

# Primjer realizacije IP orijentisanog sistema prenosa za radio-difuziju

Paunović Aleksandar, Krstajić Božo, *Member IEEE*

**Sadržaj** — U ovom radu je prezentovan način realizacije radio-difuznog sistema prenosa TV i radio signala koji se zasniva na opšteprihvaćenim TCP/IP protokolima. Novi sistem omogućava implementaciju zemaljske digitalne televizije, sistema za nadzor emisionih uređaja i uvođenje novih servisa u radio-difuzni sistem. Prednosti ovakvog sistema su mnogostruke i u skladu sa savremenim trendovima.

**Ključne reči** — Radio-difuzija, IP, IP multicast, IGMP, MPEG TS, RTP, PIM.

## I. UVOD

ZBOG ubrzanog razvoja televizije od sredine 20 vijeka došlo je do naglog razvoja elektronskih medija, što je za posledicu imalo veću potrebu za novim frekventnim prostorom. Jedino rješenje koje će moći da obezbjedi dovoljno frekventnog prostora jeste prelazak na digitalno emitovanje TV i radio programa.

Da bi se prešlo na digitalno emitovanje TV i radio programa potrebno je izgraditi odgovarajuću prenosnu mrežu. Jedno od mogućih rješenja je izgradnja radio-relejnih veza, zasnovanih na savremenoj IP platformi sa korišćenjem ethernet tehnologije. Realizacijom ovakve mreže, ne samo da će se omogućiti distribucija TV signala, nego će se istovremeno omogućiti i nadzor svih emisionih uređaja i lokacija, a takođe će biti moguće prenosne kapacitete ponuditi drugim komercijalnim korisnicima i državnim institucijama.

Korišćenjem ovakvog sistema omogućiće se tokom prelaznog perioda, prenos digitalizovanog analognog signala, sa mogućnošću jednostavnog prelaska na DVB i DAB. Dodatna prednost ovog sistema je mogućnost jednostavnog proširenja kapaciteta, radi ustupanja kapaciteta komercijalnim korisnicima. Ovakav sistem omogućava uvođenje centralizovanog nadzora i upravljanje mrežnim resursima.

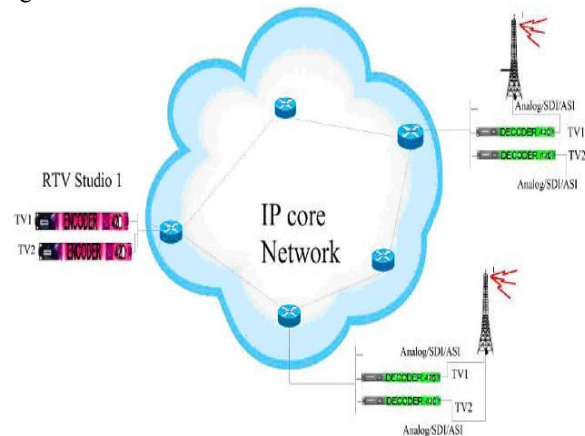
## II. PRENOSNA MREŽA

Distribucija TV i radio signala vrši se korišćenjem enkodera na strani headend-a i dekodera na strani predajne lokacije. Signal sa enkodera se može ubacivati u sistem na bilo kojoj čvornoj tački.

Prenos podataka se može realizovati u režimu tačka-

tačka (*point-to-point*), kada svaki paket sadrži tzv. unicast IP adresu željene destinacije ili u režimu tačka-više tačaka (*point-to-multipoint*) gdje se definiše tzv. multicast IP adresa za određenu grupu krajnjih korisnika. Za prenos TV i radio signala unutar mreže koristi se multicast režim zbog toga što omogućava prenos istog sadržaja do više predajnih lokacija, a da iskorišćeni kapacitet pri tome ostaje isti bez obzira na broj krajnjih korisnika. Dekoderi se pridružuju multicast grupama korišćenjem IGMP (*Internet Group Management Protocol*) v2/v3 protokola.

Ovakav sistem omogućuje jednostavnu kontribuciju video signala sa različitih lokacija pa je moguće vršiti razmjenu audio/video materijala između više studija, obezbjediti direktan prenos ili prenos audio/video sadržaja regionalnih TV i radio stanica SI.1..



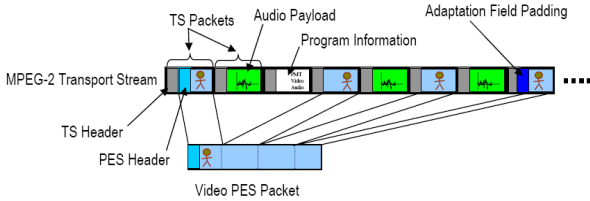
SI.1 Blok Šema prenosa TV i radio signala

Dodjela prostora za druge korisnike unutar mreže je jednostavna i potrebno je samo formirati odgovarajući VLAN (*Virtualni LAN*) datog korisnika i dodjeliti mu odgovarajući broj portova na uređaju sa definisanim potrebnim protokom. Najjednostavnije rješenje bi bilo da postoje tri VLAN-a za tri grupe korisnika. U prvoj grupi obavljala bi se kontribucija i distribucija TV i radio signala. U drugoj grupi vršio bi se nadzor uređaja. Dok bi se u trećem VLAN-u izdavali kapaciteti drugim komercijalnim korisnicima. Broj VLAN-ova zavisi isključivo od mrežnog administratora.

## III. PRENOS VIDEOA

Signal koji dođe u enkoder obrađuje se i komprimuje da bi se od njega dobio osnovni tok ES (*Elementary Stream*). On se usitnjava i od njega se dobija zapakovani osnovni tok PES (*Packetized Elementary Stream*). Zbog njegove

promjenljive veličine on se dalje obrađuje i usitnjava da bi se dobili paketi MPEG TS (*MPEG Transport Stream*) konstantne veličine od 188 ili 204 B kao na Sl.2. TS ima zaglavlje dužine 4 B, koje sadrži sinhronizacione bite i identifikatore, paketske identifikatore PID-ove i ostale informacije za detekciju greške i vremensko usklađivanje. TS sadrži programske informacije i video-audio streamove.



Sl.2. MPEG Transportni stream

Prenos MPEG transportnog streama može da se vrši na dva načina:

1. Enkapsulacijom u UDP pa u IP
2. Enkapsulacijom u RTP (*Real-time Transport Protocol*) pa onda tek u UDP i IP

U prvom načinu paketi TS se direktno mapiraju u UDP pa onda u IP pakete Sl.3. Najčešće se mapira sedam TS paketa što odgovara 1500 B Ethernet MTU-u (*Maximum Transport Unit*). Mapiranje većeg broja paketa je moguće ali nije preporučljivo jer bi usljed odbacivanja UDP paketa došlo do gubitka velike količine informacija. Ovo je najčešći način prenosa multicast saobraćaja.

<b>IP header</b> 20bytes	<b>UDP header</b> 8bytes	<b>N×188bytes TS paketa</b> (najčešće N=7)
-----------------------------	-----------------------------	---

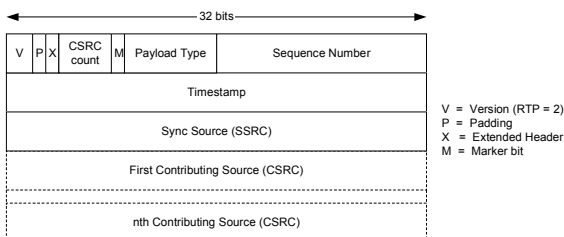
Sl.3. Enkapsulacija TS u UDP/IP

Kada se primjenjuje drugi način prvo se TS paketi enkapsuliraju u RTP paket koji se kasnije enkapsulira u UDP, a onda u IP paket Sl.3. Najčešće se mapira sedam TS paketa u jedan RTP paket.

<b>IP header</b> 20bytes	<b>UDP header</b> 8bytes	<b>RTP header</b> 12 bytes	<b>7×188bytes TS paketa</b>
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-----------------------------

Sl.4. Enkapsulacija TS u UDP/IP

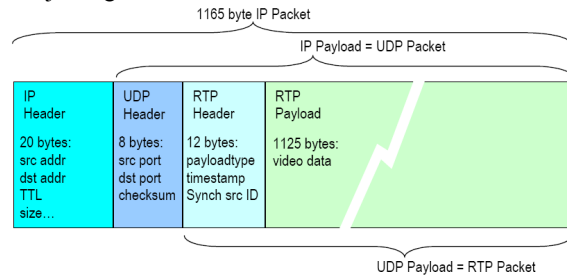
RTP paketi (Sl.5.) se koriste zbog bolje sinhronizacije. U RTP zaglavlju se nalaze 16 bitni sekvencijalni brojači koji omogućavaju jedinstvenu detekciju i brojanje odbačenih paketa što omogućava prijemniku da zna koji paket je izgubljen i da ga aproksimira pomoću interpolacije. Takođe u zaglavlju se nalazi i Timestamp polje koje definiše kad treba da se prikaže sadržaj nekog paketa. Zbog svih njenih prednosti preporučljivo je koristiti UDP/RTP enkapsulaciju jer se na taj način poboljšava kvalitet usluge distribucije TV i radio signala.



Sl.5. RTP zaglavlje

U oba slučaja se kao transportni protokol koristi UDP (*User Datagram Protokol*). Osim funkcije multipleksiranja i demultipleksiranja, kao i veoma ograničene provjere grešaka, UDP ništa ne dodaje IP-u. UDP uzima poruke od aplikacijskog procesa, dodaje polja sa brojevima izvornog i odredišnog porta za multipleksiranje i demultipleksiranje, dodaje još dva mala polja i segment predaje mrežnom sloju koji ga enkapsulira u IP paket. Ako segment stigne do dekodera, UDP koristi broj odredišnog porta kako bi isporučio podatke iz segmenta ispravnom aplikacijskom procesu. On se koristi iz više razloga a neki od njih su: nema uspostavljanje konekcije, nema praćenja stanja konekcije, malo opterećenje zaglavlja paketa, bolja kontrola na nivou aplikacije nad sadržajem i vremenom slanja.

Najčešće se koristi Internet protokol verzije 4. Sl.6, mada je moguće koristiti i IPv6



Sl.6. Enkapsulacija u IP paket

#### IV. PRINCIP IP MULTICASTA

U ovom sistemu prenosa koristi se IP multicast tehnologija, jer omogućuje uštedu u potrebnom opsegu podataka, tako što se isti tok podataka šalje ka većem broju korisnika bez dodatnog stvaranja paketa i obrada na strani izvora i prijemnika. Zbog toga se ostvaruje velika ušteda u potrebnom propusnom opsegu i kod ne zahtjevnih servisa, dok kod zahtjevnih servisa za prenos video MPEG signala predstavlja jedino moguće rješenje.

Kada su korisnici, koji sačinjavaju jednu multicast grupu zainteresovani za prijem multicast paketa, oni šalju nadređenim ruterima zahtjev za prijem multicast saobraćaja upotrebom protokola za upravljanje grupama na internetu IGMP nakon čega ruteri preuzimaju proslijeđivanje saobraćaja između izvora i multicast grupe.

Multicast se zasniva na konceptu grupe korisnika, koji žele da primaju poseban tip informacija. Grupa nije ni fizički ni geografski ograničena već se korisnici mogu nalaziti bilo gdje na mreži.

Da bi neki host bio izvor multicast saobraćaja on mora da ima određenu svoju multicast adresu. Multicast adrese služe za definisanje grupe adrese kojoj se pridružuje proizvoljna grupa hostova sa ciljem prijema podataka koji se šalju toj grupi. IANA je dodjelila tzv. D klasu adresa u opsegu od 224.0.0.0 do 239.255.255.255. Adrese od 224.0.0.0 do 224.0.0.255. su rezervisane za mrežne protokole koji se koriste u okviru mreže. Adrese od 224.0.1.0 do 238.255.255.255 nazivaju se adrese globalne namjene i namjenjene su multicast prenosu paketa mrežama između različitih organizacija ili preko interneta. Adrese u opsegu od 239.0.0.0 do 239.255.255.255

nazivaju se adrese sa ograničenom primjenom. Ove adrese su definisane u RFC-u 2365 kao adrese čija je primjena ograničena na jednu organizaciju ili grupu njih. Zato se na ruterima konfiguriraju filteri tako da se spriječi prenos paketa adresiranih u ovom adresnom opsegu van jednog autonomnog sistema.

## V. REALIZACIJA SISTEMA PRENOSA

Na svim čvornim lokacijama nalaze se ruteri koji imaju formirane VLAN-ove. Svakom VLAN-u pripada grupa IP adresa koje se mogu dodijeliti tako da pripadaju različitim klasama (npr. 200.158.br čvora.x za prvi, 162.15.br čvora.x za drugi i 20.20.br čvora.x). Br čvora je proizvoljni broj od 1 do 254, dok je x broj od 1 do 254.)

U TV studiju koder vrši konverziju video signala u IP pakete. Svaki koder ima svoju IP adresu, koja pripada prvom VLAN-u, svoju menadžment adresu koja pripada drugom VLAN-u i svoju multicast adresu. Signal se dostavlja do najbliže čvorne tačke gdje se ubacuje u sistem.

Na predajnoj lokaciji nalazi se dekoder koji vrši konverziju signala. Da bi mogao da prima multicast sobračaj, dekoder mora da se registruje da pripada određenoj multicast grupi. Za tu registraciju koristi protokol za upravljanje grupama na Internetu eng. *Internet Group Management Protocol* (IGMP). Korisnik u grupi u našem slučaju dekoder, svoju pripadnost grupi prijavljuje slanjem IGMP poruka lokalnom ruteru. Koristeći ovaj protokol ruteti oslušuju da li postoje IGMP poruke i periodično šalju upite kako bi utvrdili koje su grupe aktivne ili neaktivne. Postoje tri verzije IGMP protokola.

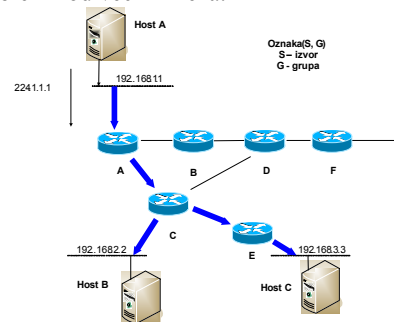
Da bi se izbjeglo da ruter-L3switch gura čitav multicast saobraćaj u jedan port i time ga zagušuje potrebno je na ruteru-L3 switchu podići opciju IGMP Snooping koja omogućuje inspekciju sadržaja IGMP paketa koji se razmjenjuju između korisnika i uređaja i služi za kontrolu prosljeđivanja multicast saobraćaja u L3 switchevima. Pošto se kontrolne poruke prenose kao multicast paketi one se ne mogu razlikovati od ostalog multicast saobraćaja pa zbog toga switch mora ispitati svaki paket kako bi provjerio da li su u njemu sadržane neke važne informacije u skladu sa IGMP protokolom.

Pošto ruteri ne generišu IGMP izvještaje switchevi nisu u mogućnosti da ograniče multicast saobraćaj u tom segmentu mreže. Zbog toga ruteri generišu poruke koje regulišu prenos multicast saobraćaja nezavisno od tipa primijenjenog multicast protokola. Iz tog razloga na ruterima i layer 3 switchevima se podiže protokol za upravljanje grupom korisnika na portu rutera-Router Port Group Management RGMP. Ruter zainteresovan za prijem multicast saobraćaja šalje poruku o pridruživanju i switch dodjeljuje odgovarajući port svojoj tabeli za prosljeđivanje za tu multicast grupu. IP multicast podaci biće prosljeđeni samo na one portove switcha preko kojih su povezani ruteri zainteresovani za prijem.

Multicast paketi se šalju po putanjama određenim stablima za distribuciju multicast paketa. U zavisnosti od složenosti naše mreže i njenog kapaciteta moguće je odabrati dva osnovna tipa stabla za distribuciju multicast paketa: stablo koje ima početnu tačku na mjestu izvora

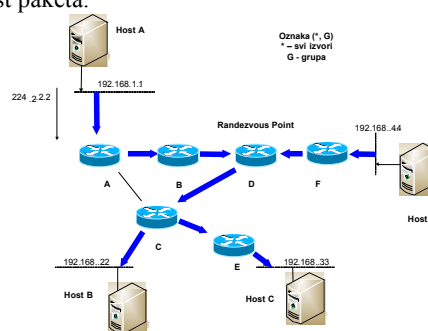
multicast paketa tzv. source tree i stablo sa proizvoljno lociranim korijenom u okviru mreže tzv. shared tree. U oba tipa stabla ne postoje petlje i poruke se umnožavaju samo na mjestima grananja stabla. Stabla se dinamički mijenjaju jer se članovi multicast grupama mogu pridružiti ili istupiti iz njih u svakom trenutku.

Multicast Source Tree ili Shortest Path Tree (SI.7.) je najjednostavnija forma stabla čiji je početak u tački u kojoj se nalazi izvor IP multicast paketa. Grane stabla povezuju izvor IP multicast paketa sa tačkama mreže u kojima su smješteni korisnici. Takođe ovim stablom su određene i najkraće putanje između izvora i korisnika kroz mrežu. Prednost ovog stabla je u tome što formira optimalne putanje između izvora IP multicast paketa i korisnika koji primaju paketa i time obezbjeđuje minimalno kašnjenje prilikom prenosa multicast paketa kroz mrežu, ali mu je nedostatak što mrežni uređaji moraju imati informaciju o svakom izvoru IP multicast paketa, što može predstavljati veliki problem kod većih mreža.



SI.7. Multicast Source Tree

Multicast Shared Tree (SI.8.) stabla koriste jednu proizvoljno određenu tačku u okviru mreže koja predstavlja korijen stabla i naziva se *Rendezvous Point* (RP). Izvori IP multicast paketa moraju poslati svoje pakete do korijena stabla (RP), a zatim se oni kroz grane stabla usmjeravaju do korisnika zainteresovanih za prijem paketa. Prednost ovog stabla je u tome što mrežnim uređajima treba minimalan broj informacija o adresama izvora, zbog čega je potrebna znatno manja memorija u mrežnim uređajima. Međutim, putanje između izvora i korisnika kojima se šalju IP multicast paketi često i nisu najkraće pa može da se javi kašnjenje pri prenosu multicast paketa.



SI.8. Multicast Shared Tree

Kod unicast saobraćaja uređaj koji vrši rutiranje ne vodi računa o izvornoj adresi nego na osnovu odredišne adrese bira putanju.

Princip prenosa multicast paketa naziva se usmjeravanje saobraćaja po povratnoj putanji- RPF (*Reverse Path*

*Forwarding*). RPF kao osnovni koncept usmjeravanja multicast paketa omogućava mrežnim uređajima da pravilno usmjere saobraćaj kroz stablo. RPF koristi postojeće tabele za rutiranje unicast paketa kako bi se odredio izvor odnosno odredište multicast paketa. Kada multicast paket stigne u mrežni uređaj on izvrši RPF provjeru. Ukoliko je ova provjera uspješna paket će se usmjeriti prema odredišnoj adresi. U slučaju da je provjera bila neuspješna paket će biti odbačen.

U zavisnosti od mreže za rutiranje multicast saobraćaja koristi se PIM ( *Protocol Independent Multicast* ) nezavisan od IGMP protokola. Za usmjeravanje multicast paketa on koristi tabele usmjeravanja unicast paketa koje mogu biti dopunjene i kreirane pomoću routing protokola ili čak na osnovu statičkih ruta. Pošto samostalno ne gradi novu tabelu rutiranja multicast paketa, PIM ne šalje informacije o promjeni stanja u mreži, niti ih prima. Postoje dvije vrste ovog protokola i to: PIM Dense mode i PIM Sparse mode.

Prva vrsta zasniva se na «plavljenju» mreže multicast paketima tako da se u svaki dio mreže isporuči multicast saobraćaj. Ovo je iako grub, efikasan način dostave paketa i pokrivanja u velikim mrežama sa više podmreža. PIM-DM na početku masovno šalje multicast saobraćaj kroz cjelokupnu mrežu. Ruteri koji nemaju susjedne uređaje vrše brisanje paketa koje prime kao neželjeni saobraćaj. Koristeći PIM-DM omogućava se ruterima da ažuriraju stanje u mreži. PIM-DM može da se koristi samo sa Shortest Path Tree stablima.

Druga vrsta definisana u RFC-u 2362 koristi pull model da bi dopremio multicas saobraćaj do korisnika zainteresovanih za prijem. PIM-SM koristi Shared Tree stablo da bi distribuirao podatke o aktivnim izvorima multicast paketa. Prednost PIM-SM jeste velika fleksibilnost i prilagođavanje mrežama različite veličine.

## VI. PROTOKOL ZA SPREČAVANJE NASTANKA PETLJI

Zbog sigurnosti prenosa podataka preko mreže potrebno je topologiju mreže napraviti u vidu prstenova tamo gdje je to moguće, a gdje nije koristiti topologiju zvijezde. Postojanje prstenova služi za sprečavanje pada kompletne mreže. Iako ovo rješenje sa prstenovima je dobro neminovno je da će doći do pojave petlji koje bi ugrozile funkcionalnost mreže.

Problemi koji se mogu javiti u ovakvom slučaju su: emisione oluje, thrashing-a MAC tabele, pojave višestrukih petlji, dodatno opterećenje mreže. Da bi se izbjegli svi ovi neželjeni slučajevi na svim uređajima treba podignuti STP (*Spaning Tree Protocol*), čiji je glavni zadatak da spriječi pojavu mrežnih petlji. Za to on koristi spanning tree algoritam, koji prvo kreira bazu podataka topologije, a zatim pretraži mrežu da bi uništio sve redundantne veze. Kad se STP izvršava, okviri će se

prosljeđivati samo na premijskim vezama koje je STP izabrao.

## VII. ZAKLJUČAK

Korišćenje ovog sistema omogućići će prelazak sa analognog na digitalno emitovanje pri čemu će biti moguć stalni monitoring i kontrola emisione i linkovske opreme. Ovakav sistem predstavlja savremeno rješenje u odnosu na ranija rješenja korišćenjem SDH/PDH transportnih mreža, a takođe omogućuje jednostavnije održavanje sistema i omogućava jednostavniju obuku ljudstva za održavanje, zbog jednostavnosti i rasprostranjenosti primjenjene tehnologije. Prednosti IP prenosa su u tome što omogućuje mnogo fleksibilnije i jednostavnije korišćenje kapaciteta prenosnog sistema uz istovremeno jednostavan način kontribucije video i audio signala sa drugih tačaka. To omogućuje manjim korisnicima jednostavniji i jeftiniji prenos signala do željenih lokacija. Osim toga omogućići će i izdavanje kapaciteta drugim komercijalnim korisnicima kao što su mobilni operateri, internet provajderima i drugim. Čitav sistem je moguće konstantno nadograđivati i povećavati mu prenosni kapacitet kako povećanjem protoka radio-relejnih uređaja tako i korišćenjem naprednijih tehnika kompresije signala.

## LITERATURA

- [1] A. MacAulay, B. Felts, *IP Streaming of MPEG-4 native RTP vs MPEG-2 transport stream*, Envivo, October 2005
- [2] "Transmission of Professional MPEG-2 Transport Streams over IP Networks", *Pro-MPEG Forum*, Release 3, July 2004
- [3] James F. Kurose, Keith W. Ross, *Computer Networking*, 3rd ed., Person Education Inc, 2005
- [4] D. Hofman, "RTP Payload Format for MPEG1/MEPG2 Video", *RFC-2250*, January 1998
- [5] J. Postel, "User Datagram Protocol" *,RFC-768*, August 1980
- [6] J. Postel, "Internet Protocol", *RFC-791*, Sptember 1981
- [7] *Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 Based DVB Services over IP Based Networks*, DVB IP Phase 1, ETSI TS 102 034, March 2005
- [8] Maliheh Yousefi, *Video Quality in IP Based Mobile Systems*, Chalmers University of technology, Sweden, May 2008
- [9] *Developing IP Multicast Networks*, Cisco Press, August 2007, Available: <http://www.ciscopress.com/title/1578700779>

## ABSTRACT

In this paper is presented a method for realization of broadcasting system for transmitting TV and radio signals, which is based on conventional TCP/IP protocols. A new system provides implementation of terrestrial digital television as well as a system for control of transmitting devices and implementation of new services in broadcasting system. Described method provides multiple advantages which are in line with nowadays trends.

## AN EXAMPLE OF REALIZATION IP ORIENTED TRANSMITTING SYSTEM FOR BROADCASTING

Paunović Aleksandar, Krstajić Božo *Member IEEE*