



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Александар Ћургуз

**Једна реализација програмске
подршке за демултиплексирање ДТВ
транспортног тока података**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2016.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Дипломски – мастер рад
Аутор, АУ :	Александар Ћургуз
Ментор, МН :	доц. др Немања Лукић
Наслов рада, НР :	Једна реализација програмске подршке за демултиплексирање ДТВ транспортног тока података
Језик публикације, ЈП :	Српски / латиница
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публикавања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2016.
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/38/9/1/23/0/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Дигитална телевизија, демултиплексер, обрада ТС пакета, ПЕС пакети;
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У овом раду је приказано једно решење програмске подршке за демултиплексирање транспортног тока података дигиталне телевизије засноване на Линукс платформи. У већини досадашњих имплементација, демултиплексер је имплементиран у физичкој архитектури. У овом раду демултиплексер је имплементиран у оквиру програмске подршке, а не у физичкој архитектури. Објашњено је како се обрађују подаци транспортног тока и испоручују другим софтверским модулима на даљу обраду. Коришћена је апликациона корисничка спрега која је посредник у комуникацији између програмског демултиплексера и корисничких апликација (дигитална ТВ подршка, телетекст, електронски програмски водич). Предложено решење је верификовано на циљној платформи.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: др Иштван Пап
	Члан: др Иван Мезеи
	Члан, ментор: доц.др Немања Лукић
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Master Thesis
Author, AU :	Aleksandar Ćurguz
Mentor, MN :	PhD Nemanja Lukić
Title, TI :	One solution of software support for demultiplexing DTV transport stream data
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2016.
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/38/9/1/23/0/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, S/KW :	Digital television, demultiplexer, processing TS packets,
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	This paper presents one solution of software support for demultiplexing of the DTV transport stream data based on Linux platform. In most of commercially available implementations, demultiplexer was implemented in the hardware. In this paper, demultiplexer is implemented as software module. Explained is how data from transport stream is processed and passed to clients. Standardized hardware abstraction layer, that encapsulates demultiplexer functionality, is used for connecting software demultiplexer with user application as teletext, subtitle, EPG and TV software support. This solution is verified on the target platform.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: PhD Ištvan Pap
	Member: PhD Ivan Mezei
	Member, Mentor: PhD Nemanja Lukić
	Menthor's sign

Zahvalnost

Zahvaljujem se stručnim saradnicima Branimiru Kovačeviću, Nemanji Lukiću, Marku Kovačeviću i Davoru Rapiću na stručnoj pomoći i strpljenju tokom izrade master rada.

Posebno se zahvaljujem rukovodstvu instituta RT-RK na ukazanoj prilici da se bolje upoznam sa načinom rada u inženjerskom okruženju i budem uključen u proces razvoja novih programskih rešenja.

Na kraju se zahvaljujem svima onima koji su na bilo koji način doprineli izradi ovog završnog rada.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Teorijske osnove	4
2.1 Razvoj digitalne televizije	4
2.2 Digitalna televizija	5
2.2.1 Uređaji za prijem televizijskog signala.....	7
2.2.2 Ograničenja digitalne televizije	7
2.3 Analogna televizija naspram digitalne	8
2.4 Standardi emitovanja digitalne televizije	8
2.5 DVB standard.....	9
2.5.1 DVB –S.....	10
2.5.2 DVB-C	11
2.5.3 DVB-T	11
2.6 Osnovne karakteristike DVB standarda	11
2.7 Transportni tok DTV podataka	11
2.8 Model televizijskog sistema	14
2.8.1 IPTV i mobilni TV uređaji	15
3. Koncept rešenja.....	16
3.1 Ciljna platforma.....	16
3.2 Isporuka podataka različitim korisnicima	17
4. Programsko rešenje.....	21
4.1 TDAL_TS modul	21
4.2 TDAL_DMx modul.....	22
4.3 Programski demultiplekser.....	25

5.	Ispitivanje i verifikacija	28
5.1	Ispitivanje TDAL_DMX modula	28
5.1.1	Provera višekratne inicijalizacije i deinicijalizacije.....	28
5.1.2	Provera zauzimanja i oslobađanja kanala	29
5.1.3	Provera zauzimanja i oslobađanja filtera	30
5.1.4	Provera filtriranja signalnih tabela.....	30
5.1.5	Verifikacija ispravnosti demultipleksera kroz CHAL i MAL validator	31
5.1.6	Potrošnja procesora i RAM memorije	32
5.2	Provera korišćenjem gotove aplikacije	34
5.2.1	Pretraživanje i reprodukcija TV servisa	35
6.	Zaključak	37
7.	Literatura.....	38

SPISAK SLIKA

Slika 1 Slojevit prikaz Comedia TV podrške	2
Slika 2 Zastupljenost HDTV uređaja u domaćinstvima	5
Slika 3 Prenos digitalnog signala do TV prijemnika	6
Slika 4 Zastupljenost različitih DTV standarda u svetu	9
Slika 5 Programski tok podataka	12
Slika 6 Programski i prenosni tok podataka	12
Slika 7 Uprošćen televizijski sistem	14
Slika 8 Model televizijskog sistema	15
Slika 9 Ciljna platforma	17
Slika 10 Komunikacija programskog demultipleksera sa korisnicima	18
Slika 11 Dijagram obrade i isporuke podataka	19
Slika 12 Upravljanje programskim tokom od birača kanala do demultipleksera	22
Slika 13 Dijagram razmene poruka između programske TV podrške i TDAL_DMX modula	23
Slika 14 Provera višekratne inicijalizacije i deinicijalizacije TDAL_DMX modula	29
Slika 15 Provera zauzimanja i oslobađanja kanala	29
Slika 16 Provera zauzimanja i oslobađanja filtra	30
Slika 17 Provera filtriranja SDT tabele	31
Slika 18 Verifikacija rada programskog demultipleskera kroz CHAL validator	32
Slika 19 Verifikacija rada programskog demultipleksera pomoću TTX korisnika	32
Slika 20 Merenje potrošnje CPU pri radu sa programskim demultiplekserom	34
Slika 21 Reprodukcijska TV sadržaja	35
Slika 22 Prikaz teleteksta	36

Slika 23 <i>Prikaz EPG za trenutnu i sledeću emisiju</i>	36
--	----

SPISAK TABELA

Tabela 1 <i>Spisak funkcija programskog demultipleksera i njihova namena</i>	27
--	----

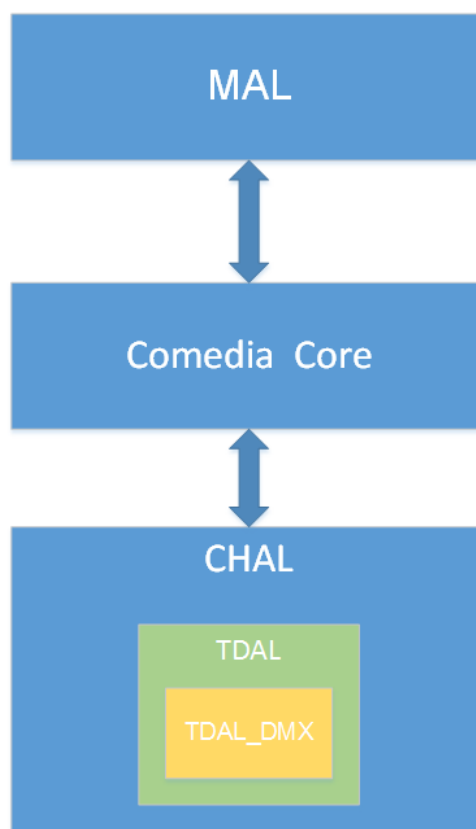
SKRAĆENICE

API	- <i>Application Programming interface</i> , Aplikativna programska sprega
A/V	- <i>Audio/Video</i> , Audio/video komponenta
CAT	- <i>Conditional Access Table</i> , Uslovno pristupna tabela
CHAL	- <i>Comedia Hardware Apstraction Layer</i> , Comedia sloj za apstrakciju funkcionalnosti fizičkih uređaja proizvođača iWedia
HAL	- <i>Hardware Abstraction Layer</i> , Sloj za apstrakciju funkcionalnosti fizičkih uređaja
CRC	- <i>Cyclic Redundancy Check</i> , Ciklična provera redundanse
DTV	- <i>Digital Television</i> , Digitalna televizija
DVB	- <i>Digital Video Broadcasting</i> , Digitalno emitovanje programa
EIT	- <i>Event Information Table</i> , informaciona tabela događaja
EPG	- <i>Electronic Program Guide</i> , Elektronski programski vodič
ES	- <i>Elementary Stream</i> , Elementarni tok podataka
EWS	- <i>Emergency Warning System</i> , Upozoravajući sistem od elementarnih nepogoda
HDMI	- <i>High Definition Multimedia Interface</i> , Interfejs za reprodukciju videa i audia
HTTP	- <i>Hypertext Transfer Protocol</i> , Mrežni protokol za prenos informacija na internetu
MAL	- <i>Middleware Abstraction Layer</i> , Sloj za apstrakciju funkcionalnosti DTV programske podrške
MPEG	- <i>Moving Picture Experts Group</i> , Format za čuvanje video slika
NIT	- <i>Network Information Table</i> , Mrežno informativna tabela
PAT	- <i>Program Association Table</i> , Programski pridružena tabela

PCR	- <i>Program Clock Reference</i> , Programki sat
PES	- <i>Packetized Elementary Stream</i> , Paketizovan elementarni tok podataka
PID	- <i>Packet ID</i> , Paket identifikator
PMT	- <i>Program Map Table</i> , Programski mapirana tabela
PS	- <i>Program Stream</i> , Programski prenosni tok
PSI	- <i>Program Specific Information</i> , Programski specifične informacije
PUSI	- <i>Payload Unit Start Indicator</i> , Indikator početka korisnih podataka u TS paketu
PVR	- <i>Personal Video Recorder</i> , Snimanje TV sadržaja
STB	- <i>Set Top Box</i> , Uređaj za prijem digitalnog TV signala
SDT	- <i>Service Description Table</i> , Tabela za opis servisa
TDAL	- <i>Driver Apstraction Layer</i> , Sloj za apstrakciju rukovalaca
TDT	- <i>Time and Date Table</i> , Tabela datuma i vremena
TS	- <i>Transport Stream</i> , Transportni tok podataka
TTX	- <i>Teletext</i> , Teletekst
TV	- <i>Television</i> , Televizija

1. Uvod

U ovom radu je prikazan predlog rešenja programske podrške za demultipleksiranje digitalne televizije (engl. Digital Television, DTV) transportnog toka podataka zasnovane na Linux platformi. U većini komercijalnih raspoloživih implementacija, demultiplekser je implementiran u fizičkoj arhitekturi (engl. Hardware). Korišćena je aplikaciona korisnička sprega koja je bila posrednik u komunikaciji između korisničkih aplikacija (digitalna TV podrška, teletext (engl. Teletext, TTX), elektronski programski vodič (engl. Electronic Program Guide, EPG)) i demultipleksera. Ovo rešenje programskog demultipleksera je integrisano u jednu komercijalnu raspoloživu implementaciju programske TV podrške. Ova programska podrška se naziva Comedia proizvođača iWedia [1]. Comedia programska TV podrška ima slojevitú strukturu, a najznačajniji slojevi su: MAL (engl. Middleware Abstraction Layer, MAL), Comedia Core (engl. TV Middleware) i CHAL (engl. Comedia Hardware Abstraction layer, CHAL). MAL sloj služi za lakšu integraciju Comedia TV podrške u korisničke aplikacije, Comedia Core je mozak TV podrške, a CHAL je sloj za prilagođavanje Comedia TV programske podrške fizičkoj arhitekturi ciljne platforme (engl. Hardware Abstraction Layer, HAL). Prirodna integracija programskog demultipleksera je u CHAL sloju. Na Slika 1 dat je slojevit prikaz Comedia TV programske podrške.



Slika 1 Slojevit prikaz Comedia TV podrške

U ovoj implementaciji, demultiplekser je napisan programski (engl. Software) i njegove funkcije su pozivane iz CHAL sloja, tačnije iz modula za apstrakciju rukovalaca - TDAL modula (engl. Driver Apstraction Layer, TDAL). TDAL modul omogućuje korišćenje fizičke arhitekture DTV prijemnika od strane Comedia programske TV podrške, bez potrebe za poznavanjem detalja realizacije te arhitekture. U okviru TDAL modula nalazi se TDAL_DMX modul koji predstavlja modul programskog demultipleksera u kojem su implementirane funkcije koje Comedia TV programska podrška koristi kao i mnogi drugi korisnički moduli (TTX, EPG, itd) radi dobijanja isfiltriranih podataka iz transportnog toka podataka (engl. Transport Stream, TS). Napisani su testni slučajevi koji proveravaju ispravnost rada programskog demultipleksera. Definisani skup testnih slučajeva je potvrdio ispravan rad programskog demultipleksera.

Demultiplekser je napisan programski iz više razloga. Moguće je napraviti više programski demultiplekser instanci, pri čemu ne postoje ograničenja kao što postoje kod demultipleksera implementiranog u fizičkoj arhitekturi. Još jedna od prednosti programskog demultipleksera jeste procesna moć, pa je na različitim platformama moguće podržati više instanci demultipleksera. Ovo rešenje omogućuje platformski nezavisnu programsku TV podršku (barem sa stanovišta demultiplekser procesa), i samim tim omogućuje migraciju programske TV podrške na platforme koje nisu tradicionalno TV i STB (engl. Set Top Box, STB).

Ovaj rad je sačinjen od 7 poglavlja. U prvom poglavlju je opisan sadržaj rada. Drugo poglavlje opisuje istorijski razvoj digitalne televizije, princip pakovanja transportnog toka podataka, njegova organizacija kao i načini prenošenja.

U trećem poglavlju dat je opis ciljne platforme, koncept programskog demultipleksera, njegovo povezivanje sa DTV programskom podrškom, kao i šta bi sve DTV programska podrška mogla dalje da uradi sa podacima koje je dobila od programskog demultipleksera (TTX, EPG, prevod (engl. Subtitle), itd.).

Četvrto poglavlje sadrži detaljan opis implementacije programskog demultipleksera kao i njegovo prilagođenje DTV programskoj podršci. Takođe u ovom poglavlju su opisane i strukture podataka koje su korišćene za prenos informacija u digitalnoj televiziji.

U petom poglavlju su opisani načini ispitivanja i verifikacije programskog demultipleksera u različitim oblicima testiranja kao i isporuku traženih podataka različitim korisnicima.

Šesto poglavlje sadrži kratak pregled onoga što je urađeno u ovom radu i kakvi su dalji pravci razvoja.

U sedmom poglavlju dat je spisak korišćene literature prilikom izrade rada.

2. Teorijske osnove

2.1 Razvoj digitalne televizije

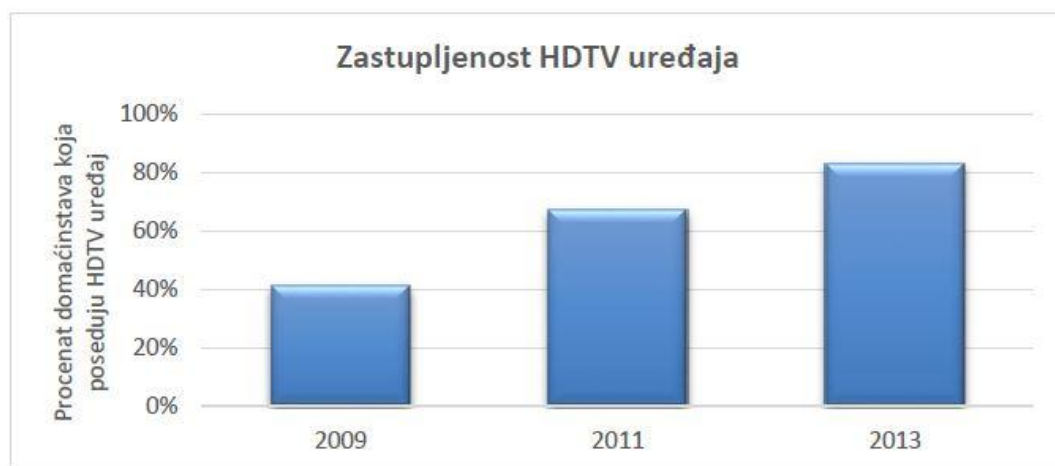
Prvi put, reč televizija se koristi 1900. godine. Mehanička televizija počinje da se razvija od 1923. godine u SAD i Engleskoj u vidu crno – belih silueta. Eksperimentalni rad elektronska televizija doživljava 1935. godine u vidu analogne televizije koja se i danas koristi.

Već sredinom 1940. godine u SAD postoje 23 televizijske stanice i više desetina hiljada vlasnika televizijskih prijemnika. U Zapadnoj Evropi to se desilo deceniju kasnije, a u tzv. trećem svetu i danas ima znatan broj porodica koje nemaju televizijske prijemnike. Iz dana u dan ih je sve manje.

Televizija je telekomunikacioni medijum za predaju i prijem pokretnih slika u crno-beloj ili kolor tehnici, sa pripadajućim zvukom. Termin televizija se koristi za TV prijemnik (televizor), TV program, TV produkcionu centar ili za emisioni sistem. Komercijalno je raspoloživa od 1930-tih godina, uglavnom služi kao izvor vesti i zabave.

Prva praktična upotreba počela je u Nemačkoj (lokalni prenos Olimpijskih igara u Berlinu 1936). BBC je najstarija i najveća TV kuća na svetu.

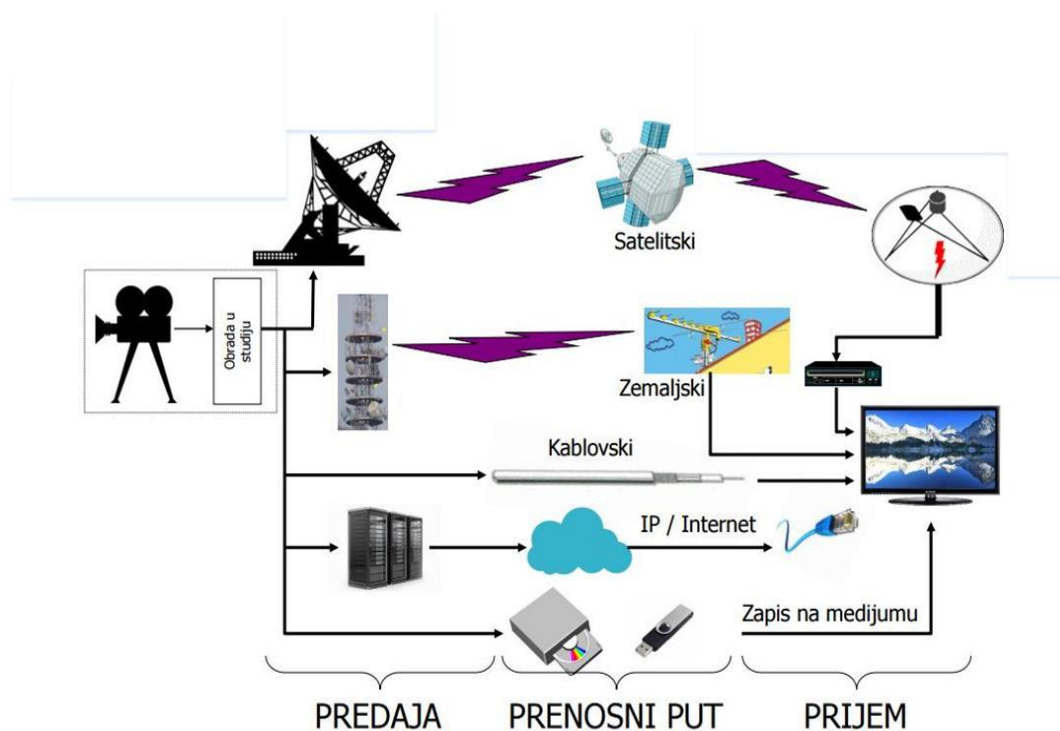
Početkom 1990-ih godina na evropskom tržištu prestaje se sa radom na analognoj televiziji i kreira se grupa za razvoj i standardizaciju digitalnih TV sistema za emitovanje baziranim na MPEG-2 (engl. Moving Picture Experts Group, MPEG) internacionalnom standardu kompresije slike. MPEG-2 takođe ostavlja mogućnost budućeg prelaska na televiziju visoke rezolucije (engl. High Definition TeleVision, HDTV) korišćenjem viših nivoa i profila. Kraj dvadesetog veka i prva decenija dvadesetog veka vide strm pad cena velikih ekrana visoke definicije koje su u skladu sa HDTV zahtevima. Ovi ekrani sada postaju dostupni velikom broju korisnika. Slika 2 prikazuje povećanje zastupljenosti HDTV prijemnika na tržištu potrošačke elektronike u poslednjih nekoliko godina.



Slika 2 Zastupljenost HDTV uređaja u domaćinstvima

2.2 Digitalna televizija

Digitalna televizija [1] predstavlja digitalno emitovanje TV programa. Digitalna televizija nudi drugačiji način isporuke TV programa u odnosu na onaj kakav je postojao od samog početka. Prvi korak u digitalizaciji je pretvaranje slike i tona u informacione bite čime se TV predstavlja na isti način kao i ostali podaci. Zatim se vrši kompresija pa onda slanje takvog istog signala od TV predajnika do televizora. TV signal se prima preko obične TV antene za VHF/UHF kanale. Prijemnik digitalne TV je ili STB koji adaptira signal na običan TV ili je integrisan u televizor. Na Slika 3 prikazan je prenos digitalnog signala do TV prijemnika i različite vrste prenosa digitalnog signala.



Slika 3 Prenos digitalnog signala do TV prijemnika

Digitalna zemaljska televizija (engl. Digital Video Broadcasting – Terrestrial, DVB-T) [2] funkcionalno menja postojeću situaciju u oblasti radio-difuzije. Ovaj novi način distribucije sadržaja pruža niz prednosti u odnosu na sadašnji analogni sistem:

- omogućuje emitovanje više programskih sadržaja u jednom radio-frekvencijskom kanalu (ukupno više stotina kanala)
- nudi sistem za bolje iskorišćenje ograničenog frekvencijskog spektra (ne-televizijski servisi u najboljem delu RF spektra)
- delovi slike i zvuka koje ljudska čula ne mogu da raspoznaju (npr. izuzetno visoke frekvencije) se ne prenose u signal
- obezbeđuje bolji kvalitet prijema programa, slike i tona (dokle god se ostvaruje prijem video i audio kao i HDTV i 5.1)
- pruža mogućnost uvođenja novih dodatnih komercijalnih i nekomercijalnih servisa
- povećana je fleksibilnost formata slike i zvuka, tako da je često moguć izbor formata slike (npr. 4:3 ili 16:9) kao i zvuka (mono, stereo, surround)

Novi servisi:

- interaktivnost
- programi na zahtev
- elektronski programski vodič (engl. EPG)
- distribucija podataka
- elektronska pošta
- video igre
- izbor audio jezika i jezika za prevod

2.2.1 Uređaji za prijem televizijskog signala

U zavisnosti od tipa signala:

- Zemaljski prijemnici
- Satelitski prijemnici
- Kablovski prijemnici
- Hibridni prijemnici
- IPTV prijemnici

Prve tri vrste prijemnika su namenjene za emitterski pristup (engl. Broadcast), dok su poslednje dve za širokopojasni pristup (engl. Broadband).

U zavisnosti od konfiguracije sprege postoje:

- Integrirani televizijski prijemnici (imaju svoje ekrane i ugrađen birač kanala)
- Prijemnici tipa STB (moraju se povezati na spoljni ekran)

Digitalizaciju televizije prate i sledeći trendovi:

- konstantno povećavanje dimenzija ekrana i prelazak na tehnologije ravnih ekrana
- konstantno povećanje rezolucije slike
- sve veći broj novih digitalnih usluga na TV ekranu

2.2.2 Ograničenja digitalne televizije

Ograničenja digitalne televizije ima više. Jedno od ograničenja može biti potrebna zamena infrastrukture. Naime, analogna TV infrastruktura više ne može da se koristi. Analogni TV

prijemnici se mogu koristiti kao video monitori, dok je za prijem i reprodukciju digitalnog signala, neophodan dodatni uređaj STB. Država ima velik trošak u uvođenju emitera.

Pojam efekta digitalne litice se uvodi u slučaju pogoršanja kvaliteta prijema signala, kvalitet slike i zvuka se ne degradira postepeno (kao u slučaju analogne televizije). Nasuprot tome, prijem u potpunosti prestaje kada kvalitet signala bude toliko loš da se ne može demodulisati.

Na samoj granici kvaliteta tzv. litici najpre dolazi do značajnog povećanog broja pogrešno interpretiranih bita, što onemogućava korekciju, usled čega se javlja zamrzavanje slike i gubljenje značajnih paketa u transportnom toku. Daljim pogoršanjem kvaliteta signala, prijem u potpunosti nestaje.

2.3 Analognu televiziju naspram digitalne

Osnovna ideja analogne televizije je da manipuliše enkodiranim emitovanim signalom različitih amplituda i frekvencija. Ovaj proces se neprekidno ponavlja crtajući slike koje su emitovane na televizijskom ekranu kao slikovne promene. Pomeranje slike zahteva ceo okvir (engl. Frame) za svaku sliku bilo da se pokreti pojave u filmu ili ne.

Ova procedura je veoma efikasna i nudi dobar kvalitet slike zbog fizičke karakteristike sinusoide. Međutim, nedostatak takvog sistema je nedostatak usluga različitosti.

Suprotno analognoj televiziji, digitalni sistemi primaju signal u formi nula i jedinica. Signal je konstituisan da može da koristi manje frekvencijskog opsega i ostavlja više prostora za dodatne usluge za prenos podataka, kao i za više kanala.

DTV omogućuje dodatne servise kao što su EPG, EWS (engl. Emergency Warning System, EWS), itd. Digitalni signal smanjuje potrošnju resursa kao što je frekvencijski opseg i električna energija.

U nekoliko predstojećih godina postoji potreba prelaska sa analognog na digitalni tip emitovanja televizijskog signala. Analognu televiziju će sve manje biti u upotrebi.

2.4 Standardi emitovanja digitalne televizije

Da bi se televizijski signal uspešno primio i reprodukovao, mora postojati pisani dogovor njegovog formata i načina prenosa - standard, odnosno specifikacija.

Standardi emitovanja/ prenosa:

- Analognu televiziju: PAL, SECAM, NTSC
- Digitalna televiziju: DVB, ATSC, ISDB, DTMB, DMB
- Pakovanje digitalnog sadržaja: MPEG - TS

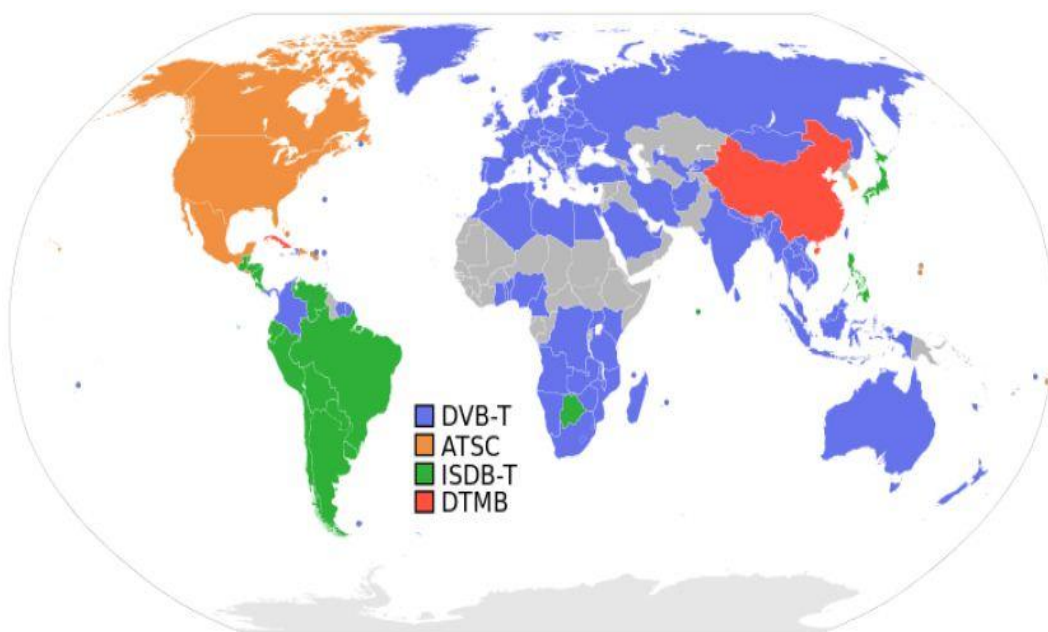
Standardi kodovanja/dekodovanja slike (u DTV)

- H.262 (Zvaničan naziv: MPEG-2 verzija 2) često nazivan MPEG-2
- H.264 (Zvaničan naziv: MPEG-4 verzija 10) često nazivan MPEG-4
- H.265 (engl. High Efficiency Video Coding - HEVC) često nazivan HEVC

Standardi kodovanja/dekodovanja zvuka (u DTV)

- MP2, MP3
- AC3
- AAC/ HE- AAC

Standard koji se najviše koristi na našim prostorima i širom sveta je DVB. Na Slika 4 je prikazana zastupljenost određenih DTV standarda u svetu.



Slika 4 Zastupljenost različitih DTV standarda u svetu

2.5 DVB standard

DVB [3] [4] je grupa standarda proizašla iz međunarodne inicijative. Ovi standardni se uglavnom koriste u Evropi, ali i u većem delu sveta.

Sve do kasnih devedesetih godina dvadesetog veka javno emitovanje digitalnog TV programa je nepraktično i skupo za uvođenje.

Tokom 1991, proizvođači opreme za emitovanje i prijem TV programa dogovaraju se kako da oforme zajedničku evropsku platformu za razvoj zemaljske digitalne televizije (engl. European Launching Group, ELG).

Septembra 1993. članovi ELG potiskuju dokument o pravilu rada i ELG postaje DVB (engl. Digital Video Broadcasting, DVB).

Evropska industrija za proizvodnju televizijske opreme prelazi na digitalnu TV tehnologiju. Oko ovog programa okupljaju se vodeće televizijske kuće i postaje sve jasnije da će digitalni evropski sistem biti zasnovan na zajedničkom pristupu. Satelitska i kablovska televizija počinju prve da emituju DTV programe. U ovom pristupu ima manje tehničkih problema, jednostavniji pravni propisi i prioriteti tržišta uslovili su da će se ova dva sistema prenosa razvijati brže od zemaljskih DTV sistema.

Do 1997. vršene su pripreme kako bi ovaj standard prešao u realizaciju što se ubrzo i desilo.

Sve digitalne TV informacije se prenose u transportnom toku (engl. *Stream*) u MPEG -2 formatu sa nekoliko dodatnih ograničenja koja dovode do stvaranja novog sistema, DVB sistema, tj. digitalnog emitovanja signala.

Prethodno definisani protokol je razvijen radi povećanja kompatibilnosti između različitih TV uređaja, geografske rasprostranjenosti i dostupnosti televizije po celom svetu. Protokol je primarno razvijen za Evropsko emitovanje, ali praktičan i efikasan dizajn dozvolio je da bude korišćen i u ostatku sveta. Samo dve države, Japan i SAD primenjuju druge sisteme.

Postoji nekoliko DVB standarda za prenos DTV:

- DVB-S / S2 (engl. Satellite) – definiše satelitski prenos DTV
- DVB-C / C2 (engl. Cable) – definiše DTV prenos putem digitalne kablovske mreže
- DVB-T / T2 (engl. Terrestrial) – definiše zemaljski DTV prenos UHF/VHF signala
- DVB-H (engl. Handheld) – DTV za prenosne uređaje kao što su mobilni telefoni

2.5.1 DVB –S

Pored poboljšane verzije S2, DVB-S standard se koristi za transport podataka preko satelita. Nove odlike DVB-S2 obuhvataju jeftinu implementaciju, prosleđivanje korekcije grešaka i generički dizajn transportnog toka podataka. DVB-S koristi QPSK (engl. Quaternary Phase Shift Keying, QPSK), 16 QAM (engl. Quadrature-Amplitude Modulation, QAM) i PSK (engl. Phase Shift Keying, PSK) kao metode modulacije. Izvor signala može sadržati jedan ili

više MPEG-2 transportnih tokova podataka kao i druge pakete transportnog toka kao što su MPEG-4 i H.264 koji su takođe ispravni u aplikaciji.

2.5.2 DVB-C

Ovaj standard se koristi za kablovski TV prenos gde se podaci razmenjuju u MPEG-2 digitalnom audio/video transportnom toku podataka. Ovaj standard koristi QAM modulaciju sa kanalskim kodiranjem.

2.5.3 DVB-T

Ovaj standard je dizajniran za distribuciju viška kompresovanog audio-video toka podataka. Tip modulacije koju ovaj standard koristi je OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM).

2.6 Osnovne karakteristike DVB standarda

Osnovne karakteristike DVB standarda su:

- Koristi MPEG-2 / H.264 standarde za video kompresiju
- Koristi AC3 i AAC za audio kompresiju
- Jednosmerni prenos podataka na fiksnoj brzini
- Proširenje mogućnosti MPEG standarda:
 - Elektronski programski vodič (EPG)
 - Uslovni pristup sadržaju (engl. Conditional Access, CA)
 - Opcioni povratni informacioni kanal za interaktivne usluge
 - Uvođenje novih tipova paketa u transportni protokol
- Visok stepen fleksibilnosti - ne nameće ograničenja u pogledu tipa podataka koji se mogu preneti

2.7 Transportni tok DTV podataka

Audio i video podaci se posebno obrađuju u skladu sa MPEG standardom [5] [6] i pretvaraju se u elementarne tokove (engl. Elementary Stream, ES). Nakon digitalne obrade ti tokovi podataka se dele u pakete promenljive dužine. U zavisnosti od stepena kompresije ti paketi mogu nositi u sebi jednu ili više slika (u slučaju video signala) ili jedan ili više audio segmenata (u slučaju audio signala). Ovi paketi čine paketizovani elementarni tok podataka (engl. Packetized Elementary Stream, PES).

Ukoliko prenosni uređaj nije podložan pojavi grešaka u toku prenosa, elementarni tokovi se kombinuju u programski tok prikazan na Slika 5 (engl. Program Stream, PS) koji se koristi za reprodukciju slike i zvuka (npr. reprodukcija sa CD). Paketi su tačno određene dužine. PS nema

mogućnost korekcije greške u prenosu i samim tim nije pogodan za prenošenje u vidu emitovanja (engl. Broadcasting).



Slika 5 Programski tok podataka

U DTV se na jednoj istoj frekvenciji može preneti više od jednog servisa (televizijski, radio servis, itd). Ove servise treba preneti bez smetnji. Da bi se to postiglo koristi se multipleksirani MPEG-2 tok podataka. Postojeći PES paketi se dele na delove veličine 184 bajta na koje se dodaje 4 bajta dugačko zaglavlje čineći tako pakete dužine 188 bajta. Ovi paketi se nazivaju paketi transportnog toka (engl. Transport Stream Packets). Ovi paketi se multipleksiraju u prenosni TS tok koji je moguće emitovati putem zemaljskih, kablovskih i satelitskih veza. TS format je pogodan za kombinovanje više TV programa u jedinstven informacijski tok prikazan na Slika 6.



Slika 6 Programski i prenosni tok podataka

Svaki TS paket iz prenosnog toka podataka poseduje svoj paket identifikator (engl. Packet ID, PID) koji mu omogućava da se na prijemnoj strani poveže sa odgovarajućim servisima sadržanim u prenosnom toku podataka. TS paket je veličine 188 bajta od kojih su prva 4 bajta zaglavlje. Zaglavlje se sastoji od sinhronizacionih bajta (koji uvek imaju heksadecimalnu vrednost 0x47), indikatora greške i identifikatora samog paketa, PID.

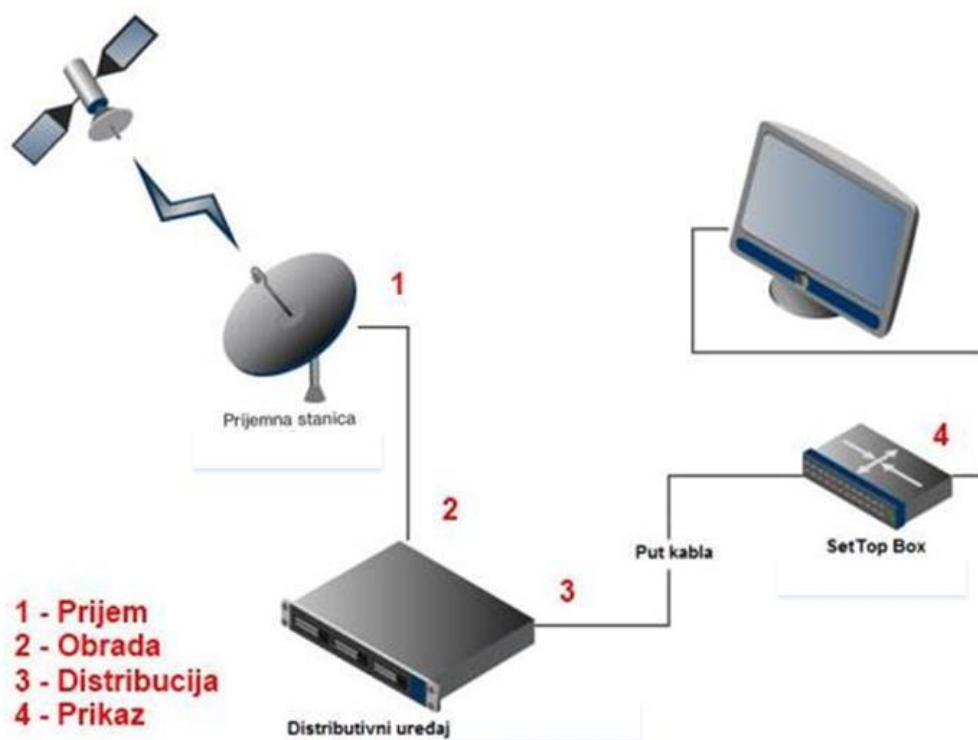
Transportni tok podataka može prenositi čak i više od 20 servisa, stoga je neophodno uključiti određene signalne tabele koje opisuju sadržaj TS. Ove tabele nose podatke o svakom od DTV servisa koji se prenosi unutar prenosnog toka podataka što će dalje koristiti u prikazivanju informacija iz prenosnog toka podataka. Demultiplekser otpakuje i sklapa dolazeće TS pakete u odgovarajući redosled da obezbedi korisniku prijem odabranih kanala. Da bi demultiplekser mogao da skuplja PSI (engl. Program Specific Information, PSI) pakete potrebno je da se postavi PSI filter sa određenim PID kako bi određeni TS paketi bili isfiltrirani i poslani korisniku na dalju obradu. Korisnik će dobiti podatke kada demultiplekser sklopi celu sekciju koja se sastoji od više paketa. Postoje 4 PSI tabele koje se prenose u TS.

- PAT (engl. Program Association Table, PAT) služi kao spona između programskog broja (engl. Program Number) i PID transportnih paketa koji nose definiciju programa. Svaki PAT može biti podeljen na 255 sekcija pre pakovanja u TS pakete. Na ovaj način svaka sekcija prenosi deo ukupnog PAT i time smanjuje gubljenje podataka u uslovima greške. Ako bi se pronašla greška ili paket izgubio, šteta bi se lokalizovala.
- PMT (engl. Program Map Table, PMT) je sistematičan opis između programskog broja i programskih elemenata. TS paketi mogu sadržati jednu ili više PID vrednosti, gde oni mogu čuvati druge privatne strukture u skladu sa definicijom u table_id polju. Treba napomenuti dve stvari u vezi ove tabele. Prva stvar je prenošenje informacija o privatnim događajima koja su moguća ako je poslat TS_program_map_section. Druga stvar koju treba napomenuti je da se TS paketi, uključujući i PMT prenose bez šifrovanja.
- CAT (engl. Conditional Access Table, CAT) – koristi se kod zaštićenih DTV servisa. Definiše tip kriptovanja i PID vrednosti TS paketa koji sadrže informacije neophodne za dekriptovanje sadržaja. CAT sekcije su sadržane u TS paketima koji imaju PID vrednost 0x0001.
- NIT – (engl. Network Information Table, NIT) – sadrži informacije o mreži koja emituje TS multipleks kojem pripada dati DTV servis. Tabela između ostalog sadrži informaciju o nosećim frekvencijama na kojima mreža poseduje transpondere. Predefinisana PID vrednost TS paketa koji nose NIT sekcije je 0x0010.

Ove tablice su dovoljne i neophodne za demultipleksiranje i prezentaciju programa.

2.8 Model televizijskog sistema

Na Sliku 7 je prikazan uprošćeni televizijski sistem. U televizijskom sistemu postoji čitav proces od snimanja televizijskog sadržaja u studiju (A/V, TTX, prevod, itd) do njegovog prikazivanja na televizijskom prijemniku.

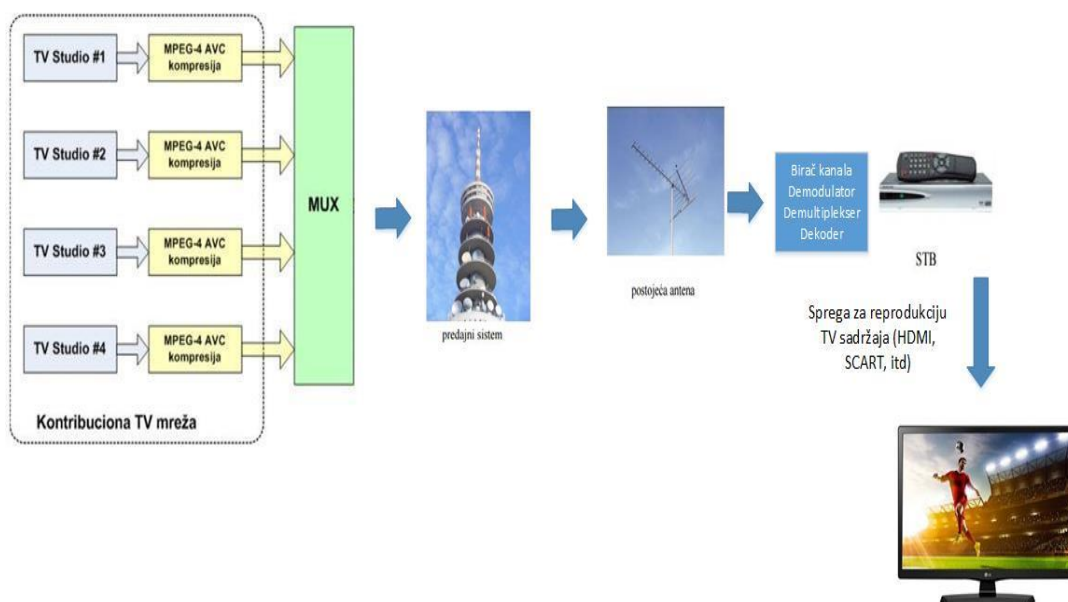


Slika 7 Uprošćen televizijski sistem

Televizijski sadržaj se snima i pakuje u transpotni tok (u daljem tekstu TS) posredstvom multipleksera. Kao takav TS paket se dalje od predajne antene isporučuje do prijemne koja mora da postoji na mestu prijema TV signala. Prijemna antena isporučuje signal prijemniku televizijskog signala. STB u sebi ima module koji obrađuju podatke iz TS. Ti moduli su birač kanala (engl. Tuner), demodulator, demultiplekser i dekodeer.

- Birač kanala – pretražuje određeni frekventni opseg (engl. Bandwidth) i zaključava se (engl. Lock) na određenu frekvenciju.
- Demodulator – sadržaj koji je prethodno birač kanala pronašao, demodulator pretvara u digitalni signal u vidu sekvence nula i jedinica.
- Demultiplekser – na određenoj pronađenoj frekvenciji, demultiplekser vrši filtriranje TS sadržaja. Demultiplekser iz TS može da izdvoji TTX, EPG, A/V pakete, itd.
- Dekoder – dekodeer je modul koji je odgovoran za reprodukciju audia i videa.

Na Slika 8 je predstavljen model televizijskog sistema počev od samog pakovanja TV sadržaja u TV studiju, zatim njegovo multipleksiranje, do samog prijema i demultipleksiranja na strani krajnjeg korisnika. Takođe vidimo i glavne komponente STB bez kojih TV sadržaj ne bi mogao da se prikaže.



Slika 8 Model televizijskog sistema

2.8.1 IPTV i mobilni TV uređaji

Internet protokol televizija (engl. Internet Protocol TeleVision, IPTV) je sistem putem koga se korisnicima pružaju usluge televizije preko internet protokola koristeći arhitekturu i mrežne metode grupe internet protokola i infrastrukturu koja koristi komutaciju paketa, umesto da se koristi standardna radiodifuzija ili kablovska mreža. IPTV je jedno od najnovijih dostignuća iz oblasti tehnike i televizije. Prednosti IPTV televizije su svakako u veća brzina i količina prenosa podataka, pristup internetu, lokalna mreža između uređaja (žičano i bežično), kompresija video sadržaja kao i dodatne usluge kao što su: video na zahtev, sadržaj na zahtev, plati pa gledaj, itd. Pored IPTV uređaja, sve više u upotrebi su mobilni uređaji koji imaju pristup internetu i jaku procesnu moć. Sve više mobilnih platforma uključuje TV (pametni telefoni, tableti, pa i automobili danas). Ovaj pristup daje značajnu potrebu za platformski nezavisnim demultiplekserom, pošto platforme u mobilnim uređajima nisu TV orjentisane i nemaju fizički demultiplekser integrisan na čipu. Ovo će svakako olakšati integraciju programske TV podrške na ovakve uređaje.

3. Koncept rešenja

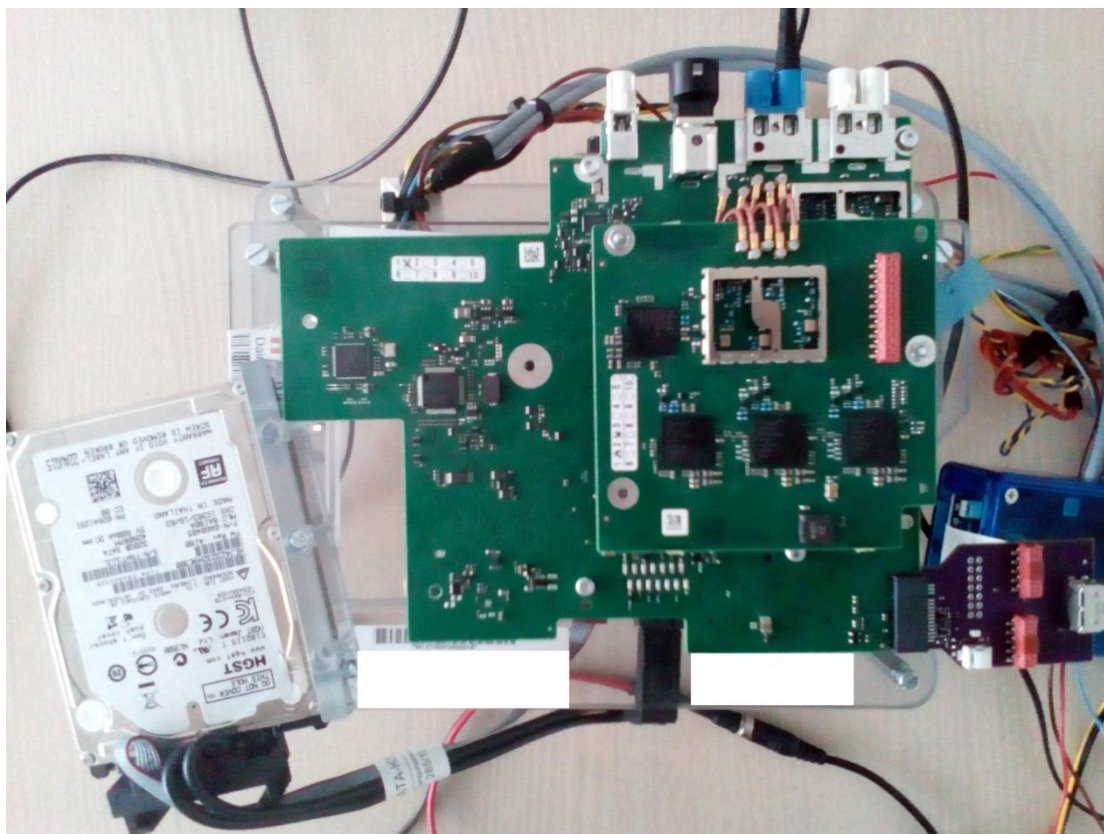
U ovom poglavlju je dat opis ciljne platforme, zajedno sa osnovnim konceptima implementacije programskog demultipleksera kao i korišćenje obrađenih podataka kroz TTX, prevod (engl. Subtitle) i reprodukciju audia i videa u skladu sa DVB standardom. Verifikacija ispravnog rada programskog demultipleksera je utvrđena kroz HTTP poslužilac (engl. Hypertext Transfer protocol, HTTP) koji je zadužen za predstavljanje različitih podataka korisnika koji su pre toga obrađeni kroz programski demultiplekser.

3.1 Ciljna platforma

Slika 9 predstavlja ciljnu platformu koja raspolaže sa 3 birača kanala: 2 za DVB-T i 1 za ISDB-T. Procesor je INTEL sa 1MB skrivene (engl. Cache – ultra brza memorija) i 1 GB RAM (engl. Random Access Memory, RAM) memorije. Ova platforma raspolaže sa Linux operativnim sistemom i jezgrom operativnog sistema (engl. Kernel – Linux jezgro) podešenim za potrebe ovog projekta.

Ova ciljna platforma ima mnogobrojne mogućnosti, a najznačajnije su:

- Pretraživanje frekventnog opsega
- Instaliranje DTV servisa
- Reprodukcija TTX i prevoda
- Reprodukcija EPG
- Dodavanje servisa u posebnu, omiljenu listu kanala (engl. Favourite)
- Prikaz poruka upozorenja EWS

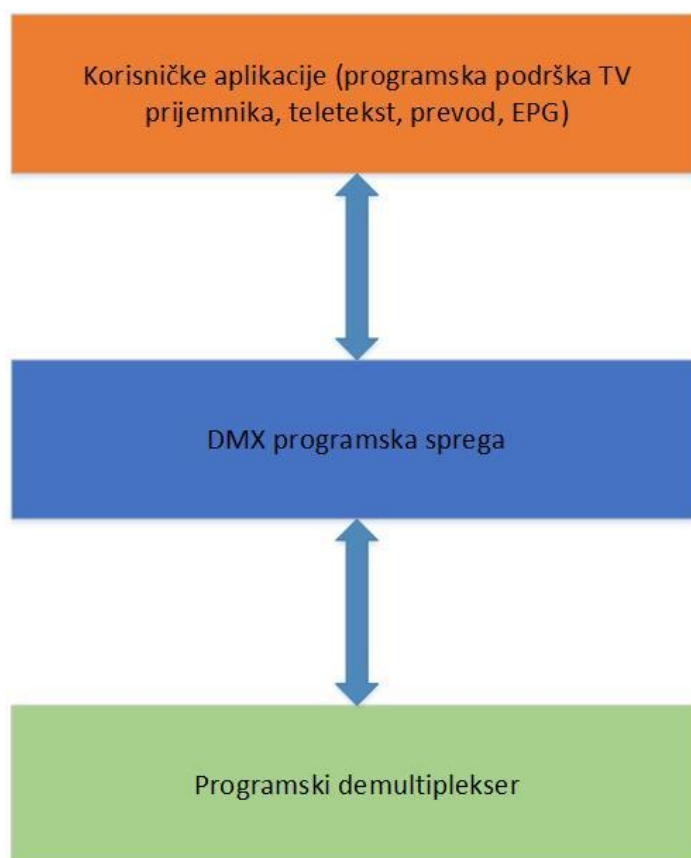


Slika 9 Ciljna platforma

3.2 Isporuka podataka različitim korisnicima

Različiti korisnici zahtevaju različite podatke da im se dostave iz transportnog toka podataka. Programski demultiplekser je zadužen da na korisničke zahteve, iz transportnog toka podataka izdvoji određene podatke i isporuči korisnicima.

Da bi te podatke programski demultiplekser dostavio korisniku, napravljena je DMX aplikativna sprega (engl. Application Program Interface, API) koja povezuje korisnika sa programskim demultiplekserom. Kada programski demultiplekser obradi zahtevane podatke, vratiće funkcijom povratnog poziva (engl. Callback) podatke korisniku. Na Slika 10 je prikazana uopštena komunikacija korisničkih modula sa programskim demultiplekserom.



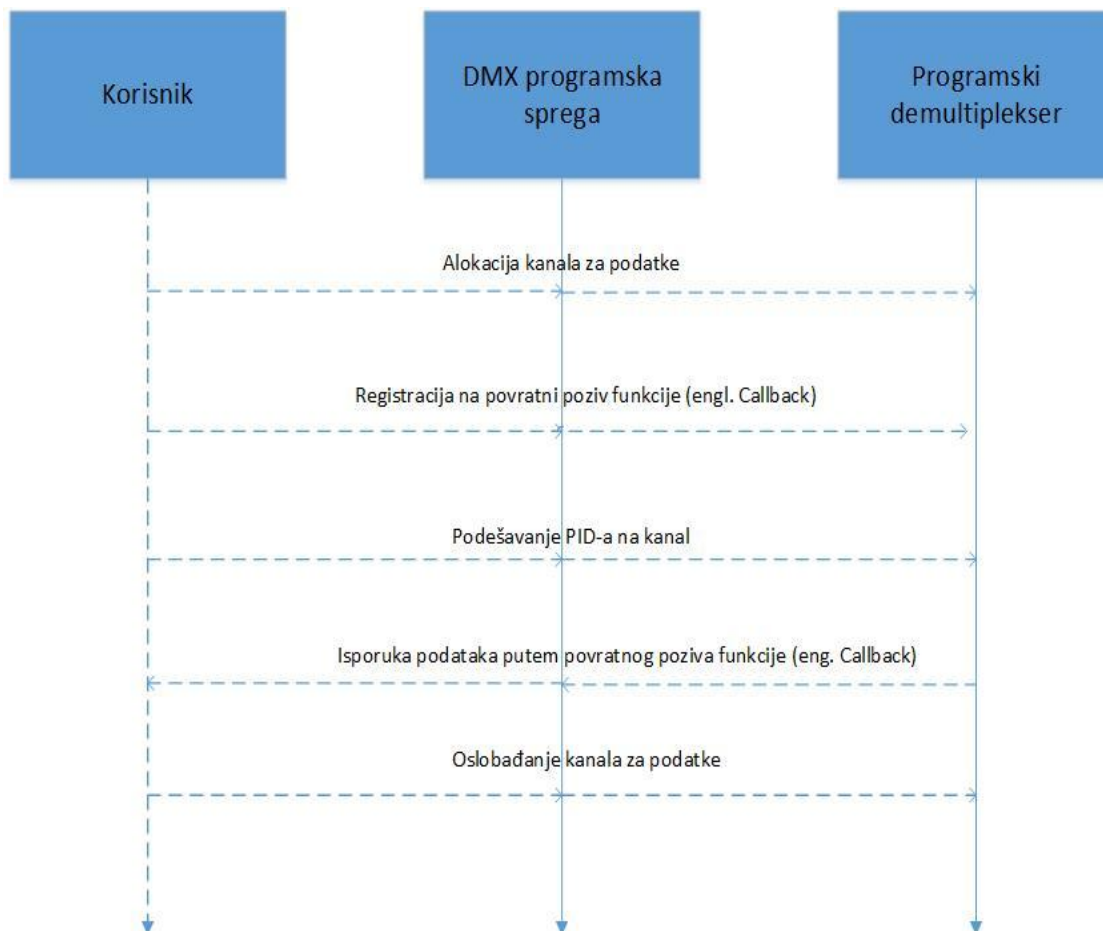
Slika 10 Komunikacija programskog demultipleksera sa korisnicima

Programski demultiplekser može da obrađuje PES pakete (A/V, TTX, prevod, itd), SI i PSI sekcije. Koje će podatke programski demultiplekser skupljati i obrađivati zavisi od korisničkih zahteva. Da bi korisnik zahtevao neke podatke od programskog demultipleksera treba da pozove funkcije TDAL DMX modula, gde će zauzeti kanal za određene podatke, podesiti određeni PID i registrovati povratni poziv funkcije kada se određeni podaci skupe u sekciju i budu spremni za isporuku korisniku. U svakom trenutku može da se prestane sa sakupljanjem podataka, tako što će se uništiti kanal i osloboditi zauzeta memorija.

Ako programski demultiplekser sakuplja audio i video PES pakete, poslaće ih dekoderu na dalju obradu i reprodukciju. Ako kojim slučajem skuplja SI i PSI sekcije, podaci će biti prosleđeni programskoj TV podršci, gde će se dalje parsirati tabele i izvući informacije koje su programskoj TV podršci potrebne. Različitu vrstu podataka, programski demultiplekser dostavlja različitim korisnicima.

Programski demultiplekser podržava pozitivno i negativno filtriranje SI i PSI sekcija. U slučaju pozitivnog filtriranja programski demultiplekser filtrira i sakuplja samo ono što je korisnik zadao kao kriterijum. U slučaju negativnog filtriranja, programski demultiplekser filtrira i sakuplja sve ono što je suprotno od zadatog kriterijuma. Na Slika 11 je predstavljen dijagram

komunikacije korisnika i programskog demultipleksera po redosledu događaja kako bi demultiplekser obradio i isporučio podatke korisniku.



Slika 11 Dijagram obrade i isporuke podataka

Svaki TS paket je dužine 188 bajta. Prva 4 bajta svakog TS paketa su informacije zaglavlja (engl. Header), dok preostalih 184 bajta čine korisni podaci (engl. Payload data). Svaki paket ima indikator PUSI (engl. Payload Unit Start Indicator, PUSI) koji ukazuje na 184 bajta korisnih podataka. Ovo je bitno kod sklapanja sekcije, jer se ona sklapa samo od korisnih podataka TS paketa.

Ako programski demultiplekser obrađuje sve TS pakete sa određenim PID, da bi sekcija počela da se sastavlja potrebno je da se među TS paketima određenog PID traži TS paket koji ima PUSI sa vrednošću 1. Kada je pronađen takav TS paket, počinje sklapanje sekcije sve dok TS paketi sa određenim PID imaju vrednost 0. Kada PUSI nekog TS paketa ponovo dostigne vrednost 1 to je znak da je sekcija sklopljena. Programski demultiplekser može korisniku isporučiti samo sklopljenu sekciju. Ostale će biti odbačene.

Kada programski demultiplekser sklopi sekciju, onda se proverava da li su to baš ti podaci koje je korisnik tražio. Ako jesu, biće poslani korisniku putem povratnog poziva funkcije, a ako nisu neće se poslati.

Da bi se uopšte uspostavila komunikacija birača kanala sa programskim demultiplekserom potrebno je napraviti putanju (engl. Route) toka podataka kako bi određeni podaci stigli do korisnika. Ovo će biti detaljnije opisano u narednom poglavlju.

4. Programsko rešenje

Da bi programski demultiplekser obrađivao i isporučivao podatke korisnicima potrebno je prvo povezati birač kanala (izvor) sa programskim demultiplekserom. Kada je to urađeno preostaje da korisnik zada koje podatke programski demultiplekser treba da izdvoji iz transportnog toka i dostavi mu. Ovo povezivanje korisnika i programskog demultipleksera obavlja TDAL sloj (Slika 1).

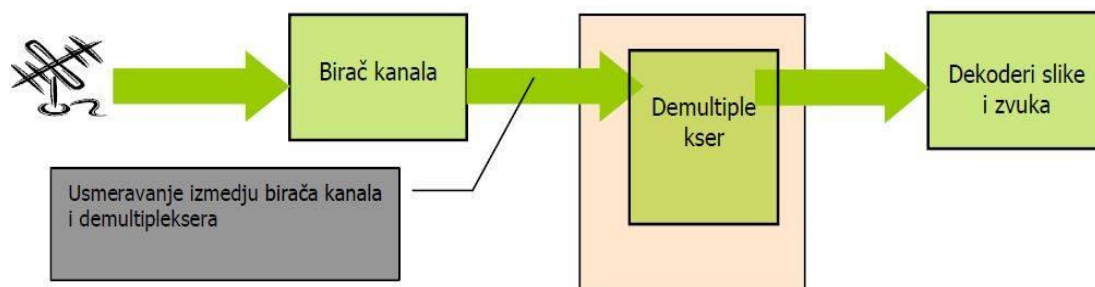
TDAL je sloj za apstrakciju rukovalaca, koji omogućuje korišćenje fizičke arhitekture DTV prijemnika od strane programske TV podrške, bez potrebe za poznavanjem detalja realizacije te arhitekture.

TDAL API je najobimniji API i najkompleksniji za prenošenje na ciljnu platformu. TDAL je specifičan za uređaje koji podržavaju DVB/MPEG, odnosno za digitalne TV prijemnike.

TDAL je modularno organizovan, i to tako da u najvećem broju slučajeva jedan TDAL modul odgovara jednom bloku fizičke arhitekture. Jedan TDAL modul se može posmatrati kao rukovalac fizičkom arhitekturom sa stanovišta programske TV podrške.

4.1 TDAL_TS modul

Ovaj modul predstavlja spregu za upravljanje prenosnim tokovima podataka [7]. U slučaju najjednostavnije realizacije DTV prijemnika, gde je jedino izvoriste podataka birač kanala i demodulator, a potrošač jedan demultiplekser blok, potrebna je minimalna implementacija TS modula. Velika potreba za funkcionalnošću TS modula javlja se u složenim kontekstima upotrebe (npr. Personal Video Recorder, PVR), gde izvoriste može biti interna masovna memorija ili mrežni tok, a odredište može biti demultiplekser ili memorija za skladištenje. Na Slika 12 prikazano je upravljanje programskim tokom od birača kanala do demultipleksera.



Slika 12 Upravljanje programskim tokom od birača kanala do demultipleksera

Neki od mogućih tokova:

- Programski tok se usmerava od birača kanala direktno do programskog demultipleksera ukoliko se servis slobodno emituje.
- Programski tok se usmerava od birača kanala preko modula za uslovni pristup (engl. Conditional Access Module, CAM) do demultipleksera ukoliko je signal zaštićen.

4.2 TDAL_DMX modul

Ovaj modul se koristi za upravljanje filterima u programskom demultiplekseru [8].

Razlikujemo dva tipa filtera:

- PSI filter (koristi se za filtriranje signalnih tabela)
- PES filter (koristi se za filtriranje paketa slike, zvuka, teleteksta, prevoda, itd.)

Slika 13 prikazuje sekvencu razmene poruka između programske TV podrške i TDAL modula u slučaju podešavanja filtera za prijem određenih paketa, tabela.

Podešavanje filtera započinje se alociranjem kanala korišćenjem funkcije `TDAL_DMX_Allocate_Channel()`. Kanali se razlikuju po tome da li će se za njih podešavati PES ili PSI filter.

Nakon alociranja kanala za svaki filter osim PES filtera slike i zvuka vrši se registracija funkcije obrade povratnog poziva kojom će se slati ka programskoj podršci isfiltrirani paket ili signalna tabela.

Funkcijom `TDAL_DMX_Control_Channel()` sa prosleđenim parametrom `eTDAL_DMX_CTRL_ENABLE` dozvoljava se filtriranje na ovom kanalu.

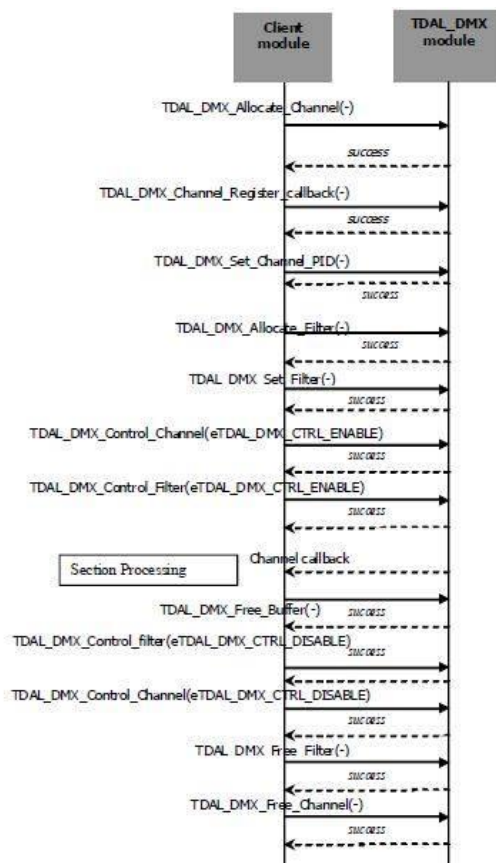
Podešavanje PID vrši se pozivanjem funkcije `TDAL_DMX_Set_Channel_PID()`.

Pidovi nekih signalnih tabela:

- 0x11 SDT (engl. Service Description Table, SDT) tabela
- 0x12 EIT (engl. Event Information Table, EIT) tabela

- 0x10 NIT (engl. Network Information Table, NIT) tabela
- 0x00 PAT (engl. Program Association Table, PAT) tabela

Funkcija `TDAL_DMx_Allocate_Filter()` popunjava određene strukture početnim vrednostima po kojima će se filteri razlikovati. Ova funkcija zauzima kružnu memoriju u koju će pristizati tabele i paketi sa određenih filtera. Za PSI tabele, registruje se funkcija obrade povratnog poziva koja će se pozivati svaki put kad u kružnu međumemoriju pristigne određena tabela. Za PES pakete ne postoji mehanizam koji javlja da je pristigao novi paket te je neophodno čitati kružnu memoriju i određivati početak i kraj paketa.



Slika 13 Dijagram razmene poruka između programske TV podrške i `TDAL_DMx` modula

`TDAL_DMx_Set_Filter()` funkcija vrši podešavanje parametara PES i PSI filtera. Za filtriranje PES paketa dovoljno je podesiti samo određeni PID. PID za filtriranje slike i zvuka se prosleđuju ka dekoderu, dok se filteri za teletext i prevod podešavaju u ovoj funkciji.

Kod filtriranja signalnih tabela razlikujemo osim podešavanja PID vrednosti još tri parametra za podešavanje filtera:

- Parametar filtera, dužine 26 bajta
- Parametar maske, dužine 26 bajta
- Parametar inverzne maske, dužine 26 bajta

Postoje tabele sa istim PID ali sa različitim identifikatorom tabele. Identifikator tabele predstavlja prvo polje svake signalne tabele i ima veličinu 8 bita.

Neki od identifikatora tabela:

- SDT tabela, PID 0x11:
 - 0x42 Nosi informaciju o opisu servisa na tekućem transponderu
 - 0x46 Nosi informaciju o opisu servisa na drugim transponderima
- NIT tabela, PID 0x10
 - 0x40 Nosi informaciju o tekućoj mreži
 - 0x41 Nosi informaciju o drugim mrežama
- EIT tabela, PID 0x12
 - 0x4e Informacije o tekućem i sledećem prikazivanom programu za tekući servis
 - 0x4f Informacije o tekućem i sledećem prikazivanom programu za ostale servise na transponderu
 - 0x50 Informacije o programu za narednih 1-7 dana, za tekući servis
 - 0x51 Informacije o programu za narednih 1-7 dana, za ostale servise na transponderu.

Ako bi se filter podesio samo sa PID, sa jednog filtera bi nam dolazile signalne tabele koje imaju isti PID ali različiti identifikator tabele. Da bi izbegli dobijanje više različitih tabela sa istog filtera neophodno je podesiti i ostale parametre.

Programska podrška zahteva od TDAL_DMX modula tabelu sa određenim identifikatorom tabele koji se zadaje kao prvo polje parametra filtera. Parametar maske određuje koja polja parametra filtera treba porediti sa poljima signalne tabele da bi se utvrdilo da li je to željena tabela. Za podešavanje ovog filtera nije potrebno podešavati inverznu masku, ali je neophodno da sva polja u parametru inverzne maske budu podešena na 0.

Primer podešavanja filtera za prijem SDT tabele, sa identifikatorom tabele 0x42:

PID:	0x11
Filter:	0x42 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
Maska:	0xFF 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00

Informaciju o parametrima filtera ova funkcija dobija od programske TV podrške. Svaki podešen filter dobija svoj identifikator.

Filter koji je podešen u prethodnoj funkciji još nije pokrenut. Pokretanje se vrši pozivom funkcije TDAL_DMX_Control_Filter() sa prosleđenim parametrom

eTDAL_DMX_CTRL_ENABLE. Nakon ove funkcije počinju da pristižu paketi i signalne tabele.

Dolaskom svake tabele u kružnu memoriju poziva se funkcija obrade povratnog poziva, u kojoj se može utvrditi sa kojeg je filtera stigla tabela. Na osnovu identifikatora filtera isfiltrirana tabela se prosleđuje ka gornjim slojevima. Svakoј tabeli koja stigne proverava se CRC polje (engl. Cyclic Redundancy Check, CRC) da ne bi došlo do slanja nevalidnih podataka ka programskoj podršci. Slanje nevalidnih podataka bi izazvalo nepotpune nazive servisa, nepotpune informacije o emitovanom programu, pogrešno vreme i datum u sistemu, itd.

TDT (engl. Time and Date Table, TDT) tabela nema CRC polje, te se ona jedino u ovom slučaju ne proverava.

Za pristigle PES pakete prevoda i teleteksta se ne poziva funkcija povratnog poziva. Za njih je neophodno čitati kružnu memoriju i proveravati da li je stigao paket i ako jeste, proslediti ga ka programskoj TV podršci. Svaki PES paket ima svoje zaglavlje koje počinje sekvencom bajtova nula i jedinica te se na osnovu njega određuje početak paketa.

Zaustavljanje aktivnosti filtera započinje se pozivanjem funkcije TDAL_DMX_Control_Filter() sa parametrom eTDAL_DMX_CTRL_DISABLE nakon koje dolazi do zaustavljanja filtera. Zaustavljanjem filtera se sprečava slanje signalnih tabela i PES paketa ka programskoj TV podršci i drugim korisnicima.

Zaustavljanje kanala se vrši funkcijom TDAL_DMX_Control_Channel() sa parametrom eTDAL_DMX_CTRL_DISABLE.

Brisanje napravljenih filtera se vrši pozivom funkcije TDAL_DMX_Free_Filter().

Kod pretraživanja frekvencija, kada programska TV podrška dobije obaveštenje da je birač kanala zaključan na transponder, TDAL_DMX modul započinje podešavanje PSI filtera za SDT tabelu iz koje se dobija informacija o nazivima servisa na transponderu. Ovaj filter ostaje podešen nekoliko sekundi ili do prijema prve važeće tabele. Nakon toga dolazi do njegovog oslobađanja i nastavlja se dalje sa pretraživanjem frekvencija.

U slučaju da se reprodukcije servisa, vrši se podešavanje filtera za SDT tabelu. Nakon toga podešava se filter za PAT tabelu da bi se iz nje pročitao PID PMT tabele. Podešavanjem filtera za PMT tabelu dobijaju se informacije o PID za A/V komponente, TTX, prevod, itd.

4.3 Programski demultiplekser

Poglavlja 4.2 i 4.1 opisuju dva modula koja su bitna da bi programski demultiplekser mogao da iz transportnog toka podataka izdvaja određene podatke koje mu je pre toga neki

korisnik zatražio pozivajući funkcije TDAL_DMX programske sprege. TDAL_TS modul ima zadatak da napravi putanju toka podataka od birača kanala do samog programskog demultipleksera. Ako ima više programskih instanci demultipleksera onda TDAL_TS modul pravi više putanja za tokove podataka. Kada su putanje napravljene, preostaje još da se programski demultiplekser pripremi za obradu podataka. Koliko ima programskih instanci demultipleksera toliko će se napraviti programskih niti (engl. Thread) za obradu TS paketa koji dolaze sa birača kanala. Pravljenje programske niti za svaku instancu programskog demultipleksera se vrši pozivanjem funkcije SW_DMX_CreateInstance koja kao parameter prima strukturu u kojoj se nalazi demux_id koji je identifikator instance programskog demultipleksera. Kada su programske niti stvorene obrada podataka može da počne. Korisnik će podesiti kriterijum filtriranja podataka koje će programski demultiplekser primiti i u skladu sa tim će filtrirati i skupljati podatke.

U Tabela 1 nalazi se spisak funkcija programskog demultipleksera kao i njihova namena.

Naziv funkcije	Namena funkcije
SW_DMX_Init()	Inicijalizacija programskog demultipleksera
SW_DMX_Terminate()	Deinicijalizacija programskog demultipleksera
SW_DMX_CreateInstance(tTDAL_DMX_DemuxDesc * demuxDesc)	Pravljenje nove instance programskog demultipleksera. Kao parametar prosleđuje se struktura u kojoj se nalazi identifikator demultipleksera.
SW_DMX_DeleteInstance(tTDAL_DMX_DemuxDesc * demuxDesc)	Uklanjanje postojeće instance programskog demultipleksera. Kao parametar proslediće se struktura programskog demultipleksera koji će biti uklonjen.
SW_DMX_Start (tTDAL_DMX_DemuxDesc *demuxDesc)	Pokretanje željene instance programskog demultipleksera.
SW_DMX_Stop (tTDAL_DMX_DemuxDesc *demuxDesc)	Zaustavljanje željene instance programskog demultipleksera.

SW_DMX_IsStarted((tTDAL_DMX_DemuxDesc *demuxDesc, bool *isStarted)	Proverava da li je određena instanca programskog demultipleksera pokrenuta.
SW_DMxi_TsPacketsProcessing_Task (void* dmxInstance)	Programska nit u kojoj se obrađuju zahtevani TS paketi i šalju korisnicima

Tabela 1 *Spisak funkcija programskog demultipleksera i njihova namena*

Ispravnost rada programskog demultipleksera je ispitana u sledećom poglavlju kroz različite testne slučaje i korisničke aplikacije.

5. Ispitivanje i verifikacija

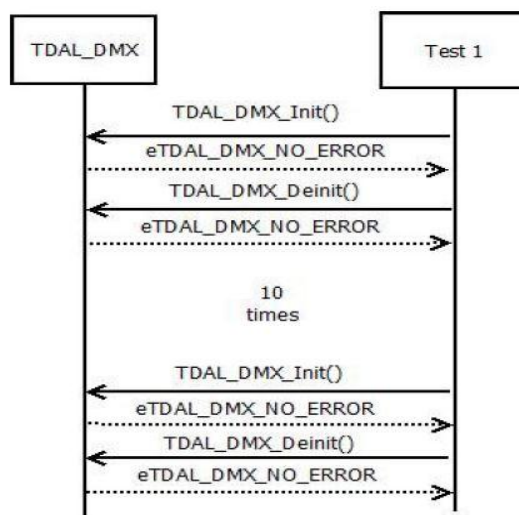
Ispitivanje rada programskog demultipleksera je izvršeno korišćenjem alata CHAL validatora. CHAL validator se oslanja na cunit biblioteku koja je pisana u C programskom jeziku kao i ceo projekat. CHAL validator raspolaže sa nizom ispitnih slučajeva namenjenim za ispitivanje TDAL_DMX modula. U testovima su obuhvaćene razne situacije koje bi se mogle dogoditi u realnom sistemu. Svaki ispitni slučaj se sastoji od niza funkcija nakon kojih se upoređuje povratna vrednost funkcije sa očekivanom vrednošću.

Takođe verifikovana je i isporuka podataka koje programski demultiplekser dostavlja različitim korisnicima (npr. TTX, prevod, EPG).

5.1 Ispitivanje TDAL_DMX modula

5.1.1 Provera višekratne inicijalizacije i deinicijalizacije

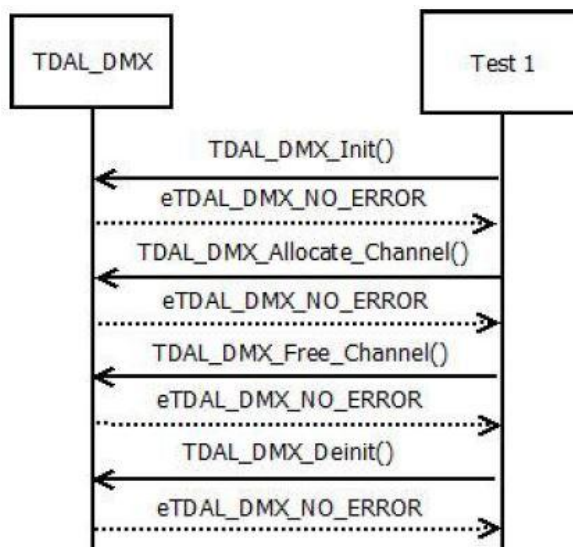
Provera se vrši pozivanjem funkcije TDAL_DMX_Init() i TDAL_DMX_Deinit(). Očekivana povratna vrednost ovih funkcija je eTDAL_DMX_NO_ERROR. Na Slika 14 je prikazan dijagram poziva funkcija za višekratnu inicijalizaciju i denicijalizaciju TDAL_DMX modula.



Slika 14 Provera višekratne inicijalizacije i deinicijalizacije *TDAL_DMX* modula

5.1.2 Provera zauzimanja i oslobađanja kanala

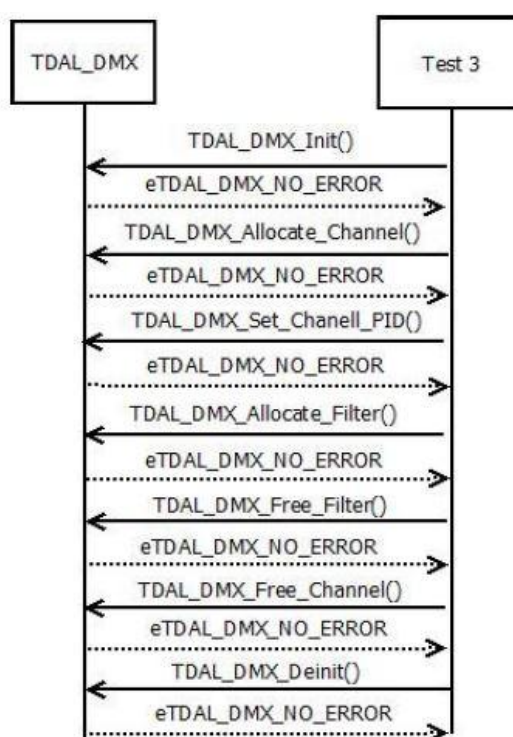
Ova provera započinje pozivanjem funkcije **TDAL_DMX_Init()**, nakon koje se poziva funkcija **TDAL_DMX_Allocate_Channel()**. Oslobađanje kanala vrši se pozivanjem funkcije **TDAL_DMX_Free_Channel()**. Očekivana povratna vrednost svake od ovih funkcija je **eTDAL_DMX_NO_ERROR**. Na Slika 15 je prikaz dijagram poziva funkcija za zauzimanje i oslobađanje kanala.



Slika 15 Provera zauzimanja i oslobađanja kanala

5.1.3 Provera zauzimanja i oslobađanja filtra

Provera započinje inicijalizovanjem TDAL_DMX modula pozivanjem funkcije TDAL_DMX_Init(). Nakon ove funkcije vrši se zauzimanje kanala funkcijom TDAL_DMX_Allocate_Channel(). Podešavanje PID za filtriranje vrši se pozivanjem funkcije TDAL_DMX_Set_Channel_PID(). Zauzimanje filtra se vrši pozivanjem funkcije TDAL_DMX_Allocate_Filter(). Oslobađanje filtra vrši se pozivanjem funkcije TDAL_DMX_Free_Filter(). TDAL_DMX_Free_Channel(). Povratna vrednost svih ovih funkcija je eTDAL_DMX_NO_ERROR. Na Slika 16 je prikazan dijagram poziva funkcija za zauzimanje i oslobađanje filtra.



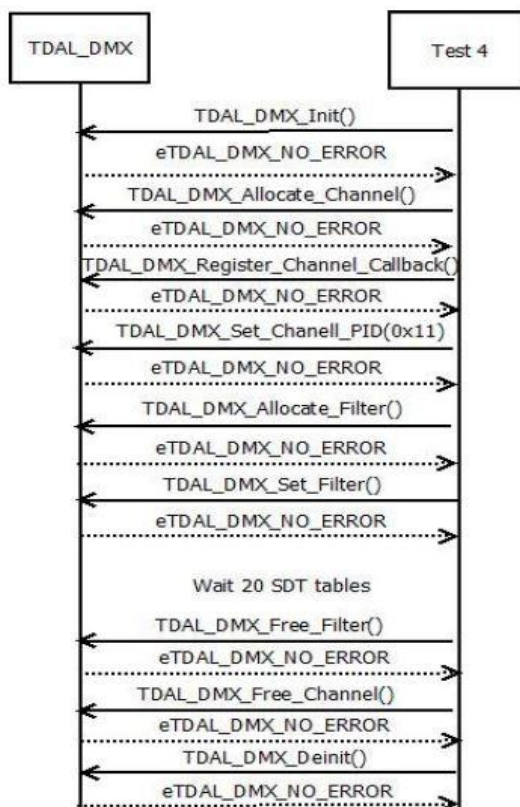
Slika 16 Provera zauzimanja i oslobađanja filtra

5.1.4 Provera filtriranja signalnih tabela

Uloga ove provere je da se ispita ispravnost filtriranja signalnih tabela i njihovo prosleđivanje ka korisnicima (npr. programska TV podrška).

Da bi filtriranje bilo moguće neophodno je da birač kanala bude zaključan na određenoj frekvenciji. Filteri se redom podešavaju za SDT, PAT, EIT, TDT, TOT tabelu. Provera je uspešno završena ukoliko bude primljeno po 20 tabela sa svakog filtra.

Provera filtriranja PES paketa je ista kao i za signalne tabele, te neće biti opisana u ovom poglavlju. Na Slika 17 je prikazan dijagram poziva funkcija za filtriranje SDT tabele.



Slika 17 Provera filtriranja SDT tabele

5.1.5 Verifikacija ispravnosti demultipleksera kroz CHAL i MAL validator

Ispravnost programskog demultipleksera je verifikovana pokretanjem testnih slučajeva CHAL validatora.

CHAL validator se oslanja na cunit biblioteku koja je pogodna za testiranje, jer je napisana u C programskom jeziku.

Na Slika 18 prikazan je skup testnih slučajeva za verifikaciju ispravnog rada programskog demultipleksera.

Order	Test Module	Test	Result	Execution Date	Time
1	tdal_dmx	TestDmxMultipleInitTerm	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
2	tdal_dmx	TestDmxUnitaryInitTerm	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
3	tdal_dmx	TestDmxUnitaryFreeChan	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
4	tdal_dmx	TestDmxUnitaryFreeChanBadId	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
5	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocateChanNoInit	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
6	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocateChanMax	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
7	tdal_dmx	TestDmxUnitaryFreeAllocChan	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
8	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocateFreeGoodParamFilter	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
9	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocateFilterBadChannel	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
10	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocateFilter	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
11	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocateFilterMax	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
12	tdal_dmx	TestDmxUnitaryFreeAllocFilter	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
13	tdal_dmx	TestDmxUnitaryAllocFreeFilterChan	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
14	tdal_dmx	TestDmxUnitaryRegisterChanCallBackBadId	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
15	tdal_dmx	TestDmxUnitaryRegisterCallBackBadParam	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
16	tdal_dmx	TestDmxUnitaryRegisterCallBackGoodParam	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
17	tdal_dmx	TestDmxUnitarySetChanPidGoodParam	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
18	tdal_dmx	TestDmxUnitarySetChanPidBadParam	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
19	tdal_dmx	TestDmxUnitarySetChanPidUsed	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
20	tdal_dmx	TestDmxUnitarySetFilterBadFilter	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03
21	tdal_dmx	TestDmxUnitarySetFilterBadParam	SUCCESS	Aug 14 2016	16:03:03

Slika 18 Verifikacija rada programskog demultipleskera kroz CHAL validator

Pored ispravnosti rada programskog demultipleskera ispitan je rad i TTX kao jednog od korisnika kojem demultiplexer dostavlja tražene podatke. Na Slika 19 prikazan je skup testnih slučajeva kojim se potvrđuje ispravan rad programskog demultipleskera u smislu dostavljanja validnih podataka TTX korisniku. Pored testnih slučajeva, rad programskog demultipleskera je verifikovan sa QT aplikacijom prikazivanjem A/V i TTX sadržaja. Testni slučajevi su napisani u MAL validatoru, jer je TTX jedan od korisnika programskog demultipleskera i nalazi se u aplikativnom nivou.

88	mal_stream_component	TestCase_MALSC_SetTeletextBgAlpha	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
89	mal_stream_component	TestCase_MALSC_DispatchTeletextKey	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
90	mal_stream_component	TestCase_MALSC_GetTeletextPagesRange	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
91	mal_stream_component	TestCase_MALSC_TTXCurrentPageNumberValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
92	mal_stream_component	TestCase_MALSC_TTXCompDescValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
93	mal_stream_component	TestCase_MALSC_TTXCurrentPageNumberValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
94	mal_stream_component	TestCase_MALSC_TTXInitialPageNumberValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
95	mal_stream_component	TestCase_MALSC_TTXCurrentPageNumberValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
96	mal_stream_component	TestCase_MALSC_VideoComponentCodecValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
97	mal_stream_component	TestCase_MALSC_AudioComponentCodecValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56
98	mal_stream_component	TestCase_MALSC_TTXInitialPageNumberValidity	SUCCESS	Aug 14 2016	15:35:56

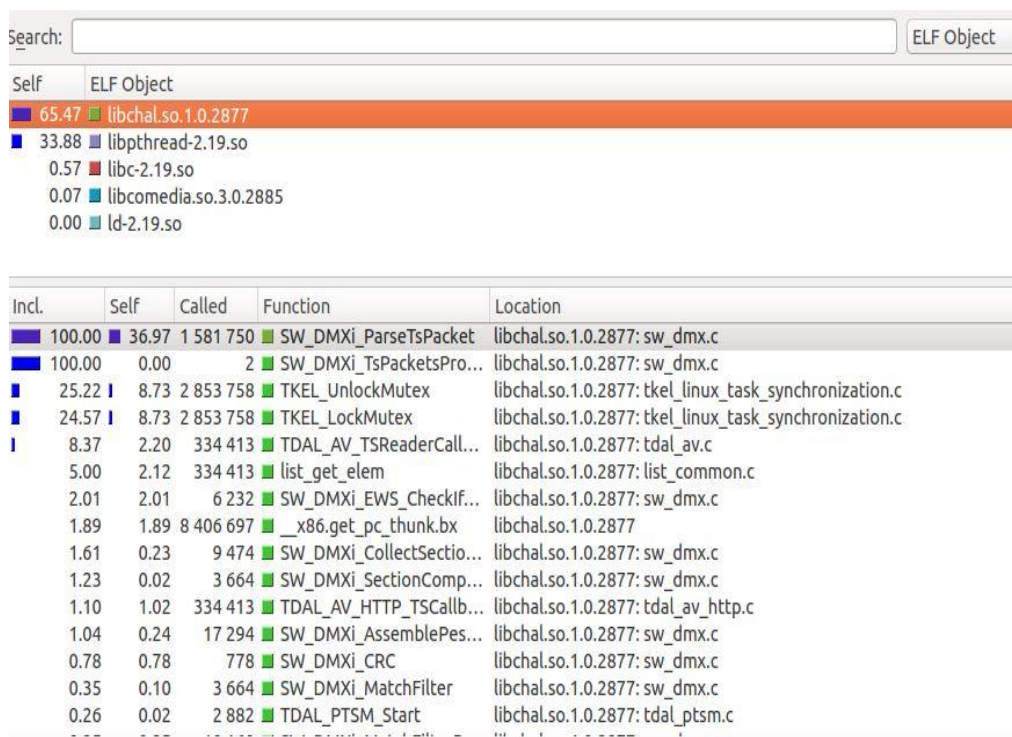
Slika 19 Verifikacija rada programskog demultipleskera pomoću TTX korisnika

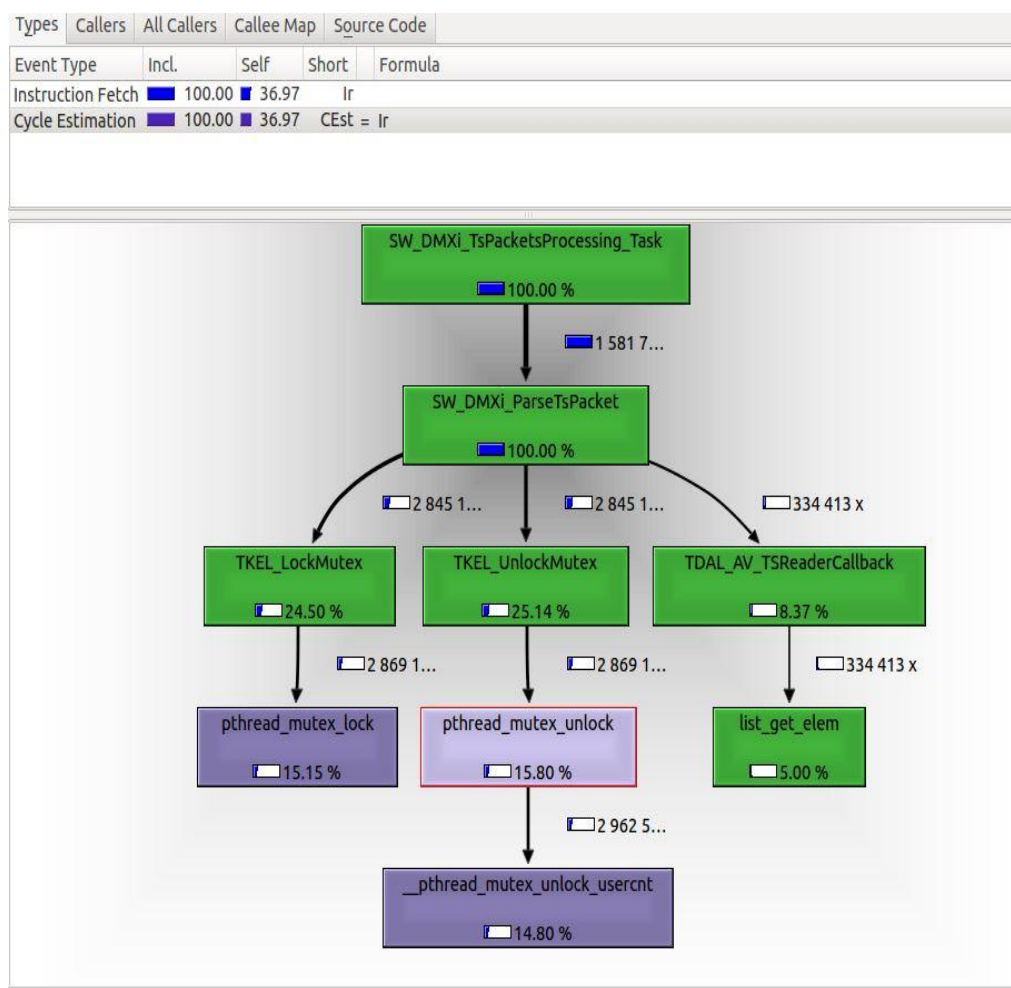
5.1.6 Potrošnja procesora i RAM memorije

Prilikom verifikacije rada programskog demultipleskera pored testiranja ispravnog rada, od velikog značaja je i proveriti koliko ovo implementaciono rešenje troši resursa. Imati podatak koliko sam programski demultiplexer troši resursa od čitave programske TV podrške je malo zahtevniji testni slučaj, jer sa aplikativnog nivoa i korišćenjem standardnih Linux alata za merenje potrošnje memorije i procesora je skoro neizvodljivo. Iz tog razloga korišćen je Callgrind alat koji je jedan od alata u okviru Valgrind paketa [9]. Sa Callgrind alatom dobijeni su procenti iskorišćenja procesora za svaku pojedinačnu biblioteku programske TV podrške. Callgrind alat računa koliko je koja funkcija potrošila procesorskog vremena sama za sebe (parametar SELF), za pozive drugih funkcija (parametar INCL) i koliko puta je pozvana

(parametar Calls). Na ovaj način je utvrđeno koliko procesorskog vremena programski demultiplekser troši za filtriranje, obradu i isporuku podataka ka korisnicima. Na Slika 20 prikazano je radno okruženje Cachegrind alata koji je namenjen za grafički prikaz svih funkcija koje su pozivane i njihovu međusobnu zavisnost.

Takođe pomoću Linux standardnog linux alata (TOP komanda) izmereno je da Comedia troši oko 3% procesorskog vremena, a na Slika 20 vidimo da od ukupnih 3%, CHAL sloj troši 65%, a od toga programski demultiplekser 37%. Dolazi se do zaključka da programski demultiplekser troši manje od 25 % procesorskog vremena od cele Comedia TV programske podrške što je oko 0,72 % od ukupnih 3 % koliko je izmereno. Takođe potrošnja RAM memorije nikada nije prelazila 30 MB kada je pokrenuta Comedia TV podrška.





Slika 20 Merenje potrošnje CPU pri radu sa programskim demultiplekserom

5.2 Provera korišćenjem gotove aplikacije

Da bi se ispitao pravilan rad programskog demultipleksera korišćena je QT aplikacija koja ima sledeće mogućnosti:

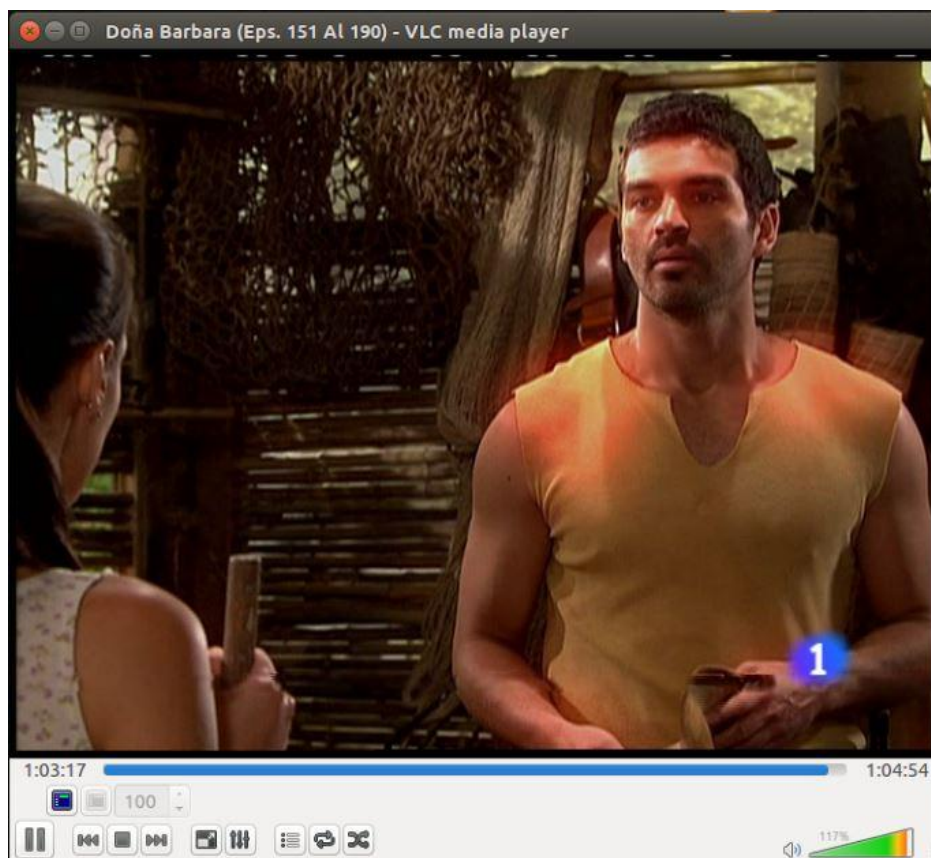
- Pretraživanje servisa
- Izbor servisa
- Teletekst
- Prevod

Za verifikaciju ispravnog rada programskog demultipleksera i ispravne isporuke podataka korišćen je elektronski programski vodič – EPG i teletekst. Takođe korišćen je i VLC program za verifikaciju reprodukcije servisa. Reprodukciom servisa utvrđeno je da programski

demultiplekser ispravno isporučuje audio i video PES pakete. Da postoje smetnje one bi ukazivale na gubljenje paketa.

5.2.1 Pretraživanje i reprodukcija TV servisa

Da bi se mogao prikazati TV sadržaj korisniku u vidu audia, videa, teleteksta i prevoda, potrebno je prvo pretražiti frekventni opseg i pronaći servis, a potom ga reprodukovati. Pokretanjem komande za pretraživanje servisa u komandnoj aplikaciji, dobija se lista dostupnih servisa. Iz liste može da se odabere neki TV servis kako bi se gledao njegov TV sadržaj. Reprodukcijska nekog TV servisa se obavlja preko A/V dekodera. Na Slika 21 je prikazana reprodukcija TV servisa.



Slika 21 Reprodukcijska TV sadržaja

Kada se servis emituje, teletext podaci mogu biti prikazani. Na Slika 22 je prikazan teletext.



Slika 22 Prikaz teleteksta

EPG je verifikovan kroz konzolnu aplikaciju i aktivira se kada je aktivna reprodukcija servisa. Komanda za aktiviranje EPG je `epg -n` gde `n` predstavlja broj kanala. Sa ovom komandom korisnik će dobiti informacije o trenutnoj i sledećoj emisiji na trenutnom servisu. Na Slika 23 prikazan je EPG na trenutno emitovanom servisu i prikazuje informacije o trenutnoj i sledećoj emisiji.

```

echo: 'epg -n 8'

CLI_EPG:
Present event:
.....
Name: Doña Barbara (Eps. 151 Al 190)
Description: Bárbara le dice a Eustaquia que está convencida de que Santos volverá con ella.
Service INDEX = 8
Service DVB Triplet: ONID: 0916, TSID: 1008, SID: 490
Event type: present
Genre: MOVIE_DRAMA
Start time (nal_time) - year: 2009, month:9, day:23, hour:15, min:19, sec:4
End time (nal_time) - year: 2009, month:9, day:23, hour:16, min:23, sec:58
Parental rate: 7
Language: spa
Event ID: 57075
Scramble status: NOT_SCRAMBLD
.....
CLI_EPG:
Following event:
.....
Name: Doña Barbara (Eps. 151 Al 190)
Description: Santos se encuentra con El Sapo con la excusa de que está interesado en una oferta por Altamira y se reitera en sus sospechas de que es el quinto viol
Service INDEX = 8
Service DVB Triplet: ONID: 0916, TSID: 1008, SID: 490
Event type: following
Genre: MOVIE_DRAMA
Start time (nal_time) - year: 2009, month:9, day:23, hour:16, min:23, sec:58
End time (nal_time) - year: 2009, month:9, day:23, hour:16, min:50, sec:0
Parental rate: 7
Language: spa
Event ID: 57076
Scramble status: NOT_SCRAMBLD
.....

```

Slika 23 Prikaz EPG za trenutnu i sledeću emisiju

6. Zaključak

U ovom radu predložen je programski demultiplekser koji obrađuje i skuplja podatke iz transportnog toka podataka, a potom ih šalje različitim korisnicima na dalju obradu. Utvrđen je ispravan rad programskog demultipleksera kroz različite ispitne slučajeve i korisničke aplikacije.

Za ispitivanje funkcionalnosti demultipleksera korišćen je CHAL i MAL validator zasnovan na cunit biblioteci. Za pravilnu isporuku podataka korisnicima i za potrebe testiranja korišćena je QT aplikacija sa podrškom za prikazivanje teleteksta, prevoda i reprodukciju TV sadržaja. Za verifikaciju elektronskog programskog vodiča korišćena je konzolna aplikacija.

Softverska implementacija demultipleksera je optimizovana, ne troši mnogo procesorskih resursa i RAM memorije na ugrađenim platformama (engl. Embedded).

Prednost ovog rešenja je svakako što može da se stvori više demultiplekser instanci koje bi u paraleli obrađivale više transportnih tokova podataka i ne bi bilo ograničenja fizičke arhitekture. Takođe bi se i veća količina podataka obrađivala. Druga od prednosti ovog rešenja bi svakako bila integracija programske TV podrške na uređaje koji se ne baziraju na TV odlikama (mobilni telefoni, tableti, pa i automobili danas). Ciljna platforma bi sve više bila nezavisnija, a dobijala bi se sve lakša integracija TV podrške.

Pojavom ovakvih rešenja programskog demultipleksera svakako će proizvesti optimizovanija rešenja kako bi što više ciljnih platforma moglo da ga koriste.

7. Literatura

- [1] iWedia, TV Middleware Comedia, <http://www.iwedia.com/products/comedia-tv-and-stb-middleware/> , učitano 15.09.2016
- [2] W. Fisher, *Digital Audio and Video Broadcasting Tehnology, A Practical Engineering Guide, Third Edition*
- [3] ETSI EN 300 468 v1.11.1 (2010-04): *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems*
- [4] To Kan Hung, Erna Mehmedagic, *Design of Static Demultiplexing for Digital-TV*
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/MPEG_transport_stream , učitano 20.08.2016
- [6] Nikola Teslić, Milan Bjelica: *Programska podrška u televiziji i obradi slike 2, 2015*
- [7] Iwedia, *TDAL_TS Technical Specifications*, 2009
- [8] Iwedia, *TDAL_DMUX Technical Specifications*, 2009
- [9] Valgrind, *Dinamic code analysis*, <http://valgrind.org/> , učitano 20.09.2016