



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Горан Пеић Бибић

Једно решење пријема земаљског ДТВ сигнала за мобилне вишеантенске пријемнике

МАСТЕР РАД

НовиСад, 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 :	Горан Пеић Бибић
Ментор, МН :	доц. др Немања Лукић
Наслов рада, НР :	Једно решење пријема земаљског ДТВ сигнала за мобилне вишеантенске пријемнике.
Језик публикације, ЈП :	Српски / латиница
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публиковања, 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)	7/39/7/2/19/0/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Дигитална телевизија, Handover.
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У овом раду је реализован механизам за прелазак на алтернативни сервис на мобилним, више-антенским ДТВ пријемницима заснованим на Линукс оперативном систему. Дата функционалност је од изузетне важности за мобилне ДТВ пријемнике јер се дати пријемник налази у покрету, а при томе главни захтев постављен пред њега је да обезбеди крајњем кориснику најажурније податке.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: доц. др Иштван Пап
	Члан: доц. др Иван Мезеи
	Члан, ментор: доц. др Немања Лукић
	Потписментора



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 :	Горан Пеић Бибић
Mentor, MN :	доц. др Немања Лукић
Title, TI :	One solution for reception of the terrestrial DTV signals on mobile antenna receivers.
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. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/39/7/2/19/0/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Keywords, S/KW :	Digital television, Handover.
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	In this paper is realized one solution of a mechanism for transition to alternative service. This functionality is very important for mobile DTV receivers, since main request in front of this kind of receivers is to provide up-to-date data to the end user all the time.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: доц. др Иштван Пап
	Member: доц. др Иван Мезеи
	Member, Mentor: доц. др Немања Лукић
	Menthor'ssign

Zahvalnost

Za nesebičnu posvećenost i pomoć prilikom realizacije rada, posebnu zahvalnost dugujem Nemanji Lukiću, Branimiru Kovačeviću, Tomislavu Maruni, Marku Kovačeviću i Davoru Rapiću.

Posebno se zahvaljujem porodici na pruženoj podršci tokom celog mog školovanja.

Sadržaj

1. Uvod.....	6
2. Teorijske osnove	8
2.1 Linux operativni sistem.....	8
2.2 Digitalna televizija	9
2.3 Fizička arhitektura digitalnog televizijskog prijemnika.....	11
2.4 DTV programska podrška	12
2.5 Pojava mehanizma za prelazak na alternativni servis u telekomunikaciji	13
3. Koncept rešenja.....	15
3.1 Middleware-srednji sloj.....	16
3.2 Opis ciljne platforme	17
3.3 Mehanizam prelaska na alternativni servis u digitalnoj televiziji	18
3.4 Proširenja Comedia programske podrške.....	19
3.5 MRC u digitalnoj televiziji.....	21
4. Programsko rešenje.....	23
4.1 MAL BackgroundScan modul	23
4.2 Handover	26
5. Ispitivanje i verifikacija	30
5.1 Ispitivanje rešenja.....	30
5.2 Verifikacija rešenja	31
5.3 Ispitivanje MAL Background Scan modula.....	33
6. Zaključak	35
7. Literatura.....	36

SPISAK SLIKA

Sl. 1 Najznačajniji standardi digitalne televizije.....	10
Sl. 2 Fizička arhitektura televizijskog prijemnika.....	11
Sl. 3 Primer handover situacije	14
Sl. 4 Arhitektura rešenja.....	15
Sl. 5 Comedia srednji sloj	17
Sl. 6 Ciljna platforma 1	17
Sl. 7 Ciljna platforma 2	18
Sl. 8 Handover situacija u DVB-T mreži	19
Sl. 9 Prikaz ISDB-T Handover	21
Sl. 10 Konfiguracija MRC kod ciljne platforme 1.....	21
Sl. 11 Konfiguracija MRC kod ciljne platforme 2.....	22
Sl. 12 Start signal za početak backgroundscan procesa	25
Sl. 13 Stop signal za završavanje backgroundscan procesa.....	25
Sl. 14 Prikaz poziva funkcija MAL BackgroundScan modula	26
Sl. 15 Prikaz foreground/background handovera.....	27
Sl. 16 Algoritam praćenja kvaliteta signala	28
Sl. 17 Grafici opterećenja sistema.....	31
Sl. 18 Prikaz modula koji se testiraju u okviru CHAL Validatora.....	32
Sl. 19 Prikaz modula koji se testiraju u okviru MAL Validatora.....	32

SPISAK TABELA

Tabela 1 Trajanje pozadinskog skeniranja	33
Tabela 2 Pregled testnih servisa	34

SKRAĆENICE

ARM - Porodica arhitektura skupa instrukcija za procesore zasnovane na RISC arhitekturi

CHAL - Comedia Hardware Abstraction Layer, sloj za apstrakciju fizičke arhitekture

DMD - Demodulator

DTV - Digital Television, Digitalna televizija

DVB - Digital Video Broadcasting, Standard za digitalnu televiziju

DVB-T - Digital Video Broadcasting – Terrestrial, Digitalni metod emitovanja signala preko zemaljske mreže

EIT - Event Information Table, Tabela informacija o događajima na servisu

MAL - Middleware Abstraction Layer, Prilagodni sloj programske podrške televizijskog prijemnika ka korisničkim aplikacijama

MRC - Maximal Ration Combining

NIT - Network Information Table

PES - Packetized Elementary Stream, Programski tok podataka

PID - Packet Identifier, Indendifikator broj paketa

PMT - Program Map Table

QAM - Quadrature Amplitude Modulation, Metoda modulacije amplitude

QPSK - Quadrature Phase-Shift Keying Modulation, Metoda modulacije faze

STB - Set-Top Box, Digitalni televizijski prijemnik

TS - Transport Stream, Transportni tok podataka

1. Uvod

U ovom radu je realizovan mehanizam za prelazak na alternativni servis (*engl. Handover*) na mobilnim, višeantenskim, DTV[1](*engl. Digital Television*) prijemnicima zasnovanim na Linux operativnom sistemu. Comedia programska podrška, proizvođača iWedia[2], koja je napisana u C programskom jeziku, je korišćena za prikupljanje i obradu DTV podataka. Samim tim što je prethodno pomenuta programska podrška namenjena za statičke televizijske prijemnike, za potrebe ovog rada data programska podrška je modifikovana kako bi zadovoljila određene zahteve mobilnih DTV prijemnika. Dato rešenje je realizovano na ARM platformi, koje poseduju više antenske prijemnike. Proizvođač ciljne platforme definiše poseban pristup integraciji digitalne televizije u okruženju sa Linux operativnim sistemom.

Funkcionalnosti pomenutog sistema čine:

- Osnovne funkcionalnosti digitalne televizije (prijem zemaljskog DTV signala, prikazivanje televizijskog sadržaja itd).
- Prikupljanje podataka u pozadini.
- Podrška za interaktivne sadržaje (MHEG, CI+).

Zbog ograničenih mogućnosti fizičke arhitekture koja postoji u sistemima za rad u realnom vremenu[3], kao što je predložen, radi što boljeg iskorišćenja dostupnih resursa koristi se programski jezik C. Korišćenjem programskog jezika C otvorila se mogućnost korišćenja *cunit* biblioteke za verifikaciju rada datog rešenja.

Rad je sačinjen od sedam poglavlja:

- Prvo poglavlje sadrži osnovni opis rada.
- Drugo poglavlje sadrži opis programske podrške za digitalnu televiziju, opis Linux platforme kao i sam razvoj mehanizma prelaska na alternativni servis.

- Treće poglavlje daje opis ciljne platforme, ograničenja koja postavlja i pregled slojeva sistema koji opisuju predlog rešenja realizacije i prikaza funkcionalnosti prelaska na alternativni servis.
- Četvrto poglavlje sadrži opis programskog rešenja, odnosno realizacije funkcija prelaska na alternativni servis u okviru programske podrške televizijskog prijemnika kao i viših slojeva programske podrške potrebnih za kompletnu funkcionalnost.
- Peto poglavlje je sačinjeno od opisa provera koje su urađene nakon implementacije funkcionalnosti prelaska na alternativne servise.
- Šesto poglavlje sadrži kratak pregled onoga što je urađeno u ovom radu sa akcentom na doprinose predloženog rešenja, uz predlog pravca daljeg unapređenja i razvoja.
- Literatura – predstavlja spisak korišćene literature prilikom izrade rada.

2. Teorijske osnove

U datom poglavlju su opisane teorijske osnove na kojima je rad zasnovan. Predstavljen je kratak historijski razvoj digitalne televizije, razvoj programske podrške televizijskog prijemnika kao i razvoj prijema zemaljskog DTV signala.

2.1 Linux operativni sistem

Linux je nastao 05. oktobra. 1991 godine. U prvim danima Linux se koristio kao eksperimentalni operativni sistem, a koristili su ga studenti, hakeri, programeri i ljudi koji su orijentirani sa rad sa računarom. Nastankom Apache Web Server, Linux je u par godina istisnuo druge operativne sisteme slične Unixu. Linux operativni sistem, se slabo pojavljuje na kućnim i kancelarijskim računarima iz razloga što napredovanje kućnih računara na Linuxu slabo napreduje. Još jedan problem Linuxa su programi ili rukovaoci uređajima (*engl. driver*) koje kompanije retko izdaju ili korisnici odbijaju da ih koriste. Što se tiče sigurnosti Linuxa, danas postoje mnogo zlo namernih programa (virusa, spayware i adware) koji rade na Linuxu. Prvu verziju UNIX sistema razvio je Ken Thompson iz istraživačke grupe Bell laboratorija 1969. godine.

Projektu se pridružio Dennis Ritchie i još nekolicina kolega koji su nastavili razvoj UNIX-a. Dennis Ritchie je pre toga radio na razvoju MULTICS operativnog sistema koji je imao jak uticaj na razvoj UNIX-a. Sledeća značajna verzija je Verzija 3. značajna po tome što je veći deo operativnog sistema bio napisan u programskom jeziku C, koji je razvijen u Bell laboratorijama kao podrška UNIX-u. Prva masovno korišćenja verzija UNIX operativnog sistema je Verzija 6 iz 1975. godine. Nakon Verzije 7 oformljena je posebna grupa, UNIX Support Group (USG) u okviru AT&T-a (u čijem sastavu su Bell-ove laboratorije), čiji je zadatak bio da se brine o UNIX-u. Tako UNIX prestaje da bude istraživački alat i postaje komercijalan operativni sistem. Mnoge agencije se pridružuju razvoju UNIX. Među njima su Rand, BBN, DEC, SCO, i

Univerziteti Illinois, Harvard, Purdue i drugi. Međutim, najveći uticaj van Bell laboratorija imao je Kalifornijski Univerzitet Berkley. Na ovom univerzitetu su započeli rad na VAX UNIX-u 32V, od koga su napravili verziju 3BSD. Ubrzo DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) naručuje od Berkley standardni UNIX sistem za upotrebe u upravljanju. Tako je nastala verzija 4BSD. Ova verzija je obezbedila rad u mreži po DARPA Internet mrežnom protokolu (TCP/IP). Na univerzitetu Berkley su razvijeni mnogi rukovaoci uređajima za terminale, nova korisnička sprega (*engl. User interface*), C shell, novi programi za uređivanje teksta (tekst editori), prevodioci za Pascal i Lisp, kao i mnogi drugi sistemski programi. Skraćenica BSD potiče od Berkley Software Distribution. UNIX je jedan od najboljih i najpopularnijih operativnih sistema u svetu. Prvobitno je projektovan kao alat za naučnike i programere za rad na tada najjačim računarima, a kasnije je prilagođen i raznim drugim raznovrsnim namenama. Uprkos tako projektovanoj - "složenoj" korisničkoj sprezi, i nedostatku standardizacije postaje najkorišćeniji operativni sistem, u poslovnoj primeni. Veliki broj drugih, sada popularnih, operativnih sistema kao svoju osnovu koriste neku verziju UNIX sistema.

Zahvaljujući ogromnoj Linux zajednici došlo je do razvoja različitih Linux distribucija. Različite distribucije pored prethodno pomenutih osnovnih delova, sadrže i veći ili manji broj korisničkih programa određene namene.

Najpoznatije istaknute Linux distribucije su:

- Ubuntu,
- Fedora Core,
- Open SuSE,
- Debian,
- Gentoo,
- Knoppix,
- Slackware,
- Mint,
- Red Hat.

2.2 Digitalna televizija

Digitalna televizija predstavlja prenos audio/video zapisa i dodatnih informacija u digitalnom formatu. Pojava i uspostavljanje standarda koji se koriste u digitalnoj televiziji vezuje se za poslednju dekadu prošlog veka. Prva demonstracija digitalnog TV (*engl. Television*) prenosa održana je 1995. godine. Računari i savremene telekomunikacione mreže zasnovani su na digitalnoj tehnologiji. Sa televizijom koja koristi istu tehnologiju ove tri oblasti se mogu

kombinovati mnogo jednostavnije. Kao rezultat ovog kombinovanja digitalna televizija podržava nove aplikacije kao što je interaktivna televizija koja omogućava izvršavanje aplikacija pisanih u Javi, HTML-u, pristup Internetu. Digitalna televizija obezbeđuje mnogo bolji kvalitet slike i zvuka u odnosu na analognu, mogućnost izbora formata slike ili zvuka, omogućava uvođenje novih usluga kao što je izbor jezika za prevod, izbor audio kanala, multimedijalni sadržaji, EPG (*engl. Electronic program guide*), PVR (*engl. Personal video recorder*).

Najznačajniji standardi digitalne televizije su (Sl. 1):

- **DVB** – grupa standarda koja se koristi u Evropi ali i u većem delu sveta.
- **ATSC** – standardi koji se primenjuju u digitalnom TV prenosu zemaljskim vezama u SAD, Kanadi, Meksiku, Južnoj Koreji.
- **ISDB [4]**– grupa DTV standarda nastala u Japanu.



Sl. 1 Najznačajniji standardi digitalne televizije

Pored navedenih standarda koji se koriste u različitim delovima sveta, postoje i različiti načini prijema digitalnog signala:

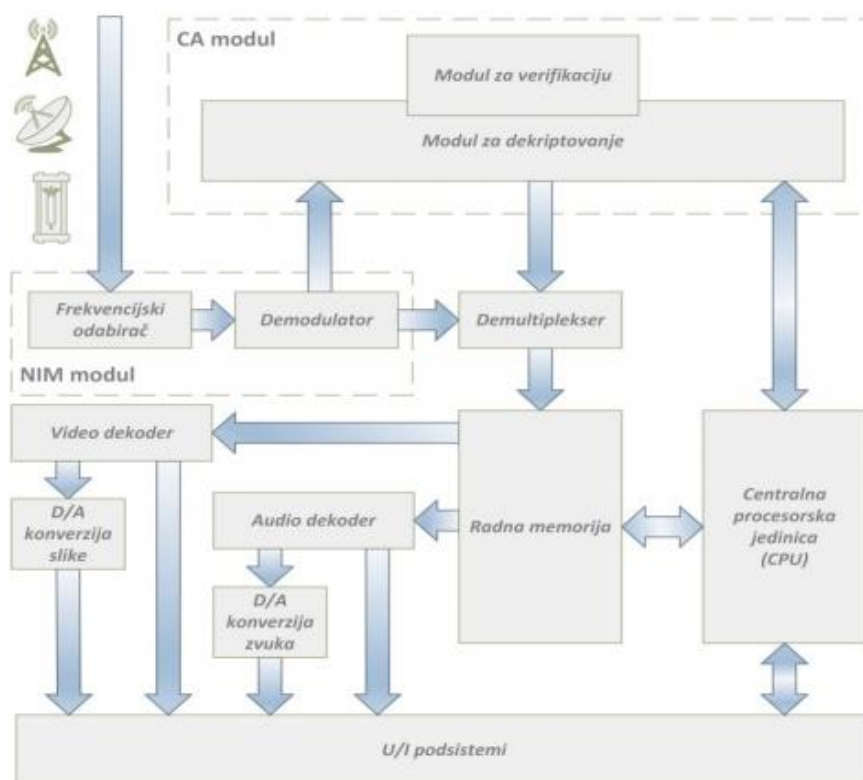
- **Zemaljski** – najstariji, korisnici koriste antenu kako bi primali digitalni signal. Ograničenje predstavlja to što korisnici primaju signal samo od transmitera koji su u opsegu njihovih antena. Ovakav način prenosa je podržan od strane svih gore navedenih standarda.
- **Kablovski** – kompanije koje šalju kablovski signal su prešle na digitalni prenos tokom 2000-tih. Svi evropski dobavljači kablovskih usluga koji su prešli na digitalno emitovanje koriste DVB-C standard. Kablovski način prenosa osim za DVB podržavan je i od strane ATSC i ISDB standarda.
- **Satelitski** – prijem digitalnih podataka preko satelita, podržan od strane DVB, ISDB i DMB standarda.
- **Mobilni** – ovaj način prijema digitalnog signala je podržan od strane svih standarda osim DMB-a i podrazumeva da mobilni uređaji kao što su telefoni ili tableti mogu da primaju digitalni televizijski signal
- **IPTV i Internet televizija** – IPTV predstavlja prijem digitalnog signala preko npr. telefonske linije, shodno tome, ovaj sadržaj emituju telekomunikacioni emiteri (npr. MTS). Internet televizija predstavlja prijem signala preko otvorene Internet mreže

sa ograničenjima kao što je propusnost zbog čega nije moguće gledati sadržaj visokog kvaliteta.

Kako su računari i telekomunikacione mreže zasnovane na digitalnoj tehnologiji, sa ovakvim tempom razvoja digitalne televizije i kombinovanjem ove tri komponente, televizija i aplikacije koje ona koriste će se sve više razvijati i napredovati.

2.3 Fizička arhitektura digitalnog televizijskog prijemnika

Fizička arhitektura ličnih računara se često koristi kao referenca STB (*engl. Set-Top Box*) fizičkoj arhitekturi (Sl. 2). Lični računari imaju brze procesore, veliku količinu memorije i grafičke kartice koje obrađuju audio i video signal u realnom vremenu. Za razliku od ličnih računara koji izvršavaju širok spektar programa, STB uređaji su projektovani da obrade DTV signal sa ograničenim brojem aplikacija. Za projektovanje arhitekture STB uređaja koriste se dva koncepta: otvorena arhitektura (*engl. Open Architecture*) i interoperabilan koncept (*engl. Interoperable*). STB uređaj je sačinjen od različitih nezavisnih funkcionalnih modula koji sadrže komponente fizičke arhitekture i/ili programske podrške koje su povezane i predstavljaju intelektualnu svojinu. Otvorena arhitektura znači da su svi moduli u STB uređaju ponašaju po FRND (*engl. Fair Reasonable Non Discriminatory*) uslovima postavljenim od strane priznatih međunarodnih tela. Interoperabilnost podrazumeva da STB uređaj trebao da ima mogućnost prijema signala sa svih medijuma.



Sl. 2 Fizička arhitektura televizijskog prijemnika

Arhitektura STB uređaja je sačinjena od:

- Mrežnog spreznog modula (*engl. Network Interface Module - NIM*)
- Demultipleksera
- Radne memorije
- Centralnog procesora
- D/A konvertera zvuka i slike
- Video i audio dekodera
- Izlazno/Ulazni podsistemi
- CA modula

NIM modul je sačinjen od frekvencijskog birača demodulatora. Frekvencijski birač luži da se STB uređaj poveže na frekvencijski opseg. Fizička arhitektura je slična za sve DVB STB uređaje osim demodulatora koji je različit za različite medijume prenosa signala. Modulaciona šema kod DVB-T je OFDM (*engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), a kod DVB-C i DVB-S je QAM (*engl. Quadrature Amplitude modulation*) i QPSK-a (*engl. Quadrature Phase shift keying*). DVB-C VHF/UHF koristi 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM i 256-QAM. DVB-T VHF/UHF koristi 16-QAM, 64-QAM i QPSK sa COFDM-om (*engl. Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Sličnost u arhitekturi STB uređaja je dovela do smanjenja cene proizvodnje uređaja koji podržavaju prijem signala sa sva tri medijuma.

Demodulator služi da pretvori RF (*engl. Radio Frequency*) signal sa frekvencijskog birača originalni signal. Zadatak demultipleksera je da iz toka podataka odvoji sve pakete u njihov specifičan format. Podaci nad kojima se vrši demultipleksiranje sadrže audio, video i DVB pakete (SI (*engl. Specific Information*) i PSI (*engl. Program Specific Information*) tabele). Dekoder je uređaj koji prima tok podataka koji izlazi sa demultipleksera i vrši dekompresiju zahtevanog video sadržaja. Danas najčešće korišćeni fizički dekoderi u STB uređajima su dekoderi koji vrše dekompresiju MPEG 2 i MPEG 4 formata.

CA modul je jedan od najvažnijih elemenata u STB uređajima. Ovaj modul je bitan za vodeće proizvođače STB uređaja, pošto omogućava televizijskim kompanijama da naplaćuju emitovanje. ICAM (*engl. Integrated Conditional Access Modul*) se nalazi ispred demultipleksera i vrši dekripciju enkriptovanog signala. Memorija STB uređaja najčešće podrazumeva ROM (*engl. Read Only Memory*), RAM (*engl. Random Access Memory*) i Flash memoriju.

2.4 DTV programska podrška

Najvažniji deo programske podrške, koji sadrži gotovo kompletnu DTV funkcionalnost i omogućava izvršavanje aplikacija, je srednji sloj (*engl. Middleware*). Uloga srednjeg sloja jeste

raščlanjavanje podataka koji dolaze iz transportnog toka, dekodovanje audio i video podataka, prikupljanje i organizacija dodatnih podataka koji se nalaze u transportnom toku kao što su teletext, prevod, informacije elektronskog programskog vodiča (*engl. EPG information*), kontrola pristupa (*engl. Conditional Access*) i na kraju organizacija samih servisa. Na osnovu funkcionalnosti DTV srednjeg sloja može se reći da on apstrahuje funkcionalnost samog operativnog sistema, odnosno hardverske platforme (resursa DTV prijemnika) i pruža potrebne programske sprege ka višim slojevima čime je omogućeno da proizvođači aplikativnog DTV softvera ne moraju da poznaju specifičnosti fizičke arhitekture DTV prijemnika. Ovim je omogućeno da se iste aplikacije izvršavaju na različitim platformama, ukoliko su pisane za isti srednji sloj.

Neki od najznačajnijih srednjih slojeva su:

- DVB-MHP (*engl. Media Home Platform*)
- OpenTV
- FrogbyWyplay
- MediaHighway
- Cabot
- iWedia

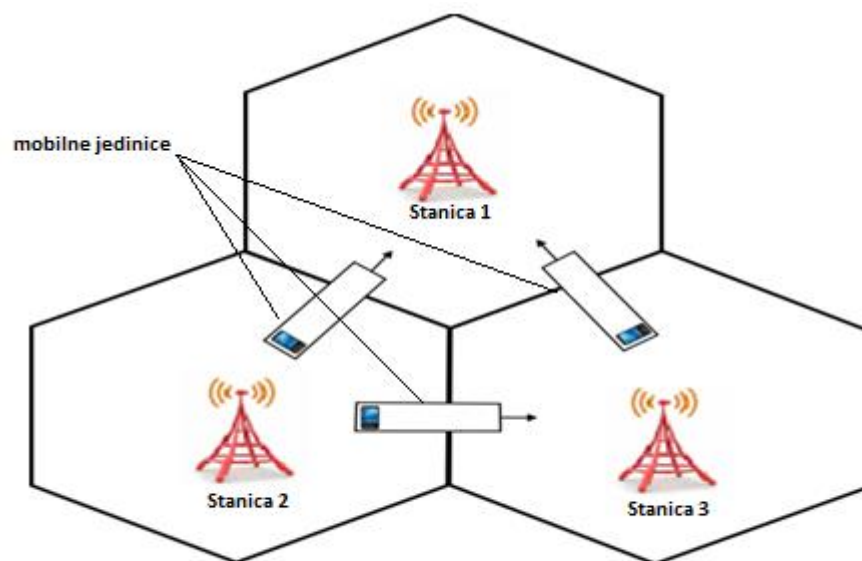
Za potrebe ovog rada korišćen je Comedia 3.0 srednji sloj kompanije iWedia, koji je modifikovan kako bi se zadovoljili odgovarajući uslovi koji su specifični za mobilne DTV prijemnike.

2.5 Pojava mehanizma za prelazak na alternativni servis u telekomunikaciji

Prva pojava mehanizama za prelazak na alternativni servis (u daljem tekstu *handover*) je bila u telekomunikaciji pa tek onda se primenila i na televizijske prijemnike. U telekomunikaciji, termin *handover* ili *handoff* odnosi se na proces prenosa u toku poziva ili promene prijema signala sa jedne stanice na drugu. U satelitskim komunikacijama to je proces prenosa satelitske kontrole odgovornosti odnosno prijema signala sa jedne stanice na zemlji na drugu bez gubitka ili prekida usluge. Američki-engleski rečnik koristi termin *handoff*, a najčešće se koristi u američkoj organizaciji ZGPP2 (International Telecommunication Union). U britanskom-engleskom rečniku termin *handover* je češći, a koristi se u međunarodnim i evropskim organizacijama kao što ITU-U, IETF, itd. Termin *handover* se češće koristi u akademskim okvirima, dok *handoff* je nešto češći u okviru IEEE i ANSI organizacija.

U telekomunikacijama mogu biti različiti razlozi korišćenja *handover* mehanizma. Kada se telefon udaljava od područja koja pokriva jedna stanica i ulazi u oblast koja pokriva druga

stanica poziv se prenosi na drugu kako bi se izbegao prekid poziva kad telefon bude izvan prve stanice. Ako se postojeći ili novi poziv s telefona nalazi u području koji preklapa drugu stanicu, prenosi se na tu kako bi se oslobodio kapacitet u prvoj stanici za druge korisnike, koji se mogu priključiti samo na tu Sl. 3.



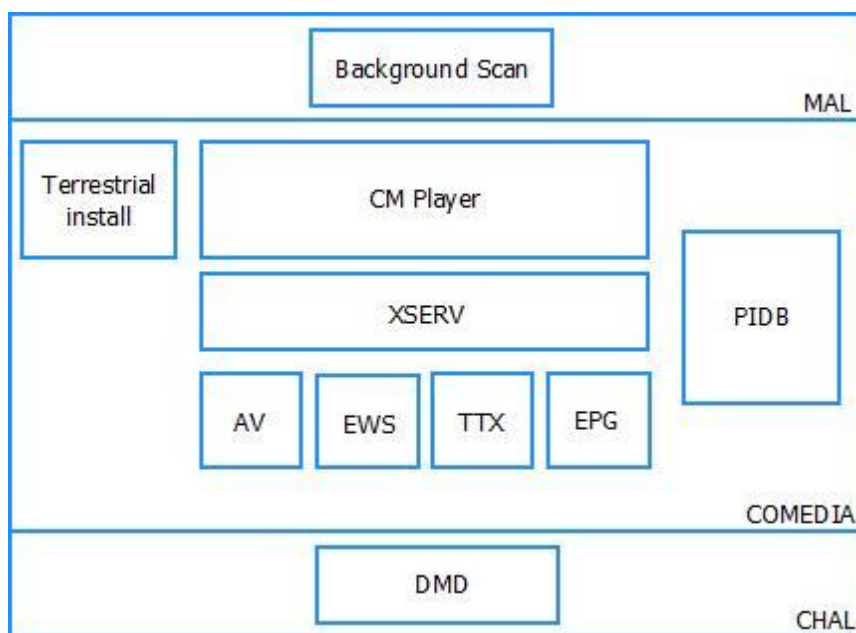
Sl. 3 Primer handover situacije

3. Koncept rešenja

U okviru ovog poglavlja dat je opis srednjeg sloja Comedia TV, opis ciljne platforme, opis algoritma po kom rešenje funkcioniše, kao i diskusija problema, koje je neophodno rešiti.

Postojeće rešenje Comedia programske podrške se moralo proširiti kako bi se zadovoljili novi zahtevi odnosno zadovoljili promenu iz statičkih u mobilne digitalne televizijske prijemnike. Sledeće promene su izvršene (Sl. 4):

- Dodat novi modul – skeniranje u pozadini (*engl. backgroundscan*).
- Proširenje CHAL (*engl. Comedia Hardware Abstraction Layer*) DMD modula - podrška za *handover* i praćenje kvaliteta signala.



Sl. 4 Arhitektura rešenja

3.1 Middleware-srednji sloj

Srednji sloj (Sl. 5) realizuje najvažnije operacije (rašćlanjavanje DVB podataka, kontrola pristupa i organizacija servisa, prikupljanje EIT (Event Information Table) podataka, podrška za snimanje, kontrola podsetnika, dekodovanje multimedijalnih sadržaja).

Srednji sloj je programski skup pri čemu se na najnižem nivou nalazi CHAL. CHAL je akronim od Comedia Hardware Abstraction Layer, odnosno sloj za apstrakciju fizičke arhitekture. CHAL sloj je zavisan od fizičke arhitekture DTV *prijemnika*. Da bi se omogućila funkcionalnost Comedia programske podrške, CHAL je sloj koji treba preneti ciljnu platformu. CHAL se sastoji iz tri veća modula:

- **TKEL (Thin Kernel Encapsulation Layer)** - sloj za apstrakciju funkcionalnosti operativnog sistema realnog vremena (RTOS).
- **TBOX (Tool Box)** – modul koji deklarise pomoćne funkcije i makroe i služi u svrhu otklanjanje greške u programskoj podršci.
- **TDAL (Thin Driver Adaptation Layer)** - sloj za apstrakciju rukovanje uređajima i sastoji se od mnoštva modula. Svaki blok fizičke arhitekture DTV prijemnika poseduje odgovarajući TDAL rukovalac.

Iz ovoga sledi da je CHAL zavisan od same platforme. Kako bi se ostali viši moduli srednjeg sloja učinili nezavisnim od same platforme oni svoju funkcionalnost realizuju korišćenjem CHAL funkcija. Na ovaj način prenošenje srednjeg sloja na neku platformu svodi se na implementacija CHAL.

Iznad CHAL-a nalazi se jezgro srednjeg sloja (*engl. Comedia Core*). Jezgro se sastoji iz velikog broja modula pri čemu je svaki od njih zadužen za realizaciju neke od funkcionalnosti. Neki od modula realizuju funkcije koje se ne koriste direktno u samim aplikacijama nego pružaju podršku ostalim modulima srednjeg sloja. Primer ovog tipa modula je Table modul, koji je zadužen za akviziciju i parsiranje tabela DVB transportnog toka. Ovaj modul koriste ostali moduli kako bi pristupili pojedinim informacijama koje se nalaze u DVB tabelama. Na samom vrhu Comedia srednjeg sloja nalazi se MAL (*engl. MiddlewareAbstractionLayer*). MAL se takođe sastoji iz više modula, pri čemu funkcije jednog modula upravljaju nekim od elementa (MAL_Init, MAL_Tuner, MAL_Audio/Video). Sloj predstavlja enkapsulaciju svih funkcionalnosti srednjeg sloja bez potrebe poznavanja detalja same realizacije. Kako su aplikacije koje koriste srednji sloj najčešće pisane u nekom drugom programskom jeziku (Java, Java script), radi lakšeg ugrađivanja MAL koristi proste tipove kao parametre.



Sl. 5 Comedia srednji sloj

3.2 Opis ciljne platforme

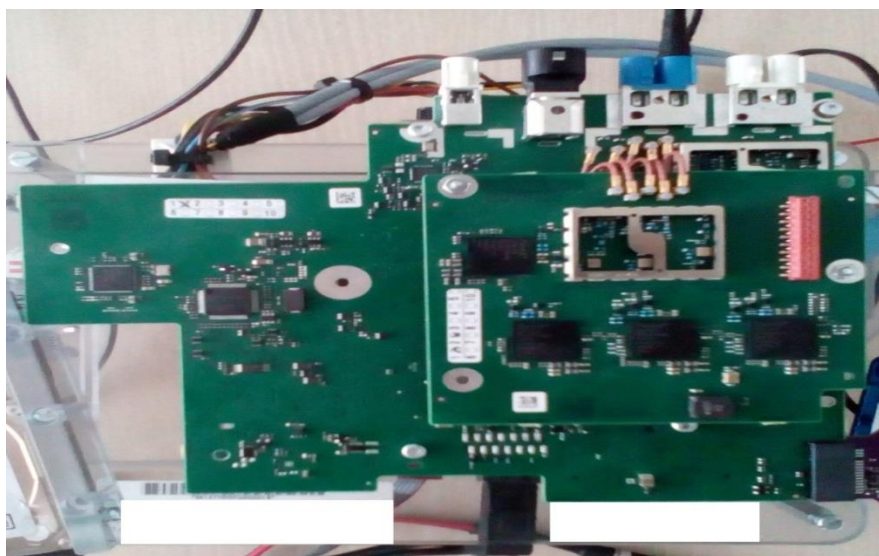
Dato rešenje je realizovano na dve ciljne platforme. Prva ciljna platforma (Sl. 6) raspolaže sledećim komponentama: tri DVB-T/T2 i ISDB-T/Tb frekvencijska birača kanala, komponentom za usmeravanje prenosnog toka, procesorom ARM familije koji je namenjen za mobilne uređaje, 1 GB DDR3 operativnom memorijom.



Sl. 6 Ciljna platforma 1

Druga ciljna platforma (Sl. 7) raspolaže sledećim komponentama: četiri DVB-T/T2 i ISDB-T/Tb frekvencijska birača kanala, komponentom za usmeravanje prenosnog toka, procesorom Intel familije koji je namenjen za mobilne uređaje, 8 GB DDR3 operativnom memorijom.

Platforme poseduje aplikativnu programsku spregu (*engl. Application Programming Interface*) koja obezbeđuje funkcije višeg nivoa za rukovanje sastavnim delovima fizičke arhitekture. Pomenuta sprega je iskorišćena i značajno je olakšala pronalaženje rešenja zadanog problema.



Sl. 7 Ciljna platforma 2

3.3 Mehanizam prelaska na alternativni servis u digitalnoj televiziji

Kod stacionarnog ili portabilnog prijemnika može se pretpostaviti da će transportni tok na datoj frekvenciji biti stalno na raspolaganju tokom njegovog rada. Nasuprot tome, mobilni prijemnik [5] će se suočiti sa situacijom da izabrani transportni tok signala nije više dostupan na trenutnoj frekvenciji ako se prijemnik kreće izvan područja prijema. Kako bi se nastavilo prikazivanje izabranog servisa, mobilni prijemnik treba automatski odabrati različitu frekvenciju sa istim transportnim tokom kako bi se prikazivanje izabranog servisa nastavilo.

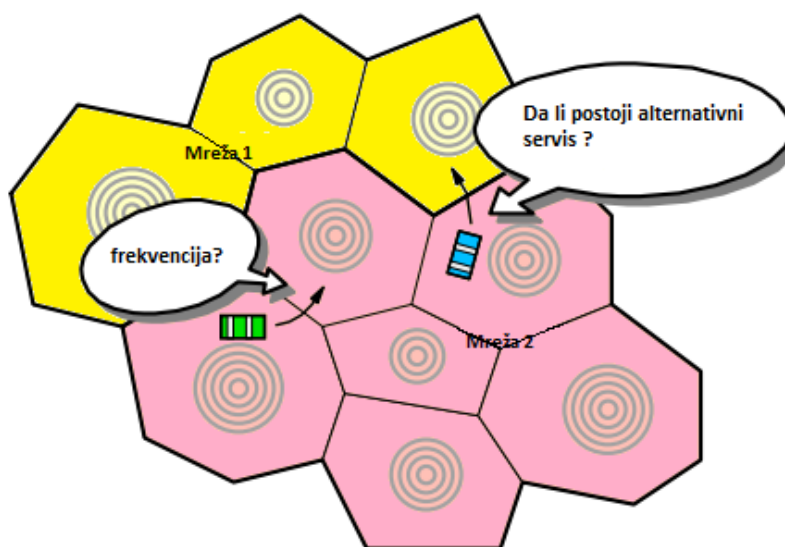
Ako se prijemnik preselio iz jedne stanice u drugu stanicu koje pripadaju istoj mreži, isti odabrani transportni tok će biti dostupan korisniku ali na različitoj frekvenciji. Mobilni prijemnik mora utvrditi na kojoj frekvenciji se izgubljeni transportni tok emitovao pre ulaska u sledeću stanicu. Transportni tok ne mora biti dostupan korisniku ako se prijemnik preselio iz stanice koje pripada jednoj mreži u stanicu druge mreže. Prijemnik može da sazna da li je servis koji je bio

izabran od strane korisnika dostupan na transportom toku pri ulasku u novo mrežno područje ili ako postoje alternativni servis za odabir.

a) Ako je prethodno odabrani servis i dalje dostupan, prijemnik treba odrediti transportni tok koji nosi odabrani servis i frekvenciju tog transportnog toka u novom mrežnom području.

b) Ako odabrani servis nije dostupan, prijemnik može pokušati odabrati neki alternativni servis (koji bi mogao biti lokalna varijacija originalnog servisa pre nego što to traži od korisnika).

Sl. 8 prikazuje dve opšte *handover* situacije: *handover* iz jedne stanice u drugu stanicu u istoj mreži (Mreža 2) i *handover* između stanice različitih mreža (od mreže 1 mrežu 2)



Sl. 8 Handover situacija u DVB-T mreži

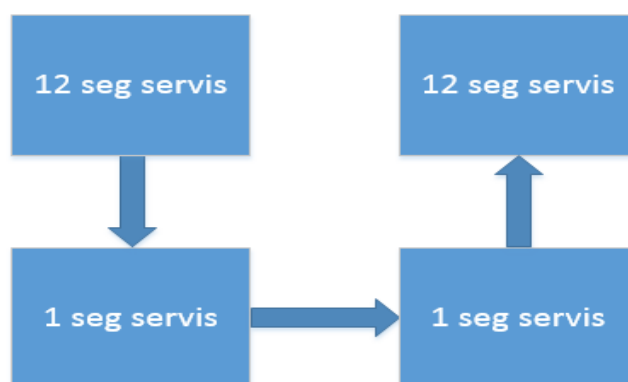
3.4 Proširenja Comedia programske podrške

▪ MAL Backgroundscan:

Modul je realizovan kao potpuno novi deo programske podrške, i predstavlja spregu prema korisniku. Dati modul kontroliše obradu TS paketa koji dolaze sa pozadinske grupe birača kanala, korišćenjem modula jezgra Comedia programske podrške. U okviru programske podrške postoji nekoliko tipova ruta (*engl. Route*), tj. putanja uopšteno gledano ruta predstavlja putanju kojom se kreću podaci od izvora do odredišta, a neke od njih su sledeće (u zagradi su navedeni elementi od kojih se svaka putanja ponaosob sastoji):

- **Install** – služi za pretraživanje frekvencijskog opsega (frekvencijski birač kanala i demultiplekser)

-
- **Live** – služi za reprodukciju DTV servisa (frekvencijski birač kanala, demultiplekser, dekodер i izlaz)
 - **Record** – služi za snimanje DTV servisa (frekvencijski birač kanala, demultiplekser i spoljna memorija)
 - **Playback** – služi za reprodukciju snimljenog DTV servisa (spoljna memorija, demultiplekser, dekodер i izlaz)
 - **Stream** – služi za distribuciju DTV servisa do prenosnih uređaja (frekvencijski birač kanala, demultiplekser i HTTP poslužioc)
- **Proširenja u CHAL DMD modulu:**
- Praćenje kvaliteta signala – Za svaki logički birač kanala, struktura praćenja kvaliteta signala treba da sadrži listu fizičkih birača kanala sa svim relevantnim parametrima kvaliteta signala.
 - Podrška za *handover* – Kada se pronade alternativni servis sa boljem kvalitetom signala backgroundscan modul će pozvati podršku za *handover* kroz dodatne funkcije TDAL DMD. Kompletna *handover* procedura će se kontrolisati iz MAL backgroundscan modula. Kao rezultat ovog procesa fizički birača kanala iz obe grupe će promeniti logičko postavljanje, dok će dodatni fizički birača kanala menjati svoju grupu po potrebi. Tokom *handover*, dva toka podataka dolaze kroz foreground i background live rutu, koji će biti preneti u dekodер kroz CHAL AV modul. Nakon čega dekodер šalje signal da je sinhronizacija završena, događaj treba da bude poslat MAL backgroundscan modulu, što ukazuje da je proces *handover* završen.
 - ISDB-T *handover* (Sl. 9) je specijalan slučaj, jer je servis podeljen u više segmenata. Ukupno ima 13 segmenata gde 12 segmenata predstavljaju servis visokog kvaliteta a 1 segment servis lošijeg kvaliteta, predviđen za mobilne uređaje. Prvi korak pre *handover* predstavlja prebacivanje sa 12-seg servisa na 1-seg servis na foreground live ruti, nakon čega se dešava *handover* i prelazi na 1-seg alternativni servis na background live ruti. Kada je *handover* završen moguće je prebaci na odgovarajući 12-seg servis.



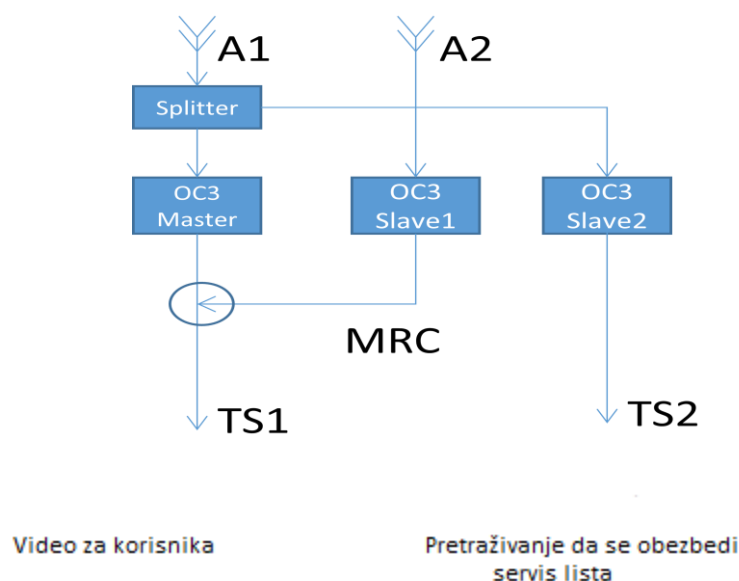
Sl. 9 Prikaz ISDB-T Handover

3.5 MRC u digitalnoj televiziji

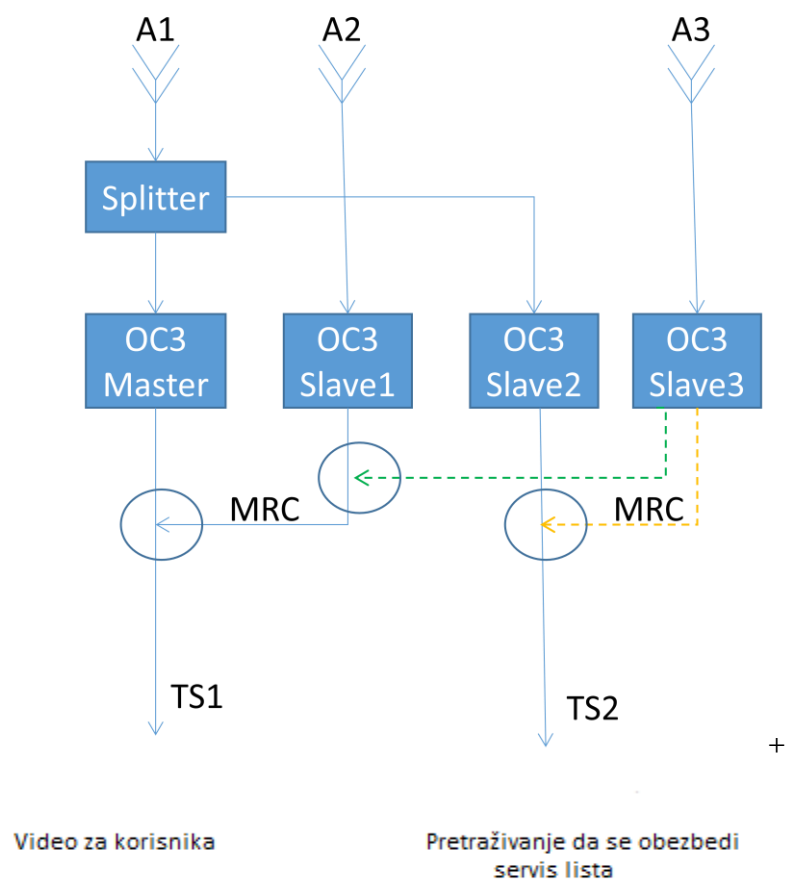
MRC [6](*engl. Maximal Ration Combining*) metoda predstavlja tehniku udruživanja više primljenih signala u jedan poboljšan signal. Ovom metodom, kao što je napomenuto, dobija se najbolji kvalitet primljenog signala.

Tokom kretanja automobila prijem signala se neprestano menja sa foreground background birača kanala (prelazak na alternativni servis) i tu se javlja potreba za MRC. Glavni deo povezivanja procesa je razmena sa foreground background birača kanala.

Ciljne platforme su različite po broju birača kanala (ciljan platforma 1, 3 tjunera, ciljna platforma 2, 4 tjunera) i samim ti MRC konfiguracija je može biti drugačija. Moguće MRC konfiguracije su prikazane na slikama u nastavku (ciljna platforma 1 Sl. 10, ciljan platforma 2, Sl. 11).



Sl. 10 Konfiguracija MRC kod ciljne platforme 1.



Sl. 11 Konfiguracija MRC kod ciljne platforme 2.

4. Programsko rešenje

U ovom poglavlju dat je detaljan opis realizovanih programskih modula, odnosno realizovanih funkcija u okviru Comedia programske podrške TV prijemnika.

4.1 MAL BackgroundScan modul

MAL backgroundscan modul kontroliše obradu TS paketa. Kontrola je postignuta upotrebom postojećih funkcija Comedia programske podrške.

MAL backgroundscan programska podrška:

- Konfiguracija backgroundscan:

- Ažuriranje servis parametara:

Ovi parametri će se koristiti za održavanje dinamičke liste servisa.

Parametri su:

- **SQTAS (Signal Quality Threshold for Adding Service)** – predstavlja prag kvaliteta signala izražen u decibelima (dB). Ukoliko je kvalitet signala iznad datog praga određeni DTV servis biće zabeležen u listi servisa.
 - **TTAS (Time Threshold for Adding Service)** – predstavlja prag vremenskog intervala izražen u sekundama (sec) nakon kojeg će određeni DTV servis biti zabeležen u listi kanala
 - **SQTRS (Signal Quality Threshold for Removing Service)** – predstavlja prag kvaliteta signala izražen u decibelima (dB). Ukoliko je kvalitet signala ispod praga, određeni DTV servis biće uklonjen iz liste kanala

- **TTRS (Time Threshold for Removing Service)** – predstavlja prag vremenskog intervala izražen u sekundama (sec) nakon kojeg će određeni DTV servis biti uklonjen iz liste kanala.
- *Handover* parametri:

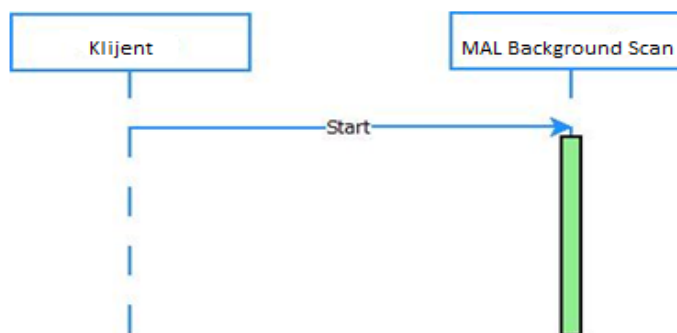
Ovi parametri će se koristiti za prilagođavanje mehanizma prelaska na alternativni servis. Parametri:

 - **SQTFT (Signal Quality Threshold for Foreground Tuner)** – predstavlja prag kvaliteta signala izraženim u decibelima (dB) za foreground birač kanala.
 - **TTFT (Time Threshold for Foreground Tuner)** – predstavlja prag vremenskog intervala izražen u sekundama (sec) za foreground birač kanala.
 - **SQTBT (Signal Quality Threshold for Background Tuner)** - predstavlja prag kvaliteta signala izraženim u decibelima (dB) za background birač kanala.
 - **TTBT (Time Threshold for Background Tuner)** - predstavlja prag vremenskog intervala izražen u sekundama (sec) za background birač kanala.
- Konfiguracija sakupljanja dodatnih podataka u pozadini:

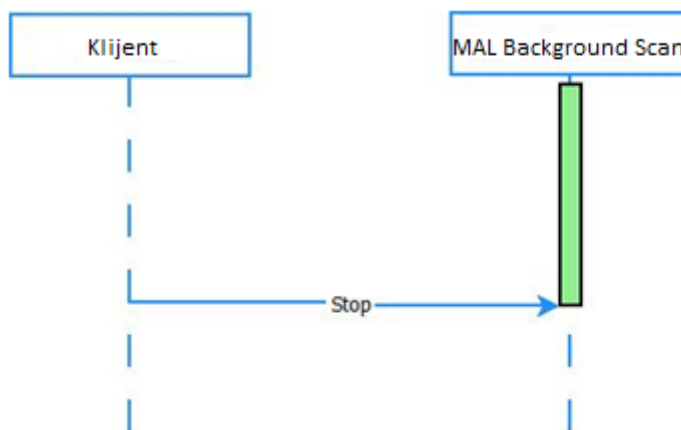
Mogućnost da se precizira koje TS podatke korisnik MAL programske sprege želi da sakuplja u pozadini. (informacije o upozorenjima, elektronskom programskom vodiču, teletekstu i slično).
- Start/Stop backgroundscan:

Postoje funkcije za start/stop backgroundscan i sakupljanje TS podataka u skladu sa postavljenom konfiguracijom. Pre pokretanje backgroundscan korisnik mora da postaviti željenu zemlju, ovu funkcionalnost u automobilu umesto korisnika može da pošalje modul za pozicioniranje (*engl. Global Positioning System*). Kasnije ukoliko treba da se menja zemlja, potrebno je ponovo pokrenuti backgroundscan proces.

MAL_BS_Start(void) – Funkcija koja pokreće backgroundscan proces (Sl. 12).

Sl. 12 *Start signal za početak backgroundscan procesa*

MAL_BS_Stop(void) – Funkcija za stopiranje backgroundscan procesa (Sl. 13).

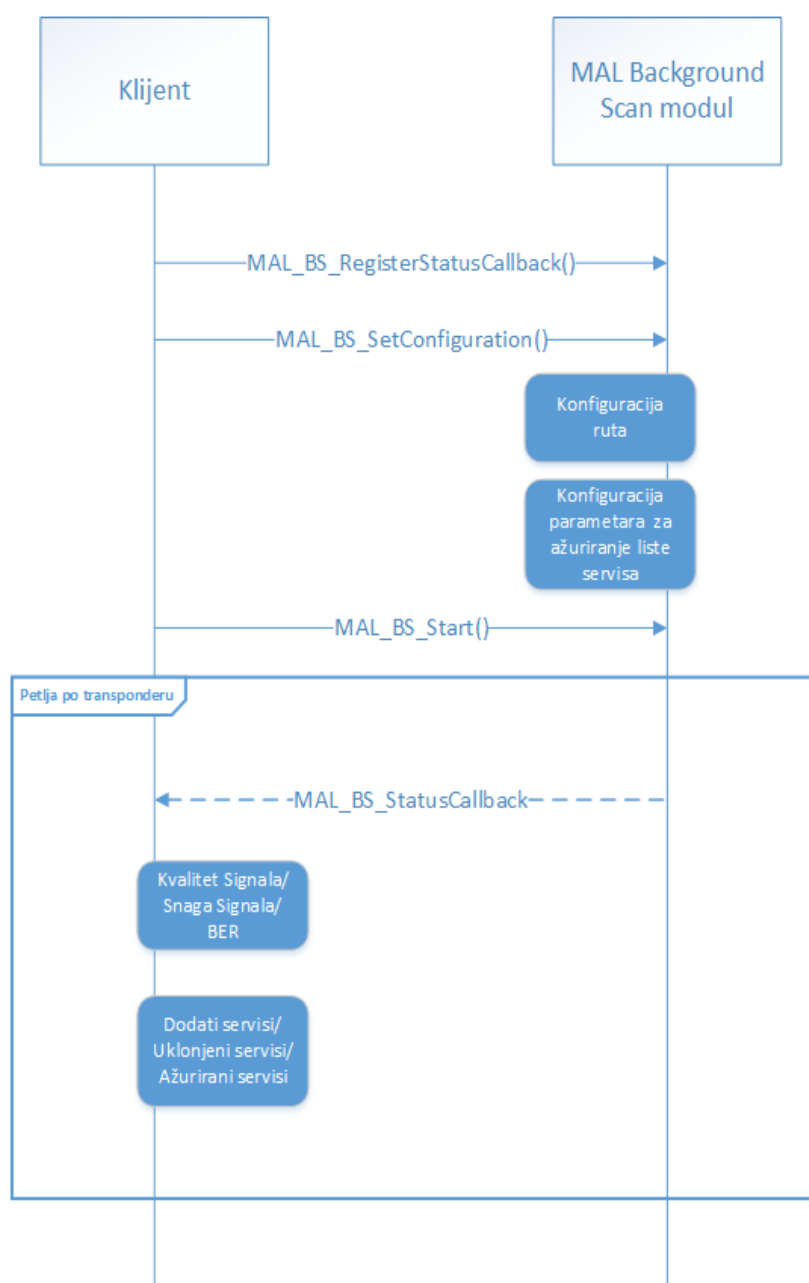
Sl. 13 *Stop signal za završavanje backgroundscan procesa*

- Status backgroundscan:
Funkcija omogućava korisniku da odredi trenutni status (Sl. 14). Pod statusom se misli provera da li je počelo skeniranje, i na kojoj frekvenciji je backgroundscan trenutno pozicioniran.
- Dodavanje/brisanje servisa:
Za testiranje i uklanjanje grešaka potrebno je omogućiti dodavanje ili brisanje servisa putem MAL BackgroundScan programske sprege direktno iz liste servisa. Funkcionalnost dodavanja i brisanja treba da ima isti učinak na servis listu kao i sam backgroundscan.
- Ažuriranje obaveštenja:
Korisnik ima mogućnost da registruje povratne funkcije u MAL backgroundscan modulu. MAL_BS_RegisterStatusCallback(constMAL_BS_StatusCallbackcallback) – Funkcija koja prijavljivanje funkciju povratnog poziva u cilju informisanja klijenta o MAL

backgroundscan događajima. Kroz funkciju povratnog poziva, korisnik MAL programske sprege će dobiti sledeće događaje:

- Informacije o kvalitetu signala na logičkim biračima kanala.
- Informacije o ažuriranoj listi servisa.

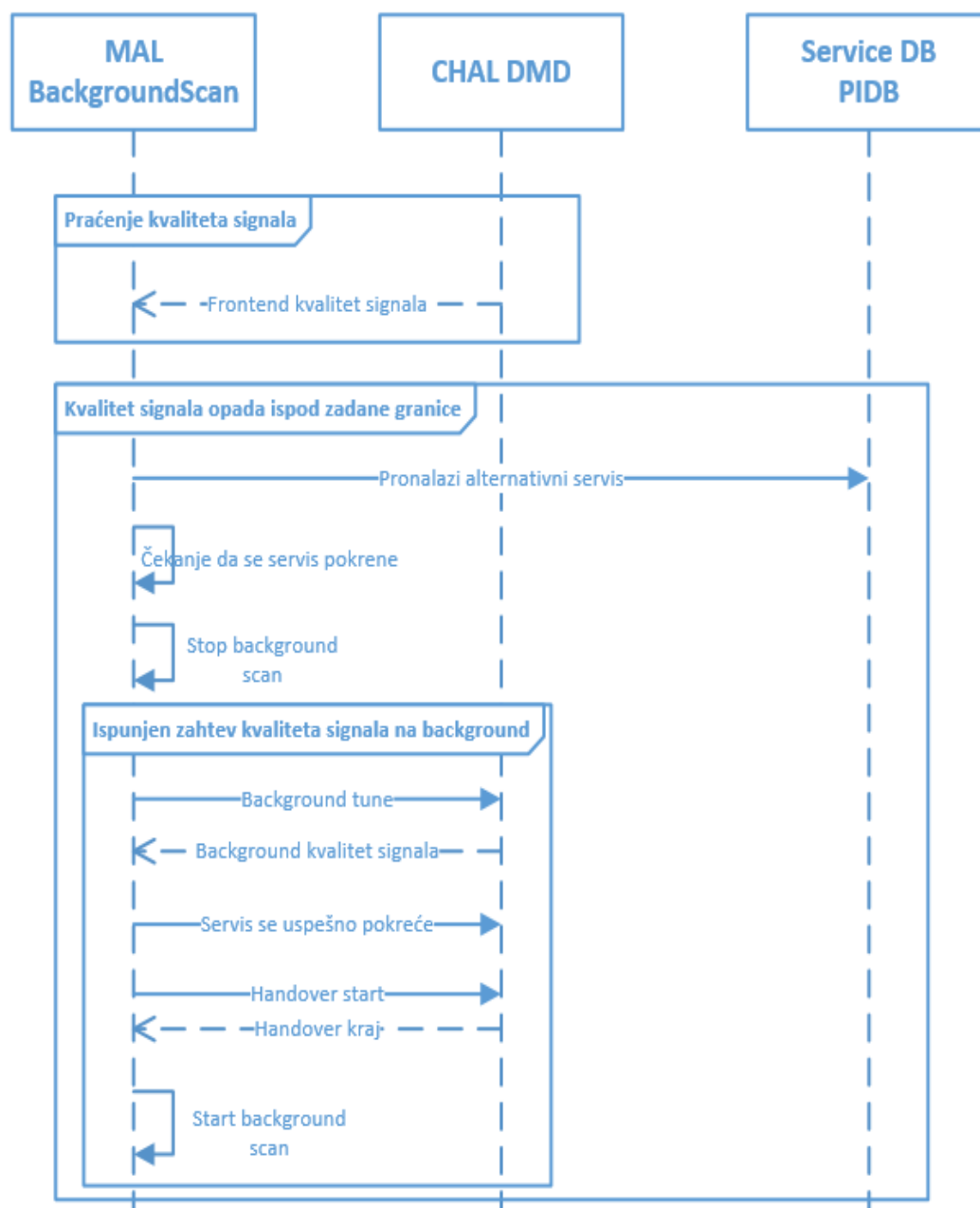
`MAL_BS_UnregisterStatusCallback` (const `MAL_BS_StatusCallbackcallback`) – funkcija koja služi za odjavljivanje funkcija povratnog poziva.



Sl. 14 Prikaz poziva funkcija MAL BackgroundScan modula

4.2 Handover

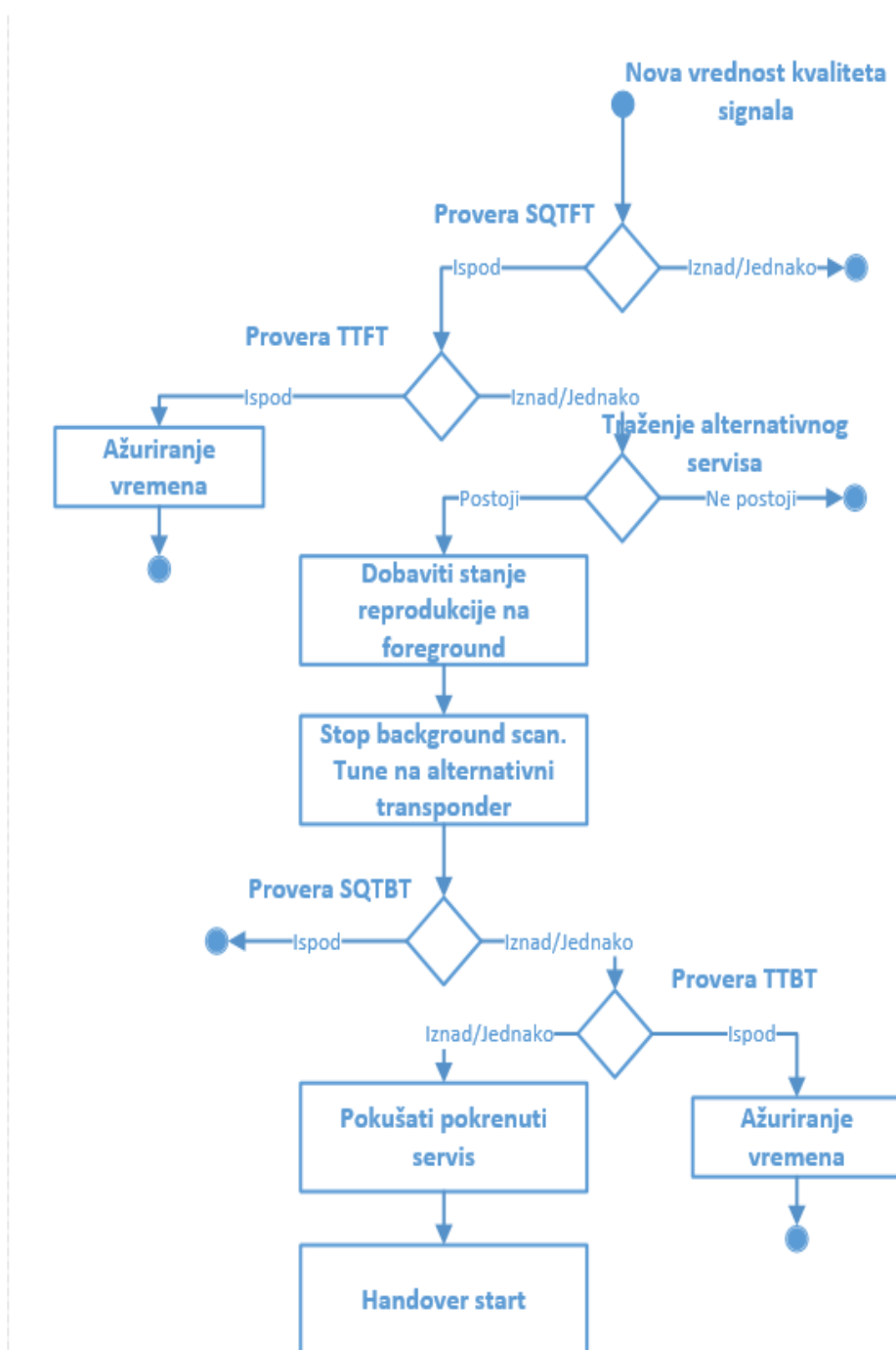
MAL backgroundscan *handover* je prikazan sa Sl. 15.



Sl. 15 Prikaz foreground/background handovera

MAL backgroundscan modul će pratiti kvalitet signala na foreground i background grupi birača kanala. Ove grupe birača kanala će biti identifikovani odgovarajućim rutama (background / foregroundintall / live rute). Kada kvalitet signala na foreground live ruti (ruta se koristi za isporuku TS sadržaja) padne ispod SQTFT za više od TTFT vremena, potraga za alternativnim servisom krenuće u listi kanala. Ako se alternativni servis pronađe, backgroundscan se zaustavlja i background grupa birača kanala se pozicionira na alternativni servis. Ako je kvalitet signala iznad SQTBT za više od TTBT vremena, *handover* mehanizam će početi, u suprotnom će se koristiti drugi alternativni servis. Ako ovi uslovi nisu ispunjeni na bilo kojem od alternativnih

servisa, neće biti pokrenut postupak *handover*. Također, ako kvalitet signala na foreground ruti postane veći od SQTFT tokom *handover*, *handover* će biti otkazan. Informacije o svim događajima tokom *handover* procesa su propagirane od korisnika MAL programske podrške. Ako se TTFT i TTBT postavljene na nulu, *handover* će se aktivirati odmah ako kvalitet signala na foreground grupi birača kanala padne ispod SQTFT i kvalitet signala na background grupi birača kanala iznad SQTBT (Sl. 16).



Sl. 16 Algoritam praćenja kvaliteta signala

Uticaj *handover* na krajnjeg korisnika je minimalno. Tokom *handover* procesa reprodukcija servisa treba da je omogućena korisniku.

Algoritam praćenja kvaliteta signala mora da bude fleksibilan, posebno u svrhu verifikacije funkcionalnosti na terenu. Na osnovu ovog zahteva, svi relevantni parametri algoritma se mogu menjati kroz funkcije MAL programske sprege.

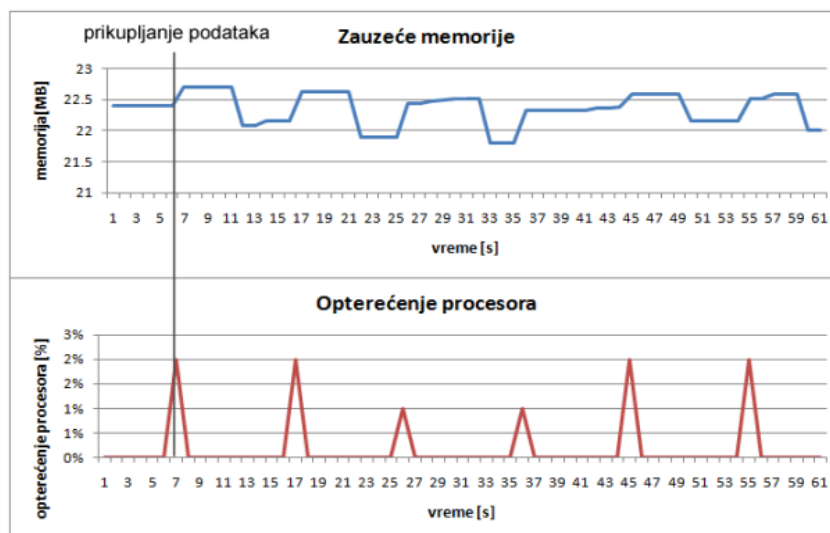
5. Ispitivanje i verifikacija

5.1 Ispitivanje rešenja

Ispitivanje ispravne implementacije rešenja je obuhvatalo merenje zauzeća operativne memorije, opterećenja procesora i proveru kvaliteta napisanog koda. Za ispitivanje je korišćena ugrađena Linux komanda “top”. Top komanda ispisuje listu aktivnih procesa sa statistikom iskorišćenja resursa platforme.

Ispitivanje je pokazalo da algoritam za prelazak na alternativni servis najviše vremena provodi u stanju mirovanja, tj. koristi manje od 0.5% procesorskog vremena. Prilikom prikupljanja podataka o kvalitetu signala servisa prelazi u aktivno stanje i opterećenje procesora poraste do 2% na kratak vremenski period. Prosečno zauzeće operativne memorije od strane algoritma za prelazak na alternativni servis iznosi 22.35MB. Prelazak između aktivnog stanja i stanja mirovanja se jasno može videti na Sl. 17.

Rezultati pokazuju da je prosečna složenost funkcija u algoritmu prelaska na alternativni servis 4.26 po McCabe [7] indeksu što ukazuje na to da se predstavljeno rešenje sastoji od grupe malih modula sa malim rizikom pojave grešaka.



Sl. 17 Grafici opterećenja sistema

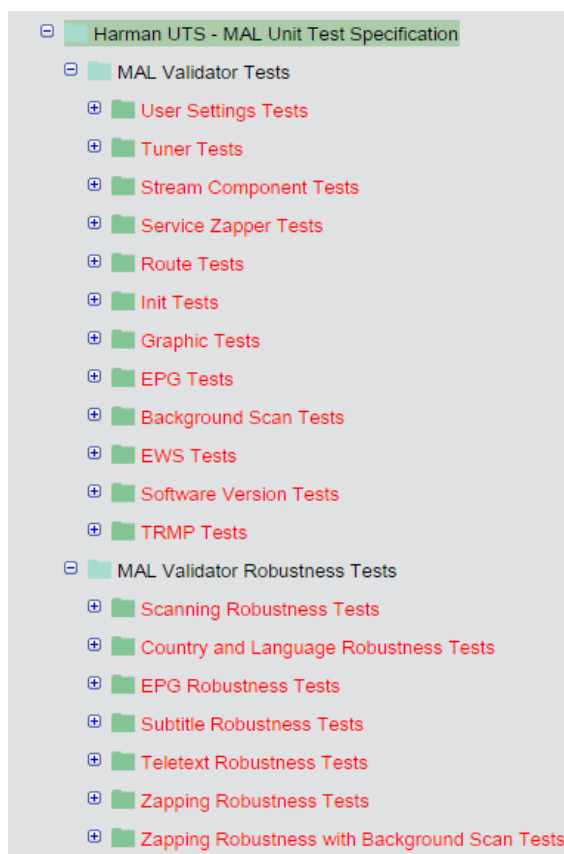
5.2 Verifikacija rešenja

Provera ispravnosti rada je izvršena korišćenjem alata za proveru ispravnosti CHAL blokova koji se naziva CHAL Validator. CHAL Validator sadrži niz provera ispravnosti svih blokova CHAL sloja (Sl. 18). Provere ispravnosti unutar CHAL Validator obuhvataju situacije koje se mogu dogoditi u toku rada sistema koji koristi Comedia programsku podršku, odnosno CHAL. Svaka od tih provera ispravnosti se sastoji od niza funkcija, nakon čijih se poziva njihova povratna vrednost upoređuje sa željenom povratnom vrednosti i tako se dobija ocena ispravnosti i sigurnosti rada bloka koji se ispituje. CHAL Validator je aplikacija koja se pokreće iz komandne linije. Aplikacijom se upravlja unošenjem odgovarajućih komandi, a provere ispravnosti se pokreću unošenjem željenih modula koji predstavljaju blok CHAL sloja i funkciju, odnosno situaciju koja se ispituje.



Sl. 18 Prikaz modula koji se testiraju u okviru CHAL Validatora

Provera ispravnosti rada je izvršena korišćenjem alata za proveru ispravnosti MAL blokova koji se naziva MAL Validator (Sl. 19). MAL Validator sadrži niz provera ispravnosti svih blokova MAL sloja.



Sl. 19 Prikaz modula koji se testiraju u okviru MAL Validatora

5.3 Ispitivanje MAL Background Scan modula

U ovom poglavlju vršeno je ispitivanje MAL Background Scan modula, koji je realizovan kao potpuno novi deo programske podrške, i celokupne programske podrške zajedno. Vršeno je ispitivanje funkcionalnosti pozadinske pretrage kanala i istovremene reprodukcije servisa.

Merena je brzina pretrage frekvenciskog opsega sa različitim brojem servisa. Testirani su DVB-T i ISDB-T standardi, izmerena vremena su prikazane u Tabela 1. Dok su u Tabela 2 prikazani korišćeni servisi DVB-T, odnosno ISDB-T.

	Pet frekvencija	Tri frekvencije	Dve frekvencije	Jedna frekvencija
DVB-T	- Broj servisa: 51. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1, 2, 3, 4, 5. - Vreme izvršavanja: ~1min and 38sec.	- Broj servisa : 42. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1, 2, 3. - Vreme izvršavanja: ~1min and 8sec.	- Broj servisa : 32. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1, 2. - Vreme izvršavanja : ~48sec.	- Broj servisa : 28. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1. - Vreme izvršavanja: ~39sec. - Broj servisa : 7. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 5. - Vreme izvršavanja: ~20sec. - Broj servisa : 3. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 6. - Vreme izvršavanja: ~18sec.
ISDB-T	- Broj servisa : 17. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1, 2, 3, 4, 5. - Vreme izvršavanja : ~64sec.	- Broj servisa : 11. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1, 2, 3. - Vreme izvršavanja: ~47sec.	- Broj servisa : 8. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1, 2. - Vreme izvršavanja : ~27sec.	- Broj servisa : 4. - Korišćeni servisi (Tabla2) : 1. - Vreme izvršavanja: ~19sec.

Tabela 1 Trajanje pozadinskog skeniranja

DVB-T
1. Brescia_20150304-104443-690000-1. 2. ORF1_281109_JamesRyan_2012-2018. 3. Lithuania_594MHz_TS_record_2009_07_19. 4. rbb_T_738Mhz_9Feb_14h10min_10min. 5. dvb-t_818Mhz. 6. DVB-T_587_France_Reims_HDStations.ts.
ISDB-T
1. isdbt-small. 2. TV_TOKYO_ISDBT. 3. ch20_2_09Jan08. 4. 05_ID62_EWSTest_Kinki_earthquake. 5. ID62_EWSTest_Hokkaido_tidal_wave_end.

Tabela 2 *Pregled testnih servisa*

6. Zaključak

U ovom radu je realizovan mehanizam za prelazak na alternativne servise na mobilnim, višesantenskim DTV prijemnicima zasnovanim na Linux operativnom sistemu. Rešenje je ispitivano na ciljnoj fizičkoj arhitekturi sa Comedia programskom podrškom televizijskog prijemnika. Ciljni operativni sistem je Linux operativni sistem.

Dat je prikaz realizacije mehanizma prelaska na alternativni servis i proširenje postojeće programske podrške digitalnog prijemnika. Detaljno su opisani svi nivoi programske podrške ciljne platforme. Programsko rešenje je realizovano modularno da bi se mehanizam lako proširivao.

Mehanizam prelaska na alternativni servis se može verifikovati tokom kretanja automobila između različitih frekvencijskih područja. Korisnik ne bi trebao da bude svestan ovog koncepta, odnosno korisnik bi trebao da nesmetano koristi sve funkcionalnosti digitalne televizije, a da u pozadini dolazi do promene na alternativnu frekvenciju tj. promenu servisa ukoliko je to potrebno.

Fokus daljeg rada će biti na optimizaciji mehanizma prelaska na alternativni servis po pitanju potrošnje operativne memorije i na integraciji rešenja u druge platforme.

7. Literatura

- [1] Walter Fischer: "Digital Video and Audio Broadcasting Technology" , Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008
- [2] iWidia, dostupno na: <http://www.iwedia.com>
- [3] Vladimir Kovačević: "Logičko projektovanje računarskih sistema I –projektovanje digitalnih sistema", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, 2001
- [4] ARIB," Operational guidelines for digital terrestrial television broadcasting" , ARIB TR-B14 version, 2008
- [5] G. Faria, "Mobile DVB-T using antenna diversity receivers", Harris Broadcast Communications, France.
- [6] Y. Tokgoz and B. D. Rao, "The effect of imperfect channel estimation on the performance of maximal ratio combining in the presence of cochannel interference", IEEE Trans. Vehic. Technol, vol. 55, No.5, pp.1527-1534, September 2006.
- [7] B. Curtis, S.B. Sheppard, P. Millman, M.A. Borst and T. Love, "Measuring the Psychological Complexity of Software Maintenance tasks with the Halstead and McCabe Metrics", IEEE Trans. on Software Engineering (Volume: SE-5, Issue 2, March 1979).