



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Никола Васиљевски

**Једно решење интеграције програмске подршке
Bluetooth протокола на дигиталним ТВ
пријемницима**

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 :	Никола Васиљевски
Ментор, МН :	Проф. др Никола Теслић
Наслов рада, НР :	Једно решење интеграције програмске подршке Bluetooth протокола на дигиталним ТВ пријемницима
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)	6/55/0/19/9/0/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Дигитални телевизијски пријемник, Bluetooth, интеграција
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	Овај рад описује имплементацију и примену Bluetooth технологије на ТВ пријемнику. Циљ примене ове технологије је проширење стандардних могућности ТВ уређаја новим опцијама заснованим на бежичној комуникацији са другим уређајима у непосредној близини.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: доц. др Милан Бјелица
	Члан: ванр. проф. др Растислав Струхарик
	Члан, ментор: проф. др Никола Теслић
	Потпис ментора



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

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 :	Nikola Vasiljevski		
Mentor, MN :	PhD Nikola Teslić		
Title, TI :	One solution of Bluetooth protocol software integration on digital TV 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 sq. 6		
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/55/0/19/9/0/0		
Scientific field, SF :	Electrical Engineering		
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems		
Subject/Key words, S/KW :	Digital television receiver, Bluetooth, integration		
UC			
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia		
Note, N :			
Abstract, AB :	This paper describes implementation and application of Bluetooth technology on TV sets. The goal of applying this technology is to expand standard set of features with new options based on wireless communication with nearby devices.		
Accepted by the Scientific Board on, ASB :			
Defended on, DE :			
Defended Board, DB :	President:	PhD Milan Bjelica	Menthor's sign
	Member:	PhD Rastislav Struharik	
	Member, Mentor:	PhD Nikola Teslić	

Zahvalnost

Zahvaljujem se akademskom mentoru prof. Dr. Nikoli Tesliću i tehničkom mentoru Tihomiru Anđeliću na pomoći pri izradi ovog rada.

Posebno se zahvaljujem porodici, svim prijateljima i kolegama na podršci i pomoći prilikom izrade ovog rada.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Teorijske osnove	3
2.1 Arhitektura DTV platforme.....	3
2.2 Arhitektura programske podrške DTV uređaja	4
2.2.1 Aplikativni sloj	5
2.2.2 Sprežni sloj	5
2.2.3 Adaptivni sloj.....	5
2.2.4 Operativni sistem	6
2.2.5 Upravljačka programska podrška	6
2.3 Bluetooth	6
2.3.1 Piconet	8
2.3.2 Bluetooth Protokol.....	8
2.3.3 Profili	9
2.3.3.1 A2DP	9
2.3.3.2 HID	10
2.3.3.3 3DS	11
3. Koncept rešenja.....	13
3.1 Ciljna platforma.....	13
3.2 BCM1200-BTE	15
4. Realizacija.....	16
4.1 Prevođenje upravljačkih programa.....	16
4.2 Verifikacija upravljačkih programa na platformi.....	17
4.3 Integracija upravljačkih programa	18

4.4	Adaptacioni Bluetooth programski modul	18
4.4.1	Detekcija fizičkog Bluetooth modula	18
4.4.2	Osnovna Bluetooth funkcionalnost.....	20
4.4.2.1	Podešavanje fizičkog Bluetooth modula	20
4.4.2.2	Pretraga po klasi uređaja i servisa	23
4.4.2.3	Uparivanje i povezivanje	24
4.4.3	Inicijalizacija profila	27
4.4.3.1	Inicijalizacija 3DS profila.....	27
4.4.3.2	Inicijalizacija HID profila.....	28
4.4.3.3	Inicijalizacija A2DP profila.....	29
4.4.4	Programska podrška profila	31
4.5	Bluetooth modul sprežnog sloja	32
4.6	Grafička korisnička sprega.....	34
4.6.1	Integracija unutar glavne DTV aplikacije.....	34
4.6.2	Dialog za upravljanje Bluetooth daljinskim upravljačima	34
4.6.3	Dialog za upravljanje Bluetooth zvučnim uređajima	38
5.	Testiranje	40
5.1	Upravljanje televizorom.....	40
5.2	Slanje zvučnog toka na Bluetooth zvučni uređaj	42
5.3	Sinhronizacija 3D naočara	43
6.	Zaključak	44
7.	Literatura.....	46

SPISAK SLIKA

2.1 Arhitektura DTV platforme.....	3
2.2 Slojevi DTV programske podrške.....	4
2.3 Piconet.....	8
2.4 Pojednostavljen stack protokola.....	8
2.5 Model A2DP protokola	9
2.6 Scenario personalnog računara	11
2.7 Bluetooth 3D sistem.....	12
2.8 Timing sistem dvostrukog video toka	12
3.1 Referentni modul BCM20705.....	14
3.2 Funkcionalni blok diagram	14
3.3 Arhitektura gornjeg sloja BCM1200-BTE.....	15
4.1 Diagram pokretanja BSA servera.....	32
4.2 Povezivanje zvučnih uređaja.....	33
4.3 Lista pronađenih uređaja	35
4.4 Dialog sa potvrdom uparivanja	36
4.5 „More“ dialog.....	37
4.6 Lista uređaja	37
4.7 Lista audio uređaja	38
4.8 Uspešno uspostavljena veza	39

SPISAK TABELA

Tabela 1. Klase uređaja	7
Tabela 2 Maksimalan protok u zavisnosti od verzije	7
Tabela 3 Definicija paketa podataka	29
Tabela 4 Uparivanje uređaja	40
Tabela 5 Upravljanje pomoću touchpad-a	41
Tabela 6 Uklanjanje uređaja	41
Tabela 7 Povezivanje Bluetooth zvučnog uređaja	42
Tabela 8 Automatsko povezivanje nakon ponovnog pokretanja DTV sistema	42
Tabela 9 3D funkcionalnost	43

SKRAĆENICE

CPU	- <i>Central Processor Unit</i> , Centralni procesor
SoC	- System on a Chip
DTV	- Digitalna televizija
SVG	- Skalabilna vektorska grafika (Scalable Vector Graphics)
ACL	- Asynchronous Connection-Less komunikacioni protocol
API	- Application Programming Interface, aplikativna programska spreg
A2DP	- Advanced audio distribution profile
HSP	- Headset profile
HID	- Human interface device profile
3DSP	- Bluetooth 3D synchronization profile
3DD	– Bluetooth 3D Display
3DG	– Bluetooth 3D Glasses

1. Uvod

Od početka komercijalnog korišćenja televizijskih aparata, davnih 1920-tih, do danas, televizija je pretrpela nekoliko značajnih promena koje su sa sobom donosile i nove mogućnosti samih televizijskih aparata. Prva veća promena desila se 1960-tih godina sa pojavom televizora koji su pružali mogućnost reprodukcije slike u boji. Nakon toga čekalo se 40 godina do pojave digitalnog video signala, nakon 2000-te godine. Dolazimo tako do trenda koji je i danas aktuelan, a počeo je od 2010 godine, takozvanih Smart televizora (pametnih televizora). Pored standardnih komponenti koji omogućuju reprodukciju DTV (Digital television – digitalna televizija) signala. Smart televizori omogućuju povezivanje sa Internetom, snimaju DTV sadržaj, reprodukciju hibridnog sadržaja (HBB TV, MHEG), glasovno upravljanje uređajem, pristup personalizovanom sadržaju, elektronski programski vodič itd. Iako ograničenih resursa, mogućnosti Smart televizora značajno su se približile mogućnostima standardnog personalnog računara. Time su se stvorile mogućnosti integracije mnogih popularnih tehnologija koje su do sada bile dostupne samo na personalnim računarima. Kod integracije nove tehnologije kod televizijskih uređaja neophodno je staviti akcenat na lakoću korišćenja. Bluetooth, kao vodeća bežična tehnologija zastupljena u svim modernim prenosivim uređajima, ima za cilj da omogući korisnicima jednostavan i siguran način povezivanja televizora sa drugim uređajima kao što je daljinski upravljač sa tastaturom ili dodatni zvučnik. Ne zahteva postojanje infrastrukture, uređaji su sposobni da samostalno pronađu jedni druge i uspostave vezu bez posrednika. Kada se uređaji jednom upare preko Bluetooth veze, nakon sledećeg pokušaja uspostavljanja veze uređaji će samostalno, u pozadini, izvršiti sve potrebne akcije definisane protokolima koji su potrebni za izvršavanje željene akcije. Na ovaj način, sa strane korisnika se stiče utisak jednostavnosti i lakoće korišćenja.

U ovom radu je predstavljeno jedno rešenje integracije Bluetooth programske podrške unutar postojeće DTV programske podrške koja je bazirana na Linux operativnom sistemu. Cilj rada je implementirati podršku za sledeće funkcionalnosti:

- Upravljanje televizorom pomoću daljinskog upravljača sa tastaturom i podlogom osetljivom na dodir
- Slanje zvučnog toka podataka na dodatni zvučnik (eng. SoundBar) ili Bluetooth slušalice
- Omogućiti gledanje 3D sadržaja pomoću 3D aktivnih naočara.

Rad je sačinjen od sedam poglavlja.

Poglavlje 2 daje kratak pregled teorijskih osnova digitalne televizije i Bluetooth tehnologije. Pored toga navedeni su i neki od uobičajenih slučajeva primene tehnologije.

Poglavlje, 3, daje opis ciljne platforme na kojoj je rađena integracija predloženog rešenja.

Poglavlje 4 daje detaljan opis implementacije softverske podrške koja je razvijena prilikom integracije Bluetooth tehnologije u postojeću arhitekturu softverske podrške ciljne platforme. Detaljno su opisani koraci integracije, od integracije upravljačkih programa fizičkog Bluetooth modula i njegove verifikacije, preko implementacije programskih modula u adaptacionom i sprežnom sloju, do proširenja grafičke korisničke sprege.

Poglavlje 5 prikazuje korake i rezultat nekoliko najvažnijih testova koji su korišćeni prilikom verifikacije datog rešenja.

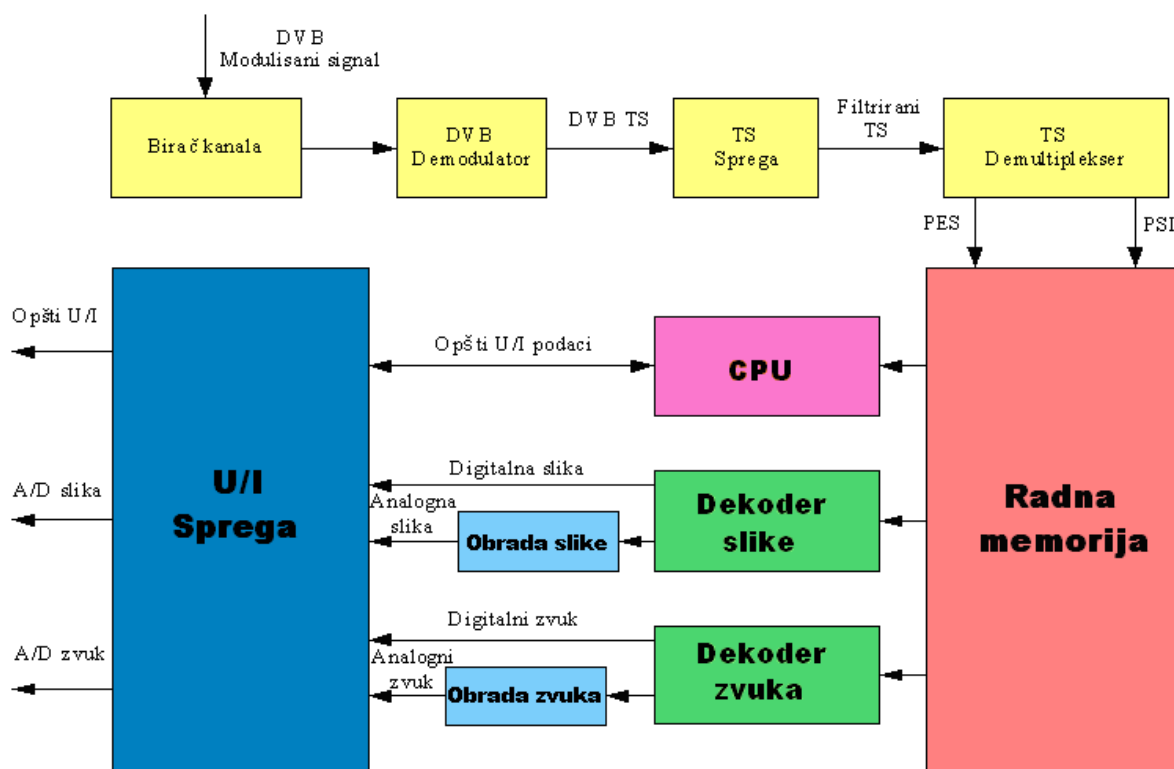
U poglavlju 6, dat je zaključak istraživanja kao i ideje za dalji razvoj i proširenja.

Poglavlje 7, navodi korišćenu literaturu prilikom izrade ovog rada.

2. Teorijske osnove

2.1 Arhitektura DTV platforme

Razvojna platforma svakog digitalnog TV uređaja se sastoji od skupa, međusobno spregnutih, integrisanih kola, kojima upravlja centralni procesor. Osnova arhitekture ovog sistema je osnova bilo kog računarskog sistema (procesor, radna memorija i ulazno/izlazni podsistem). Centralni procesor upravlja procesima koji se izvršavaju u sistemu (izdvajanje podataka, dekodovanje, prikaz, ...) po unapred zadatom programu (programskoj podršci). Programska podrška se čuva u stalnoj memoriji (fleš memorija).



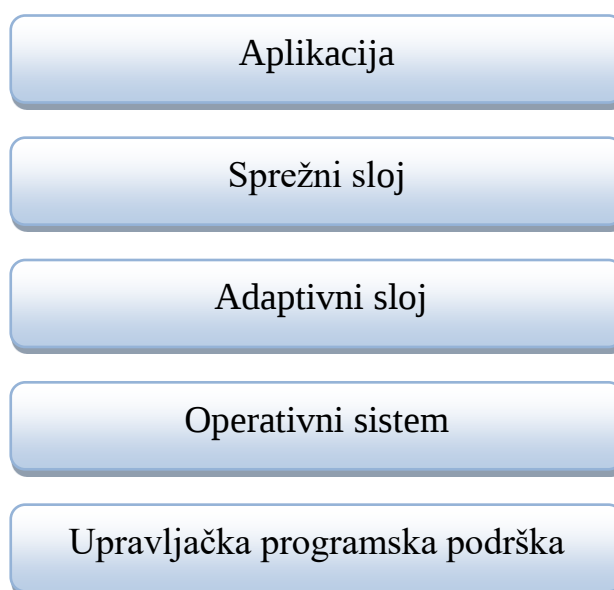
2.1 Arhitektura DTV platforme

Ovakav sistem je složen i može da izvrši veliki broj operacija nad primljenim TV signalom. Moduliran signal stiže u prijemnik kroz birač kanala (eng. tuner). Dalje se vrši demodulacija i izdvaja se prenosni tok podataka (eng. Transport Stream). Iz njega se, u demultiplekseru, izdvajaju paketski elementarni tokovi podataka (eng. Packetized Elementary Stream), kao i kontrolni podaci (eng. Program Specific Information), tabele servisnih informacija (eng. Service Information Tables), privatni podaci itd. Izdvojeni podaci se smeštaju u radnu memoriju odakle se dalje obrađuju u procesoru, audio ili video dekomerima.

2.2 Arhitektura programske podrške DTV uređaja

Arhitektura programske podrške podeljena je u pet slojeva:

- Aplikativni
- Sprežni
- Adaptivni
- Operativni sistem
- Upravljačka programska podrška



2.2 Slojevi DTV programske podrške

Svaki od slojeva ima svoju ulogu u sistemu i u mogućnosti je da uradi određenu vrstu operacija da bi se obezbedila tražena funkcionalnost. Komunikacija između slojeva moguća je po vertikalnom modelu koji je prikazan na slici 2.1. Svaki sloj može slati zahteve isključivo sloju ispod njega, isto tako poruke koje dolaze prema sloju mogu doći samo od sloja koji je direktno ispod.

2.2.1 Aplikativni sloj

Aplikativni sloj se naslanja na sprežni sloj i ima ulogu da na intuitivan način omogući interakciju korisnika sa uređajem pomoću grafičke korisničke sprege. Pristup kreiranja grafičke korisničke sprege, je veoma specifičan i razlikuje se od standardnog pristupa. Po pitanju sistemskih resursa, ovaj sloj je najzahtevniji. U zavisnosti od broja OSD slojeva i same rezolucije povećava se količina memorije, radne i grafičke, koja je potrebna.

Platforma korišćena u ovom radu, korisničku grafičku spregu bazira na SVG (eng. Scalable Vector Graphics) formatu. Primenom ovog slika koji je baziran na vektorskim objektima umesto na rasterskim mapama, na elegantan način se rešava problem različitih rezolucija.

2.2.2 Sprežni sloj

Kao najvažniji sloj u celoj arhitekturi, sprežni sloj obezbeđuje usluge višeg nivoa koje su sastavni deo DTV funkcionalnosti. Kontrola i realizacija najvažnijih operacija: interpretiranje DVB podataka, podrška za snimanje, organizacija servisa itd izvršava se u okviru ovog sloja. Na ovaj način se obezbeđuje programska sprega koja, na neki način, maskira kompleksnost DTV funkcionalnosti, operativnog sistema i upravljačkih programa, čime je omogućeno da se programska podrška aplikativnog DTV sloja može razvijati bez poznavanja specifičnosti same DTV platforme. Na taj način omogućeno je da jedna DTV platforma može podržati više različitih aplikacija.

2.2.3 Adaptivni sloj

Njegova uloga je da napravi vezu između sprežnog sloja i operativnog sistema, tako što generalne zahteve koji dolaze sa višeg sloja raščlanjuje na skup specifičnih instrukcija u zavisnosti od mogućnosti platforme. Na ovaj način viši slojevi mogu ostati nepromenjeni u slučaju da dođe do promene DTV platforme. Omogućava razvoj viših programskih slojeva bez detaljnog poznavanja arhitekture korišćene platforme. Adaptivni sloj se deli na: sistemske funkcije (programske niti, semafori, vremenske kontrole) i DVB programske module (audio, video, demultiplekser, demodulator, itd.).

2.2.4 Operativni sistem

Neke od najvažnijih uloga operativnog sistema kod DTV uređaja su upravljanje procesima, memorijom i sistemskim resursima. Pored toga sam operativni sistem mora imati veoma male zahteve po pitanju korišćenja sistemskih resursa, što zbog samih performansi sistema što zbog činjenice da DTV platforme imaju ograničene resurse u pogledu količine memorije, snage procesora itd. Zbog njegove prirode lakog prilagođavanja i otvorenog koda, Linux jezgro je najzastupljeniji kod namenskih platformi.

2.2.5 Upravljačka programska podrška

Upravljački programi vrše direktnu komunikaciju sa elementima namenske platforme. Zbog specifičnosti svake komponente ili modula koji se ugrađuju na namensku platformu, uglavnom se izvorni kod upravljačkih programa dobija od proizvođača same komponente ili modula. Oni omogućavaju operativnom sistemu da upravlja komponentama i kontroliše njihove resurse.

2.3 Bluetooth

Bluetooth tehnologija omogućava bežičnu razmenu podataka dva ili više uređaja na malom rastojanju. Dizajnirana je da poveže uređaje različitih funkcija kao što su telefoni, prenosivi računari, kamere, štampači itd. Bluetooth radi u frekventnom opsegu između 2402 do 2480 MHz ili 2400 i 2483,5 MHz ako uzmemo u obzir neiskorišćeni 2 MHz na početku i 3.5 MHz na kraju spektra dodatih kako bi se sprečile smetnje. Bazira se na radio tehnologiji FHSS (eng. Frequency Hopping Spread Spectrum), prilikom emitovanja signala brzo se menja frekvencija po pseudo slučajnom redosledu (eng. hop) koji je poznat predajniku i primaocu. Ukoliko postoji smetnja na frekvenciji ona će uticati na signal u toku trajanja jednog hop-a.

Od klase i verzije Bluetooth-a koje uređaji podržavaju, zavisi domet i maksimalan mogući protok podataka koji mogu ostvariti.

Klasa	Maksimalna dozvoljena snaga		Očekivani domet
	(mW)	(dBm)	
1	100	20	~100
2	2,5	4	~10
3	1	0	~1
4	0,5	-3	~0.5

Tabela 1. Klase uređaja

Iako očekivani domet zavisi od snage, stvaran domet može da varira u zavisnosti od spoljnih faktora. Neki od njih su konfiguracija okruženja, smetnji, trenutne snage baterije, broja prepreka itd.

Verzija	Maksimalna brzina protoka	Maksimalni domet
3.0	25 Mbit/s	
4.0	25 Mbit/s	60m
5.0	50 Mbit/s	243m

Tabela 2 Maksimalan protok u zavisnosti od verzije

Maksimalan protok može biti ostvaren na daleko manjoj razdaljini od očekivanog dometa.

Prilikom odabira klase uređaja i verzije, treba uzeti prirodu i primenu uređaja u obzir. Uređaji kojima je prioritet autonomija obično primenjuju klase 3 i 4, na primer.

Postoje dve forme Bluetooth bežičnog sistema:

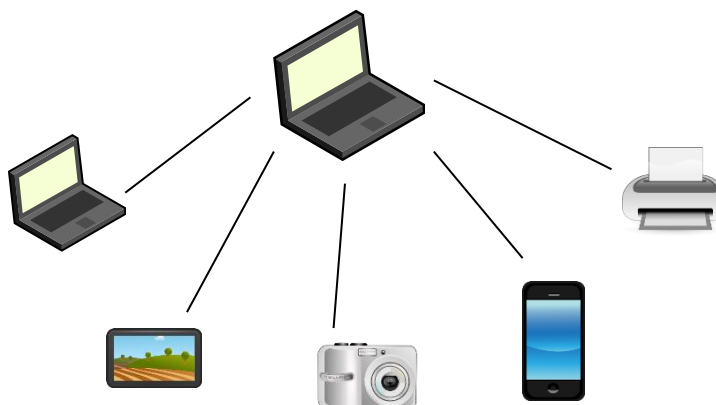
- BR– Osnovni prenos (eng. Basic rate)
- LE – Niska potrošnja (eng. Low Energy)

Oba sistema uključuju pronalaženje uređaja, uspostavljanje veze i mehanizme komunikacije.

Sistem opšteg prenosa, između ostalih, uključuje opcioni dodatak EDR (eng. Enhanced Data Rate – poboljšani prenos podataka). Ovaj sistem nudi sinhrono i asinhrono povezivanje sa brzinama prenosa podataka do 721.2 kb/s kod osnovnog prenosa i 2.1 Mb/s kod EDR-a. Sistem niske potrošnje je osmišljen kako bi mogao da se koristi na uređajima koji zahtevaju manju potrošnju električne energije, nižu složenost i manju cenu nego BR/EDR.

2.3.1 Piconet

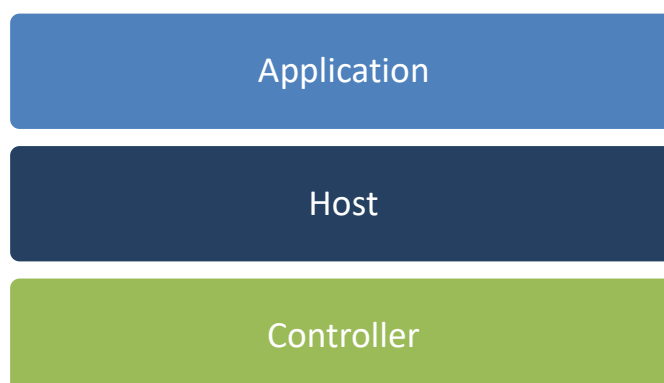
Bluetooth uređaji se međusobno pronalaze i formiraju mrežu koja se naziva piconet (Slika 2.3). Piconet iliti mala mreža može imati osam uređaja od kojih je jedan primarni dok su ostali sekundarni. U mreži može postojati isključivo jedan primarni uređaj, svi sekundarni uređaji sinhronizuju svoj takt i sekvencu skakanja po frekvencijama. Iako je maksimalan broj sekundarnih uređaja sedam, moguće je dodati i osmi sekundarni uređaj koji u tom slučaju mora biti u parkiranoj stanju.



2.3 Piconet

Pored piconet-a postoji i scatternet, koji čine dva ili više piconet-a, tada jedan uređaj simultano igra ulogu primarnog, u jednom piconetu, i ulogu sekundarnog uređaja u drugom.

2.3.2 Bluetooth Protokol



2.4 Pojednostavljen stack protokola

Prvi sloj, Aplikacija, je specifična implementacija korisničke aplikacije. Ona se oslanja na Host sloj koji predstavlja Bluetooth stack. On sadrži logičke slojeve Bluetooth arhitekture, u koje

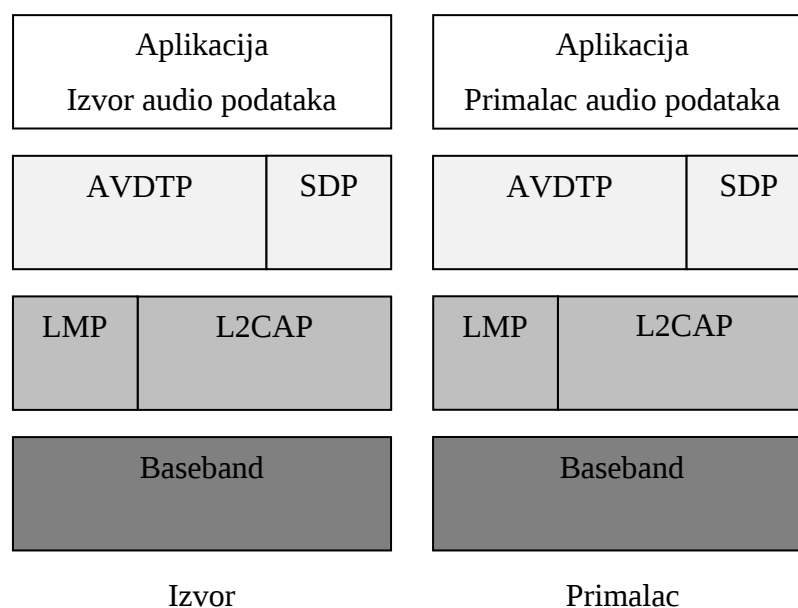
spadaju osnovna implementacija Bluetooth stack-a kao i slojevi koji podržavaju i nadograđuju njegovu funkcionalnost. Takođe Bluetooth profile su implementirani u ovom sloju. Host koristi HCI kako bi komunicirao sa kontrolerom. Kontroler čine upravljački program i fizički Bluetooth primopredajnik.

2.3.3 Profili

Profili su definicije mogućih primena Bluetooth tehnologije i definišu opšti način komuniciranja između uređaja. U zavisnosti od primene, potrebno je da uređaj podržava određene profile, od “slobodne ruke” mogućnosti do detektor otkucaja srca i mnogo drugih. Kako bi Bluetooth uređaji bili kompatibilni moraju podržavati iste profile. Treba imati u vidu da iako opisuju iste slučajeve korišćenja, profili Bluetooth BR/EDR i LE implementacije zahtevaju kontroler sa dvostrukim režimom rada na barem jednom od uređaja. Posmatrajući sa aspekta primene u DTV tehnici interesantni profili su A2DP, HID i 3DS.

2.3.3.1 A2DP

Ovaj profile definiše protokole i procedure koje su potrebne za distribuciju audio sadržaja visokog kvaliteta, mono ili stereo koristeći ACL kanale. ACL je specifičan tip veze koji se koristi u slučajevima kada je integritet podataka bitniji od vremena odziva prilikom slanja. Pored slanja zvuka, ovaj profil definiše i mogućnost kontrole uređaja koji šalje podatke sa strane uređaja koji te podatke prima, slanjem jednostavnih komandi.



2.5 Model A2DP protokola

Baseband, LMP (eng. Link Manager Protocol), L2CAP (eng. Logical Link Control and Adaptation Protocol) i SDP (eng. Service Discovery Protocol) su definisani u osnovnoj Bluetooth specifikaciji. Baseband je fizički Bluetooth sloj koji upravlja fizičkim kanalima i vezama. LMP je zadužen za uspostavljanje veze, autentifikaciju, konfiguraciju veze i ostalih protokola. L2CAP prosleđuje podatke u korist protokola viših slojeva, omogućava njihovo multiplexiranje, segmentiranje i ponovno grupisanje. SDP omogućava uređajima da otkriju koji servisi su podržani i koje parametre je potrebno proslediti prilikom povezivanja,

AVDTP se sastoji od signalnog elementa za dogovaranje parametara toka podataka i transportnog elementa koji upravlja samim prenosom. Sloj aplikacije definiše primenjive servise i parametre transportnog servisa. Konfiguracije i uloge koje su definisane za uređaje koje implementiraju ovaj profil su:

- **Source** (SRC) – uređaj se naziva SRC kada se ponaša kao izvor digitalnog zvučnog toka podataka koji se isporučuje SNK unutar piconet-a.
- **Sink** (SNK) – uređaj se naziva SNK kada se ponaša kao primalac digitalnog zvučnog toka podataka koji se šalje od strane SRC unutar istog piconet-a

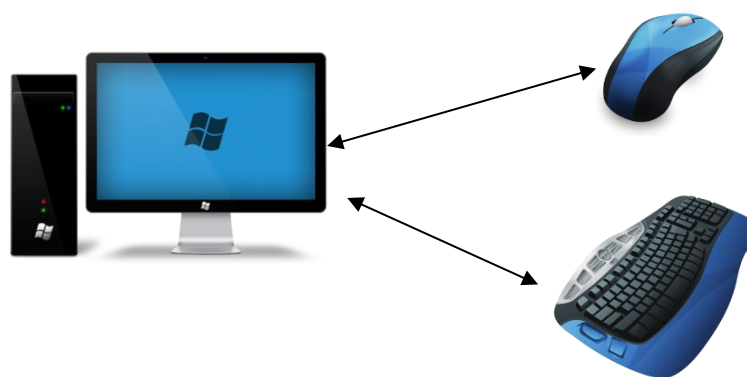
Kako bi obezbedili interoperabilnost, uređaji koji implementiraju ovaj profil, su u obavezi da podrže sub-band kodek niske kompleksnosti (SBC). U zavisnosti od uloge, potrebno je da uređaj implementira SBC koder SRC, i SBC dekodek kada je SNK. Postoje i opcioni kodeci koji se mogu koristiti kako bi se maksimalno iskoristila prednost određene platforme. U slučaju kada SRC podržava korišćenje ne obaveznih kodeka, potrebno je implementirati mehanizam konverziju u SBC u slučaju da neki od SNK uređaja nije u mogućnosti da dekoduje opcioni kodek.

2.3.3.2 HID

Definiše protokole, procedure i karakteristike koje koriste Bluetooth HID (eng. Human Interface Device) uređaji i Bluetooth HID domaćini (eng. Host)

- Bluetooth HID uređaj pruža uslugu posrednog ili neposrednog unosa podataka i slanje prema ili od Bluetooth HID Host-a. Primer ovih uređaja su tastatura, miš, komandna palica (eng. joystick), daljinski upravljač i drugi.
- Bluetooth HID Host je uređaj koji koristi ili zahteva usluge Bluetooth HID uređaja. Primer bi bio personalni računar, ručni računar, igračka konzola, televizor, itd.

Sama specifikacija uključuje popriličan deo USB (Universal Serial Bus) definicije klase uređaja za ljudski pristup (HID)[2] kako bi iskoristila postojeću podršku USB HID uređaja u mnogim računarskim uređajima.



2.6 Scenario personalnog računara

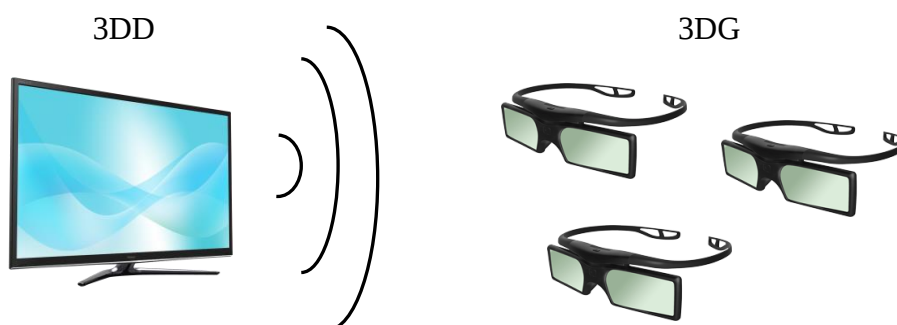
Neki od scenarija u kojima krajnji korisnici koriste ili mogu da koriste Bluetooth HID profil su:

- Scenario personalnog računara – omogućava korisniku da se otarasi kablova i da upravljaju svojim računarom sa veće razdaljine i u pozicijama koje im više odgovaraju. Moguće je menjati ulazne uređaje bez potrebe da se uključe ili isključe. Sigurnosne mere koje implementiraju Bluetooth tastature onemogućavaju “prisluškivanje” osetljivih podataka koji se šalju preko Bluetooth veze.
- Scenario dnevne sobe – primenom Bluetooth HID profila kod igračkih kontrolera korisnici više nisu vezani za igrački uređaj, već mogu sedeti prijatno u granicama standarde dnevne sobe. Sam igrački kontroler, uz pomoć Bluetooth tehnologije, može takođe da omogući slanje i primanje zvučnih informacija. Televizori novije generacije (Smart televizori) mogu iskoristiti Bluetooth HID ulazne uređaje, tastatura i pokazivači omogućuju mnogo bolje korisničko iskustvo od standardnih infracrvenih bežičnih tastatura. Takođe, nije im potrebno da budu u liniji vidljivosti sa uređajem koji prima komande.

2.3.3.3 3DS

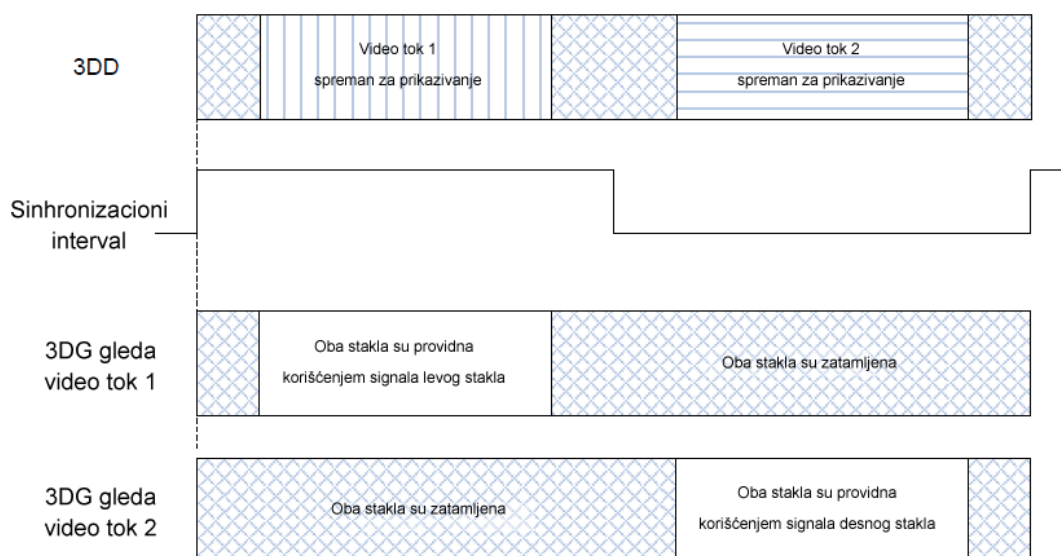
3DS (eng. 3D Synchronization) profil pruža sredstva putem kojih uređaji koji prikazuju 3D sadržaj (3DD) podržava jedan ili više pari 3D naočara (3DG) uz pomoć Bluetooth tehnologije. Takođe uključuje i mehanizam koji omogućava da 3D naočare pronađu i povežu se sa uređajem koji prikazuje 3D sadržaj, sinhronizuju sa signalom uređaja koji prikazuje 3D sadržaj i format poruka između uređaja i 3D naočari. Ovaj profil definiše ponašanje sistema koji se sastoji od jednog uređaja koji šalje 3D signal pomoću kog se vrši sinhronizacija jednog ili više pridruženih pari 3D naočara. Korisnikov stereoskopski 3D doživljaj se kreira prikazivanjem različitih slika

levom i desnom oku. Kako bi čovek stekao utisak dubine na ekranu svako oko mora da vidi delimično drugačiju sliku. U idealnim uslovima, slika za desno oko ne bi trebala da bude vidljiva levom, i obrnuto. 3D naočare koriste signalnu informaciju, koja dolazi sa uređaja koji reprodukuje 3D sadržaj, zatvaranja iliti zatamnjenja tako da se leva slika prikazuje samo levom oku a desna desnom oku.



2.7 Bluetooth 3D sistem

Pored osnovnog načina rada, postoji i način rada dvostruki pogled (eng. DualView). 3DD može prikazivati dve totalno različite 2D slike dvema različitim 3DG-ovima ili različitim grupama 3DG-ova. Najbolji primer primene je prilikom igranja video igara, kada umesto podeljenog ekrana svaki igrač vidi, kroz naočare, celokupan sadržaj preko celog ekrana. U ovom slučaju umesto da naočare zatamne desno pa levo staklo, one prikazuju ili sakrivaju sliku za jednog odnosno drugog gledaoca (igrača).



2.8 Tajming sistem dvostrukog video toka

3. Koncept rešenja

Postojeća programska podrška ni u jednom sloju ne sadrži podršku Bluetooth funkcionalnosti, te je potrebno dodati odgovarajuće izmene u svakom sloju kako bi omogućili pravilan rad Bluetooth funkcionalnosti.

3.1 Ciljna platforma

Ciljana platforma je DTV namenska platforma bazirana na Mstar MSD8WB9MVK SoC (eng. Sistem-on-Chip) rešenju baziranom na ARM arhitekturi. Ovo integrisano kolo je iDTV rešenje sa jednim čipom koje podržava demultipleksiranje prenosnog toka podataka, dekodovanje video sadržaja različitih formata i funkcionalnosti medija centra sa svojim AV COD99EC procesorom visokih performansi i CPU-om. Takođe ovo integrisano kolo podržava dekodovanje i prikaz 4K2K rezoluciju (UHD).

Neke od ključnih karakteristika su:

- Digitalni i analogni modulator
- Multi-standardni Audio/Video dekodeer (MPEG-2, MPEG-4, H.264...)
- Zvučni procesor visokog kvaliteta
- Internet i mogućnost povezivanja na različite servise (DLNA, Miracast..) putem LAN ili WiFi veze.
- Dekoder dvostrukog toka podataka za 3D sadržaj
- Napredni dvojezgarni CPU sa L2 kešom
- 2Gb DDR3 radne memorije
- 32Gbit NAND fleš memorije

Neke od podržanih periferija su:

- 1 RF ulaz
- 1 ulaz za satelitski signal

- 4 HDMI ulaza
- 2xUSB3.0 i 1xUSB2.0
- 1 Mrežni priključak



3.1 Referentni modul BCM20705

DBUB-S705 Bluetooth modul korišćen u ovom radu je baziran na BCM20705 čipu. Neke od ključnih osobina ovog čipa su:

- Podržava Bluetooth specifikaciju 4.1 + EDR
- Programabilnu kontrolu snage koja može odgovarati Class 1, Class 2 i Class 3 zahtevima
- Veoma niska potrošnja električne energije
- Baziran je na ARM arhitekturi

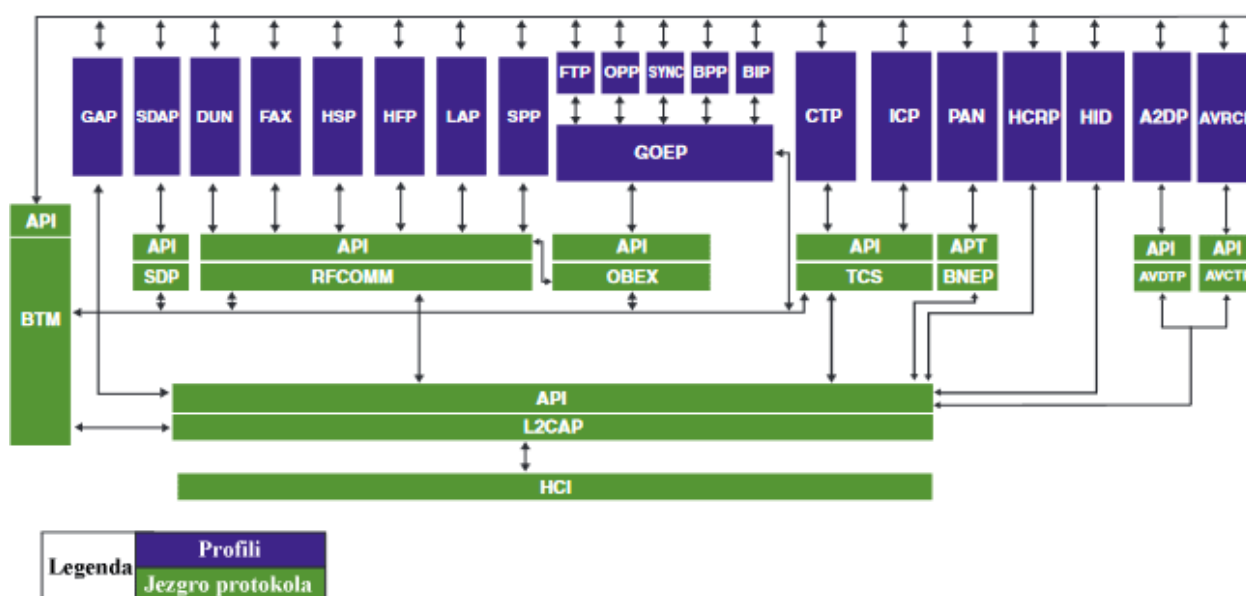


3.2 Funkcionalni blok diagram

Sa čipom dolaze upravljački programi i programski paket BCM1200-BTE koji implementira osnovnu Bluetooth funkcionalnost kao i veliki broj profila.

3.2 BCM1200-BTE

Ovaj softverski paket čine BSA Server (eng. Broadcom Simple API Server) i male aplikacije koje služe kao primer korišćenja profila podržanih od strane BSA Servera, koji implementira osnovnu Bluetooth funkcionalnost kao i Bluetooth profile. BSA Server je sertifikovan od strane Bluetooth organizacije, što znači da i platforma koja koristi BSA Server stack automatski je sertifikovana. Izvorni kod samog BSA Servera nije dostupan, tako da je neophodno obezbediti sve potrebne alate proizvođaču kako bi se izvršilo prevođenje za specifičnu platformu.



3.3 Arhitektura gornjeg sloja BCM1200-BTE

Komunikacija sa BSA Serverom vrši se pomoću pozivanja funkcija BSA API-a koji dolazi u BCM1200-BTE paketu i dobija se od strane proizvođača, u našem slučaju Broadcom-a.

4. Realizacija

Integracija je urađena u nekoliko koraka,

- Utvrditi da li modul može da radi na platformi na nivou operativnog sistema
- Integracija upravljačkih programa kako bi uvek bili dostupni u sistemu
- Implementirati programsku podršku unutar adaptivnog i spreznog sloja
- Osmisliti i razviti grafičku korisničku spregu putem koje će korisnici moći da upravljaju Bluetooth uređajima.

Kod razvoja grafičke korisničke sprege bitno je imati u vidu postojeći dizajn DTV aplikacije i na pravi način uklopiti nove funkcije koje Bluetooth donose.

4.1 Prevođenje upravljačkih programa

Kao prvi korak potrebno je integrisati upravljačke programe kako bi modul postao operativan unutar sistema. Modul dolazi sa izvornim kodom dva upravljačka programa koje je potrebno prevesti za ciljnu platformu, to su:

- **btusb** – osnovni upravljački program
- **bthid** – opcioni upravljački program koji dodaje HID specifične mogućnosti

Pre prevođenja upravljačkih programa potrebno je podesiti parametre kako bi odgovarali ciljnoj platformi. Podrazumevana podešavanja očekuju ARM platformu, tako da je potrebno samo podesiti parametre kako bi se kod preveo za Linux operativni sistem. Nakon uspešnog prevođenja, kreirane su dve izvršne datoteke: `btusb.ko` i `bthid.ko`.

4.2 Verifikacija upravljačkih programa na platformi

Prevedeni upravljački programi se integrišu na ciljnu platformu kako bi bili uključeni u jezgro operativnog sistem. Sledećim komandama se vrši njihova inicijalizacija :

bthid:

- *mknod /dev/bthid c 10 224*
- *chmod 666 /dev/bthid*
- *insmod bthid.ko*

btusb:

- *mknod btusb0 c 180 0*
- *insmod btusb.ko*

Nakon ove procedure potrebno je spojiti modul na USB priključak na ploči. Ukoliko se sve pravilno izvršilo, DBUB-S705 modul će se inicijalizovati.

Da bi se izvršila verifikacija da je sve ispravno izvršeno i upravljački programi uspešno instalirani potrebno je izvršiti sledeće tri provere:

- pokretanjem komande **lsmod | grep bt** dobija se lista sa dve vrednosti btusb i bthid
- proverom grupe /dev/btusb0 virtuelnog uređaja
- proverom da li je upravljački program btusb aktiviran

Ovim su ispunjeni svi uslovi za pokretanje BSA Servera, komandom:

```
>>./bsa_server
```

Prilikom pokretanja BSA servera moguće je proslediti određene parametre:

- **-d** [/dev/btusb2]: specificira virtuelni uređaj na koji se BSA Server povezuje
- **-p** [/vendor/BCMXXX.hcd]: definiše putanju do firmver-a (eng. firmware) koji je potrebno spustiti na modul
- **-all** [0-5]: nivo ispisa koji će se slati na UART, 0 minimalan, 5 najviši nivo ispisa
- **-3d** [legacy]: ukoliko je potrebna podrška starijim verzijama 3D sinhronizacije

Ukoliko je pokretanje prošlo uspešno pojaviće se sledeći ispis na kraju:

```
BSA_trace 2664@ 01/01 01h:00m:15s:939ms: Status : Success (0x00)
BSA_trace 2665@ 01/01 01h:00m:15s:939ms: >>
BSA_trace 2666@ 01/01 01h:00m:16s:028ms: GKI Timer Disabled
```

Da bi se izvršila inicijalizacija osnovne Bluetooth funkcionalnost i nekog od profila, BSA Server nije dovoljan. Potrebno je prevesti primer aplikacije koja je dostupna u okviru BCM1200-BTE paketa. To su portabilne aplikacije koje implementiraju neke od uobičajenih slučajeva korišćenja Bluetooth modula. One pružaju jednostavne primere implementacije većine podržanih profila od strane BSA Servera. Takodje pružaju primere korišćenja BSA API-ja čime znatno olakšavaju dalju integraciju.

4.3 Integracija upravljačkih programa

Poslednji korak integracije upravljačkih programa je integracija u sistem DTV uređaja. Prevedene datoteke btusb.ko i bthid.ko dodate su u /lib/modules/ folder, iz koga se prilikom formiranja slike sistema uzima ceo sadržaj, čime je osigurano da će one uvek biti prisutne na ploči. Postojeći programski modul koji ima ulogu da prilikom podizanja sistema uključi sve potrebne upravljačke programe izmenjen je dodavanjem sledećeg koda:

```
#ifndef INCLUDE_BLUETOOTH
    error |= system_command("insmod /lib/modules/bthid.ko");
    error |= system_command("insmod /lib/modules/btusb.ko");
#endif
```

Čime je omogućeno učitavanje Bluetooth upravljačkih programa, a u isto vreme ukoliko platforma ne podržava Bluetooth korišćenjem INCLUDE_BLUETOOTH obezbedili smo portabilnost.

4.4 Adaptacioni Bluetooth programski modul

Adaptacioni Bluetooth programski modul je realizovan tako da maskira konkretnu implementaciju od spreznog sloja, definisanjem standardnog API-ja. On omogućava sprežnom sloju da upravlja Bluetooth funkcijama. Takođe njegova uloga je i da obradi i prosledi sprežnom sloju sve poruke i događaje koji dolaze sa strane BSA stack-a.

4.4.1 Detekcija fizičkog Bluetooth modula

Prvi zadatak ovog programskog modula je da prilikom detektovanja Bluetooth modula, startuje BSA Server i uspostavi komunikaciju sa njim po njegovom pokretanju. Prilikom priključivanja fizičkog Bluetooth modula, jezgro operativnog sistema šalje poruku koja obaveštava korisničke programe da je novi uređaj dostupan, programski modul koji osluškuje ove poruke proširen je kako bi bio u mogućnosti da prepozna DBUB-S705 Bluetooth modul.

Prilikom raščlanjivanja poruke dodata je dodatna provera:

```
if((strstr(model,BLUE_TOOTH_MODEL_VALUE) != NULL)
{
    BluetoothDongleStatusChange(action,model,dev_number,g_hotplug_sem);
}
```

U slučaju promene stanja, Bluetooth programski modul se obaveštava i izvršava odgovarajuću akciju. Postoje dve akcije, prilikom priključenja (PLUGIN) i isključenja (EJECT) fizičkog Bluetooth modula. Implementacija same funkcije:

```
void BluetoothDongleStatusChange(char *action, char *model ,
                                DeviceNumber dev_number, Semaphore* g_hotplug_sem)
{
    if(!strcmp(PLUGIN, action))
    {
        BLUE_TOOTH_TRACE("Adding Bluetooth adapter\n");
        if(g_bluetooth_handler)
        {
            (g_bluetooth_handler)(bluetooth_module_detected,
g_bluetooth_user_data, NULL);
        }
    }
    else if(!strcmp(EJECT, action))
    {
        BluetoothHotplugEject(dev_number);
    }
}

bool BluetoothHotplugEject(DeviceNumber dev_number)
{
    bool ret = true;
    if(bluetooth_bsa_server_running)
    {
        if(BluetoothStopBSAServer())
        {
            bluetooth_bsa_server_running = false;
        }
        else
        {
            ret = false;
        }
    }
    return ret;
}
```

Nakon detekcije modula šalje se poruka sprežnom sloju čija uloga je da upravlja Bluetooth modulom. Ukoliko se detektuje da je modul uklonjen, poziva se funkcija *BluetoothHotplugEject* koja stopira BSA server. Pozivanje BSA API-ja omogućeno je povezivanjem dinamičke biblioteke **libbsa.so**. Funkcija *BluetoothStopBSAServer* koja se poziva unutar *BluetoothHotplugEject* poziva API funkcije BSA stack-a koja stopira izvršavanje BSA servera.

```
bool BluetoothStopBSAServer()
{
    tBSA_MGT_KILL_SERVER param;
    BSA_MgtKillServerInit(&param);
    if(BSA_MgtKillServer(&param) == BSA_SUCCESS)
    {
        BLUETOOTH_TRACE("BSA server succesfully stopped.\n");
        return frost_true;
    }
    else
    {
        BLUETOOTH_ERR("Unable to stop BSA server\n");
        return false;
    }
}
```

Specifičnost prilikom pozivanja bilo koje API funkcije BSA stack-a je ta da je potrebno prvo pozvati istu funkciju sa sufiksom Init. Njena uloga je da inicijalizuje strukturu parametara pre nego li pozovemo konkretnu funkciju.

4.4.2 Osnovna Bluetooth funkcionalnost

U osnovne funkcionalnosti spadaju one koje su potrebne svim profilima kako bi funkcionisali. To su:

- Podešavanje fizičkog Bluetooth modula (vidljivost, ime uređaja u mreži, BT adresa)
- Pretraga po klasi uređaja i servisa
- Povezivanje i uparivanje

4.4.2.1 Podešavanje fizičkog Bluetooth modula

Prilikom pokretanja Bluetooth modula izvršava se njegovo konfigurisanje. Dodeljuje mu se ime kojim će se prepoznavati, BD (eng. Bluetooth Device) adresa, vidljivost od strane drugih Bluetooth uređaja, klasa uređaja i servisa kojima želimo da se predstavimo prilikom pretrage od strane drugih uređaja. BD adresa je jedinstveni broj svakog Bluetooth fizičkog modula, dve iste adrese u Piconet-u mogu izazvati nepredviđene problem. Sva moguća podešavanja definisana su strukturom koja dolazi uz BSA API:

```

/* tBSA_DM_GET_CONFIG structure */
typedef struct
{
    tBSA_DM_CONFIG_MASK config_mask; /* Indicates which fields to configure (only
relevant when set) */
    BOOLEAN enable; /* Is Bluetooth Enable.disabled */
    BOOLEAN discoverable; /* Is bluetooth device discoverable (InquiryScan) */
    BOOLEAN connectable; /* Is bluetooth device Connectable (PageScan) */
    BD_ADDR bd_addr; /* Local BdAddr */
    BD_NAME name; /* Local Name */
    DEV_CLASS class_of_device; /* Class Of Device */
    UINT8 first_disabled_channel; /* First host disabled channel */
    UINT8 last_disabled_channel; /* Last host disabled channel */
    BD_ADDR master_3d_bd_addr;
    UINT8 path_loss_threshold;
    UINT16 page_scan_interval;
    UINT16 page_scan_window;
    UINT16 inquiry_scan_interval;
    UINT16 inquiry_scan_window;
    tBSA_DM_CBACK *callback;
    UINT8 tx_power; /* Tx Power (Point to Point) */
    tBSA_DM_MASK brcm_mask; /* Broadcom Specific Mask */
    UINT8 eir_length; /* Length of the EIR field provided by the application */
    UINT8 eir_data[BSA_DM_EIR_SIZE_MAX]; /* EIR field provided by the application
*/

    tBSA_DM_DUAL_STACK_MODE dual_stack_mode;
    tBSA_DM_3D_TX_DATA tx_data_3d; /* 3D Tx Data */
    UINT8 ble_bg_conn_type; /* BLE Background connection type, 0 = None, 1 =
auto connection */
    UINT16 ble_scan_interval;
    UINT16 ble_scan_window;
    BOOLEAN ble_discoverable; /* Is bluetooth device ble discoverable */
    BOOLEAN ble_connectable; /* Is bluetooth device ble Connectable */
    tBSA_DM_BLE_CONN_PARAM ble_conn_param;
    tBSA_DM_BLE_ADV_CONFIG adv_config;
    tBSA_DM_BLE_ADV_PARAM ble_adv_param;
} tBSA_DM_GET_CONFIG;

```

Većina parametara zadržava svoju podrazumevanu vrednost, dok se ime i BD adresa menjaju. Konfigurisanje se vrši u funkciji *BluetoothSetNameAndBDAddress*, postavljeni parametric se nakon toga prosleđuju funkciji *BluetoothSetConfig* koja data podešavanja smešta u *tBSA_DM_GET_CONFIG* strukturu i prosleđuje BSA Serveru pozivom BSA API funkcije *BSA_DmSetConfig*.

```

bool BluetoothSetNameAndBDAddress(int8 * name, int8* bd_addr)
{
    ice_bluetooth_config_t bt_config_temp;
    bt_config_temp.enable = true;
    bt_config_temp.config_mask = 0;

    if(name)
    {
        bt_config_temp.config_mask |= BLUETOOTH_DM_CONFIG_NAME_MASK;
        strcpy(bt_config_temp.name, name);
    }
    else
    {
        bt_config_temp.config_mask |= BLUETOOTH_DM_CONFIG_NAME_MASK;
        strncpy((char *)bt_config_temp.name, BLUETOOTH_DEFAULT_BT_NAME,
sizeof(BLUETOOTH_DEFAULT_BT_NAME));
        bt_config_temp.name[sizeof(BLUETOOTH_DEFAULT_BT_NAME)] = '\0';
    }

    if(bd_addr)
    {
        bt_config_temp.config_mask |= BLUETOOTH_DM_CONFIG_BDADDR_MASK;
        memcpy(bt_config_temp.bd_addr, bd_addr, 6);
    }

    bt_config_temp.config_mask |= BLUETOOTH_DM_CONFIG_DEV_CLASS_MASK;
    memcpy(bt_config_temp.class_of_device, bluetooth_default_class_of_device,
sizeof(bt_config_temp.class_of_device));

    //Set device to connectable
    bt_config_temp.config_mask |= BLUETOOTH_DM_CONFIG_VISIBILITY_MASK;
    bt_config_temp.connectable = true;

    if(BluetoothSetConfig(bt_config_temp))
    {
        return true;
    }
    else
    {
        BLUETOOTH_ERR("ERROR setting conf...\n");
        return false;
    }
}

```

Bitno je napomenuti kako bi se promena parametra uspešno izvršila neophodno je postaviti odgovarajuću masku, na taj način BSA Server ne mora da osveži sve parametre u sistemu čime se dobija na optimizaciji.

4.4.2.2 Pretraga po klasi uređaja i servisa

Pretraga je realizovana u funkciji *BluetoothStartCoddDiscovery*. Omogućava pretragu uređaja zadate klase koji podržavaju tražene servise. Nakon postavljanja željenih parametara poziva se BSA API funkcija *BSA_DiscStart* koja pokreće pretragu. Na ovaj način povećava se efikasnost i brzina pretrage. BSA Server sortira pronađene uređaje po njihovom RSSI (eng. Received Signal Strength Indicator) i vraća prva 20 uređaja. U slučaju da u okruženju postoji puno Bluetooth uređaja, potrebno je nekada izvršiti pretragu više puta kako bi pronašli željeni uređaj.

```
bool BluetoothStartCoddDiscovery(uint16 services, uint8 major, uint8 minor)
{
    int32 status;
    tBSA_DISC_START disc_start_param;
    DEV_CLASS dev_class;
    DEV_CLASS dev_class_mask;
    uint16 services_mask;
    uint8 major_mask, minor_mask;
    BSA_DiscStartInit(&disc_start_param);
    disc_start_param.cback = bluetooth_discovery_callback;
    disc_start_param.nb_devices = 0;
    disc_start_param.duration = BLUETOOTH_COD_DISCOVERY_DURATION;
    disc_start_param.services = 0;
    /* Filter on class of device */
    disc_start_param.filter_type = BSA_DM_INQ_DEV_CLASS;
    if(major == BTM_COD_MAJOR_PERIPHERAL)
    {
        disc_start_param.mode = BSA_DM_LIMITED_INQUIRY;
    }
    FIELDS_TO_COD(dev_class, minor, major, services);
    memcpy(disc_start_param.filter_cond.dev_class_cond.dev_class,
           dev_class,
           sizeof(DEV_CLASS));
    services_mask = services;
    if (major != 0)
        major_mask = BTM_COD_MAJOR_CLASS_MASK
    else
        major_mask = 0;
    if (minor != 0)
        minor_mask = BTM_COD_MINOR_CLASS_MASK;
    else
        minor_mask = 0;
    FIELDS_TO_COD(dev_class_mask, minor_mask, major_mask, services_mask);
    memcpy(disc_start_param.filter_cond.dev_class_cond.dev_class_mask,
           dev_class_mask,
           sizeof(DEV_CLASS));
```

```

/* Start Discovery */
status = BSA_DiscStart(&disc_start_param);
if (status != BSA_SUCCESS)
{
    BLUETOOTH_ERR("BSA_DiscStart failed status:%d\n", status);
    return false;
}
return true;
}

```

Na ovaj način korisniku je pojednostavljena pretraga tako da prilikom pretrage kao rezultat dobije samo uređaje koji su podržani od strane DTV prijemnika. Pretragu uređaja je moguće zaustaviti u bilo kom trenutku pozivom funkcije *BluetoothStopDiscovery* koja poziva BSA API funkciju *BSA_DiscAbort* kako bi zaustavila pretragu koja je u toku.

```

bool BluetoothStopDiscovery()
{
    tBSA_STATUS status;
    tBSA_DISC_ABORT disc_abort_param;
    BSA_DiscAbortInit(&disc_abort_param);
    status = BSA_DiscAbort(&disc_abort_param);
    if (status != BSA_SUCCESS)
    {
        BLUETOOTH_ERR("BSA_DiscStart failed status:%d\n", status);
        return false;
    }
    return true;
}

```

4.4.2.3 Uparivanje i povezivanje

Nakon uspješne pretrage potrebno je ostvariti sigurnu vezu sa pronađenim uređajem i autentifikovati ga kao poverljivog za korišćenje odgovarajućih servisa. Prilikom uparivanja prvo se poziva funkcija *BluetoothSecBond* koja šalje PIN kod uređaju na koji pokušavamo da se povežemo. Slanje PIN-a vrši se pozivom BSA API funkcije *BSA_SecBond*:

```

bool BluetoothSecBond(frost_uint8 * bd_address)
{
    tBSA_SEC_BOND sec_bond;
    BSA_SecBondInit(&sec_bond);
    bdcpy(sec_bond.bd_addr, bd_address);
    if (BSA_SecBond(&sec_bond) != BSA_SUCCESS)
    {
        BLUETOOTH_ERR("BSA_SecBond failed: %d\n", status);
        return false;
    }
}

```

```

    }
    return true;
}

```

Iniciranje uparivanja je moguće samo sa strane DTV uređaja, tako da se na sve zahteve od strane uređaja sa kojim se uparujemo automatski odgovara, autorizuje se za korišćenje servisa i dodaje u listu poverljivih uređaja (eng. Trusted Devices List). Lista poverljivih uređaja omogućava DTV uređaju da se prilikom startovanja automatski poveže na uređaje u listi. Lista uređaja se čuva u memoriji, BSA servera, tako da se pri gašenju sistema ona snima u XML datoteku i učitava se prilikom podizanja sistema. Ona pored imena i BD adresa uređaja čuva i ključ veze (eng. Link key). Link key se koristi kao tajni ključ za enkripciju podataka koji se razmenjuju između uređaja. Po završetku ovog procesa kažemo da su uređaji upareni, ali još uvek nisu povezani. U zavisnosti od klase uređaja, prilikom povezivanja na upareni uređaj, potrebno je izvršiti određene akcije. Implementacija ostvarivanja veze ulazno izlaznih uređaja (eng. HID):

```

bool BluetoothHIDConnect(uint8 * bd_address,
                        bluetooth_hh_proto_mode proto_mode,
                        bluetooth_security_combination security_combination,
                        bluetooth_rc_type type)
{
    int device_index;
    BOOLEAN connect = FALSE;
    BD_ADDR bd_addr;
    UINT8 *p_name;
    DEV_CLASS class_of_device;
    touch_key_pressed = false;
    bluetooth_rc_type_connected = type;
    tBSA_HH_OPEN hh_open_param;
    BSA_HhOpenInit(&hh_open_param);
    bdcpy(hh_open_param.bd_addr, bd_address);
    hh_open_param.mode = proto_mode;
    hh_open_param.sec_mask = security_combination;
    if (BSA_HhOpen(&hh_open_param) != BSA_SUCCESS)
    {
        BLUETOOTH_ERR("BSA_HhOpen failed: %d\n", bsastatus);
        return false;
    }
    else
    {
        BLUETOOTH_TRACE("Connecting to HID...\n");
        return true;
    }
}

```

Započinjanje uspostavljanja veze inicira se pozivom BSA API funkcije *BSA_HhOpen*.

Implementacija ostvarivanja veze kod audio uređaja:

```
bool BluetoothAVOpen(uint8 * bd_address)
{
    int status;
    BD_ADDR bd_addr;

    bluetooth_av_connection *p_con;
    tBSA_AV_OPEN open_param;

    bluetooth_av_display_connections();
    bdcpy(bd_addr, bd_address);

    /* find an available connection */
    p_con = bluetooth_av_find_connection_by_status(TRUE, FALSE);
    if (p_con == NULL)
    {
        BLUETOOTH_ERR("No available connection structure to open stream\n");
        return false;
    }

    /* Open AV stream */
    BLUETOOTH_TRACE("Connecting to AV device\n");
    BSA_AvOpenInit(&open_param);
    bdcpy(open_param.bd_addr, bd_addr);
    open_param.handle = p_con->handle;

    /* Indicate if AVRC must be used */
    open_param.use_rc = BLUETOOTH_AV_USE_RC;
    status = BSA_AvOpen(&open_param);

    if (status != BSA_SUCCESS)
    {
        BLUETOOTH_ERR("BSA_AvOpen(%02X:%02X:%02X:%02X:%02X:%02X) failed: %d\n",
            open_param.bd_addr[0],
            open_param.bd_addr[1],
            open_param.bd_addr[2],
            open_param.bd_addr[3],
            open_param.bd_addr[4],
            open_param.bd_addr[5],
            status);
        return false;
    }

    return true;
}
```

Započinjanje uspostavljanja veze inicira se pozivom BSA API funkcije *BSA_AvOpen*.

4.4.3 Inicijalizacija profila

Svaki od profila koje podržava DTV uređaj, potrebno je pravilno inicijalizovati. Svaki od profila ima svoje specifične zahteve i procedure koje se moraju pozvati kako bi uređaj bio u stanju da ih podrži.

4.4.3.1 Inicijalizacija 3DS profila

3DS profil se inicijalizuje tako što se uređaj konfiguriše da bude vidljiv drugim uređajima i dodaje se odgovarajuća klasa uređaja kako bi naočare bile u mogućnosti da se povežu. Nakon toga registruje se adaptacioni modul za primanje poruka specifičnih za 3D funkcije. Na kraju postavlja se režim rada u mirovanje, pošto nije potrebno da se emituje signal ukoliko se na DTV uređaju ne reprodukuje 3D sadržaj.

```
bool Bluetooth3DInit()
{
    memset(&bluetooth_3d_params, 0, sizeof(bluetooth_3d_params));

    bluetooth_3d_params.brcm_mask = BLUETOOTH_DM_3D_CAP_MASK |
    BLUETOOTH_DM_RC_PAIRABLE_MASK;
    bluetooth_3d_params.vsync_delay = BLUETOOTH_3D_VSYNC_DELAY;
    bluetooth_3d_params.vsync_period = BLUETOOTH_3D_VSYNC_PERIOD;
    bluetooth_3d_params.dtv_mode= BLUETOOTH_3D_MODE_IDLE;
    bluetooth_3d_params.path_loss_threshold = BLUETOOTH_TV_PATH_LOSS_THRESHOLD;

    if(!setConfigFor3D())
    {
        BLUETOOTH_ERR("\n\t\t setConfigFor3D()...\n");
        return false;
    }

    if(!bluetooth_register_callbacks_for_vse())
    {
        BLUETOOTH_ERR("\n\t\t bluetooth_register_callbacks_for_vse()...\n");
        return false;
    }

    if(!BluetoothSetModeFor3D(BLUETOOTH_3D_MODE_IDLE))
    {
        BLUETOOTH_ERR("\n\t\t setModeFor3D()...\n");
        return false;
    }

    return true;
}
```

4.4.3.2 Incijalizacija HID profila

Kako bi DTV uređaj primao poruke i događaje ulazno/izlaznih uređaja omogućen je HID host i registrovan u nižim slojevima pozivom API funkcije BSA_HhEnable. Otvaranjem IPC kanala i registrovanjem funkcije za obradu poruka omogućeno je prepoznavanje ulaznih događaja .

```
bool BluetoothHIDEnable(bluetooth_security_level initialize_security_level)
{
    memset(&bluetooth_hh_params, 0, sizeof(bluetooth_hh_params));
    int index;
    bluetooth_uipc_callback_queue = MessageQueueCreate(10);
    if(bluetooth_uipc_callback_queue == NULL)
    {
        BLUETOOTH_ERR("MessageQueueCreate ERROR...\n");
        return false;
    }

    tBSA_HH_ENABLE enable_param;
    BSA_HhEnableInit(&enable_param);

    enable_param.sec_mask = initialize_security_level;
    ice_bluetooth_hh_params.sec_mask_in = initialize_security_level;

    enable_param.p_cback = bluetooth_hh_cback;

    int status = BSA_HhEnable(&enable_param);
    if ((status != BSA_SUCCESS) && (status != BSA_ERROR_SRV_ALREADY_ACTIVE))
    {
        BLUETOOTH_ERR("Unable to enable HID Host status: %d\n", status);
        MessageQueueDestroy(bluetooth_uipc_callback_queue);
        bluetooth_uipc_callback_queue = NULL;
        return false;
    }

    if(UIPC_Open(enable_param.uipc_channel, bluetooth_uipc_callback))
    {
        ice_bluetooth_hh_params.uipc_channel = enable_param.uipc_channel;
    }
    bluetooth_uipc_callback_thread_running = true;
    bt_uipc_callback_thread = ThreadCreate(
        bluetoothUIPCCallbackThreadFunction,
        (void*)bluetooth_uipc_callback_queue,
        16*1024,
        medium_priority,
        "UIPC callback thread");
    rc_mutex = MutexCreate();
    return true;
}
```

Na kraju pokreće se nit koja je zadužena za raščlanjivanje poruka dobijenih preko IPC kanala.

Struktura *bluetooth_hh_report* opisuje poruke koje pristižu preko IPC kanala:

```
typedef struct
{
    /** BD address */
    uint8 bd_addr[BD_ADDR_LENGTH];
    /** Proto mode */
    bluetooth_hh_proto_mode mode;
    /** Sub class */
    uint8 sub_class;
    /** Country code */
    uint8 ctry_code;
    /** Data lenght */
    uint16 data_length;
    /** Data */
    uint8 data[BLUETOOTH_HH_REPORT_DATA_LENGTH];
} bluetooth_hh_report;
```

Tip	Format	Dužina_L	Dužina_H	Touch_key	Pozicija_X_L	Pozicija_X_H
0xF6	0x3E	0x14	0	0x00~0x01	0x00~0xFF	0x00~0xFF
Pozicija_Y_L	Pozicija_Y_H	Rezervisano (15Byte)				
0x00~0xFF	0x00~0xFF	0x00				

Tabela 3 Definicija paketa podataka

4.4.3.3 Inicijalizacija A2DP profila

Pozivanjem funkcije *BluetoothInitAV* vrši se inicijalizacija A2DP profile. Na početku inicijalizuje se kontrolna struktura dok se zaštita sadržaja isključuje.

```
int BluetoothInitAV(bool boot)
{
    tBSA_AV_ENABLE enable_param;
    int status;
    tBSA_STATUS bsastatus;
    int counter;

    /** Initialize the control structure */
    memset(&bluetooth_av_handle, 0, sizeof(bluetooth_av_handle));
    bluetooth_av_handle.stream_uipc_channel = UIPC_CH_ID_BAD;

    /** Init Content Protection */
    ice_bluetooth_av_handle.cp_id = BSA_AV_CP_ID_NONE;
    ice_bluetooth_av_handle.cp_scms_flag = 0x00;

    bt_stream_tx_mutex = MutexCreate();
```

```

        if (!bt_stream_tx_mutex)
        {
            return -1;
        }
        MutexLock(bt_stream_tx_mutex);
        bt_uipc_tx_thread = ThreadCreate(bluetooth_uipc_tx_thread, 0, 1024,
realtime_priority, "bt_av_play_thread");
        if (!bt_uipc_tx_thread)
        {
            BLUETOOTH_ERR("bt_uipc_tx_thread failed!\n");
            return -1;
        }
        /* Default UIPC configuration blocking */
        bluetooth_av_handle.uipc_cfg.is_blocking = TRUE;
        /* Get hold of the AV resource */
        BSA_AvEnableInit(&enable_param);
        enable_param.p_cback = bluetooth_av_cback;
        /* Set apt-X capabilities */
        enable_param.aptx_caps = aptx_caps;
        /* Set SEC capabilities */
        enable_param.sec_caps = sec_caps;
        /* Set the Features mask needed */
        enable_param.features = BLUETOOTH_AV_FEAT_MASK;

        bsastatus = BSA_AvEnable(&enable_param);
        if (bsastatus != BSA_SUCCESS)
        {
            BLUETOOTH_ERR("BSA_AvEnable failed: %d\n", bsastatus);
            return -1;
        }
        for (counter = 0; counter < BLUETOOTH_AV_NUM_STRS; counter++)
        {
            bluetooth_av_register();
        }

        return BSA_SUCCESS;
    }

```

Pozivom BSA API funkcije *BSA_AvEnable* pokreće se napredni zvučni servis. Ovaj poziv je asinhron tako da će prilikom uspešnog pokretanja servisa biti poslata poruka sa identifikatorom *BSA_AV_ENABLE_EVT* nakon čega je servis aktivan. Ova funkcija mora biti pozvana pre bilo koje druge funkcije AV API-ja u sklopu BSA API-a.

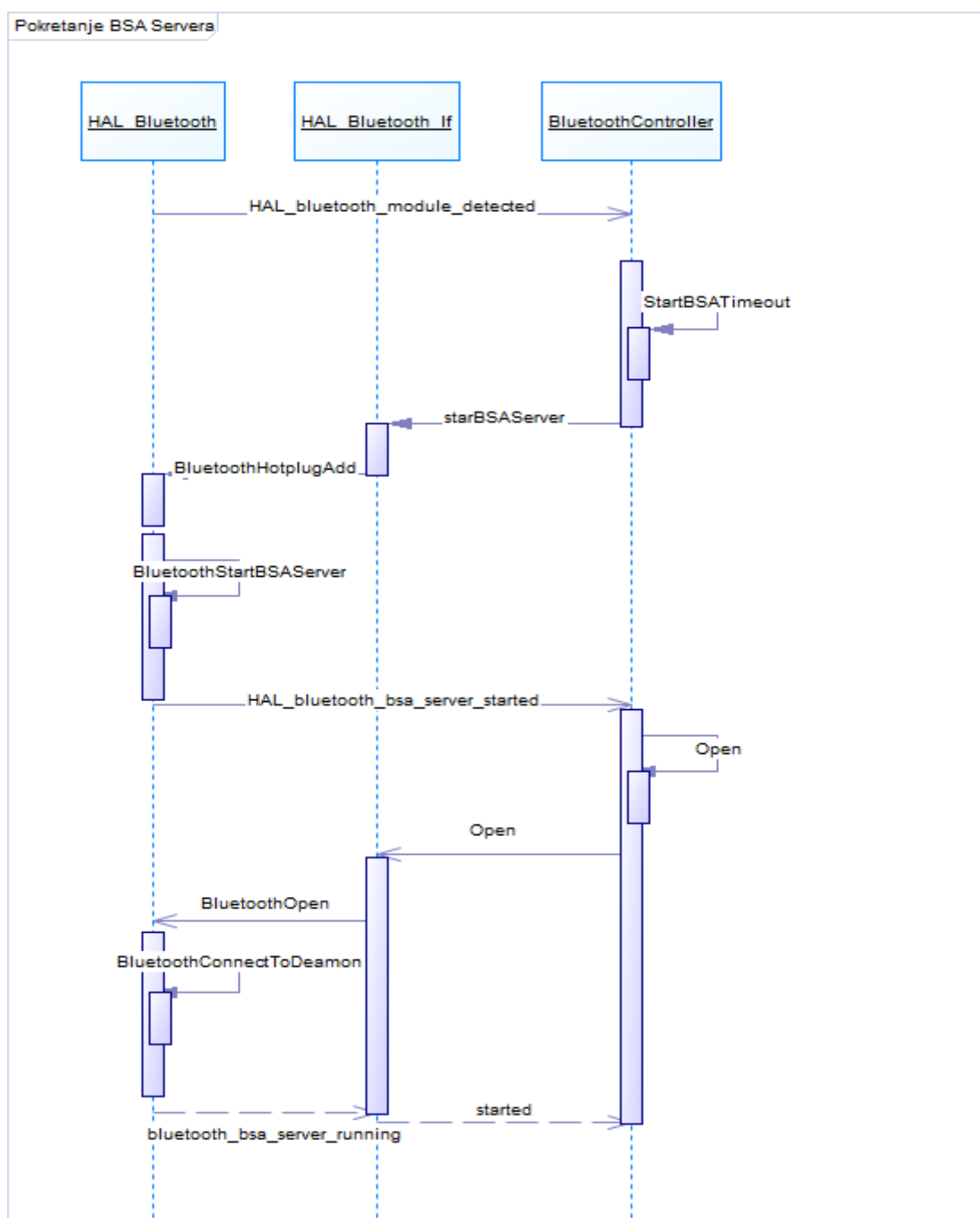
4.4.4 Programska podrška profila

Svaki od profila ima svoje specifične načine upravljanja i funkcionisanja. Kod 3DS profila neophodno je detektovati kada se naočare povežu kao i detektovati nivo baterije u naočarima. Promena režima rada vrši se pozivom funkcije *BluetoothSetModeFor3D*. Promena režima rada zavisi od toga da li DTV uređaj trenutno vrši reprodukciju 3D sadržaja ili ne.

Za pravilno funkcionisanje A2DP profila potrebno je obezbediti konstantan tok zvučnih podataka sa zvučnog dekodera u PCM format. Dok je HID profile neophodan način da simulira ulazne događaje, kao što su pritisak dugmeta ili tastera na tastaturi.

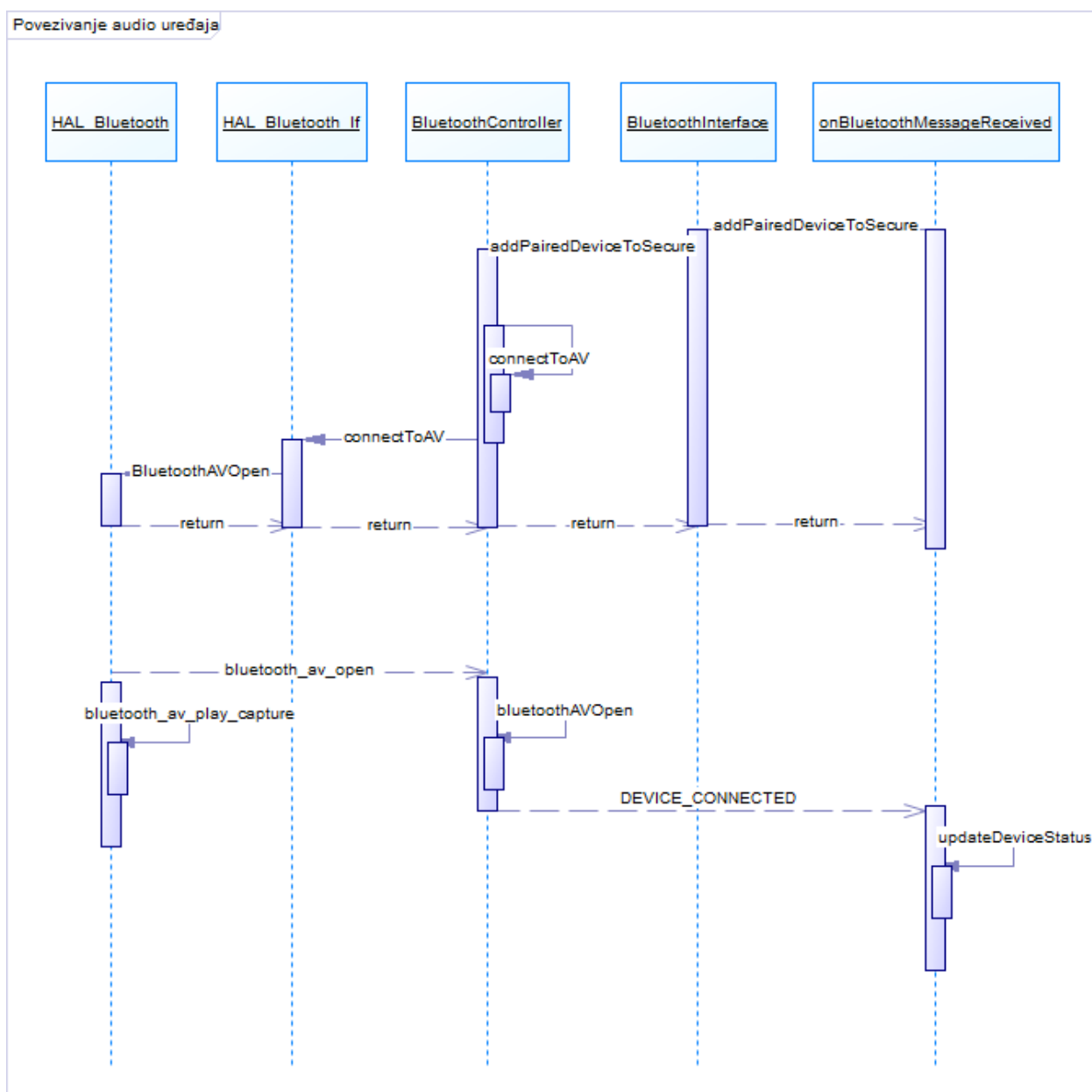
4.5 Bluetooth modul sprežnog sloja

Unutar ovog sloja razvijen je programski modul *BluetoothController* koji ima ulogu da posreduje između adaptacionog sloja i grafičke korisničke sprege. U njemu su implementirane funkcije koje generalizuju veći broj poziva koji na kraju čine jednu logičku celinu. Na primer prilikom inicijalizacije Bluetooth pod-sistema, poziva se funkcija *BluetoothController::Open* koja poziva niz funkcija adaptacionog sloja. Pored toga, *BluetoothController* osluškuje poruke koje dolaze sa strane fizičkog Bluetooth modula i sa strane grafičke korisničke sprege. Na primeru prikazanom na slici 4.1 možemo da vidimo proces inicijalizacije Bluetooth pod-sistema, nakon detekcije fizičke Bluetooth dongle.



4.1 Dijagram pokretanja BSA servera

Ovo je primer kada BluetoothController reaguje na poruke koje dolaze iz adaptacionog sloja i automatski pokreće odgovarajuće procedure kako bi inicijalizovao neophodne resurse. Slična interakcija postoji i sa strane grafičke korisničke sprege, primer toga je povezivanje Bluetooth zvučnog uređaja:



4.2 Povezivanje zvučnih uređaja

4.6 Grafička korisnička sprega

Korisnik vrši upravljanje Bluetooth uređajima pomoću ekrana i dijaloga specifično razvijenim da omoguće pronalaženje, uparivanje, povezivanje, isključivanje i uklanjanje uređaja. Prilikom startovanja TV aplikacije, vrši se inicijalizacija Bluetooth pod sistema. Ukoliko se ona izvrši uspešno u gornjem levom uglu pojaviće se ikonica 

4.6.1 Integracija unutar glavne DTV aplikacije

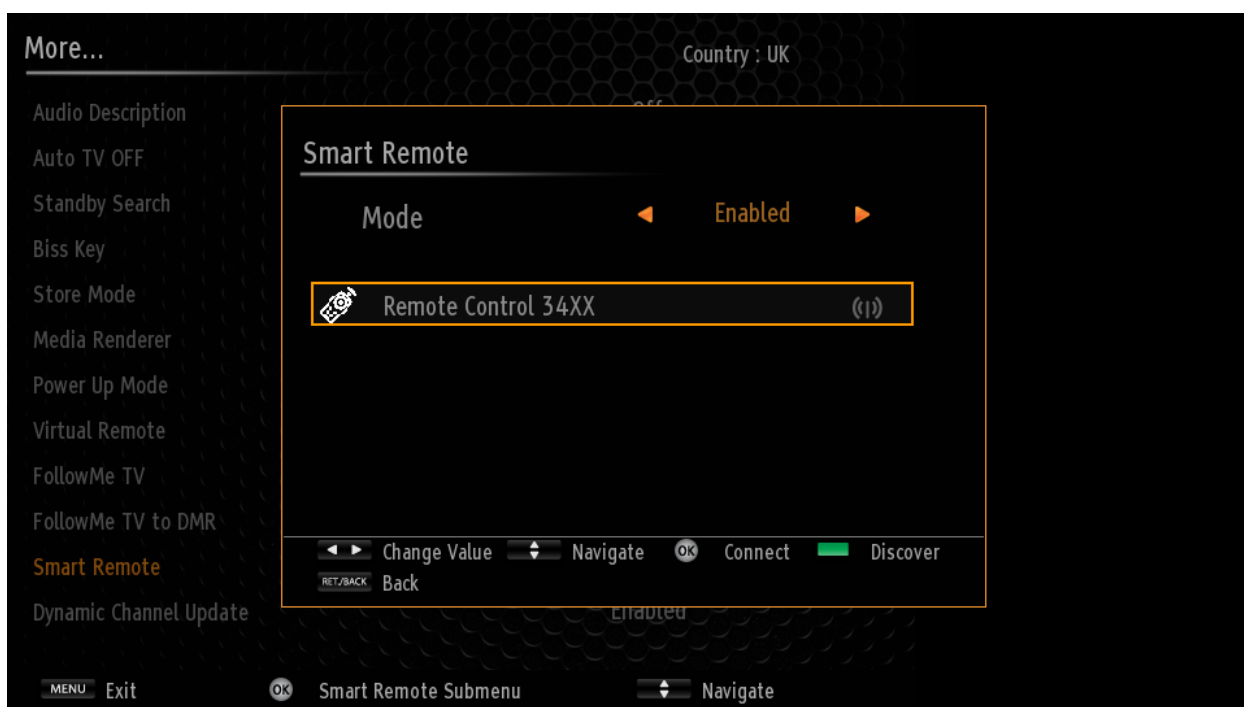
Prilikom startovanja DTV aplikacije, vrši se startovanje Bluetooth pod-sistem. Da bi glavna DTV aplikacija bila u mogućnosti da prima poruke iz spreznog sloja, potrebno je registrovati se pozivom funkcije:

```
registerForBluetoothMessages();
```

Takođe, potrebno je postaviti 3D režim rada na neaktivan, u slučaju Kada iz spreznog sloja stigne informacija da je Bluetooth pod-sistem pokrenut glavna aplikacija ima zadatak da pozove adekvatne funkcije spreznog sloja kako bi omogućio podršku Bluetooth profila. Na kraju proverava da li postoje zapamćeni uređaji i pokušava da ponovo uspostavi vezu sa njima. Ovo je veoma korisno kod zvučnih uređaja, da se automatski poveže sa već uparenim uređajem prilikom svakog paljenja televizora.

4.6.2 Dialog za upravljanje Bluetooth daljinskim upravljačima

Standardni meni koji sadrži dodatna podešavanja televizijskog prijemnika proširen je dodatnim dijalogom koji omogućava korisniku da upravlja daljinskim upravljačima. Pretraga uređaja pokreće se pritiskom zelenog dugmeta (eng. Discover) na standardnom daljinskom upravljaču. Nakon toga, korisniku će biti prikazana poruka „Molimo sačekajte“ (eng. Please Wait). Po isteku 25 sekundi u dijalogu će se pojaviti lista pronađenih uređaja.

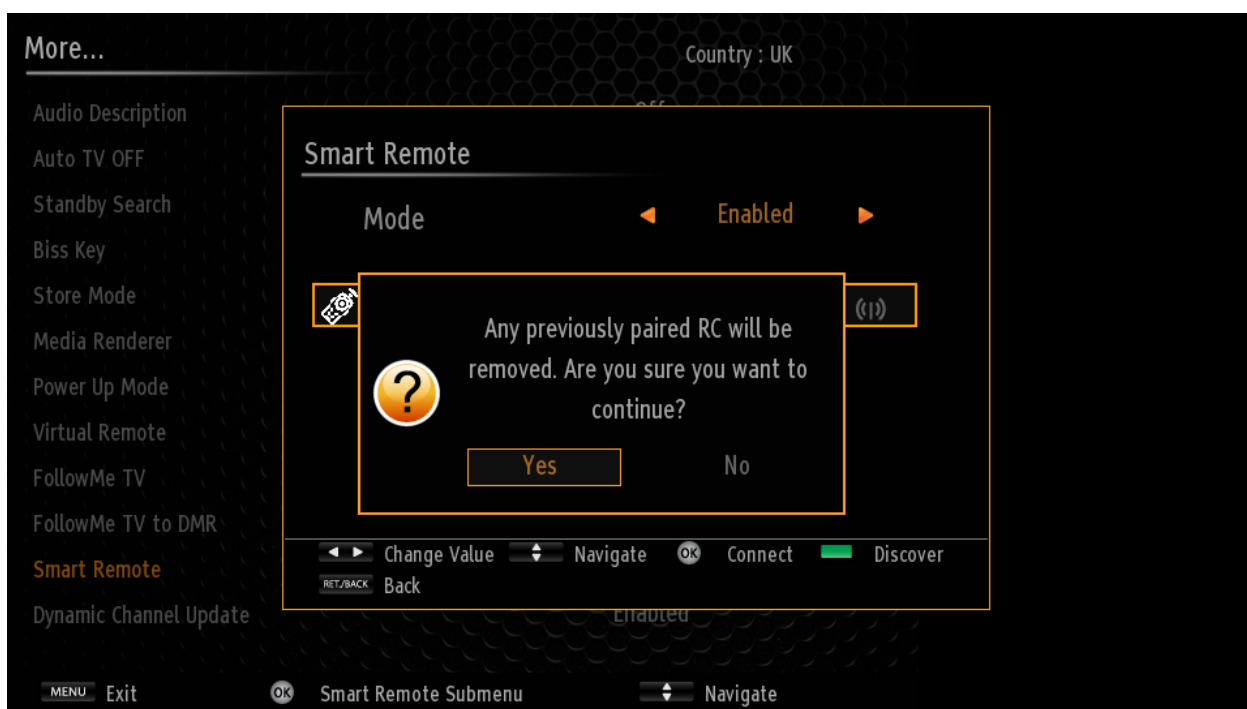


4.3 Lista pronađenih uređaja

Lista uređaja, će sadržati samo uređaje klase koja odgovara daljinskim upravljačima:

```
BLUETOOTH_MAJ_PERIPHERAL_MINOR_POINTING = 0x80
BLUETOOTH_MAJ_PERIPHERAL_MINOR_REMOTE_CONTROL = 0x0C
```

Ovo se omogućava pozivom funkcije sprežnog sloja za pretragu po kriterijumu klase uređaja: `startCODDiscovery(int minor)`. Nakon odabira, jednog od pronađenih uređaja, pritiskom na dugme OK (eng. Connect) započinje proces uparivanja uređaja. U slučaju uspešnog uparivanja TV će pokušati da ostvari konekciju sa Bluetooth daljinskim upravljačem. Korisnik se obaveštava porukom „Uređaj je povezan“ (eng. Device connected). U slučaju da se konekcija ne može ostvariti, uglavnom zbog toga što Bluetooth daljinski upravljač kada se neko vreme ne koristi ulazi u režim rada niske potrošnje kada ne dozvoljava konekciju. Da bi se vratio u aktivni režim rada, dovoljno je pritisnuti bilo koji taster na njemu nakon čega će automatski pokušati da ostvari konekciju sa uparenim uređajem. Ukoliko je televizor već uparen sa nekim daljinskim upravljačem i korisnik pokuša da upari novi, dobiće dijalog sa odabirom opcija koji ga obaveštava da će prethodno uparen uređaj biti uklonjen.

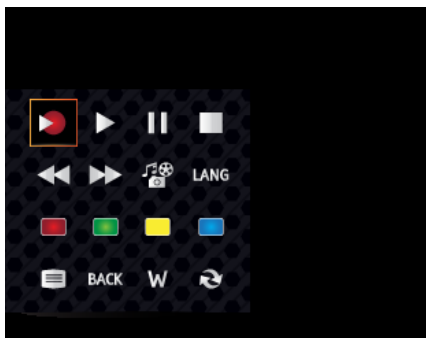


4.4 Dijalog sa potvrdom uparivanja

U slučaju da izabere „Da“ (eng. Yes) stari se briše i novi uparuje. U suprotnom, odabirom opcije „Ne“ (eng. No) otkazuje se akcija i vraća na odabir uređaja.

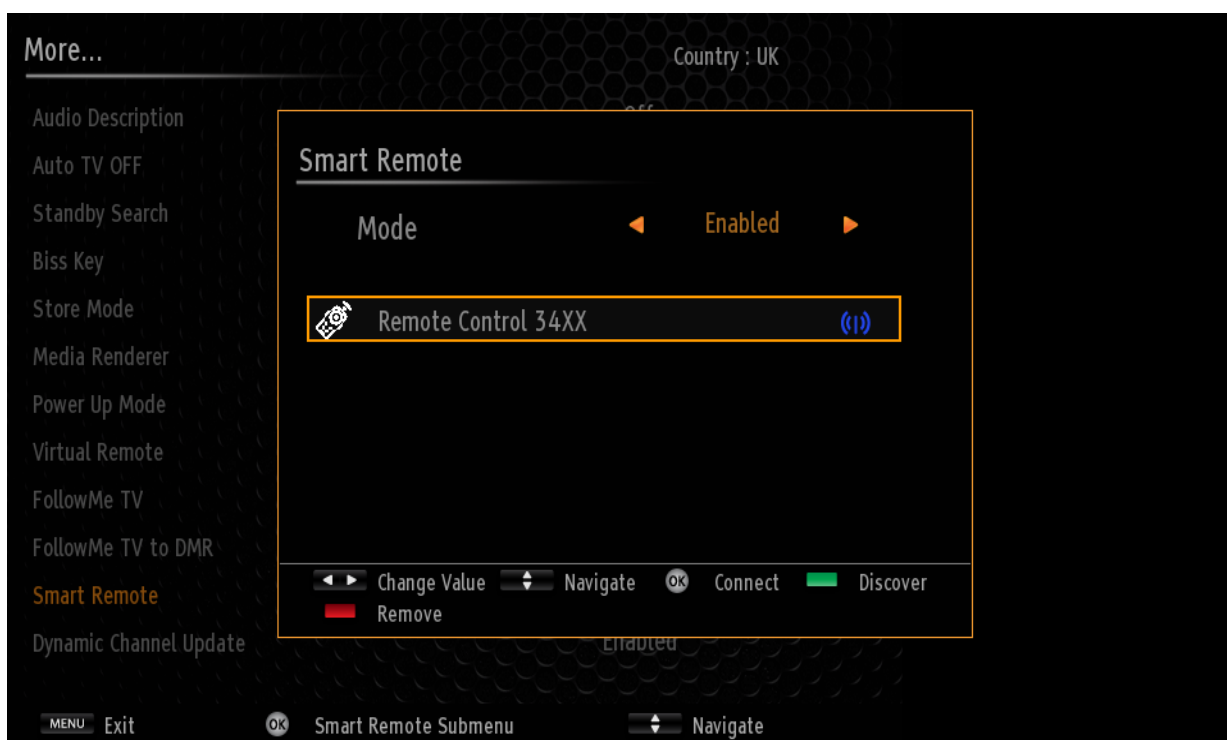
Kada već postoji uparen uređaj u ovom dijalogu je prikazan njegov status. Plava ikonica  označava da je uređaj ima trenutno aktivnu vezu, siva  da veza trenutno nije aktivna. Po uspešnom uparivanju i ostvarivanju veze, Bluetooth daljinski upravljač postaje aktivan. Tasteri odgovaraju tasterima standardnog daljinskog upravljača, uz dodatka QUERTY tastature, dodirne table (eng. touchpad) i „Više“ (eng. More) tastera.

„More“ taster je specifičan po tome da otvara poseban dijalog sa dodatnim tasterima koji nisu dostupni na samom daljinskom upravljaču. Na ovaj način omogućena je laka proširivost i prilagođavanje.



4.5 „More“ dijalog

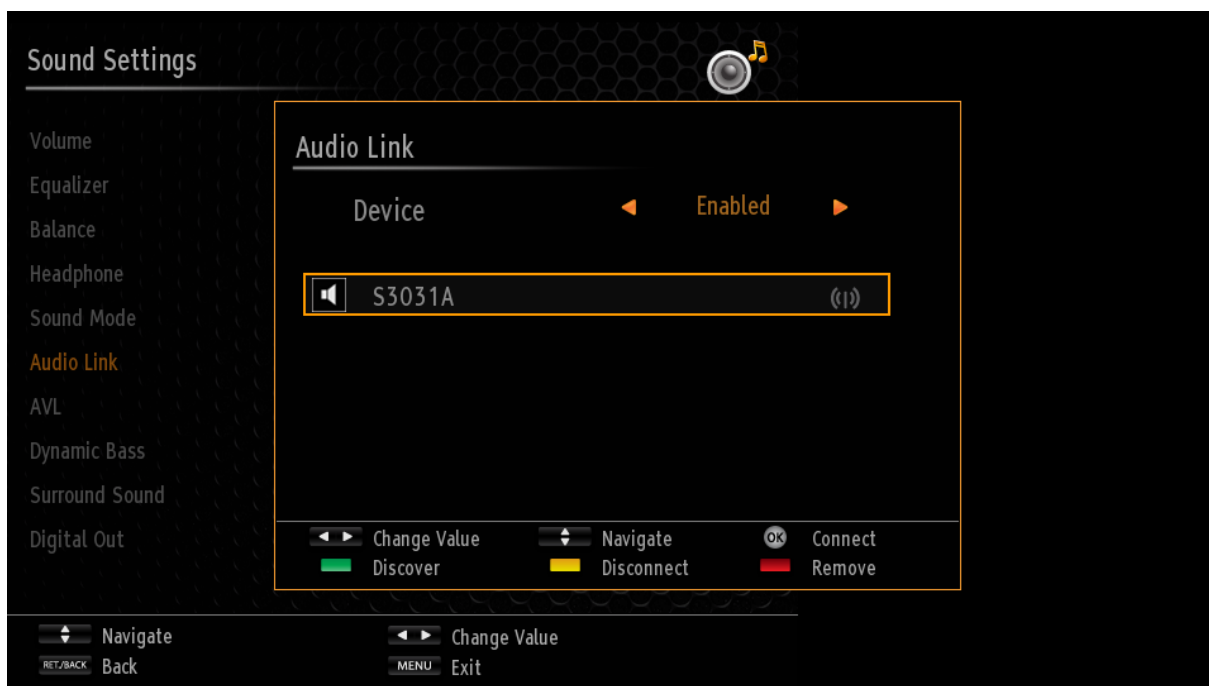
U okviru ovog prozora, moguće je isključiti (eng. Disable) i uključiti (eng. Enable) mogućnost upravljanja televizorom putem Bluetooth uređaja. Bluetooth daljinski upravljači nemaju stalnu vezu sa televizorom, već se ona uspostavlja po potrebi i održava se kratak period vremena, nakon čega ponovo prelazi u pasivan režim. Zato ne postoji opcija „Prekid“ (eng. Disconnect), već je potrebno ukloniti uređaj pritiskom na dugme „Ukloni“ (eng. Remove) ukoliko korisnik želi da onemogući uređaju da kontroliše televizor.



4.6 Lista uređaja

4.6.3 Dialog za upravljanje Bluetooth zvučnim uređajima

Standardnom meniju za podešavanje zvuka i zvučnih uređaja dodata je nova opcija, „Audio veza“ (eng. Audio Link) čijim se odabirom dobija novi dijalog unutar koga je omogućeno upravljanje Bluetooth uređajima za reprodukciju zvuka.

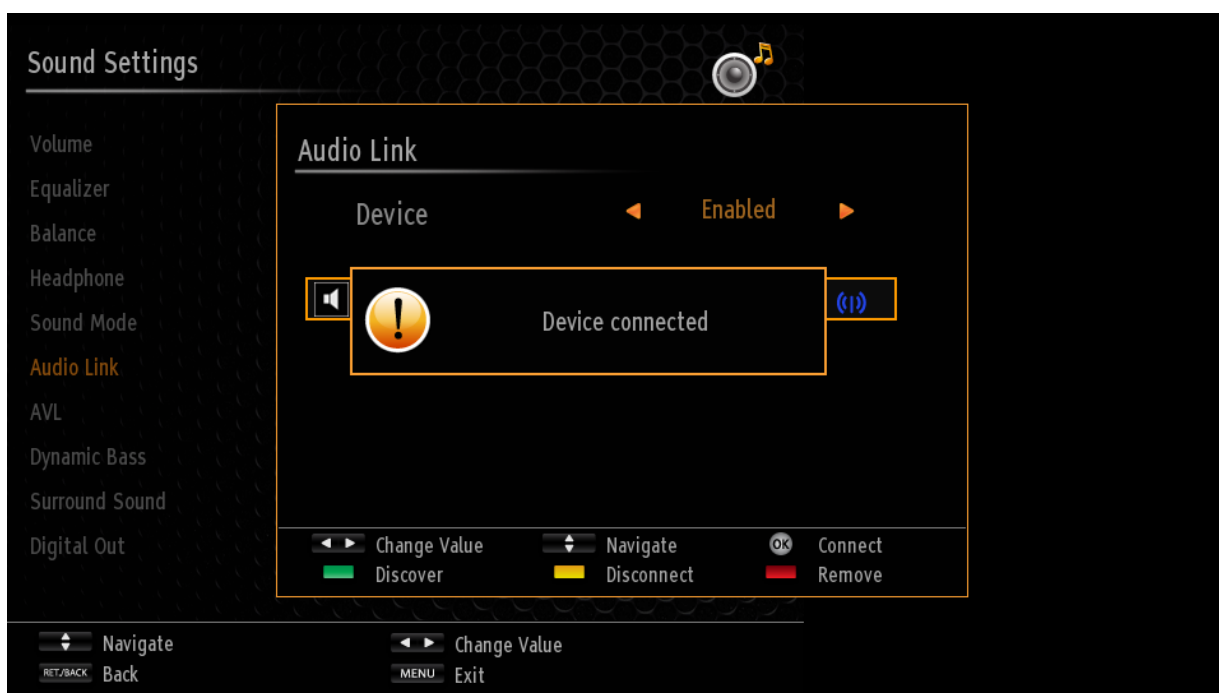


4.7 Lista audio uređaja

Pretraga uređaja vrši se na isti način kao i u slučaju Bluetooth daljinskog upravljača, pritiskom zelenog dugmeta (eng. Discover) na standardnom daljinskom upravljaču. Sa tim da u ovom slučaju vrši se pretraga samo uređaja klase:

```
BLUETOOTH_MAJ_AV_MINOR_UNCLASSIFIED = 0x00
```

Nakon uspješne pretrage pojaviće se lista uređaja koji odgovaraju zadatom kriterijumu. Korisnik ima mogućnost da odabere jedan od uređaja i pritiskom tastera „OK“ (eng. Connect) upari uređaj i uspostavi vezu. Ukoliko se veza uspješno ostvari, korisnik dobija poruku „Uređaj povezan“ (eng. Device connected). U slučaju greške prilikom ostvarivanja veze biće prikazana poruka „Veza nije ostvarena“ (eng. Not connected). Nakon što je veza uspješno ostvarena, sa desne strane uređaja pojaviće se plava ikonica  što označava da je uređaj spreman za upotrebu. Zvuk televizora se mutira i zvuk je moguće čuti samo na uređaju koji je povezan.



4.8 Uspešno uspostavljena veza

Zvučni uređaji ostvaruju trajnu konekciju sa televizorom. Moguće je upariti više zvučnih uređaja, međutim najviše dva zvučna mogu biti aktivna u isto vreme. Deaktivacija uređaja vrši se pritiskom žutog tastera „Prekid“ (eng. Disconnect). Crveno dugme „Ukloni“ (eng. Remove) uklanja uređaj iz liste. Prilikom uklanjanja, korisniku se prikazuje dijalog u kome je potrebno da potvrdi akciju uklanjanja. Odabirom opcije „Da“ (eng. Yes) uređaj se uklanja, odabirom opcije „Ne“ (eng. No) otkazuje se uklanjanje. Ukoliko uređaj koji se uklanja ima uspostavljenu vezu ona se pre uklanjanja prekida nakon čega se briše iz liste. Ovaj dijalog omogućava i uključivanje i isključivanje Audio Link opcije. Prilikom isključivanja, svi veze sa uređajima se prekidaju i zvuk se ponovo reprodukuje na televizoru. Po uključanju Audio Link opcije, veza sa uređajima koji su prethodno bili povezani se automatski uspostavlja.

5. Testiranje

Integracija je uspešno testirana na ciljnoj platformi. Cilj testiranja je da se utvrdi ispravna funkcionalnost grafičke korisničke sprege koja je implementirana u ovom radu kao i njegove sprege sa sprežnim slojem. Svi testovi izvršeni su ručno. U nastavku navedeni su neki od izvršenih testova.

5.1 Upravljanje televizorom

Naziv testa	Uparivanje Bluetooth daljinskog upravljača
Opis testa	Testiranje uparivanja daljinskog upravljača sa DTV uređajem
Testni koraci	1. Ući u meni „Settings-> More-> Smart Remote“ 2. Promeniti „Mode“ na „Enabled“ 3. Prebaciti daljinski upravljač u režim uparivanja pritiskom dugmeta „Vol –“, i „Prog –“, istovremeno, držati dok indikator na daljinskom upravljaču ne počne da treperi. 4. Pritisnuti zeleno dugme na standardnom daljinskom upravljaču. 5. Kada se pojavi daljinski upravljač na listi, pritisnuti dugme „OK“ 6. Nakon uspešnog uparivanja indikator na daljinskom upravljaču će prestati da treperi.
Očekivani rezultat	Bluetooth daljinski upravljač je uspešno uparen
Rezultat	Prošao

Tabela 4 Uparivanje uređaja

Naziv testa	Upravljanje kursorom pomoću podloge osjetljive na dodir (eng. touchpad)
Opis testa	Test verifikuje mogućnost upravljanja kursorom pomoću touchpad-a
Testni koraci	1. Ući u meni „Settings-> More-> Smart Remote“ 2. Promeniti „Mode“ na „Enabled“ 3. Prebaciti daljinski upravljač u režim uparivanja pritiskom dugmeta „Vol –“, i „Prog –“, istovremeno, držati dok indikator na daljinskom upravljaču ne počne da treperi. 4. Pritisnuti zeleno dugme na standardnom daljinskom upravljaču. 5. Kada se pojavi daljinski upravljač na listi, pritisnuti dugme „OK“ 6. Nakon uspešnog uparivanja indikator na daljinskom upravljaču će prestati da treperi. 7. Otvoriti internet pregledač 8. Pokušati prevlačenjem prsta preko touchpad-a pomerati strelicu miša na ekranu
Očekivani rezultat	Prevlačenjem prsta preko touchpad-a moguće je upravljanje strelicom miša unutar internet pregledača
Rezultat	Prošao

Tabela 5 Upravljanje pomoću touchpad-a

Naziv testa	Brisanje uređaja
Opis testa	Test verifikuje mogućnost uklanjanja uređaja sa liste
Testni koraci	1. Ući u meni „Settings-> More-> Smart Remote“ 2. Pritisnuti crveno dugme „Remove“ 3. Verifikovati da uređaja nema u listi 4. Verifikovati da nije moguće vršiti nikakvu akciju na DTV uređaju
Očekivani rezultat	Uređaj je uspešno uklonjen sa liste i sa njim više nije moguće izvršiti bilo kakvu akciju na DTV prijemu
Rezultat	Prošao

Tabela 6 Uklanjanje uređaja

5.2 Slanje zvučnog toka na Bluetooth zvučni uređaj

Naziv testa	Povezivanje i pokretanje zvučnog toka
Opis testa	Test verifikuje da je moguće ostvariti vezu sa Bluetooth zvučnim uređajem, kao i da se zvuk reprodukuje na njemu.
Testni koraci	1. Ući u meni „Settings-> Audio-> Audio Link“ 2. Označiti jedan od uređaja na listi i pritisnuti dugme „OK“ (eng Connect) 3. Verifikovati da je prikazana poruka „Device Connected“ 4. Verifikovati da zvuk reprodukuje Bluetooth zvučni uređaj 5. Verifikovati da je zvuk na DTV uređaju mutiran
Očekivani rezultat	Veza sa Bluetooth zvučnim uređajem je uspešno uspostavljena i reprodukcija zvuka uspešno pokrenuta. Zvuk na DTV uređaju je mutiran
Rezultat	Prošao

Tabela 7 Povezivanje Bluetooth zvučnog uređaja

Naziv testa	Automatsko povezivanje
Opis testa	Test verifikuje da se prilikom podizanja DTV sistema automatski uspostavlja veza sa prethodno povezanim uređajem
Testni koraci	1. Ući u meni „Settings-> Audio-> Audio Link“ 2. Označiti jedan od uređaja na listi i pritisnuti dugme „OK“ (eng Connect) 3. Verifikovati da je prikazana poruka „Device Connected“ 4. Verifikovati da zvuk reprodukuje Bluetooth zvučni uređaj 5. Isključiti DTV uređaj 6. Uključiti DTV uređaj 7. Verifikovati da se prilikom pokretanja automatski uspostavila veza sa prethodno povezanim uređajem i da se zvuk reprodukuje sa njega
Očekivani rezultat	Veza sa Bluetooth zvučnim uređajem je uspešno uspostavljena i reprodukcija zvuka uspešno pokrenuta nakon gašenja i ponovnog pokretanja sistema
Rezultat	Prošao

Tabela 8 Automatsko povezivanje nakon ponovnog pokretanja DTV sistema

5.3 Sinhronizacija 3D naočara

Naziv testa	Aktiviranje/Deaktiviranje emitovanja 3D sinhronizacionog signala
Opis testa	Test verifikuje da se prilikom reprodukcije 3D sadržaja može povezati 3D naočarima. Isto tako kada se zaustavi reprodukcija 3D sadržaja da se naočare ugase.
Testni koraci	1. Započeti reprodukciju bilo kog 3D sadržaja. 2. Pritisnuti dugme na gornjoj strani naočara i držati ga 3 sekunde kako bi se ostvarila asocijacija sa DTV uređajem 3. Verifikovati da naočare ispravno rade tako što se gledanjem kroz njih vidi dubina a ne zamrljana slika. 4. Zaustaviti reprodukciju 3D sadržaja 5. Verifikovati da su se naočare ugasile nakon par sekundi, dugme zasvetli jednom crveno.
Očekivani rezultat	3D naočare uspešno ostvare asocijaciju sa DTV uređajem, prilikom gledanja 3D sadržaja slika dobija dubinu.
Rezultat	Prošao

Tabela 9 3D funkcionalnost

6. Zaključak

U radu realizovano je jedno rešenje integracije Bluetooth modula, baziranom na BCM20705 čipu, u sistem DTV prijemnika. Programska podrška je razvijena na način da omogući laku integraciju i Bluetooth modula drugih proizvođača. Prilikom razvoja korišćeni su sledeći alati:

- Eclipse – (implementacija unutar adaptacionog sloja/ C)
- Visual Studio – (implementacija modula spreznog sloja i grafičke korisničke sprege/ C++)
- Adobe Illustrator – (kreiranje vizuelnih elemenata unutar grafičke korisničke sprege/ SVG)

Implementirane su sve zahtevane funkcije, upravljanje DTV uređajem pomoću naprednog Bluetooth daljinskog upravljača, slanje zvučnog toka podataka na do dva Bluetooth zvučna uređaja istovremeno i omogućena je sinhronizacija sa aktivnim 3D naočarima prilikom reprodukcije 3D sadržaja. Programska podrška je testirana na ciljnoj platformi i uspešno je prošla sve testne slučajeve, od kojih su najznačajniji navedeni u ovom radu.

Ovim rešenjem proširene su mogućnosti DTV prijemnika i olakšana je interakcija korisnika sa drugim aplikacijama.

Jedno od ograničenja ovog rešenja je problem sinhronizacije zvuka i slike prilikom slanja zvučnog toka na Bluetooth zvučni uređaj. Naime, u idealnim uslovima A2DP protokol unosi kašnjenje do 100ms dok u realnim uslovima kašnjenje može biti i do 200ms, što je već primetno od strane tipičnog korisnika. Problem je dodatno zakomplikovan činjenicom da Bluetooth zvučni uređaji, na svojoj strani, implementiraju „džiter“ bafer (eng. Jitter buffer) koji, u zavisnosti od svoje veličine, unosi dodatno kašnjenje. Jedan od načina da se prevaziđe ovaj problem mogao bi biti implementacija podrške aptX kodeka.

U daljem razvoju moguće je dodati podršku novih Bluetooth profila. Neki od profila koji bi mogli da budu interesantni su BIP (eng. Basic Imaging Profile), koji omogućava slanje slika

između uređaja. Tipičan slučaj korišćenja je prikaz slika sa telefona na velikom ekranu. Postoji mogućnost implementacije programske podrške Bluetooth LE, jedan od primera bi mogao biti da DTV uređaj prikaže notifikaciju kada se korisniku ubrza rad srce. Pored toga moguće je dodati podršku za više različitih fizičkih Bluetooth modula različitih proizvođača.

Rešenje opisano u ovom radu primenjeno je na DTV uređajima koji su ušli u serijsku proizvodnju.

7. Literatura

- [1] Vladimir Kovačević: *Logičko projektovanje računarskih sistema I –projektovanje digitalnih sistema*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, 2001
- [2] USB Implementers Forum, *USB Device Class Definition for Human Interface Devices* , USB Implementers Forum, http://www.usb.org/developers/hidpage/HID1_11.pdf , Version 1.11, 2001, preuzeto 12.05.2005
- [3] Broadcom, *BCM20705 Data Sheet*, Broadcom, <http://www.cypress.com/file/298371/download>, San Jose, preuzeto 04.03.2016
- [4] Audio Video WG, *Advanced Audio Distribution Protocol Specification*, v1.3.1, 2015
- [5] Fischer, Walter, *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*, 3rd edition, Springer-Verlag Berlin Heidenberg, 2010