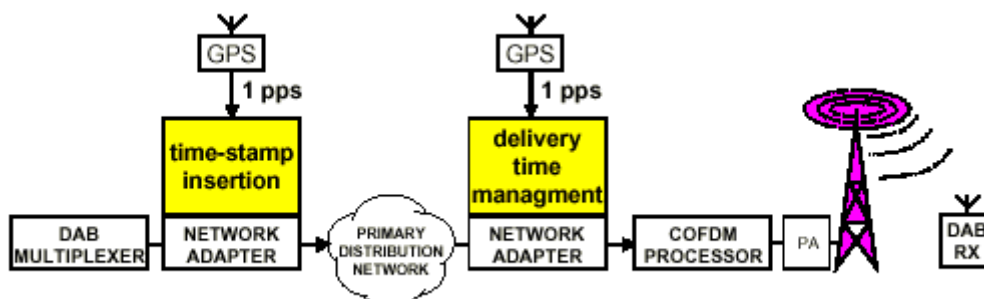
- kašnjenja uvedena od primarne distribucijske mreže, koja upućuje multipleks na područja odašiljača,
- kašnjenja uvedena od svakog odašiljača pri proizvodnji COFDM signala za odašiljanje.

U primarnoj distribucijskoj mreži, glavni problem dolazi od “kašnjenja prolaska kroz mrežu” koje nije identično za svaki korišteni link. Nadalje, ovo kašnjenje može se promijeniti (npr. aktivacija padajućeg linka, preusmjeravanje unutar telekomunikacijske mreže, itd.). Za borbu s ovom situacijom na prijemnoj strani primarne distribucijske mreže, treba se primijeniti funkcija “kompenzacijskog kašnjenja mreže”. Ona omogućuje otkrivanje različitosti kašnjenja propagacije i njihovo kompenziranje.

Cilj opcijskog “kašnjenja zbog punjenja mreže” je omogućavanje organizacijama koje se bave radiodifuzijom poravnanje kašnjenja od kraja do kraja za različite mreže. Osnovna ideja je pojednostaviti predaju, koju prijemnici trebaju ispuniti, za praćenje usluge među dvjema mrežama (u mobilnom prijemu). U predajnoj distribucijskoj mreži (odašiljačevoj), najveća poteškoća dolazi od “kašnjenja procesiranja odašiljača”. Za vrijeme eksperimentiranja DAB-a, dokazano je da COFDM modulatori različitih proizvođača nemaju isto kašnjenje procesiranja. Nadalje, dodatno kašnjenje može nastati zbog različite građe RF dijela odašiljača. Prema tome, “kompenzacijsko kašnjenje odašiljača” treba se koristiti za izjednačavanje kašnjenja između ulaza u odašiljač i odašiljanja RF signala. Opcijsko “kašnjenje pomaka odašiljača” može se koristiti, u određenim okolnostima (zemljopisna primjena odašiljača, razlike u snazi među odašiljačima, itd.) za malo kašnjenje jednog odašiljača, u odnosu na ostale. Cilj ovoga je optimizacija pokrivenosti namijenjenog područja i nudi organizacijama koje se bave radiodifuzijom fino ugađanje SFN pokrivanja.

### 5.2.3. Usklađivanje vremena u SFN-u

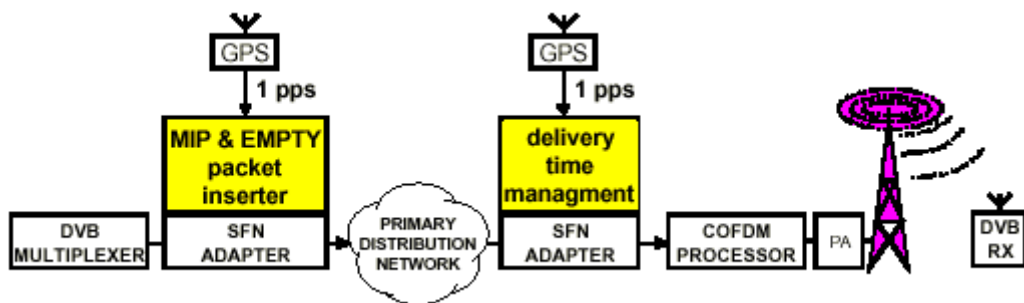
Za usklađivanje trenutka kada svaki odašiljač u SFN-u odašilje dani COFDM simbol, ideja je koristiti vremensku oznaku proračunatu od iste vremenske reference (uglavnom GPS 1pps(1 impuls u sekundi)). Kako su OFDM simboli kratkotrajni, vremenske oznake, koje se tumače kao vremena dostavljanja, trebaju biti u vezi s većim spremnikom podataka: utvrđenim brojem COFDM simbola koji se podudaraju s utvrđenim brojem multipleksa. Vremenske oznake su ubačene u ovaj spremnik u početnom dijelu primarne distribucijske mreže. Nakon toga, COFDM procesor pri primanju takvog spremnika mora čekati navedeno vrijeme dostave prije započinjanja procesa modulacije. Kada je usklađivanje već obavljeno, vremenske oznake uklopljene u naredne spremnike mogu se koristiti za otkrivanje varijacija u prijenosnom kašnjenju mreže i tako se uključiti u postupak resinkronizacije. Ova funkcija je standardizirana u DAB sustavu kao i u DVB-T sustavu. Zbog njihove intrinzične prirode, oba sustava ne koriste potpuno iste protokole za primjenu SFN vremenske sinkronizacije. DAB sustav, koji je potpuno sinkron, koristi okvire od 24 ms za prijenos multipleksa. Ovaj okvir ima trajanje od točno 24 ms DAB signala. U tom kontekstu, podatkovni spremnik je i sam okvir koji, na sreću, nudi i dio za prijenos vremenske oznake. Prema tome, tumačenje vrijednosti vremenske oznake je povezano s trenutkom procesiranja transportnog okvira. DAB stanje je pokazano na slici 18.



Slika 18. Vremenska sinkronizacija u DAB SFN mreži

Svaki kraj DAB primarne distribucijske mreže proračunava vremensku vrijednost visoke točnosti sinkroniziranu s vremenskom referencom (cilj je upravljati sinkronizacijom s točnošću na nekoliko  $\mu\text{s}$ . Prema tome, vremenska referenca visoke točnosti proizici će iz točnog GPS 1pps signala). Krajnja točka prednjeg dijela ubacuje u svaki transportni okvir vremensku oznaku s vrijednošću jednakom "trenutno vrijeme+ transportna zaliha". Transportna zaliha odgovara najdužem kašnjenju propagacije umetnutom od strane primarne distribucijske mreže. Nakon toga, krajnja točka prijemne strane je u stanju čekati dok se lokalno vrijeme ne izjednači s primljenom vremenskom oznakom. Dodatno ovoj funkciji izjednačavanja kašnjenja, prijemnik treba imati mogućnost baratanja sa statičkim kašnjenjem, radi upotrebe kompenzacijskog i pomačnog kašnjenja odašiljača. U DVB-T sustavu, stanje je neznatno drukčije: prvo, transport multipleksa je obavljen korištenjem malih kratkotrajnih MPEG-TS paketa, drugo, kapacitet kanala ovisi o korištenom COFDM modu. Za rukovanje izjednačavanja kašnjenja definiran je virtualni spremnik nazvan mega-okvir. Mega-okvir odgovara cijelom broju MPEG-TS paketa i cijelom broju OFDM simbola. Mega-okvir sadrži nekoliko super-okvira : 2 super-okvira za 8k mode i 8 super-okvira za 2k mod (super-okvir je definiran u DVB-T standardu).

Kao što je vidljivo iz slike 19., SFN adapter, već definiran za svoju funkciju prilagodbe brzine prijenosa, koristi se za rukovanje ubacivanjem vremenske oznake. U DVB-T sustavu, vremenska oznaka prenosi se u posebnom MPEG-TS paketu nazvanom "Mega-okvirski informacijski paket" (MIP). Ovaj paket ne prenosi samo vremensku oznaku već i pokazivač koji definira granice virtualnog mega -okvira.



Slika 19. Vremenska sinkronizacija u DVB SFN mreži

Nasuprot DAB sustavu, vrijednost DVB-T vremenske oznake označava trenutak u kojem se COFDM signal treba pustiti u eter. Prema tome, određivanje ovog trenutka rezultira u proračunu napravljenom s vremenskom oznakom prijemnika te različitim kašnjenjima koja se pojavljuju u odašiljaču.

## 6. Zaključak

Cilj ovog seminarskog rada bio je pokazati mogućnost primjene COFDM postupka u zemaljskoj radiodifuziji digitalnog video signala tj. DVB-T. Detaljno je pokazana primjena COFDM postupka u radu jednofrekvencijskim mrežama koji uključuje novi izazov organizacijama koje se bave radiodifuzijom: oni mogu kontrolirati svoje SFN mreže i u vremenskoj i u frekvencijskoj domeni. Unatoč svojoj očitaj složenosti, koja je posljedica usavršenih koncepata primijenjenih od strane COFDM modulacije, s ovim izazovom suočili su se brojne radiodifuzijske organizacije u mnogim zemljama.

Npr., za vrijeme izložbe Broadcast Asia 98, DVB-T signal proizveden iz dva istokanalna odašiljača koji rade u SFN mreži bio je dostupan u području Singapura.

Različiti standardi potrebni za izgradnju mreža i opreme objavljeni su i uspješno verificirani. Nekoliko kompanija (npr.: ITIS) trguju industrijskom opremom, od izvora do odašiljača, potrebnom za implementaciju svih tehničkih funkcija potrebnih za rad "SFN COFDM mreža". Brojne kompanije nude, ili će uskoro nuditi, različite prijemnike.

Svi ovi uspješni rezultati prirodno vode do zaključka ovog seminara : "Funkcioniranje SFN -a, ove čarobne mogućnosti COFDM-a, nije samo san inženjera : to je dokazana stvarnost".

## 7. Literatura:

1. Reimers, Ulrich, Digital Video Broadcasting, IEEE Communications Magazine, lipanj 1998. , str. 104-109
2. Fabia, Gerard , DVB-T Hierarchical Modulation: An Opportunity for new Services?, <http://www.itis.fr/acrobat/IBC99 - DVB-T Hierarchical modulation.pdf>, ožujak 2001.
3. Fabia, Gerard , Single Frequency Networks: A Magic of the COFDM, <http://www.itis.fr/acrobat/singlef.pdf>, ožujak 2001.
4. [http://www.itis.fr/dvb/tec\\_pap/dv\\_tec01.htm](http://www.itis.fr/dvb/tec_pap/dv_tec01.htm), ožujak 2001