

ATSC SUSTAV ZA RADIODIFUZIJU DIGITALNOG TELEVIZIJSKOG SIGNALA

ATSC SYSTEM FOR BROADCASTING THE DIGITAL TELEVISION SIGNAL

Dominović A.¹, Matković D.¹

¹Veučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Cilj ovoga rada je približiti američki sustav digitalne televizije koji je sličan europskoj normi, ali je modulacijski postupak i tehnologija u prijenosu potpuno različita. Prikazana je ATSC norma i njeni glavni dijelovi. Detaljno je opisan rad 8-VSB modulatora koji je glavni dio čitavoga sistema.

U radu su iznesena mišljenja stručnjaka koji su upućeni u ATSC sustav te je spomenut njegov daljnji razvoj.

Ključne riječi: digitalna televizija, ATSC, 8-VSB, prijammnik

Abstract: The aim of this paper is to present American system of digital television, which is similar to European standards in some areas but modulation process and technology for RF/transmission system are completely different. It is given the review of ATSC Standards and its major components. The paper describes the work of 8-VSB modulator, which is the main part of the whole system.

This paper summarizes the opinions of experts who are familiar with the ATSC system and the further future development of ATSC system.

Key words: digital television, ATSC, 8-VSB, receiver

1. UVOD

Posljednjih dvadeset godina dolazi do usvajanja novih normi i uvođenja digitalne televizije te gašenja analognog signala. Digitalna televizija je jako širok pojam i obuhvaća sve postupke od nastanka digitalne slike i zvuka, njihove obrade, kompresije, od prijenosa do isporuke korisniku. Digitalna televizija predstavlja sasvim novu tehnologiju u proizvodnji i emitiranju radijskog i televizijskog programa. Postoji nekoliko normi koje se upotrebljavaju u digitalnoj televiziji, a preporuča Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU). Sve norme imaju svoje specifičnosti koje ih razlikuju od drugih normi. Kod nekih je to modulacija, kod drugih rezolucija koja se koristi, a možda i kanalno zaštitno kodiranje itd. Digitalni način emitiranja audio i videosignala otvorio je potpuno nove prostore za radiodifuziju i omogućio je integraciju više različitih servisa koji nisu prije postojali kod televizijskih normi.

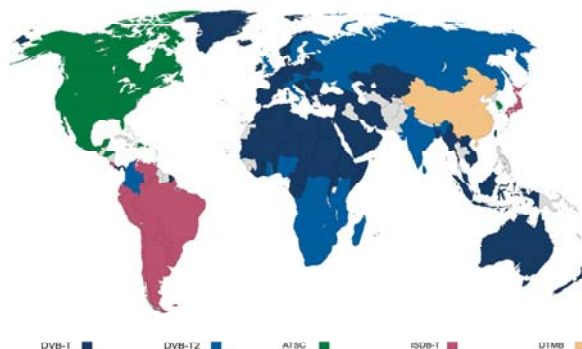
Cilj ovoga rada je prikazati američki sustav digitalne televizije.

2. DIGITALNA TELEVIZIJA

Digitalna zemaljska televizija (DTT – Digital Terrestrial Television) je digitalna tehnologija koja se odnosi na slanje i primanje video i audioinformacija putem digitalno moduliranih signala. Ona omogućuje veći broj kanala, bolju sliku i zvuk u istom frekvencijskom pojasu od analogne televizije.

Digitalna televizija također pruža različite interaktivne informacijske usluge kao što su programski vodiči (EPG), višekanalni zvuk, TV prodaja i igre.

Postoji nekoliko digitalnih televizijskih normi koje su razvijene i uvedene u upotrebu u različitim zemljama: ATSC u Sjevernoj Americi i Južnoj Koreji, DVB-T u Europi i većini zemalja Azije, Afrike te Australiji i Novom Zelandu, ISDB-T u Japanu i Brazilu, DMBT u Kini.



Slika 1. DTT norme

3. ATSC NORMA

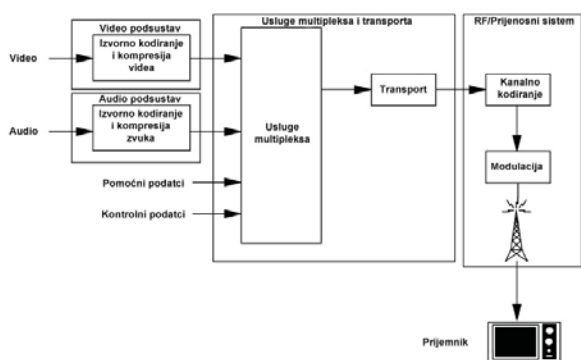
ATSC normu razvio je u ranim 90-im godinama prošlog stoljeća Grand Alliance, konzorcij koji su činile velike elektroničke i telekomunikacijske tvrtke te tehničko sveučilište MIT. Oni su se udružili kako bi razvili skup specifikacija za ono što je danas poznato kao HDTV (Televizija visoke kvalitete). ATSC formati također uključuju i formate standardne rezolucije, iako je

inicijalno trebalo da se pokrene samo HDTV usluga u digitalnom formatu.

ATSC norme označavaju se kao A/xx (xx je broj norme) i mogu se preuzeti besplatno s ATSC-ove internetske stranice na ATSC.org. ATSC norma A/53 sadrži sustav koji je razvio Grand Alliance (objavljena 1995. Godine), a normu je usvojila Federalna komisija za komunikacije (FCC) u Sjedinjenim Američkim Državama 1996. godine. Izmijenjena je u 2009. godini. ATSC norma A/72 odobrena je 2008. godine, a uvodi H.264/AVC video kodiranje za ATSC sustav.

U digitalnim komunikacijama, prema ATSC normi, dva su imena koja je važno zapamtiti kada se razmišlja o kompletnom DTV sustavu: 8-VSB i MPEG-2. 8-VSB je RF modulacijski postupak, a MPEG-2 je videoformat za komprimiranje. Za pretvorbu studijskog sadržaja visoke kvalitete u oblik pogodan za emitiranje putem odašiljača, prema DTV normama potrebne su dvije faze obrade: MPEG-2 kodiranje i 8-VSB modulator.

Osnovni blok dijagram ATSC DTV sustava emitiranja prikazan je na slici 2. Sastoji se od sljedećih podsustava: kodiranja i komprimiranja podataka, usluge multipleksa i transporta, prijenosa 8-VSB RF signala i 8-VSB prijemnika.



Slika 2. Osnovni blok dijagram DTV sustava

4. BLOK DIJAGRAM ATSC DTV SUSTAVA

Osnovni blok dijagram koji predstavlja ATSC DTV sustav prikazan je na slici 2. On je baziran na prikazu koji je usvojila (ITU-R) međunarodna agencija za normizaciju iz područja radiokomunikacija (International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector, Task Group 11/3). Prema ovome modelu, digitalni televizijski sustav sadrži četiri važna elementa, tri služe za obradu i emitiranje signala te prijemnik potrošača.

4.1. Izvorni videoformati

Izvorni formati za ATSC normu odabrani su pažljivo da bi što više odgovarali karakteristikama filma: širok format slike i 24 slike u sekundi (24 fps), prikaz na računalnim zaslonima (kvadratni pikseli i progresivno skeniranje) i naslijeđenog televizijskog sustava (480 linija i ITU-R BT.601 preporuka), kao što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Videoformati definirani ATSC normom

Vertikalni broj elemenata slike	Broj piksela jedne linije	Omjer slike	Izmjene slike
1080	1920	16:9	60 progresivno analiziranje s proredom 30 progresivno analiziranje 24 progresivno analiziranje
720	1280	16:9	60 progresivno analiziranje 30 progresivno analiziranje 24 progresivno analiziranje
480	704	4:3 i 16:9	60 progresivno analiziranje 60 analiziranje s proredom 30 progresivno analiziranje 24 progresivno analiziranje
480	640	4:3	60 progresivno analiziranje 60 analiziranje s proredom 30 progresivno analiziranje 24 progresivno analiziranje

4.2. Video i audio sustavi

Video i audiosustavi (slika 2.) odnose se na postupke smanjenja brzine prijenosa podataka videa, audia i pomoćnih digitalnih tokova podataka. Svrha kompresije je smanjiti broj bitova potrebnih za prezentaciju zvučnih i videoinformacija na razinu na kojoj bi se mogli prenositi u dostupnom pojasnom području. ATSC norma koristi MPEG-2 koder (osnovni i vršni profil) za kodiranje videa te ATSC standard AC-3 (Dolby Digital) za kodiranje zvuka. ATSC DTV norma definira videoformate za HDTV i SDTV (tablica 1.). ATSC prijemnici rađeni su tako da mogu dekodirati HDTV i SDTV sadržaj pružajući sve dostupne programske servise s maksimalnom fleksibilnošću.

Pojam pomoćni podaci (ancillary data) potječe iz originalne A/53 norme i to je opći pojam koji uključuje kontrolne podatke i dopunske podatke, uključujući i podatke povezane s programskim audio i videopodacima. Iako je norma razvijena da definira transport i obradu podataka, ubrzo se uvidjelo da različiti formati podataka služe različitim svrhama i da su potrebne različite norme za metapodatke i druge dijelove ATSC norme. Podaci dostavljeni kao odvojeni dijelovi mogu pružiti neovisne servise, ali i podatkovne elemente vezane uz video i audioservise kao što je dodatni zvuk.

4.3. Usluge multipleksa i transporta

Usluge multipleksa i transporta (slika 2.) odnose se na dijeljenje svakog toka podataka u "pakete" informacija, sredstva za jedinstvenu identifikaciju svakog paketa uključujući i vrstu paketa, prikladne metode isprepletanja i multipleksiranja video, audio i pomoćnih paketa podatkovnih tokova u jedan jedinstven transportni tok podataka. Bit strukture i odnosa tokova podataka (bitstreams) prenosi se u toku podataka servisnih informacija, koje se također multipleksiraju u jedan transportni tok podataka. U razvoju transportnog toka podataka glavni cilj je bio međuoperabilnost između

digitalnih medija kao što su zemaljska digitalna televizija, kabelaška i satelitska distribucija, mediji za pohranu podataka i računalna sučelja. ATSC sustav koristi MPEG-2 prijenosni tok za paketizaciju i multipleksiranje video, audio i pomoćnih signala za digitalno emitiranje. MPEG-2 prijenosni tok razvijen je za primjenu gdje su kapacitet kanala i medij za pohranu ograničeni i zahtjev za učinkovit transportni tok podataka je najvažniji. Također pruža ključne vremenske (timing information) informacije prijammniku da može izvršiti sinkronizaciju video i audiopodataka.

4.4. RF prijenosni sustav

RF prijenosni sustav prikazan na slici 2. odnosi se na kanalno kodiranje i modulaciju. Kanalni koder uzima paketizirane digitalne tokove podataka, obrađuje ih i dodaje dodatne informacije koje pomažu prijammniku pri izdvajanju originalnih podataka primljenog signala, koji prilikom smetnji u prijenosu mogu sadržavati greške. Kako bi se zaštitili od smetnji koje oštećuju cijeli niz podatka i nasumičnih grešaka, paketi podataka isprepliću se prije prijenosa te se dodaje Reed-Solomon kanalno zaštitno kodiranje (FEC). Modulacija koristi digitalne informacije tokova podataka (bitstream) za modulaciju za prijenosnog signala. Osnovni modulacijski sustav nudi dva načina:

- 8-VSB za zemaljsko emitiranje
- 16-VSB namijenjen za kabelašku distribuciju

8-VSB rađen je za spektralnu iskoristivost, iskorištavajući maksimalno protok podataka s niskim pragom odnosa nositelj-šum (carrier-to-noise C/N) na mjestu prijama, visoku otpornost na dva ista kanala, smetnje susjednog kanala i visoku robusnost na pogreške u prijenosu. Ova svojstva 8-VSB dopuštaju DTV kanalu postojanje u okruženju prepunog spektra koji sadrži i analogne i digitalne televizijske signale. Osim toga, zahtjev za manjom energijom (obično 12 dB niže nego analogni NTSC) 8-VSB omogućava ATSC DTV postajama rad na kanalima gdje analogne postaje ne mogu raditi zbog smetnji. Spektralna učinkovitost i potrebna snaga karakteristike su kod 8-VSB bile ključne prilikom prelaska zemaljskog emitiranja iz analognog u digitalno zbog toga jer se nije dodjeljivao novi spektar za vrijeme prijelazne faze.

Poboljšani 8-VSB (Enhanced-VSB) način rada uključuje prijenos signala koji je kompatibilan unutar standardnog 8-VSB toka simbola koji se može primiti s nižim odnosom nositelj-šum od konvencionalnog 8-VSB. E-VSB način omogućava TV postajama da žrtvuju dio svojih podatkovnih kapaciteta (lošija slika) za dodatnu robusnost signala. Prilikom E-VSB prijenosa dio od približno 19.4 Mb/s podataka namijenjen je robusnom načinu, a dio je dodijeljen normalnom 8-VSB načinu. Međutim, količina prijenosa podataka kod krajnjeg korisnika smanjena je za robusni način zato što je dio podataka zamijenjen za dodatno kanalno zaštitno kodiranje (FEC) za ispravljanje pogrešaka koje se javljaju prilikom prijama signala u slabijim uvjetima (rezultat je poboljšanje od 6 dB).

4.5. Prijamnik

ATSC prijamnik obnavlja bitove koji predstavljaju originalne video, audio i druge podatke iz moduliranog signala. Konkretno, prijamnik obavlja sljedeće:

- traži odabrani 6 MHz kanal
- odbacuje susjedne kanale i druge izvore smetnji
- demodulira dobiveni signal primjenom kanalnog kodiranja za izradu prijenosnog toka
- identificira elemente podatkovnog toka pomoću transportne slojevite obrade
- odabire svaki željeni element i šalje ga na odgovarajuću obradu
- dekodira i sinkronizira svaki element
- obavlja pojedinačnu video, audio i podatkovnu obradu
- prezentira program na odgovarajući video i audio-pretvarač

Šum, smetnje i višestaznost su elementi vezani uz zemaljski prijenos za koje su sklopovi prijammnika projektirani da se nose s njima. Inovacije u izjednačavanju (equalization), kontrola automatskog dobitka, poništavanje smetnji, nositelji i vrijeme oporavka poboljšavaju prijam signala i stvaraju nove odlike proizvoda. Zapravo, današnji ATSC prijammnici pokazali su znatan napredak u kvaliteti prijama u odnosu na kvalitetu kod početnih prijammnika. Dekodiranje transportnih elementa koji čine program podrazumijeva da je potrebno jednostavno primijeniti MPEG i AC-3 specifikacije, iako su značajne inovacije moguće na polju efikasnosti sklopova ili postojeće potrošnje energije. Inovacije u video dekodiranju pružaju mogućnost za uštedu u memoriji, brzini i složenosti sklopova. Odluke proizvoda temeljene na kvaliteti slike također su raširene, a proizlaze iz inovacija u prikriivanju pogrešaka, pretvorbi formata, percepciji obrade slike i specifičnostima vezanim uz prikaz slike na ekranu. Korisnička sučelja i usluge temeljene na novim podacima važni su za odlike proizvoda.

5. PRIJENOS PODATAKA I INTERAKTIVNE MOGUĆNOSTI

Primjena digitalne televizije otvara nove granice u komunikaciji. Otvara put korištenju novih aplikacija koje izlaze izvan okvira emitiranja programa standardne televizije, s mogućnosti velikog tržišno-komercijalnog značaja.

Da bi se iskoristile nove mogućnosti aplikacija za prijenos podataka, ATSC je razvio paket standarda za prijenos podataka (data broadcast) (dokumenti A/90 – A/97) kako bi se omogućila široka paleta podatkovnih usluga koje mogu biti povezane s jednim ili više programa koji se emitiraju ili mogu biti samostalne usluge. To su aplikacije u rasponu od prijenosa zvuka ili slike do usluge tekstualnih servisa za dostavu osobnih podataka. Prijammnici za prijenos podataka mogu obuhvaćati osobna računala, televizijske prijammnike, samostalne prijammnike ili druge uređaje. Aplikacije za prijenos podataka usmjerene prema potrošačima mogu se podijeliti prema stupnju

povezanosti s glavnim videoprogramom, tj. prema sljedećem:

- Blisko povezani podaci (Tightly coupled data) namijenjeni da poboljšaju TV program u stvarnom vremenu. Gledatelj mijenja TV programe i simultano prima podatke s pojašnjenjima zajedno s njima.
- Slabo povezani ili neobavezni podaci (Loosely coupled data) odnose se na program, ali nisu blisko vremenski sinkronizirani s njime. Npr., obrazovni program može poslati dodatne materijale za čitanje ili kviz znanja unutar emitiranog programa.
- Nepovezani podaci (Noncoupled data) obično se nalaze u zasebnim "podatkovnim" virtualnim kanalima. Oni mogu biti namijenjeni za pregledavanje uživo, a to mogu biti naslovne vijesti, sportski rezultati ili burzovne usluge 24 sata dnevno.

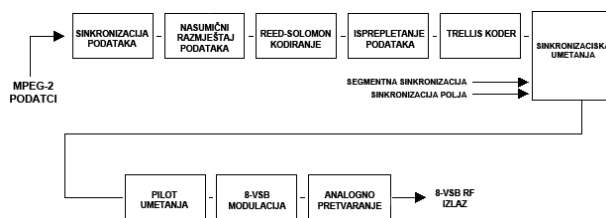
- Napredna zajednička aplikacijska platforma (Advanced Common Application Platform – ACAP): ACAP standard (dokumenat A/101) je platforma za interaktivne televizijske usluge. ACAP prikazuje interaktivni programski sadržaj koji se prikazuje na samostalnoj platformi, na tzv. zajedničkom prijammiku. Zajednički prijammik sadrži definiranu arhitekturu, modele izvođenja, sintakse i sematiku.

Pojam interaktivne televizije (ITV) je širok i obuhvaća širok niz aplikacija uključujući:

- prilagođene vijesti, vremensku prognozu i promet
- burzovne podatke, uključujući podatke u stvarnom vremenu investicijskih portfelja
- sportske rezultate i statističke podatke prema selektivnom odabiru korisnika
- igre povezane s programom
- video na zahtjev (Video on demand – VOD)

6. 8-VSB MODULATOR

8-VSB je RF modulacijski postupak korišten u DTV(ATSC) digitalnoj televizijskoj normi za prenošenje digitalnih bitova putem elektromagnetskih valova do korisnika. Budući da bilo koji zemaljski televizijski sustav mora prevladati brojne smetnje u kanalu i njihov utjecaj na izobličenje korisnog signala, kao što su zamucenje slike, dvostruka slika, šum signala, gubljenje signala da bi stigao do doma gledatelja, izbor pravog RF modulatora je vrlo važan. Na 8-VSB se temelji ATSC norma, a jedna od glavnih prednosti mu je veliki propusni opseg koji je potreban za prijenos HDTV (televizije visoke kvalitete) programa. Nedostatak mu je smanjena sposobnost da potpuno ukloni efekte višestaznosti koji dolaze do izražaja u urbaniziranim sredinama s visokim građevinama. Slika 3. pokazuje blok dijagram tipičnog 8-VSB pobudnog stupnja.



Slika 3. Blok dijagram 8-VSB pobudnog stupnja

6.1. Sinkronizacija podataka

Prvo što radi 8-VSB pobudni stupanj kod primanja MPEG-2 paketa podataka je sinkronizacija vlastitih unutarnjih sklopova prema dolazećem signalu. Prije nego što se dogodi bilo koja obrada signala, 8-VSB pobudni stupanj mora točno identificirati početak i kraj svakog MPEG-2 paketa podataka. Ovo se ostvaruje upotrebom MPEG-2 sinkronizacijskog bajta. MPEG-2 paketi su veličine 188 bajta s prvim bajtom u svakom paketu koji je uvijek sinkronizacijski. U daljnjoj obradi MPEG-2 sinkronizacijski bajt se odbacuje te će se zamijeniti ATSC segmentnom sinkronizacijom u kasnijoj fazi obrade.

6.2. Nasumični razmještaj podataka

S izuzetkom sinkronizacije segmenata i polja, 8-VSB *bit stream* mora imati privid nasumičnog prirodnog šuma. To je zbog toga jer odašiljački signal određene frekvencije mora imati spektar s jednolikom razdiobom energije da bi mogao koristiti dodijeljeni kanalni prostor uz najveću učinkovitost. Ako podaci sadrže obrasce ponavljanja, ponavljajući ritam tih obrazaca uzrokovat će da se RF energija emitiranog signala koncentrira u određenim diskretnim područjima frekvencijskog spektra ostavljajući rupu na drugim frekvencijama. To podrazumijeva da će određeni dijelovi 6 MHz kanala biti prekomjerno iskorišteni, dok će drugi biti neiskorišteni. U nasumičnom razmještaju svaki bajt vrijednosti se mijenja u skladu s poznatim obrascem pseudo nasumičnim generatorom brojeva. Ovaj proces je obrnut u prijammiku kako bi se podaci povratili prema određenom redoslijedu.

6.3. Reed-Solomon kodiranje

Reed-Solomon kodiranje je kanalno zaštitno kodiranje (FEC) primijenjeno na blok dolaznog toka podataka. Kanalno zaštitno kodiranje toka podataka (Forward Error Correction) je opći termin koji se koristi za opisivanje različitih tehnika koje se mogu koristiti za ispravljanje pogrešaka koje se mogu dogoditi tijekom odašiljanja podataka. Atmosferski šumovi, višestazno širenje radiovala, slabljenje signala i nelinearnost odašiljača sve to može izazvati greške u bitovima. Kanalno zaštitno kodiranje može otkriti i ispraviti te pogreške, ali u određenim granicama.

Reed-Solomon koder uzima svih 187 bajtova dolaznog MPEG-2 paketa podataka (bajt sinkronizacijskog paketa je uklonjen) i matematički njima manipulira kao blokom da stvori neku vrstu "digitalnih minijaturnih skica"

sadržaja bloka. Ta skica zauzima dodatnih 20 bajtova koji su potom stavljeni na kraj izvornog 187 bajtnog paketa. Tih 20 bajtova poznati su i kao *Reed-Solomon* paritetni bajtovi.

Prijamnik će usporediti primljeni blok od 187 bajtova sa 20 paritetnih bajtova da ustvrdi ispravnost primljenih podataka. Ako su pogreške otkrivene, prijamnik može koristiti paritetne bajtove da točno locira mjesta pogrešaka, da mijenja oštećene bajtove i rekonstruira izvorne podatke. Do 10 bajtova pogreški po paketu mogu se korigirati. Ako postoji više pogrešaka bajtova u određenom paketu, paritetne "minijaturne skice" više ne nalikuju na primljeni blok podataka pa se ispravnost podataka više ne može provjeriti i pogreške ispraviti, a cijeli MPEG-2 paket mora biti odbačen.

6.4. Ispreplitanje podataka

Ispreplitanje podataka ispremešta sekvencijalni redosljed protoka podataka i raspršuje podatke MPEG-2 paketa na vremenske periode u rasponu oko 4.5 ms uz korištenje međusprenjivača memorije, u cilju smanjenja osjetljivosti emitiranog signala na vrstu smetnji kojom se stvaraju pogreške u zahvaćenim nizovima bajtova. Sklop za ispreplitanje toka bajtova tada sastavlja nove pakete podataka s uključivanjem dijelova bajtova iz raznih drugih MPEG-2 paketa. Ti novi rekonstruirani paketi podataka su iste dužine kao i izvorni MPEG-2 paketi: 207 bajtova (nakon *Reed-Solomon* kodiranja).

6.5. Trellis koder

Trellis koder je još jedan oblik kanalnog zaštitnog kodiranja. Za razliku od *Reed-Solomon* kodiranja, koji cijeli MPEG-2 paket tretira istovremeno kao blok, *Trellis kodiranje* razvija kod kroz praćenje toka bitova što se razvija kroz vrijeme. Prema tome, *Reed-Solomon kodiranje* je poznato kao kodiranje bloka podataka, dok je *Trellis kodiranje* konvolucijski kod.

Za *Trellis kodiranje* svaki 8-bitni bajt je podijeljen u četiri toka, 2-bitne riječi. U *Trellis koderu* svaka 2-bitna riječ koja stigne je u odnosu na predhodnu 2-bitnu riječ, 3-bitni kod je matematički generiran za opisivanje prijelaza iz predhodne 2-bitne riječi u trenutku 1. Ti 3-bitni kodovi su zamjene za originalne 2-bitne riječi i prenose se unutar linijskog televizijskog signala kao simboli na osam razina od 8-VSB (3 bita = $2^3 = 8$ kombinacija ili razina). Za svaka dva bita koji uđu u *Trellis koder*, tri bita iziđu van. Iz toga razloga za 8-VSB sistem kaže se da je 2/3 prijenosni koder.

Trellis koder u prijamniku koristi primljene 3-bitne prijelazne kodove da obnovi razvoj toka podataka iz jedne 2-bitne riječi na sljedeću. Na ovaj način *Trellis koder* slijedi "trag" kako se signal pomiče od jedne riječi prema drugoj kroz vrijeme. Snaga *Trellis koder* je u njegovoj sposobnosti da prati povijest signala kroz vrijeme i odbaci potencijalno pogrešne informacije (pogreške) na temelju prošlih signala i trenutno pristiglih.

6.6. Sinkronizacija i pilot signali

Sljedeći korak u lancu obrade signala je umetanje pomoćnih signala koji pomažu 8-VSB prijamniku u točnom lociranju i demoduliranju emitiranog RF signala. To su ATSC pilot, segmentna sinkronizacija i sinkronizacija polja. Pilot i sinkronizacijski signali se umeću nakon nasumičnog kodiranja i kanalnog zaštitnog kodiranja (FEC) da se ne bi uništila određena vremena i amplitudni odnosi koje ti signali moraju posjedovati kako bi bili učinkoviti.

Oporavak vremenskog signala da bi se dekodirao primljeni valni oblik oduvijek je bio zahtijevan zadatak u digitalnim RF komunikacijama. Podaci moraju biti uzorkovani pomoću takta u prijamniku da bi se točno mogli slijediti i dekodirati. Prijamnik ima svoj vlastiti takt koji se sinkronizira pomoću segmentne sinkronizacije. Taj takt "govori" prijamniku kada može očekivati sljedeći *Trellis broj*. U točno određenom vremenu amplituda emitiranog signala se uzorkuje i uspoređuje prema osam mogućih vrijednosti. Najbliži broj prolazi prema *Trellis* dekodera koji koristi tri primljena bita i kreira iz njih originalna dva bita stvarnih podataka. Najvažniji je proračun točnog vremena uzorkovanja zato što se svake sekunde prenese 10,760,000 *Trellis brojeva*, i bez točnog uzorkovanja vladao bi potpuni kaos. U prijamniku se takt generira iz točno primljenih podataka. Rezultat takta sustava brzo se "ruši" kada šum ili razina interferencije raste do točke kada se zaprimi značajna količina pogrešaka.

Prvi pomoćni signal je ATSC pilot. Neposredno prije modulacije mali DC pomak se primjenjuje na 8-VSB osnovni signal koji je prethodno bio na 0 volti bez istosmjerne komponente. To uzrokuje da se pojavi mali ostatak nositelja na nultoj točki frekvencije proizvedenog spektra modulacije. To je ATSC pilot. On omogućava 8-VSB prijamniku "da se zakači" na nešto neovisno od podataka koji se prenose.

Ostali pomoćni signali su ATSC segment i polje sinkronizacije. ATSC segment podataka sastoji se od 207 bitova umetnutih paketa podataka. Nakon *Trellis kodiranja*, segment od 207 bajtova smješten je u osnovni pojas od 828 simbola na 8 razina signala. ATSC sinkronizacijski segment od 4 impulsa simbola dodaje se na početak svakog segmenta podataka i zamjenjuje prvi bajt izvornog (sinkronizacijskog) MPEG-2 paketa podataka koji nedostaje. Segment sinkronizacije pojavi se samo jedanput svakih 832 simbola i uvijek poprimi pozitivno-negativno-pozitivno oblik impulsa.

Korelacijski krugovi u 8-VSB prijamniku su ponavljajuće prirode segmentne sinkronizacije, što je u suprotnosti s pozadinskim pseudo-nasumičnim podacima (nasumični razmještaj podataka). Vraćeni segment sinkronizacije koristi se da prijamnik obnovi takt sistema i uzme uzorak primljenog signala. Zbog njihove učestalosti ponavljanja signali velike razine osciliraju i traju duže pa segmentnu sinkronizaciju prijamnik lako uoči. Rezultat toga je da takt može biti ažurno obnavljan i kod šuma i velikih smetnji koje nadilaze mogućnost

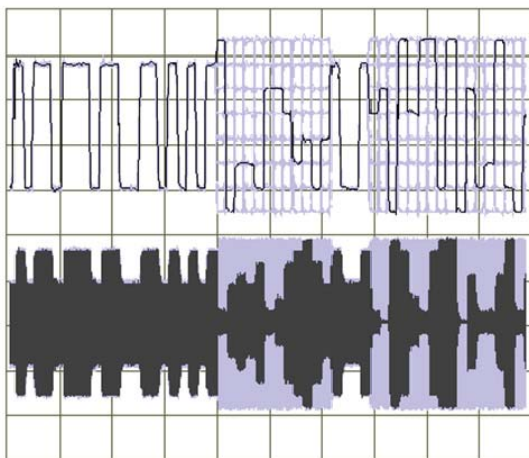
obnavljanja podataka (do 0 dB SNR obnavljanje podataka zahtijeva minimalno 15 dB SNR). Ovaj robusni sinkronizacijski sustav, zajedno s ATSC pilotom, omogućava da se prijamnik brzo oporavi tijekom promjene kanala i drugih prijelaznih uvjeta.

Robusnost segmentne sinkronizacije i sinkronizacije polja dopuštaju točan oporavak takta i uklanjanje dvostrukih slika u 8-VSB prijammniku, čak i kada su aktivni podaci potpuno oštećeni zbog loših uvjeta prijama. To omogućava prilagodljivo uklanjanje dvostrukih slika te traženje i oporavak korisnog signala prije nego se podaci uspješno dekodiraju.

6.7. AM modulacija

Nakon što se osnovnom pojasu DTV signala s osam razina dodaju sinkronizacijski i pilot pomaci, tada se amplitudno modulira međufrekvencijski nositelj (IF). To stvara veliki, dvostruki bočni pojas IF spektra oko frekvencije nositelja, kao što je prikazano na slici 5. Širina pojasa tog IF signala je preširoka da se prenese u dodijeljenom 6 MHz kanalu. Na sreću, postoje razni trikovi koji se mogu upotrijebiti za filtriranje velike većine toga spektra, bez uništavanja bilo kojih digitalnih informacija koje se žele prenijeti. Pogled na sliku 4. otkriva veliki stupanj suvišnosti u dvostrukom bočnom pojasu AM spektra. Unutar spektra gornjeg i donjeg bočnog pojasa sadržaj komponenti signala je od nižih prema višim frekvencijama gledano od nositelja i cijeli donji bočni pojas je zrcalna slika gornjeg bočnog pojasa. To omogućava da se odbaci gotovo cijeli donji bočni pojas i svi bočni režnjevi u gornjem bočnom pojasu. Preostali signal (gornja polovica od spektra oko nositelja) i dalje se može prepoloviti na osnovi *Nyquistove teorije*, u kojoj se navodi da je samo $\frac{1}{2}$ širine frekvencijskog pojasa potrebna za prijenos digitalnog signala na određenoj frekvenciji uzorkovanja.

Ostatak filtriranja dvostrukog bočnog pojasa IF spektra obavlja se u sljedećoj fazi obrade *Nyquistovim filtrom*.

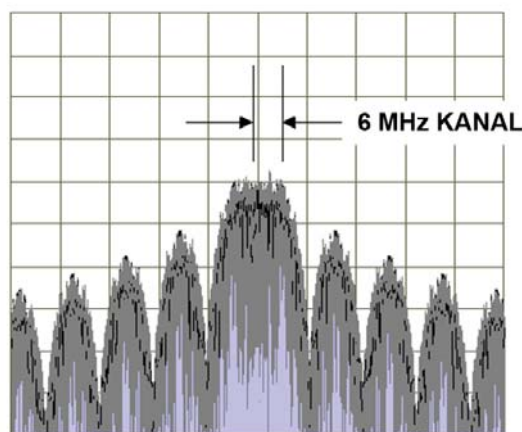


Slika 4. Osnovni pojas od osam razina signala AM moduliran na IF nositelju

Vrh: Osnovni pojas od osam razina na kraju polja segmentne sinkronizacije. Svijetlo-sivi tragovi u pozadini prikazuju mnoštvo linijskih intervala videosignala.

Dno: Drukčije polje segmentne sinkronizacije nakon AM modulacije IF nositelja. Ovojnica moduliranog signala nije simetrična oko nultog nositelja. Mali DC pomak dodan je signalu osnovnog pojasa prije modulacije. To stvara mali ostatak pilota nositelja na nemoduliranom nositelju frekvencije.

Dvostruki bočni RF spektar stvoren AM modulacijom u osnovnom pojasu signala na IF nositelju preširok je da bi stao u 6 MHz kanal.

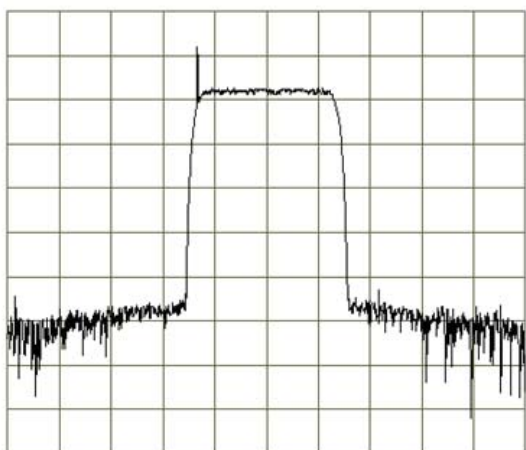


Slika 5. Dvostruki bočni pojas RF spektra nastao nakon AM modulacije

6.8. Nyquistov filter

Rezultat povećanja podataka u signalu u obliku umetanja dodatnih podataka za ispravljanje pogrešaka i sinkronizacijskih podataka povećava brzinu prijenosa podataka izvan okvira od 19.39 Mbit/sec na ulazu u pobudni stupanj, te dostiže 32.28 Mbit/sec na izlazu iz *Trellis koda*. Budući da se 3 bita prenese u svakom simbolu na 8 razina konstelacije 8-VSB-a, to je rezultiralo brzinom prijenosa simbola od $32\text{Mbit}/3 = 10,76$ milijuna simbola u sekundi. Na temelju *Nyquistovog teorema* zna se da se 10,76 milijuna simbola u sekundi može prenositi u ostatku bočnog opsega (VSB), uz minimalnu frekvenciju širine pojasa od: $\frac{1}{2} \times 10,76 \text{ MHz} = 5,38 \text{ MHz}$. Kako je dodijeljena širina pojasa kanala od 6 MHz, vidljivo je da nije cijeli kanal iskorišten nego ima sigurnosni pojas (označavaju se grčkim slovom α) od 620 kHz koji zauzimaju 11% širine kanala. Sigurnosni pojasevi zauzimaju dijelove spektra na početku i kraju prijenosnog kanala.

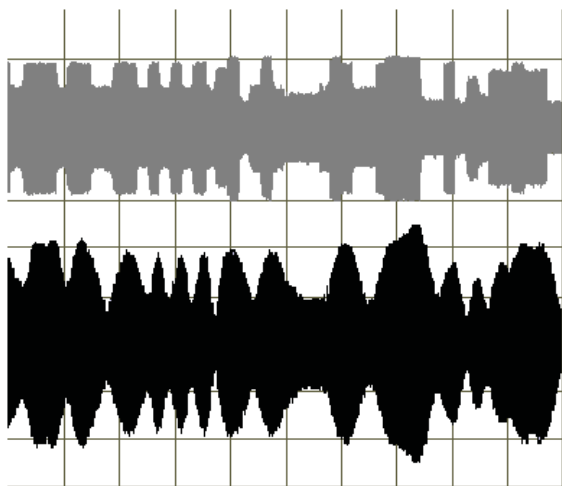
Slika 6. prikazuje rezultat amplitudno-frekvencijskog odziva nakon *Nyquistovog VSB filtra*. Vidi se djelomično prigušeni bočni pojas (sigurnosni pojasevi), prisutnost ATSC pilota na donjem rubu kanala, a donji bočni pojas RF gotovo je uklonjen.



SPAN: 20 MHz VERT SCALE: 10 dB / div

Slika 6. RF frekventijski spektar ATSC signala

Virtualna eliminacija donjeg bočnog pojasa u filtru, zajedno s uskopojasnim filtriranjem gornjeg bočnog pojasa, stvara vrlo značajne promjene RF valnog oblika koji se zapravo prenosi. 8-VSB ovojnica gubi uredan stepeničasti oblik koji je imala prije filtriranja. Kolona "kvadratnih" impulsa simbola koja je postojala kod IF signala s dva bočna pojasa promijenjena je impulsnim odzivom uskopojasnog *Nyquistovog filtra*. Na slici 7. gornji dio prikazuje valni oblik ovojnice IF signala prije filtriranja, a donji dio nakon filtriranja. Vidljivo je da su se kvadratični prijelazi izgubili i poprimili više oblik šuma.

Slika 7. Učinak *Nyquistovog filtra* na IF ovojnicu

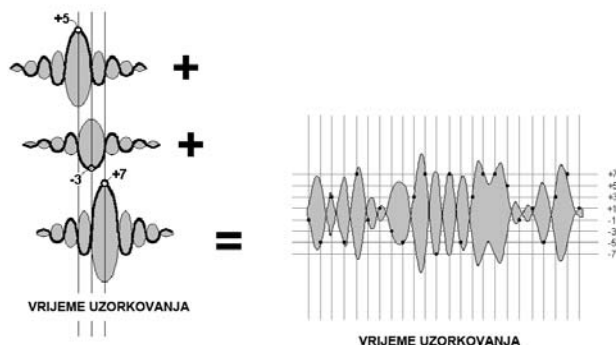
Pogledom na sliku 7. može se uočiti razlika u IF signalu. Gornji dio slike prikazuje signal prije filtriranja, a donji dio nakon *Nyquistovog filtriranja* u kojem ima oblik više sličan šumu.

Kada je frekvencija pojasa prijenosa pravokutnog signala ograničena, signal gubi svoje kvadratne rubove i oscilira u vremenu prije i poslije skokovite promjene. Za digitalni signal od 8 razina to bi bilo vrlo nepovoljno zbog osciliranja prije i poslije naglih skokova u amplitudi, jer bi jedan simbol impulsa izazvao miješanje

s prethodnim i sljedećim impulsom i tako bi iskrivio njihove razine i narušio sadržaj njihovih informacija.

Još uvijek postoji način da se prenesu 8-VSB impulsi simbola, ako se promatra da se informacije na osam razina mogu prepoznati samo tijekom preciznog uzorkovanja u prijammiku. U svim drugim slučajevima amplituda impulsa simbola je nevažna i može se mijenjati na bilo koji način tako dugo dok amplituda u trenutku preciznog uzimanja uzorka predstavlja jednu od potrebnih osam razina amplitude.

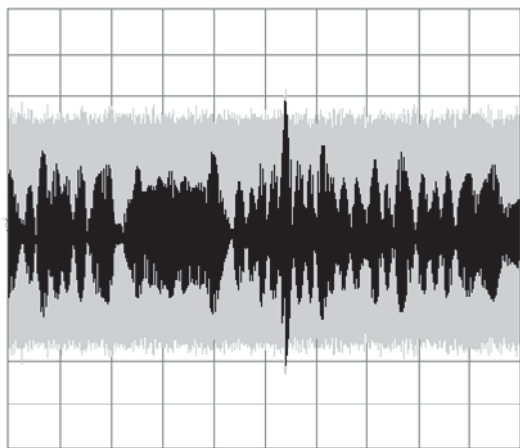
Ako je uskopojasno filtriranje frekvencije učinjeno ispravno prema Nyquistovom teoremu, rezultat će biti ortogonalni niz impulsa simbola. To znači da će prilikom svakog preciznog uzorkovanja samo jedan impuls simbola doprinijeti konačnoj ovojnici RF valnog oblika, a svi prethodni i budući impulsi simbola pojavljuju se na nultom prijelazu svoje amplitude u tom trenutku. To je prikazano na slici 8.: kada takt prijammika uzrokuje RF valni oblik, obnovljen napon će predstavljati samo trenutnu amplitudu simbola (jedan od osam mogućih oblika).



Slika 8. Ortogonalni niz impulsa simbola

U bilo kojem trenutku uzorkovanja (okomita crta), samo jedan impuls simbola doprinosi ukupnoj amplitudi simbola, a svi ostali impulsi doživljavaju nulti prijelaz. Dobivena RF ovojnica odgovara na osam digitalnih razina samo tijekom preciznog uzimanja uzoraka. Impulsi simbola su simetrični u valnom obliku ovojnice moduliranog RF signala.

U svakom trenutku između vremena uzorkovanja ukupna RF ovojnica ima valni oblik sastavljen od zbroja desetaka prijašnjih i idućih simbola, budući da svi simboli imaju amplitudu različitu od nule između vremena uzorkovanja. Pojednostavljeno, slika 8. prikazuje uskopojasne impulse simbola u intervalu od 10 uzoraka, u stvarnosti oni se protežu na mnogo duže vrijeme. Ove vrijednosti različite od nule (između vremena uzorkovanja) od mnoštva signala mogu stvarati velike vrijednosti napona signala. Rezultat toga je signal vrlo sličan signalu bijelog šuma. To je prikazano na slici 9.: omjer vršne i efektivne vrijednosti signala mogu biti vrijednosti od 8 do 10 dB, iako se RF vršna vrijednost može ograničiti na odašiljaču na vrijednosti od 6 do 7 dB uz minimalne posljedice.



Slika 9. 8-VSB RF valni oblik na izlazu iz pobudnog stupnja

6.9. Analogno odašiljanje i ostatak donjeg bočnog pojasa 8-VSB signala

Nakon *Nyquistova VSB filtera*, 8-VSB međufrekvencija (Intermediate frequency(IF)) signala se konvertira na dodijeljene frekvencije kanala u UHF ili VHF frekvencijske pojaseve. Tada se kanalni RF izlaz 8-VSB pobudnog stupnja šalje na DTV odašiljač. Odašiljač je zapravo RF pojačalo snage. RF izlazni signal velike snage filtrira se na izlazu odašiljača i potiskuje neželjene signale izvan frekvencijskog pojasa uzrokovane zbog nelinearnosti odašiljača. Posljednja karika u prijenosnom lancu je antena koja emitira na kanalu 8-VSB DTV signal pune snage.

U kućnom prijammiku preneseni signal se demodulira u suprotnom smjeru prema istim načelima koji su opisani u 8-VSB modulatoru.

7. BUDUĆNOST ATSC NORME

Nova norma za digitalni zemaljski prijenos televizijskog signala u Sjedinjenim Američkim Državama pojavit će se u sljedeće tri godine, kaže Mark Aitken, potpredsjednik za napredne tehnologije Sinclair Broadcast grupe i predsjednik ATSC TSG/S4 specijalne grupe zaslužne za normu mobilne digitalne televizije A/153. Za industriju koja je završila potpuni prijelaz na digitalno emitiranje sredinom 2009. godine, Aitkenov stav može izgledati drastičan. Iako je gašenje emitiranja analognog signala i prelaska na potpuno emitiranje digitalnog signala završena u lipnju 2009. godine, ono nije uključivalo nove tehnologije. Kao primjer, glavni element norme VSB star je 20 godina. "Danas živimo u viziji onoga što je bilo moguće prije 20 godina," kaže Aitken.

ATSC 2.0 bit će izgrađen na postojećim normama za digitalni zemaljski prijam, koje se temelje na MPEG-2 kompresiji. MPEG-2 usvojen je za DTV 1994. godine. U međuvremenu videokodeki su se razvili te su postali učinkoviti. Ipak MPEG-2 pruža odgovarajuću kompresiju za televiziju visoke kvalitete u emitiranom 6 MHz kanalu, koji je i izvorni cilj DTV standarda. Naprednije značajke kao što je 3D sadržaj zahtijevaju naprednije kompresije kao što je MPEG-4 AVC.

Međutim, 100 milijuna TV uređaja ili samostalnih prijammika u domovima korisnika dekodira samo MPEG-2 sadržaj. Tijekom sastanka inženjera i saveznih zakonodavaca 2010. godine zaključeno je da će za potpuni prelazak na MPEG-4 AVC kodiranje zemaljskog televizijskog signala biti potrebno najmanje 13 godina.

ATSC 2.0 omogućavat će naknadno praćenje programa ili usluge videosadržaja na zahtjev korisnika i drugih podataka. Također će uključivati napredno videokodiranje kao što je MPEG-4 AVC, mogućnost gledanja 3D sadržaja, sposobnosti uvjetnog pristupa koji će omogućiti pretplatnički sadržaj u digitalnom zemaljskom prijemu te poboljšati sposobnost mjerenja gledanosti. ATSC 2.0 povezat će internetsku vezu i emitiranje televizijskog sadržaja kako bi se omogućilo nakladnicima u elektroničkim medijima i proizvođačima da imaju veliki izbor mogućnosti i sadržaja koje mogu implementirati u budući program i potrošačke proizvode. Rad na ATSC 2.0 odvija se brzo pa se očekuje da će biti dovršen tijekom 2012. godine.

8. ZAKLJUČAK

Prelazak iz analognog emitiranja televizijskog signala u digitalno emitiranje završena je ili je pri kraju u većini tehnološki razvijenih država. U radu su spomenute norme koje su poslužile za taj prelazak, a opisana je ATSC norma i njena struktura.

Pogledom na normu i njenu strukturu može se vidjeti da je digitalno emitiranje složen proces koji se provodi u više faza. Opisom rada 8-VSB modulatora kao središnjeg dijela čitavog sustava vidljivo je kako se signal priprema i oblikuje za prenošenje.

Budućnost ove norme sigurna je sljedećih nekoliko godina, ali u pripremi je nova norma koja će omogućiti više fleksibilnosti za budući razvoj digitalne televizije u SAD-u.

9. LITERATURA

- [1] Walter Fischer, (2003) *Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide*, Springer, Heidelberg-New York
- [2] Michael Silbergleid, Mark J. Pescatore, (2000) *The Guide To Digital Television*, (What exactly is 8-VSB anyway? By David Sparano) Miller Freeman Psn Inc
- [3] Jerry Whitaker, (2005) *Mastering Digital Television: The Complete Guide to the DTV Conversion*, McGraw-Hill Standard Handbooks, New York
- [4] (http://broadcastengineering.com/news/atsc_dtv_tec hnology_group_09152011/), siječanj 2012.
- [5] (<http://broadcastengineering.com/RF/dtv-standard-mark-aitken-sinclair-11032011/index.html>), veljača 2012.
- [6] (<http://www.tvnewscheck.com/article/2011/06/14/51860/atsc-is-busy-moving-tv-into-the-future>), veljača 2012.