



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



Бранимир Ковачевић

**Предлог проширења мултимедијалног система у
аутомобилу сервисима дигиталне телевизије**

– ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА –

Ментор:
проф. др Иштван Пап

Нови Сад, 2018



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :			
Идентификациони број, ИБР :			
Тип документације, ТД :		Монографска документација	
Тип записа, ТЗ :		Текстуални штампани материјал	
Врста рада, ВР :		Докторски рад	
Аутор, АУ :		Бранимир Ковачевић	
Ментор, МН :		Проф. др Иштван Пап	
Наслов рада, НР :		Предлог проширења мултимедијалног система у аутомобилу сервисима дигиталне телевизије	
Језик публикације, ЈП :		Српски	
Језик извода, ЈИ :		Српски	
Земља публиковања, ЗП :		Република Србија	
Уже географско подручје, УГП :		Војводина	
Година, ГО :		2018.	
Издавач, ИЗ :		Ауторски репринт	
Место и адреса, МА :		Нови Сад; Трг Доситеја Обрадовића 6	
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/трафика/прилога)		8 поглавља / 104 стране / 82 цитата / 32 табеле / 47 слика	
Научна област, НО :		Електротехничко и рачунарско инжењерство	
Научна дисциплина, НД :		Рачунарска техника	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :		Дигитална телевизија, аутомомобил, мултимедија	
УДК			
Чува се, ЧУ :		У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад	
Важна напомена, ВН :			
Извод, ИЗ :		Ова докторска дисертација се бави истраживањем из области интеграције дигиталне телевизије у модерне мултимедијалне уређаје унутар аутомобила. Циљ истраживања у оквиру ове докторске дисертације је да се развије скуп алгоритама за системско проширење DTV функционалности у нестационарном окружењу и предложи решење које омогућава рад у реалном времену. Решење реализовано у склопу истраживања аутоматски, без потребе за интервенцијом корисника, одржава ажурном листу програмских садржаја дигиталне телевизије током кретања аутомобила. Такође, предложено решење континуирано пружа кориснику исти програмски садржај, емитован у најбољем квалитету слике и звука и доступан на различитим фреквенцијским каналима. Основни допринос се огледа у дефинисању алгоритама и јединствене програмске спреге дигиталне телевизије на платформама које примају сигнал дигиталне телевизије током кретања аутомобила.	
Датум прихватања теме, ДП :			
Датум одбране, ДО :			
Чланови комисије, КО :	Председник:	проф. др Никола Теслић, редовни професор	
	Члан:	проф. др Мирослав Поповић, редовни професор	
	Члан:	доц. др Миодраг Ђукић, доцент	Потпис ментора
	Члан:	проф. др Мило Томашевић, редовни професор	
	Члан, ментор:	проф. др Иштван Пап, ванредни професор	

	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 :	PhD Thesis		
Author, AU :	Branimir Kovacevic		
Mentor, MN :	Istvan Papp, PhD		
Title, TI :	Proposal for extension of the vehicle multimedia system with digital television services		
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 :	2018.		
Publisher, PB :	Author's reprint		
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6		
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8 chapters / 104 pages / 82 references / 32 tables / 47 pictures		
Scientific field, SF :	Electrical and Computer Engineering		
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems		
Subject/Key words, S/KW :	Digital television, automotive, infotainment, multimedia		
UC			
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia		
Note, N :			
Abstract, AB :	This PhD thesis addressed the problem in the field of integrating digital television into modern multimedia devices within the vehicles. The goal of the research within this PhD thesis is to develop a set of algorithms for systematic expansion of digital television functionality in a non-stationary environment and to propose a solution that can be deployed into the embedded devices. The main contribution of the thesis is the definition of the application programming interface and algorithms that enable digital television on the platforms receiving the digital television signal during the vehicle's movement. The solution implemented within the research, which verifies the defined algorithms, allows the development of various television applications, as well as the interconnection of the digital television signal with the multimedia system within the vehicle.		
Accepted by the Scientific Board on, ASB :			
Defended on, DE :			
Defended Board, DB :	President:	PhD Nikola Teslic, Full professor	
	Member:	PhD Miroslav Popovic, Full professor	
	Member:	PhD Miodrag Djukic, Assistant professor	Mentor's sign
	Member:	PhD Milo Tomasevic, Full professor	
	Member, Mentor:	PhD Istvan Papp, Associate professor	

If we knew what it was we were doing, it would not be called research, would it?

Albert Einstein (1879 - 1955)

Желео бих да се најискреније захвалим на помоћи и драгоценим саветима мом ментору проф. др Иштвану Папу, проф. др Браниславу Тодоровићу, доц. др Немањи Лукићу, и посебно проф. др Николи Теслићу, не само на стрпљењу и подрици, већ и на мотивацији при изради тезе. Захваљујем се и свим члановима комисије на поклоњеној пажњи и корисним сугестијама.

Захваљујем се и најближим сарадницима Давору Рапићу, Михајлу Маринковићу, Николи Пуачи, Владимиру Мудром који су учествовали у истраживању, пружали инспирацију и несебичну помоћ током истраживања у оквиру ове докторске дисертације. Посебну захвалност дугујем човеку без кога све ово не би имало смисла нити би било могуће, мр Томиславу Маруни.

Својој породици дугујем много за стрпљење, безрезервну љубав и подршку, разумевање за моја одсуствовања и даноноћни рад, без њихове подршке не бих успешно завршио ову дисертацију, па им се сада најискреније захваљујем.

САДРЖАЈ

1.	УВОД	1
2.	СТАЊЕ У ОБЛАСТИ	5
3.	ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ	12
3.1	Потрошачка електроника	12
3.2	Дигитална телевизија	14
3.3	DVB-T стандард	19
3.4	Специфичности ISDB-T стандарда	23
3.5	Дигитални телевизијски пријемник.....	26
3.5.1	Дигитални телевизијски пријемник са више бирача фреквенцијских канала	28
3.6	Механизам за прелазак на алтернативни фреквенцијски канал у области мобилних радио-комуникација.....	30
3.7	Механизам за прелазак на алтернативни фреквенцијски канал или на алтернативни садржај у области дигиталне телевизије	31
4.	АЛГОРИТМИ ЗА АЖУРИРАЊЕ И ПРАЋЕЊЕ ДОСТУПНИХ ПРОГРАМСКИХ САДРЖАЈА	34
4.1	Алгоритам за одржавање листе доступних програмских садржаја	34
4.2	Алгоритам за праћење постојећег програмског садржаја	39
5.	ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА ПРЕДЛОЖЕНИХ АЛГОРИТАМА .	44
6.	ДЕФИНИСАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА	61
6.1	Кључни индикатори.....	63
6.2	Индикатори за проверу електронског програмског водича.....	65
6.3	Индикатори за проверу брзине промене тренутно активног програмског садржаја	66
6.4	Индикатори за проверу брзине преласка на алтернативни програмски садржај	70
6.5	Индикатори за проверу брзине претраге доступног програмског садржаја	71
6.6	Индикатори квалитета сигнала	72

6.7	Индикатори за проверу брзине исцртавања интерактивног програмског садржаја	73
7.	ИСПИТИВАЊЕ И ВЕРИФИКАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	74
7.1	Квалитет програмске спреге	74
7.2	Верификација у симулираном стационарном окружењу	81
7.3	Верификација у симулираном нестационарном окружењу	92
7.4	Верификација у реалном окружењу	93
7.5	Предности и недостаци предложеног решења.....	96
8.	ЗАКЉУЧАК	97

СПИСАК СЛИКА

Слика 2.1 Проширење система за забаву и информисање у аутомобилу сервисима дигиталне телевизије	5
Слика 2.2 Истраживање скупа пожељних функционалности мултимедијалног система унутар аутомобила	7
Слика 2.3 Расположиви извори информација за формирање предлога решења	9
Слика 3.1 Временски приказ доминантних производа из области потрошачке електронике	13
Слика 3.2 Мапа расподеле стандарда за дигитални телевизијски пренос	16
Слика 3.3 Илустрација преноса података	16
Слика 3.4 Пример мултиплекса	18
Слика 3.5 Основна блок шема DVB-T предајника.....	20
Слика 3.6 Скица PES и основног садржаја PES заглавља.....	20
Слика 3.7 Структура TS пакета у MPEG-2 преносном низу.....	21
Слика 3.8 Пример сегментног преноса података са једносегментним програмским садржајем ..	24
Слика 3.9 Пример обележја интерактивног програмског садржаја	26
Слика 3.10 Архитектура DTV пријемника	27
Слика 3.11 Груписање бирача фреквенцијских канала	29
Слика 3.12 Пример преласка на алтернативну станицу	31
Слика 3.13 Приказ две опште ситуације преласка на алтернативни канал или алтернативни садржај	32
Слика 3.14 Општи пример прелаза између програмских садржаја у ISDB-T DTV стандарду	33
Слика 4.1 Шематски приказ пријемника у покрету.....	35
Слика 4.2 Алгоритам за обраду нових програмских садржаја	37
Слика 4.3 Алгоритам за обраду постојећих програмских садржаја	38
Слика 4.4 Алгоритам за обраду непостојећих програмских садржаја	39
Слика 4.5 Алгоритам преласка на алтернативни програмски садржај	42
Слика 5.1 Архитектура техничког решења	45
Слика 5.2 Путања података у случају приказа уживо емитованог програмског садржаја	47
Слика 5.3 Путања података у случају претраживања програмског садржаја	48
Слика 5.4 MRC конфигурације циљних платформи.....	49
Слика 5.5 Блок дијаграм претраживања фреквенцијских канала	59
Слика 5.6 Приказ преласка на алтернативни садржај и замене путања података	60
Слика 7.1 LOC метрике датотека програмског кода	75
Слика 7.2 LOC метрике датотека заглавља	76
Слика 7.3 LOC метрике командних датотека	77
Слика 7.4 Приказ статуса порука различитих делова мултимедијалног система аутомобила	80

Слика 7.5 Пример конфигурационе датотеке.....	82
Слика 7.6 Подскуп испитних случајева за верификацију унутар модула реализованих алгоритама	84
Слика 7.7 Подскуп испитних случајева за верификацију између модула реализованих алгоритама	85
Слика 7.8 Позиционирање телевизијске апликације у целом систему.....	86
Слика 7.9 Подскуп испитних случајева за верификацију целокупног решења	87
Слика 7.10 Приказ основних подешавања корисничке апликације	87
Слика 7.11 Приказ интерактивних садржаја у корисничкој апликацији	88
Слика 7.12 Приказ електронског програмског водича са информацијама за више програмских садржаја	88
Слика 7.13 Приказ електронског програмског водича који садржи информације о тренутно активном програмском садржају.....	89
Слика 7.14 Систем за удаљени приступ различитим симулационим моделима циљних платформи	90
Слика 7.15 Предлог система за аутоматску верификацију у симулираном нестационарном окружењу	91
Слика 7.16 Шема динамичког ослабљивача сигнала.....	92
Слика 7.17 Крајњи изглед динамичког ослабљивача сигнала	93
Слика 7.18 Приказ путање верификације техничког решења на отвореном путу.....	94
Слика 7.19 Приказ путање вожње са доступним пријемом сигнала кроз градско језгро Токија ...	95

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 5.1 Енумерација <i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>	50
Табела 5.2 Енумерација <i>DTV_MobileSTB_ConfigType</i>	50
Табела 5.3 Енумерација <i>DTV_MobileSTB_State</i>	51
Табела 5.4 Енумерација <i>DTV_MobileSTB_Mode</i>	51
Табела 5.5 Енумерација <i>DTV_MobileSTB_Event</i>	51
Табела 5.6 Структура <i>DTV_MobileSTB_Status</i>	52
Табела 5.7 Структура <i>DTV_MobileSTB_RouteConfig</i>	52
Табела 5.8 Структура <i>DTV_MobileSTB_ServiceListConfig</i>	53
Табела 5.9 Структура <i>DTV_MobileSTB_HandoverConfig</i>	53
Табела 5.10 Структура <i>DTV_MobileSTB_ServiceDescriptor</i>	53
Табела 5.11 Структура <i>DTV_MobileSTB_ServiceListUpdate</i>	54
Табела 5.12 Функција <i>DTV_MobileSTB_StatusCallback</i>	54
Табела 5.13 Функција <i>DTV_MobileSTB_RegisterStatusCallback</i>	55
Табела 5.14 Функција <i>DTV_MobileSTB_UnregisterStatusCallback</i>	55
Табела 5.15 Функција <i>DTV_MobileSTB_GetConfiguration</i>	56
Табела 5.16 Функција <i>DTV_MobileSTB_SetConfiguration</i>	56
Табела 5.17 Функција <i>DTV_MobileSTB_GetStatus</i>	57
Табела 5.18 Функција <i>DTV_MobileSTB_Start</i>	57
Табела 5.19 Функција <i>DTV_MobileSTB_Stop</i>	58
Табела 6.1 Време активирања решења	63
Табела 6.2 Количина заузете радне меморије	64
Табела 6.3 Прикупљање података електронског програмског водича на активном програмском садржају	65
Табела 6.4 Складиштење података електронског програмског водича током претраживања програмских садржаја	65
Табела 6.5 Време промене програмског садржаја унутар истог преносног тока	66
Табела 6.6 Време промене програмског садржаја ван истог преносног тока (и ван истог <i>PLP</i> у случају <i>DVB-T2</i> стандарда)	67
Табела 6.7 Време промене програмског садржаја на <i>DVB-T2</i> стандарду ван истог <i>PLP</i> и преносног тока, а на истом фреквенцијском каналу	69
Табела 6.8 Време преласка на алтернативни програмски садржај	70
Табела 6.9 Време претраживања програмског садржаја по фреквенцијском каналу (или по <i>PLP</i> у случају <i>DVB-T2</i> стандарда) када је ток података доступан	71
Табела 6.10 Време претраживања програмског садржаја по фреквенцијском каналу (или по <i>PLP</i> у случају <i>DVB-T2</i> стандарда) када ток података није доступан	72

Табела 6.11 Минимални ниво квалитета сигнала потребан за успешно претраживање програмских садржаја.....	72
Табела 6.12 Минимални ниво квалитета сигнала потребан за репродукцију програмског садржаја	73
Табела 6.13 Време приказа интерактивних програмских садржаја	73

СКРАЋЕНИЦЕ

AM	Amplitude Modulation
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Programming Interface
A-SPICE	Automotive Software Process Improvement and Capability dEtermination
ATSC	Advanced Television Standards Committee
AUTOSIG	Automotive Special Interest Group
BBT	Black Box Testing
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquengham
BML	Broadcast Markup Language
BST-OFDM	Band Segmented Transmission Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CAT	Conditional Access Table
dB	deciBel
DMB	Digital Multimedia Broadcasting
DTMB	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
DTV	Digital Television
DVB	Digital Video Broadcasting
DVD	Digital Versatile Disc, Digital Video Disc
EIT	Event Information Table
EPG	Electronic Program Guide
ES	Elementary Stream
FM	Frequency Modulation
Gb	Gigabit
GB	Gigabyte
GPS	Global Positioning System
HAL	Hardware Abstraction Layer
HD	High Definition
HD-MAC	High Definition Multiplexed Analogue Components
HDTV	High Definition Television
HEVC	High Efficiency Video Coding
HIS	Hersteller Initiative Software
HTTP	HyperText Transfer Protocol
Hz	Hertz
IDTV	Improved Definition Television
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IPTV	Internet Protocol Television
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KPI	Key Performance Indicator
LDPC	Low Density Parity Check

LOC	Lines Of Code
MAL	Middleware Abstraction Layer
Mb	Megabit
MHz	Megahertz
MPEG	Moving Picture Experts Group
MRC	Maximal Ratio Combining
MUSE	MUltiple sub-nyquist Sampling Encoding
NIM	Network Interface Module
NIT	Network Information Table
PAT	Program Association Table
PES	Packetized Elementary Stream
PID	Packet Identifier
PLP	Physical Layer Pipe
PMT	Program Map Table
PSI	Program Specific Information
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
s	Second
SD	Standard Definition
SDT	Service Description Table
SNR	Signal to Noise Ratio
SQTAS	Signal Quality Threshold for Adding Service
SQTBT	Signal Quality Threshold for Background Tuner
SQTFT	Signal Quality Threshold for Foreground Tuner
SQTRS	Signal Quality Threshold for Removing Service
TRMP	The Software Based RMP System
TS	Transport Stream
TTAS	Time Threshold for Adding Service
TTBT	Time Threshold for Background Tuner
TTFT	Time Threshold for Foreground Tuner
TTRS	Time Threshold For Removing Service
USB	Universal Serial Bus
VoD	Video on Demand
Wi-Fi	Wireless-Fidelity

САЖЕТАК

Данашњи човек све више времена проводи унутар аутомобила. Прелазак великих растојања било којим превозним средством, а примарно аутомобилом, постао је пријатнији захваљујући могућностима система за забаву и информисање унутар аутомобила. Мултимедијални системи нуде различите начине да прекину време путовања, како возачу, тако и другим корисницима аутомобила. Савремени аутомобили садрже мултимедијалне системе који укључују функционалности попут пријема навигационог сигнала, репродукције слике и звука са најразличитијих периферних уређаја, пријема радио сигнала, као и могућности телефонирања. Недостатак постојећих система огледа се у томе што не постоји могућност пријема телевизијског сигнала из већ постојеће инфраструктуре. Телевизија, као примарни медијум за забаву и информисање доступан сваком домаћинству, тражи своје место и када су чланови тог истог домаћинства у покрету.

У овој докторској дисертацији предложено је једно решење за проширење постојећих мултимедијалних система за забаву и информисање у аутомобилу сервисима дигиталне телевизије.

Предложено решење аутоматски одржава ажурном листу програмских садржаја дигиталне телевизије током кретања аутомобила, без потребе за интервенцијом корисника. Оно омогућава кориснику да континуирано прима исти програмски садржај дигиталне телевизије у најбољем могућем квалитету слике и звука, без обзира на то што је доступан на различитим фреквенцијским каналима. У оквиру ове докторске дисертације развијен је скуп алгоритама за системско проширење функционалности дигиталне телевизије у нестационарном окружењу.

ABSTRACT

Today's people spend more and more time in the transportation going from one point to another. Traveling long distances by vehicle in the modern world has become bearable with the availability of the infotainment system, primarily multimedia system, to offer various ways to reduce the bored time both for the driver and for other vehicle users. Although modern vehicles contain high-end multimedia systems that include navigation, audio and video reproduction from a variety of peripheral devices, radio playback, phone functionality, those systems lack the TV functionality with its existing ubiquitous infrastructure. Television, as the central feature of family, available to every household, seeks its place in each home, but also in the area where the members of that same household are on the move, e.g. traveling.

This PhD thesis addressed the problem in the field of integrating digital television into modern multimedia devices within the vehicles. The goal of the research within this PhD thesis is to develop a set of algorithms for systematic expansion of digital television functionality in a non-stationary environment and to propose a solution that can be deployed into the embedded devices. The main contribution of the thesis is the definition of the application programming interface and algorithms that enable digital television on the platforms receiving the digital television signal during the vehicle's movement. The solution implemented within the research, which verifies the defined algorithms, allows the development of various television applications, as well as the interconnection of the digital television signal with the multimedia system within the vehicle. Implemented solution is able to automatically, without end user interventions, keep the list of television services up-to-date during the vehicle movement. Additionally, solution is able to automatically switch active frequency channel and always reproduce the television content within best available signal quality during the vehicle movement.

1. Увод

Савремени аутомобили садрже мултимедијалне системе који укључују више функционалности:

- пријем навигационог сигнала,
- репродукција звука са најразличитијих периферних уређаја преко *USB* (енгл. *Universal Serial Bus*), *Bluetooth* или других спрежних система,
- пријем и репродукција звука помоћу *AM* (енгл. *Amplitude Modulation*) и *FM* (енгл. *Frequency Modulation*) технологија,
- услуга телефонирања.

Историјат развоја мултимедијалних система укључује технологије које су у данашње време обележене као застареле, иако су у време свог настанка представљале крајње домете науке на том пољу истраживања (енгл. *State of the art*).

Прва појава мултимедијалних уређаја у аутомобилу везује се за појаву радио-пријемника у аутомобилу током 30-их година двадесетог века. Први радио-пријемник за аутомобил на тржиште је пласирала компанија *Motorola* са ценом од 130 америчких долара, што је у то време било прилично скупо. Поређења ради, тадашњи аутомобил *Ford Model A* продавао се по цени од 540 америчких долара.

Све до 50-их година двадесетог века радио-пријемници су имали могућност пријема искључиво радио-сигнала емитованог *AM* технологијом, јер је већи део

радио-станица емитовао сигнал у поменутој технологији. Компанија *Blaupunkt* 1952. године понудила је тржишту први радио-пријемник који је имао могућност пријема и *AM* и *FM* сигнала, али је емитовање у *FM* технологији узело маха тек неколико деценија касније. Компанија *Becker* је годину дана касније, 1953. године, представила на тржишту први радио-пријемник који је имао могућност аутоматског претраживања радио-станица (енгл. *station-search*).

Компанија *Philips* 1963. године развија аудио-касету (енгл. *Compact Cassette*), што је подстакло и појаву првих касетофона у аутомобилу 70-их година двадесетог века.

Компанија *Pioneer* је 1984. године представила на тржишту први читач компакт-дискова (енгл. *Compact Disc player*), а сам формат су одликовали бољи квалитет звука, могућност прескакања аудио-садржаја и постојаност података у односу на аудио-касете. Иако је сам медијум представљао значајно унапређење у односу на аудио-касете, тек крајем 90-их година двадесетог века постао је доминантан медијум за репродукцију звука унутар аутомобила, што је касније и довело до тога да 2011. године произвођачи аутомобила престану са производњом и понудом касетофона као мултимедијалног система у аутомобилу.

Током прве деценије 21. века мултимедијални системи унутар аутомобила су добили могућност интеракције са мобилним телефонима и другим мултимедијалним уређајима преко *Bluetooth* технологије. Поред тога, у истом периоду се и прецизност *GPS* (енгл. *Global Positioning System*) система повећава, што доводи до проширивања мултимедијалних система унутар аутомобила са функционалношћу пријема навигационог сигнала.

Током друге деценије 21. века на тржишту се појављује све већи број медијума за пренос и складиштење података. *FM* радио-пријемници и компакт-дискови у аутомобилима уступају своје место пријемницима интернет радија, сателитског радија, али и преносивим мултимедијалним системима, попут мобилних телефона. Овај напредак је омогућен захваљујући *Wi-Fi* (енгл. *Wireless-Fidelity*), *Bluetooth* и *USB* технологијама.

У овој докторској дисертацији предложено је једно решење за проширење постојећих мултимедијалних система за забаву и информисање у аутомобилу сервисима дигиталне телевизије (енгл. *Digital Television, DTV*). Предложено

решење аутоматски одржава ажурном листу програмских садржаја дигиталне телевизије током кретања аутомобила, без потребе за интервенцијом корисника. Оно омогућава кориснику да континуирано прима исти програмски садржај дигиталне телевизије у најбољем могућем квалитету слике и звука, без обзира на то што је доступан на различитим фреквенцијским каналима. У оквиру ове докторске дисертације развијен је скуп алгоритама за системско проширење функционалности дигиталне телевизије у нестационарном окружењу.

Предложено проширење омогућава рад у реалном времену, задовољава постављене захтеве у погледу сложености и целовитости проширења, а независно је од платформе на којој се извршава. Квалитет предложеног решења је оцењен следећим метрикама програмске спреге реализоване у „C” програмском језику [1]:

- оцена квалитета програмске спреге,
- контролабилност,
- целовитост (са становишта броја реализованих сервиса дигиталне телевизије).

Поред ових метрика, квалитет предложеног решења је оцењен током симулација у лабораторијским условима, као и у реалним условима - у аутомобилу током његовог кретања улицама Јапана.

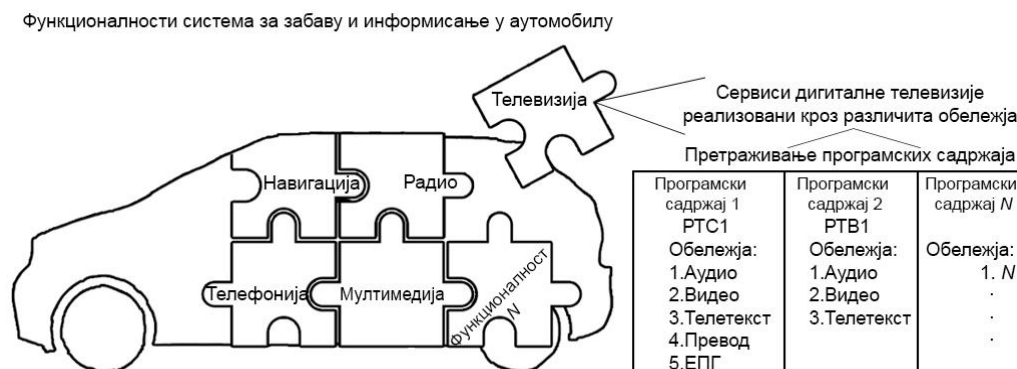
Очекивани резултат истраживања у оквиру ове докторске дисертације је изналажење решења које би аутоматски, без потребе за интервенцијом корисника, одржавало ажурном листу програмских садржаја дигиталне телевизије током кретања аутомобила. Такође, предложено решење треба континуирано да пружа кориснику исти програмски садржај, емитован у најбољем квалитету слике и звука и доступан на различитим фреквенцијским каналима. Да би се постигли очекивани резултати, потребно је развити поуздане алгоритме чија реализација је могућа на системима за рад у реалном времену, а који омогућавају несметан приказ дигиталне телевизије током кретања аутомобила.

Након уводних разматрања ова докторска дисертација је организована у још седам поглавља. У другом поглављу је дат преглед постојећих решења дигиталне телевизије, а затим су анализиране предности и мане појединих

решења, са посебним освртом на постојећи модел мобилног пријема телевизијског сигнала. У трећем поглављу су дати опис теоријских основа дигиталне телевизије и опис телевизијског пријемника, са посебним освртом на модел покретног телевизијског пријемника. У четвртном поглављу изложени су алгоритми за ажурирање и праћење доступних програмских садржаја. У петом поглављу је дат опис техничких решења алгоритама предложених у четвртном поглављу. У шестом поглављу су дефинисани критеријуми за верификацију техничких решења описаних у петом поглављу. Седмо поглавље даје преглед резултата испитивања и верификације претходно описаних техничких решења. У осмом поглављу је дат закључак истраживања у оквиру докторске дисертације са предлогом будућег правца истраживања. На крају следи списак коришћене литературе.

2. СТАЊЕ У ОБЛАСТИ

Системи примењене електронике у аутомобилу, првенствено систем за забаву и информисање корисника аутомобила, данас нуде читав низ специфичних функционалности. Са технолошког аспекта развој потрошачке електронике у аутомобилу реализује се кроз употребу уграђених електронских уређаја са све већом процесном моћи. Ово повећање процесне моћи огледа се како у повећању радног такта, тако и у повећању броја процесорских језгара на једном интегрисаном колу. На тај начин су данас мултимедијални уређаји за забаву и информисање унутар аутомобила у могућности да обезбеде бројне функционалности: пријем навигационог сигнала, репродукцију звука и слике са најразличитијих периферних уређаја, пријем радио сигнала и могућност телефонирања, као што је илустровано на слици 2.1.



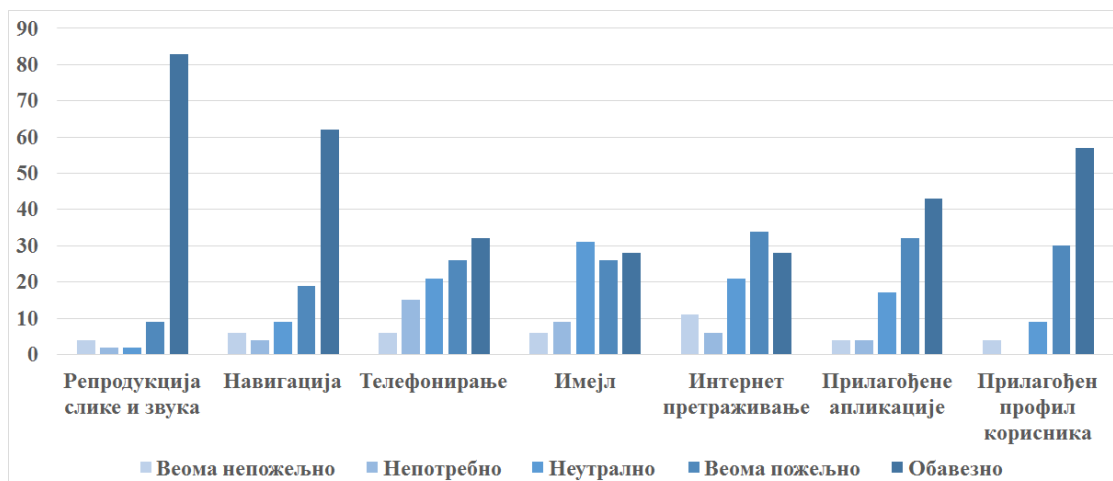
Слика 2.1 Проширење система за забаву и информисање у аутомобилу сервисима дигиталне телевизије

Недостатак постојећих система огледа се у томе што не постоји могућност пријема телевизијског сигнала из већ постојеће земаљске инфраструктуре, па самим тим ни могућност коришћења сервиса дигиталне телевизије који су већ доступни на стационарним телевизијским уређајима. Битнији сервиси дигиталне телевизије су:

- претраживање програмских садржаја (енгл. *Scanning*),
- репродукција програмских садржаја (енгл. *Live TV*),
- приказ садржаја електронског програмског водича (енгл. *Electronic Program Guide, EPG*),
- подсетник (енгл. *Reminder*),
- дигитални снимач (енгл. *Personal Video Recorder / Digital Video Recorder*),
- контролисани приступ програмском садржају (енгл. *Conditional Access*),
- родитељска контрола (енгл. *Parental Control*),
- видео на захтев (енгл. *Video on Demand*).

Сви сервиси дигиталне телевизије реализовани су кроз различита обележја (енгл. *Feature*) дигиталне телевизије попут слике, звука, превода (енгл. *Subtitle*), телетекста (енгл. *Teletext*), електронског програмског водича и сличних обележја. Један програмски садржај чине сва обележја која су на њему доступна. Сви сервиси дигиталне телевизије не морају да буду доступни у оквиру једног програмског садржаја.

Претходно истраживање [2] показало је потребу и жељу корисника за репродукцијом слике и звука унутар аутомобила, као што је приказано на слици 2.2.



Слика 2.2 Истраживање скупа пожељних функционалности мултимедијалног система унутар аутомобила

Током тог истраживања група од 15 испитаника је одговорила на скуп питања следећег типа: „Колико вам је потребна функционалност коју представља мени <назив функционалности> у вашем аутомобилу?“, при чему је уместо „<назив функционалности>“ коришћен стварни назив сваке од функционалности приказане на слици 2.2. Ради лакше статистичке обраде резултата, испитаницима је представљена група могућих одговора коришћењем Ликертове скале, где су испитаници могли да изаберу једну од пет опција (веома непожељно, непотребно, неутрално, веома пожељно, обавезно). Највећи број испитаника (више од 80%) навео је репродукцију слике и звука као обавезну функционалност коју желе.

Ова докторска дисертација бави се истраживањем из области интеграције дигиталне телевизије у модерне мултимедијалне уређаје унутар аутомобила. Циљ истраживања у оквиру ове докторске дисертације је да се развије скуп алгоритама за системско проширење *DTV* функционалности у нестационарном окружењу и предложи решење које омогућава рад у реалном времену. Квалитет предложеног решења ће бити оцењен:

- одговарајућим метрикама преко оцене квалитета реализоване програмске спреге (енгл. *Application Programming Interface, API*) у „C“ програмском језику,

- верификацијом алгоритама у симулираном стационарном и нестационарном окружењу на рачунару опште намене,
- верификацијом дефинисаних алгоритама у реалним условима на модерним мултимедијалним уређајима током вожње аутомобила.

Основни допринос се огледа у дефинисању јединствене програмске спреге дигиталне телевизије на платформама које примају сигнал дигиталне телевизије током кретања аутомобила. Решење реализовано у склопу истраживања, којим ће бити верификовани дефинисани алгоритми, треба да омогући развој различитих телевизијских сервиса, као и спрегу сигнала дигиталне телевизије са мултимедијалним системом аутомобила.

Колико је аутору познато, постоји само неколико решења која се баве одржавањем листе програмских садржаја дигиталне телевизије ажурном током кретања телевизијског пријемника. Штавише, не постоји генеричко решење дефинисано на нивоу алгоритма које се може применити на различитим физичким архитектурама, а да при томе задовољи већи број корисничких сценарија. Већина постојећих решења решава проблем једног сегмента дигиталне телевизије и адресира тачно одређене сценарије који су се ауторима тих решења учинили интересантним за обраду.

Уколико предложено решење постигне очекиване резултате, оно би могло да има вишеструку примену. Описани приступ може бити користан у области развоја програмске подршке мултимедијалних система за забаву, како унутар аутомобила, тако и шире.

При дефинисању циља истраживања у оквиру ове докторске дисертације, било је потребно анализирати актуелна достигнућа у различитим областима:

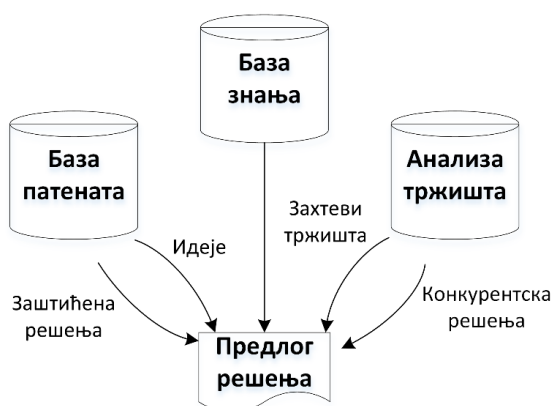
- Постојећа индустријска решења (уређаји) са интегрисаном функционалношћу дигиталне телевизије у аутомобилима.
- Базе патената.
- Научна достигнућа у области интеграције дигиталне телевизије на уграђеним платформама.

У даљем тексту дат је преглед релевантних области. Након анализе утврђују се оквири истраживања са јасним циљевима – проширење постојећих система за забаву и информисање у аутомобилу подршком за дигиталну

телевизију, као и предлог реализације програмске спреге, засноване на „C” програмском језику, која реализује ову функционалност на нивоу апликативног радног окружења.

У доступној литератури постоји мало радова који се баве пријемом телевизијског сигнала у аутомобилима. Већина доступних радова бави се анализом физичких компоненти сигнала и настоји да унапреди препознавање сигнала. Такође се ради на томе да се побољша пријем сигнала. Још један проблем представља и верификација, јер верификација крајњег решења током кретања аутомобила представља дуготрајан и скуп процес. Разматрају се различити симулациони модели који ће верификацију решења да учине краћом и јефтинијом.

Како би се формирао предлог решења, проучени су расположиви извори информација, као што је приказано на слици 2.3.



Слика 2.3 Расположиви извори информација за формирање предлога решења

Претрага база патената [3 - 5] резултовала је скупом релевантних патената, али поред тога дала је и увид у савремена истраживања, и указала на неке нове идеје и тенденције у датој области. Светски познате компаније су заинтересоване за ову технологију [6 - 9], што се види из броја патената из те области, а то уједно указује и на актуелност и потенцијал овог приступа. Патентне пријаве [10 - 20] говоре о различитим решењима за реализацију физичке архитектуре уређаја за пријем телевизијског сигнала унутар аутомобила, али не спомињу реализацију програмске подршке, нити скуп подржаних сервиса дигиталне телевизије.

Патентне пријаве [21 - 25] описују могућа решења контроле репродукције програмског садржаја на основу спољних утицаја (брзине кретања, околних звукова попут сирене или близине околних аутомобила), али ни ове патентне пријаве не помињу реализовану програмску подршку, нити начин руковања додатним програмским садржајима који нису слика и звук. Патентна пријава [26] описује механизам проналаска најбољег стања пријемног телевизијског сигнала и пребацивања репродукције на исти ручно, од стране корисника, али изостале су информације о потенцијалном комбиновању сигнала са више антена и могућностима аутоматског избора сигнала са највећим квалитетом. Патентне пријаве се стварају да би се заштитила интелектуална својина, па самим тим теже да буду довољно специфичне, али опет у некој мери и неодређене како би се покрио већи део могућих примена патента. Сами поступци описани у патентним пријавама не морају обезбеђивати бољи резултат, па се из свега тога изводи закључак да се није могуће ослонити на патентне пријаве као суштински извор информација, већ је потребна и анализа савремених достигнућа научних истраживања.

Већина документованих научних истраживања на пољу коришћења дигиталне телевизије унутар аутомобила [27 - 30] фокусира се на физичку архитектуру у смислу реализације и коришћења вишеантенских система, где су успешно потврђене чињенице да је могућ бољи пријем телевизијског сигнала у случају коришћења већег броја антена, као што је описано у нпр. [31]. Са друге стране, постоји и одређена група истраживања која се баве проблемима исправности листе програмских садржаја и репродукције тренутног програмског садржаја током кретања аутомобила [32, 33]. У тим истраживањима, због ограниченог броја бирача фреквенцијских канала (енгл. *Tuner*) у тренуцима промене квалитета емитованог сигнала, користе се претходно складиштени подаци о доступним програмским садржајима и квалитету сигнала, а не најновији, тренутно актуелни подаци. Практична решења реализације пријема дигиталне телевизије унутар аутомобила предложена су у последњој деценији [34, 35]. Међутим, колико год ова решења у појединачној форми била погодна, она нису стигла до корисника у некој целини која може бити примењива у различитим апликацијама дигиталне телевизије намењеним за рад у реалном

времену. Ово се може приписати временском раскораку између академских истраживања и практичних реализација, али и чињеници да не постоји универзални скуп алгоритама који може решити два основна задатка:

- задатак аутоматског одржавања ажурном листе програмских садржаја дигиталне телевизије током кретања аутомобила,
- задатак репродукције програмског садржаја емитованог у најбољем квалитету слике и звука доступног на различитим фреквенцијским каналима.

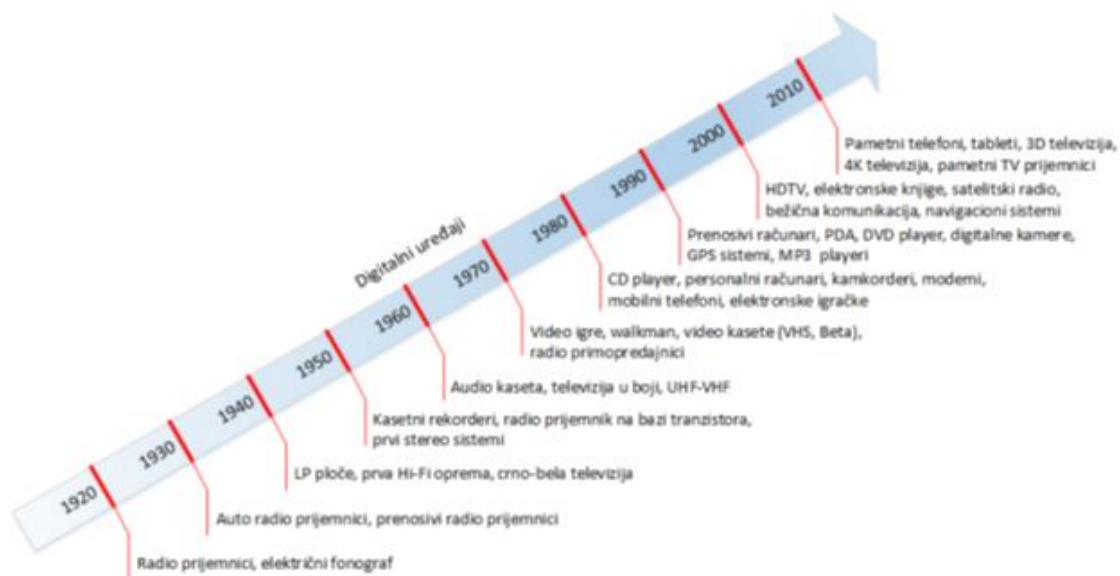
У оквиру анализе тржишта трагало се за могућим решењима проширења система за забаву и информисање сервисима дигиталне телевизије, која би била занимљива корисницима. То је довело до формирања скупа могућности које је потребно подржати, али су и идентификовани конкуренти и недостаци постојећих решења. Показало се да постоје комерцијална решења у одговарајућем опсегу перформанси, али она обезбеђују само одређене функције (подржани су само одређени садржаји [36] или су решења уско специјализована за примену [37 - 39], односно физичку архитектуру [40]). Такође, не постоји стандардизовано решење које би било у могућности да обезбеди потпуну функционалност и да при томе буде платформски независно. Овакво решење би омогућило развој апликација прилагођених за извршавање на нестационарним телевизијским уређајима и даљу спрегу информација које долазе из *DTV* преносног тока у постојеће системе забаве и информисања унутар аутомобила.

3. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

У овом поглављу описане су теоријске основе на којима је докторска дисертација заснована. Изложени су основни принципи дигиталне телевизије као и опис физичке архитектуре (енгл. *Hardware*) и програмске подршке (енгл. *Software*) за дигиталну телевизију.

3.1 Потрошачка електроника

Појам потрошачке електронике се први пут јавља 20-их година двадесетог века као последица масовне продаје радио-пријемника и електронских фонографа. Појава транзистора почетком 50-их година двадесетог века, а посебно каснија појава интегрисаних кола 60-их година двадесетог века, довела је до нових и што је још важније побољшаних производа, као што су преносиви радио-пријемници [41]. До краја двадесетог века потрошачка електроника је постала један од водећих сектора светске економије са веома разноврсном палетом производа, као што су телевизори, камкордери, видео и *DVD* уређаји (енгл. *Digital versatile disc* или *Digital video disc*), видео-игре, акустичка опрема, мобилни телефони, таблети, *GPS* системи, преносиви и персонални рачунари, итд. Слика 3.1 приказује доминантне производе потрошачке електронике у протеклим деценијама [42]. Убрзаном развоју области уређаја потрошачке електронике посебно је допринела управо дигитализација телевизијских сервиса.



Слика 3.1 Временски приказ доминантних производа из области потрошачке електронике

До краја 80-их година двадесетог века емитовање потпуно дигитализованих програмских садржаја корисницима је било незамисливо, како са технолошког, тако и са становишта економске исплативости оваквог приступа. Главни разлог за ово је велика битска брзина неопходна за емитовање 525, односно 625 дигитализованих линија живог видео-тока (од 108 до 270 *Mb/s* некомпримованих података). Други разлог је био тај што је у том моменту акценат стављан на побољшање квалитета телевизијске слике, у шта је уложена значајна количина напора и средстава. Ови напори су резултовали развојем два стандарда за унапређен квалитет аналогне телевизије:

- Телевизија унапређене дефиниције (енгл. *Improved Definition TeleVision, IDTV*) са бројем вертикалних линија до 750.
- Телевизија високе дефиниције (енгл. *High Definition TeleVision, HDTV*) са бројем вертикалних линија до 1125.

Дигитализација телевизије високе дефиниције захтевала је битске брзине које су биле и до 4 пута веће него за телевизију стандардне дефиниције, односно до 1 *Gb/s*. Ово је разлог зашто су многе иницијативе попут *MUSE* (енгл. *MUltiple sub-nyquist Sampling Encoding*) и *HD-MAC* (енгл. *High Definition Multiplexed Analogue Components*) у то време биле дефинисане као аналогни системи са

дигиталном асистенцијом и могу се сматрати као претеча потпуно дигиталне компресије.

3.2 Дигитална телевизија

Почетком 90-их година двадесетог века ситуација на пољу телевизијских уређаја потрошачке електронике мења се из корена. Изузетно брз развој ефикасних алгоритама за компресију слике, који су резултовали прво дефиницијом *JPEG* (енгл. *Joint Photographic Experts Group*) стандарда за компресију непомичних слика, а касније и *MPEG* (енгл. *Moving Picture Experts Group*) стандарда за компресију помичних слика, показао је потенцијал за драстично смањење количине података потребних за емитовање дигиталних слика. Битске брзине су из реда величине 1 Gb/s смањене у опсег од 1.5 до 30 Mb/s, у зависности од изабране дефиниције и садржаја саме слике.

У исто време непрекидан развој интегрисаних кола је дозволио реализацију сложених интегрисаних кола по приступачним ценама, са могућношћу да декомпресују овако компримоване дигиталне слике у реалном времену. За разлику од процесора опште намене, овакве физичке архитектуре постижу обраду у реалном времену тако што обезбеђују паралелизам на нивоу физичке архитектуре (као што је приступ меморији [43]), односно посебним техникама приликом развоја програмске подршке (као што су паралелизација обраде [44], или напредни алгоритми за дигиталну обраду сигнала [45]).

Корисници постају заинтересовани за нове сервисе реализоване кроз различита обележја која им нуде дистрибутери програмског садржаја. Дигитална техника преноса програмског садржаја нуди много већи број сервиса са обележјима која нису била доступна употребом аналогне технике преноса сигнала. Ова обележја пружају корисницима нове видове интеракције са својим телевизијским уређајем, које нису имали прилике до тада да искусе. Ови видови интеракције могу бити:

- Једноставна побољшања устаљених телевизијских сервиса, као што су вишејезични преводи или електронски програмски водич који пружа детаљне информације о распореду емисија.

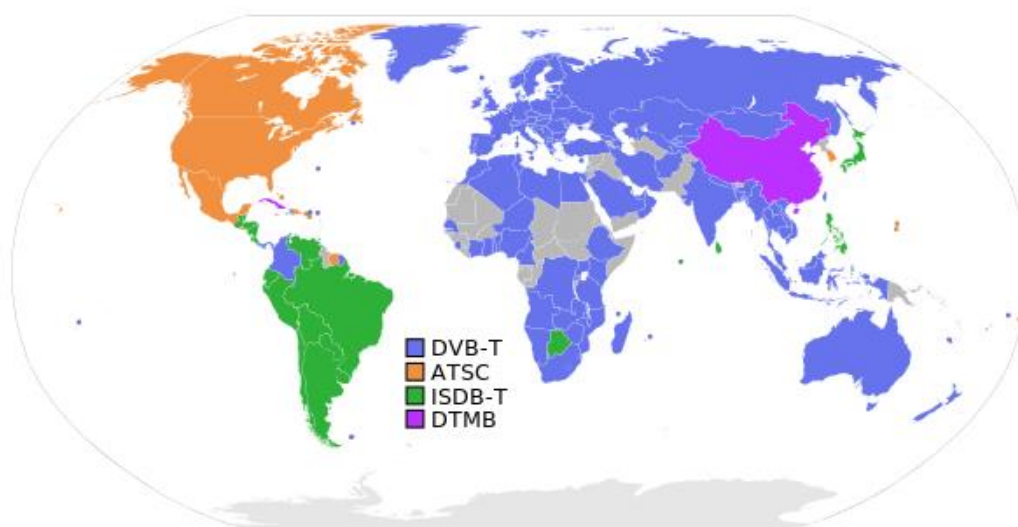
- Напредни информациони садржаји попут вести, или садржаји везани за емисије које се тренутно емитују (биографије, спортске статистике).
- Нова обележја као што су електронско банкарство, интерактивне рекламе итд.

Све ово је покренуло дефинисање система који дозвољава пренос дигиталних слика са истим или бољим квалитетом у односу на тренутно стање аналогних стандарда, али са додатним сервисима омогућеним дигитализацијом преносног сигнала. Једни од првих резултата ове иницијативе виде се у пројекту „*DirectTV*“, који је започет средином 1994. године у САД.

У исто време на европском тржишту се 1991. године престаје са радом на аналогној *HDTV* технологији (*HD-MAC*) и ствара се група за развој и стандардизацију дигиталних телевизијских система за емитовање. Ово је резултовало *DVB* пројектом (енгл. *Digital Video Broadcasting*), заснованом на *MPEG-2* интернационалном стандарду компресије слике. *MPEG-2* такође оставља могућност будућег преласка на *HDTV* коришћењем виших нивоа и профила.

Крајем двадесетог века и у првим деценијама двадесет првог века долази до наглог пада цена великих равних екрана високе дефиниције која је у складу са *HDTV* захтевима. Ови екрани сада постају доступни великом броју корисника, и заједно са новим стандардима компресије покретне слике (као што су *MPEG-4 AVC/H.264*) најзад омогућавају развој и популаризацију дигиталног *HDTV* стандарда широм света.

Појава и успостављање стандарда који се користе у дигиталној телевизији везује се за последњу деценију прошлог века. Тренутно је присутно неколико конкурентских стандарда за пренос дигиталног телевизијског сигнала [46]: *ATSC* (енгл. *Advanced Television Standards Committee*) се користи у Северној Америци, *DVB* се користи у Европи, Африци, Аустралији, као и у неким земљама Азије и Јужне Америке, *ISDB* (енгл. *Integrated Services Digital Broadcasting*) се користи у Јапану, Јужној Америци, као и у неким земљама Африке и Азије, а *DTMB* (енгл. *Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) се користи у Кини и на Куби, као што је приказано на слици 3.2 [47].



Слика 3.2 Мапа расподеле стандарда за дигитални телевизијски пренос

Дигитална телевизија представља пренос слике и звука, као и додатних информација у дигиталном формату [48]. Предности дигиталне телевизије у односу на аналогну су:

- квалитетнији звук и слика;
- ефикаснија употреба спектра, а самим тим и повећање капацитета преноса у односу на аналогну платформу (дигитална телевизија омогућава пренос више програмских садржаја на једном фреквенцијском каналу и уопште већу количину информација);
- повећан квалитет емитованог садржаја;
- нижа цена одржавања за емитере програмског садржаја;
- подршка за расподелу интерактивних садржаја.

Подаци се преносе у облику поворке дискретних бита (0 и 1), модулисане одговарајућом дигиталном модулационом техником (амплитудска модулација, фреквенцијска модулација, фазна модулација), као што је приказано на слици 3.3.



Слика 3.3 Илустрација преноса података

Код вишенивоских модулација, које се користе у дигиталној телевизији, неколико бита са улаза модулатора дефинише један симбол на излазу модулатора. На пример, стандард *DVB-T* користи три модулације *QPSK* (енгл. *Quadrature Phase-Shift Keying*), *16-QAM* (енгл. *Quadrature amplitude modulation*) и *64-QAM*. Код *QPSK* модулације два улазна бита дефинишу симбол на излазу модулатора; код *16-QAM* модулације четири улазна бита дефинишу симбол на излазу модулатора; док код *64-QAM* модулације шест улазних бита дефинише симбол на излазу модулатора. Новији стандард *DVB-T2*, поред *QPSK*, *16-QAM* и *64-QAM* модулација, користи и *256-QAM* модулацију. Код ове модулације осам улазних бита дефинише симбол на излазу модулатора. Илустрација симбола у консталационом дијаграму за *QPSK* и *64-QAM* биће приказана на слици 3.8.

У дигиталној телевизији дигитална поворка бита се модулише у преносни ток (енгл. *Transport Stream, TS*) и демодулише на пријему. Постоји неколико начина преноса дигиталног телевизијског сигнала, и то:

- Земаљски (енгл. *Terrestrial*) – најстарији, корисници користе антену како би примали дигитални сигнал. Ограничење представља то што корисници примају сигнал само од трансмитера који су у опсегу њихових антена. Овакав начин преноса је подржан од стране свих наведених стандарда.
- Кабловски (енгл. *Cable*) – компаније које шаљу кабловски сигнал су прешле на дигитални пренос почетком 21. века. Сви европски добављачи кабловских услуга који су прешли на дигитално емитовање користе *DVB-C* стандард. Кабловски начин преноса осим за *DVB* подржан је и од стране *ATSC* и *ISDB* стандарда.
- Сателитски (енгл. *Satellite*) – пријем дигиталних података преко сателита, подржан од стране *DVB*, *ISDB* и *DMB* стандарда.
- Мобилни (енгл. *Mobile*) – овај начин пријема дигиталног сигнала је подржан од стране свих стандарда осим *DMB*-а и подразумева да мобилни уређаји као што су телефони или таблети могу да примају дигитални телевизијски сигнал.
- Интернет (енгл. *Internet Protocol TeleVision, IPTV*) – *IPTV* представља пријем дигиталног сигнала преко нпр. телефонске линије, сходно

томе овај садржај емитују телекомуникациони емитери (нпр. *MTS* у Србији).

Фреквенцијски опсези сателитске, кабловске, односно земаљске мреже подељени су у више независних фреквенцијских канала. У оквиру сваког од канала емитује се више програмских садржаја, који се заједно називају мултиплекс (енгл. *Multiplex*). Квалитет дигиталног телевизијског сигнала може бити различит: квалитет стандардне дефиниције (енгл. *SD* – *Standard Definition*) или високе дефиниције (енгл. *HD* – *High Definition*). Количина података у једном мултиплексу зависи од тога да ли се преноси *SD* или *HD* садржај.

Садржај једног мултиплекса [49] приказан је на слици 3.4.



Слика 3.4 Пример мултиплекса

Програмски садржаји представљају телевизијске канале који се групишу у одговарајући мултиплекс. Тако, на пример, у оквиру једног мултиплекса имамо више програмских садржаја, као што су: РТС 1, РТС 2, О2ТВ, Прва и остали. Сваки од програмских садржаја се састоји од неколико обележја:

- Видео,
- Аудио,
- Превод,
- Телетекст.

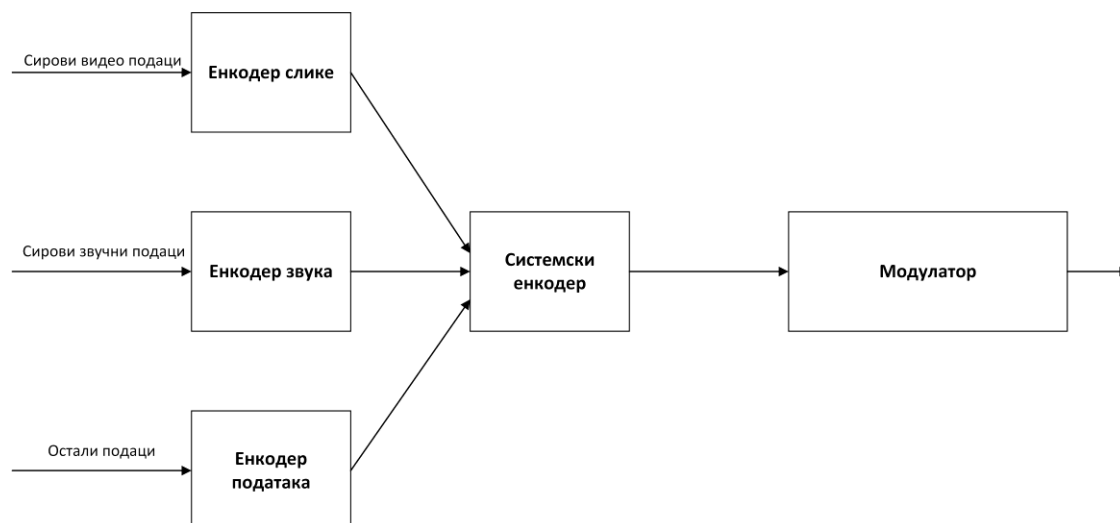
Због све шире примене покретних (енгл. *Mobile*) пријемника телевизијског сигнала, изражена је потреба за пријемницима дигиталног телевизијског сигнала

који покривају више стандарда. У оквиру овог истраживања акценат ће бити стављен на *DVB* и *ISDB* стандарде, јер тренутно стање на тржишту показује да постоји слаба подршка дигиталних телевизијских пријемника који подржавају више телевизијских стандарда.

3.3 *DVB-T* стандард

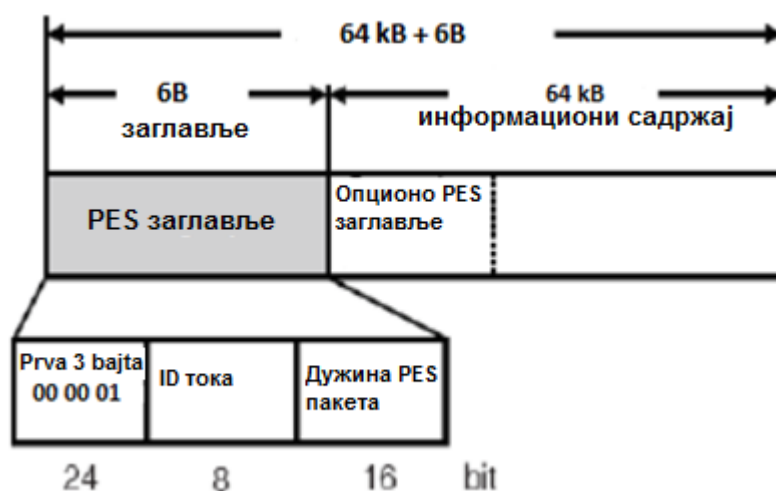
У септембру 1993. године, када су јавне и приватне телевизијске организације из целе Европе потписале споразум о заједничком раду на стварању стандарда о емитовању дигиталног сигнала, започет је *DVB* пројекат. Године 1995. дефинисан је јединствен стандард за емитовање дигиталних садржаја земаљским путем у оквиру одговарајућег *DVB-T* пројекта. Предложено решење ће подржати *DVB-T* верзију стандарда као и новију верзију *DVB-T2*. У тексту који следи биће изложени основни принципи стандарда *DVB*.

Прихватање *MPEG-2* (енгл. *Moving Picture Experts Group*) стандарда као основе за кодовање садржаја и стварање низа података, односно тока података, представља кључни моменат за *DVB* групацију. *MPEG-2* системски кодер има задатак да обједини три врсте података који се јављају у одговарајућим токовима: видео-ток, аудио-ток и ток осталих података, као што је приказано на слици 3.5. Ови токови се називају елементарни токови (енгл. *ES – Elementary Stream*). Подаци се преносе у бинарном облику, при чему су груписани у пакете. Пошто се подаци генеришу различитим брзинама, пакети су променљиве дужине. Ови пакети се називају *PES* пакети (енгл. *Packetized Elementary Streams*).



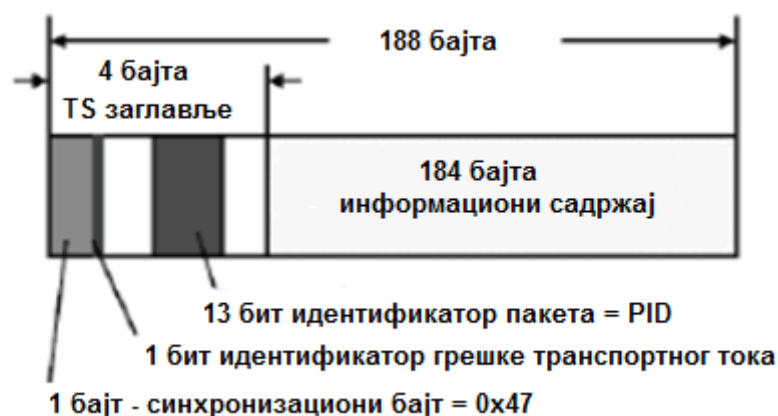
Слика 3.5 Основна блок шема DVB-T предајника

PES пакети имају дужину до 64 kB [50]. Сваки пакет садржи релативно кратко заглавље (енгл. *Header*) и део који представља информациони садржај (енгл. *Payload*). Заглавље има величину од 6 B, где прва три бајта имају обавезни садржај 00 00 01. Следећи бајт описује врсту информационог садржаја који се налази у *PES* пакету (видео, аудио, остали подаци). Пети и шести бајт садрже информацију о дужини *PES* пакета. На слици 3.6 представљен је један *PES* пакет и садржај његовог заглавља.

Слика 3.6 Скица *PES* и основног садржаја *PES* заглавља

PES пакети се деле у краће пакете непроменљиве дужине од 184 бајта. Ови краћи пакети се називају *TS* пакети. Сваком *TS* пакету додаје се заглавље

непроменљиве дужине од 4 бајта. На основу тога добија се преносни низ пакета сачињен од *TS* пакета дужине 188 бајта, као што је приказано на слици 3.7.



Слика 3.7 Структура *TS* пакета у *MPEG-2* преносном низу

MPEG стандард дефинише начин комбиновања (енгл. *Multiplexing*) *TS* пакета у току података тако да одговарајућа пријемна страна може декодовати примљене пакета без прекорачења у меморији за складиштење података. Сваки пакет у преносном току података, без обзира на садржај, идентификован је помоћу *PID*-а (енгл. *Packet Identifier*). Помоћу њега декодер проналази и разврстава податке у преносном току података. *TS* формат је погодан за комбиновање више програмских садржаја у један јединствен информациони ток. Како би пријемна страна била свесна садржаја који се преноси у току података, и како би могла да реконструише комбиноване елементарне токове података, *DVB* и *MPEG* стандард дефинишу додатни садржај који се преноси у току података. Да би се пријемној страни омогућило да повеже *PID* вредности са одговарајућим *DTV* информацијама садржаним у преносном току података, заједно са *PES* пакетима у истом преносном току преносе се и специјални контролни токови који садрже тзв. сигналне табеле (енгл. *Signalling Tables*). Ове табеле носе податке о сваком појединачном *DTV* програмском садржају који се преноси унутар преносног тока. Сигналне табеле се преносе као засебни токови података унутар преносног тока података, мултиплексирани заједно са осталим *TS* пакетима. *PSI* табеле (енгл. *Program Specific Information*) састоје се од описа елементарних токова које треба комбиновати како би се добио одређени *DTV* програмски садржај. Свака *PSI* табела је садржана у једној *PSI* секцији (енгл. *PSI*

Sections) или више њих. Како би декодер на пријемној страни могао у било ком тренутку да приступи овим табелама, табеле се периодично шаљу у преносном току података. Неке од битних сигналних табела су:

- *PAT* (енгл. *Program Association Table*) - садржи листу *PID* вредности *TS* пакета са *PSI* табелама (тзв. *PMT* табеле), које у себи носе податке о *DTV* програмским садржајима који се емитују на том фреквенцијском каналу. *PAT* се увек шаље у *TS* пакетима са предефинисаном *PID* вредношћу 0x0000.
- *PMT* (енгл. *Program Map Table*) - дефинише листу *PID* вредности пакета из тока података придружених одређеном програмском садржају. Ова табела се понаша као мапа програма која садржи *PID* вредности аудио, видео и осталих обележја.
- *NIT* (енгл. *Network Information Table*) - садржи информације о мрежи која емитује *TS* мултиплекс којем припада и дати *DTV* програмски садржај. Табела између осталог садржи и информацију о носећим фреквенцијским каналима на којима мрежа поседује програмски садржај. Предефинисана *PID* вредност *TS* пакета који носе *NIT* секције је 0x0010.
- *SDT* (енгл. *Service Description Table*) – садржи називе програмских садржаја и друге детаље о програмским садржајима.
- *EIT* (енгл. *Event Information Table*) - обезбеђује информације о тренутно приказиваном садржају и о садржају који ће се касније приказивати.
- *CAT* (енгл. *Conditional Access Table*) - користе се код заштићених *DTV* програмских садржаја. Дефинишу тип криптовања и *PID* вредности *TS* пакета који садрже информације неопходне за дешифровање садржаја. *CAT* секције су садржане у *TS* пакетима који имају *PID* вредност 0x0001.

DVB-T верзију стандарда дефинишу следеће специфичности у односу на изворни *DVB* пројекат:

- 3 типа модулације: *QPSK*, *16-QAM* и *64-QAM*, ради балансирања између учесталости преноса података и односа сигнал – шум (енгл.

Signal to noise ratio, SNR) на нивоу који је могуће толерисати. Модулације попут *QPSK* не омогућавају велику учесталост преноса података попут *64-QAM*, али је пријем таквих података могућ и у условима слабијег сигнала.

- 5 различитих кодних количника (енгл. *Code rate*): 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 и 7/8.
- 4 различита заштитна интервала (енгл. *Guard Interval*): 1/4, 1/8, 1/16 и 1/32.
- 3 подржана пропусна опсега (енгл. *Bandwidth*): 6, 7 и 8 MHz.

Битније новине које уводи *DVB-T2* верзија стандарда огледају се у:

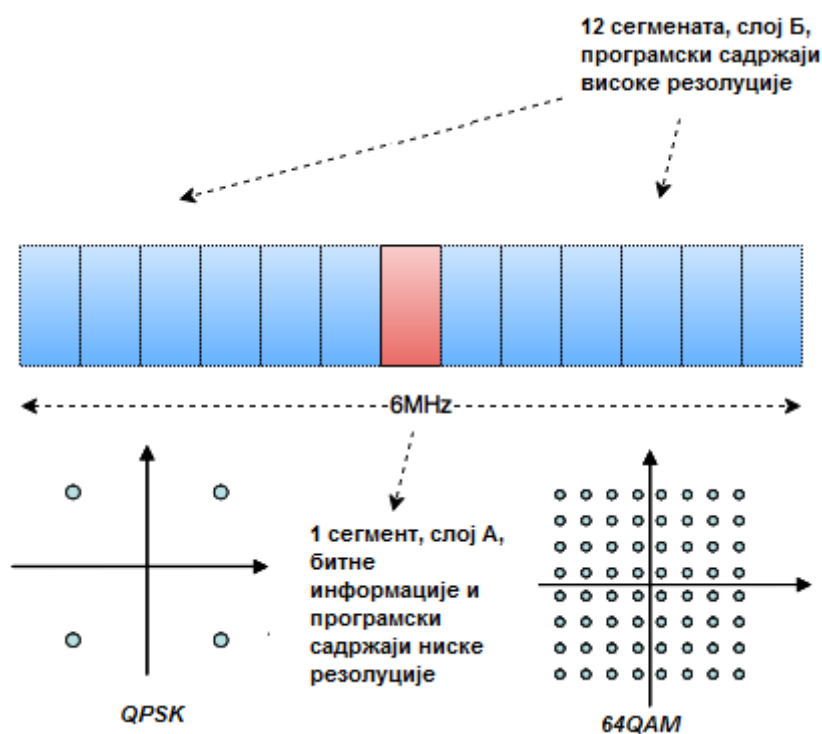
- увођењу новог типа модулације *256-QAM*,
- повећању капацитета преноса са 31.66 Mb/s (*DVB-T*) на 50.34 Mb/s (*DVB-T2*),
- новом начину заштите од грешака у преносу, где се уместо конволуционог кодовања уз Ред-Соломон код (*DVB-T*) користе *LDPC* (енгл. *Low Density Parity Check*) и кодовање *BCH* (енгл. *Bose-Chaudhuri-Hocquengham*),
- коришћењу ефикаснијих техника компресије садржаја попут *HEVC* (енгл. *High Efficiency Video Coding*),
- обради више токова података преко заједничког канала података на физичком нивоу (енгл. *Physical Layer Pipe, PLP*) и групе канала [51].

3.4 Специфичности *ISDB-T* стандарда

ISDB-T стандард се по већини основних правила поклапа са *DVB* стандардом, а као новину уводи скуп правила којим омогућава добар пријем сигнала, како стационарним, тако и покретним пријемницима. Стандард дефинише јединствен систем за пренос независно појасно сегментираног *OFDM* сигнала са временским мултиплексирањем (енгл. *BSF-OFDM - Band Segmented Transmission Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Овај стандард пружа многобројне предности у односу на конвенционалне методе преноса. Једна од важнијих је подршка за расподелу програмских садржаја намењених за покретне и стационарне пријемнике унутар једног фреквенцијског канала [52].

Ширина једног телевизијског канала је 6 MHz и сваки канал је подељен на 13 сегмената. Ови сегменти се могу груписати у три слоја, од којих сваки може имати друге параметре модулације. Подаци из ових сегмената и слојева се на пријемној страни могу комбиновати или користити одвојено.

ISDB-T стандард уводи и појам једносегментног програмског садржаја (енгл. *1seg service*) који се преноси само у централном сегменту телевизијског канала и по правилу је увек модулисан неким типом модулације отпорнијим на сметње у преносу, као што је *QPSK*. У овом сегменту се преносе подаци битни за демодулацију програмских садржаја на пријемној страни и програмски садржаји ниске дефиниције, који су оптимизовани за репродукцију на преносним уређајима. На слици 3.8 приказан је један од могућих распореда сегмената и модулација.



Слика 3.8 Пример сегментног преноса података са једносегментним програмским садржајем

Преосталих 12 сегмената обично се модулише неком спектрално ефикасном модулацијом, као што је 64-QAM.

Овим се омогућава приказ садржаја високе дефиниције у условима високог нивоа телевизијског сигнала, а приказ садржаја ниске дефиниције у случају ниског нивоа телевизијског сигнала. На основу сегментног преноса података могуће је реализовати аутоматски избор програмског садржаја високе или ниске дефиниције, у зависности од квалитета сигнала на телевизијском пријемнику. Подаци о распореду фреквенцијских канала у земљама које користе *ISDB-T* стандард за расподелу програмског садржаја унапред су дефинисани и јавно доступни, па је коришћењем ових података могућа брза претрага канала заснована на тим распоредима канала.

Неки програмски садржаји су заштићени и носе информације када и ко их може репродуковати. Како би приказивали овај садржај, телевизијски пријемници морају интегрисати подршку за декриптовање програмских садржаја заштићених у складу са стандардом *ARIB STD-B25* [53]. Систем заштите се заснива на криптографском алгоритму са троструким кључевима. *TRMP* (енгл. *The Software Based RMP System*) стандард је специјализован за заштиту садржаја у земаљском преносу. Дигитални садржај свих програмских садржаја заштићен је приликом слања и емитован је заједно са кључевима које пријемник телевизијског сигнала може искористити за декриптовање примљених садржаја. По *ISDB-T* стандарду (*ARIB STD-B25*) могућа је заштита програмских садржаја коришћењем *B-CAS* или *TRMP* система заштите. Ова два система су присутна у исто време, тако да се кључеви за оба типа преносе истовремено у свим програмским садржајима (енгл. *Simulcrypt Operation*). На предајној страни нема битне разлике између ова два типа заштите. Видљива разлика је у пријемној страни и начину чувања кључа за декриптовање примљеног садржаја. У *B-CAS* пријемницима кључеви се налазе у додатној картици, док су код *TRMP* система кључеви сачувани у самом пријемнику. Због ове особине *TRMP* система могуће је његово коришћење на много већем броју уређаја који немају подршку за читање *B-CAS* картица.

Стандард *ARIB STD-B24* [54] дефинише интерактивне сервисе за *ISDB-T* телевизијски пренос. Ови сервиси обезбеђују вести, временску прогнозу, податке о саобраћају, као и информације везане за телевизијске програме уз које се преносе, као што је приказано на слици 3.9.

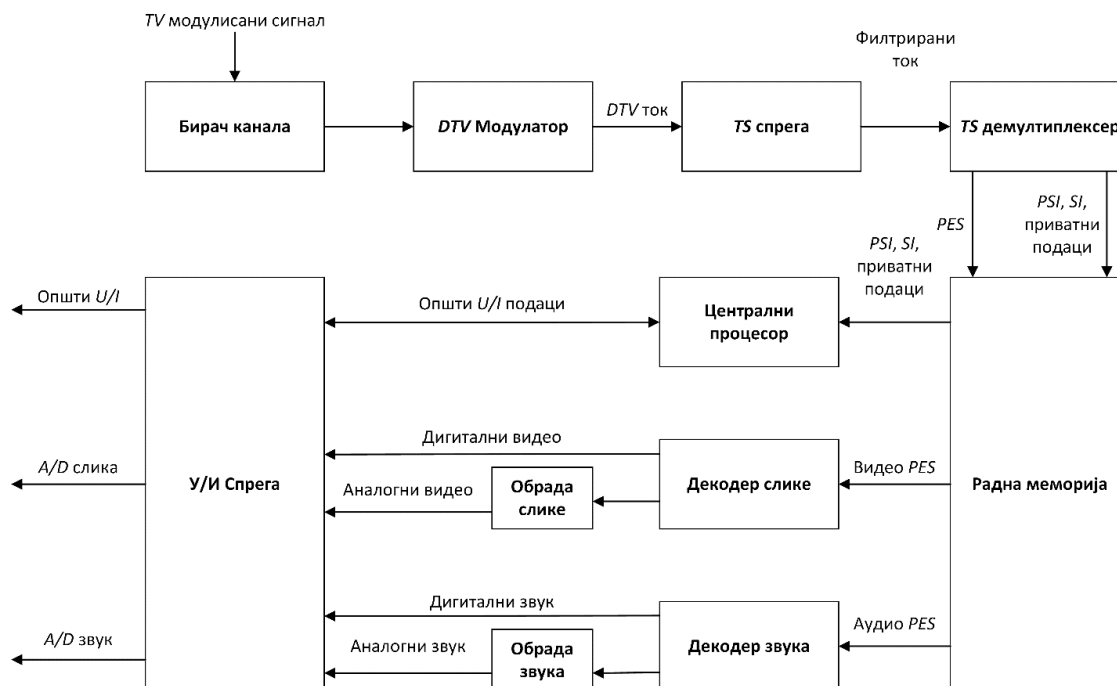


Слика 3.9 Пример обележја интерактивног програмског садржаја

Интерактивни садржаји у *ISDB-T* стандарду дефинишу се у *BML* (енгл. *Broadcast Markup Language*) формату. Сви *ISDB-T* програмски садржаји у Јапану поседују и интерактивно обележје које преноси вести, временску прогнозу и податке о самом програмском садржају.

3.5 Дигитални телевизијски пријемник

Дигитални телевизијски пријемник састоји се од неколико функционалних блокова који су контролисани од стране централног процесора. Архитектура *DTV* пријемника је приказана на слици 3.1.



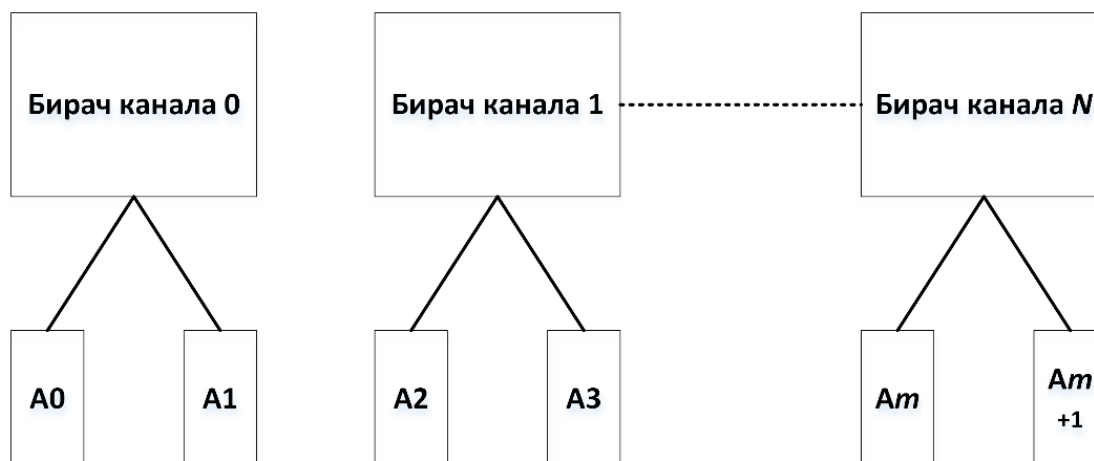
Слика 3.10 Архитектура DTV пријемника

Одговарајући модулисани сигнал долази до бирача фреквенцијских канала, који издваја сигнал емитован на фреквенцијском каналу задатом од стране централног процесора. У зависности од типа (земаљски, сателитски, кабловски, мобилни или интернет), сигнал се даље прослеђује специфицираном демодулатору, а након његове обраде добија се дигитални сигнал. Бирач фреквенцијских канала и одговарајући демодулатор заједно чине јединствен модул који се назива мрежни спрежни модул (енгл. *Network Interface Module, NIM*). Након добијања дигиталног сигнала врши се демултиплексирање преносног тока података. Прво се издвајају одговарајући пакети који садрже *PID* вредности постављене од стране централног процесора. Након тога пакети се организују у елементарне токове података и прослеђују аудио или видео декодеру, уколико се ради о аудио или видео подацима, односно централном процесору, уколико се ради о сигналним табелама. Данас се најчешће користе физички декодери у DTV пријемницима који врше декомпресију *MPEG-2* и *MPEG-4* формата података.

3.5.1 Дигитални телевизијски пријемник са више бирача фреквенцијских канала

У односу на стационарне телевизијске пријемнике, који углавном имају један бирач фреквенцијских канала, покретни телевизијски пријемници поседују више бирача фреквенцијских канала како би омогућили одређене сервисе попут претраживања канала у позадини, прикупљања *DTV* података и преласка на алтернативни програмски садржај. Телевизијски пријемник унутар аутомобила може се сматрати покретним телевизијским пријемником, стога је потребно да поседује сервис трајног претраживања канала у позадини како би обезбедио најажурније податке. Код стационарних телевизијских пријемника може се претпоставити да је преносни ток података на одређеном фреквенцијском каналу доступан током њиховог рада. Насупрот томе, покретни пријемници се суочавају са ситуацијом да изабрани преносни ток није више доступан на тренутном фреквенцијском каналу уколико се сам пријемник налази изван подручја пријема сигнала. То значи да приликом губитка сигнала на одређеном фреквенцијском каналу претходно поменути подаци за дати програмски садржај могу бити и даље доступни, али сада на новом фреквенцијском каналу. Такође, у току репродукције програмског садржаја може се догодити губитак сигнала. Како би се наставила репродукција одређеног програмског садржаја, пријемник треба да активира алтернативни програмски садржај на другом фреквенцијском каналу, само уколико је квалитет сигнала довољно добар и алтернативни садржај доступан на тренутном подручју пријема сигнала.

Данашњи аутомобили су опремљени мноштвом антена које омогућавају комуникацију између аутомобила у покрету и спољашњег света. Са увођењем нових електронских уређаја и нових функционалности у аутомобил повећава се потреба за комуникацијом, а самим тим и број потребних антена [55]. Предуслов за исправан рад мобилног телевизијског пријемника је поседовање више бирача фреквенцијских канала са једном антенom или више антена доступних за удруживање по сваком бирачу фреквенцијских канала [56]. Доступни бирачи фреквенцијских канала међусобно се комбинују и групишу како би се постигао најбољи квалитет примљеног сигнала, као што је приказано на слици 3.11:



Слика 3.11 Груписање бирача фреквенцијских канала

Дати бирачи фреквенцијских канала могу се поделити у две групе:

- Предњи бирачи фреквенцијских канала (енгл. *Foreground tuners*) – минимум два бирача фреквенцијских канала комбинована посебном методом која се назива *MRC* (енгл. *Maximal Ratio Combining*) [57, 58];
- Позадински бирачи фреквенцијских канала (енгл. *Background tuners*) – минимум један бирач фреквенцијских канала.

MRC метода представља технику удруживања више примљених сигнала у један побољшан сигнал који ће имати максималан однос сигнал - шум:

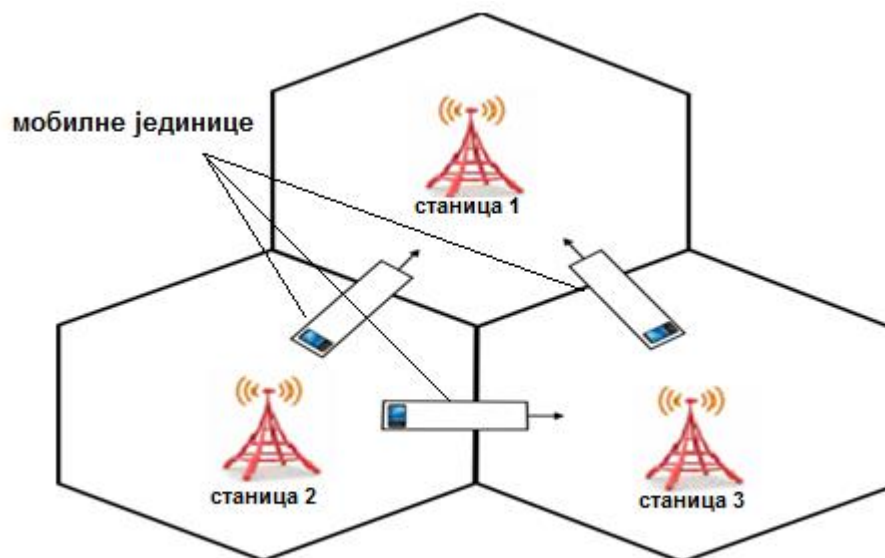
$$\sum_{k=1}^N SNR_k \sqrt{\sum_{k=1}^N SNR_k}, \text{ где } k \text{ представља примљени сигнал} \quad (1)$$

Свака група бирача фреквенцијских канала прослеђује један ток података средњем слоју телевизијске програмске подршке, након чега сваки понаособ буде обрађен. Предња група бирача фреквенцијских канала се користи за репродукцију програмског садржаја и праћење квалитета сигнала. Позадинска група бирача фреквенцијских канала се користи за претраживање канала, напредно руковање листом програмских садржаја и за праћење квалитета сигнала.

3.6 Механизам за прелазак на алтернативни фреквенцијски канал у области мобилних радио-комуникација

Прва појава механизма за прелазак на алтернативни фреквенцијски канал (енгл. *handover*) описана је у области мобилних радио-комуникација, па је тек онда нашла примену и у телевизијским пријемницима. У области мобилних радио-комуникација термин *handover* или *handoff* односи се на процес преноса контроле у току позива или процес промене пријема сигнала са једне станице на другу. У сателитским комуникацијама то је процес преноса сателитске контроле одговорности, односно процес промене пријема сигнала са једне станице на земљи на другу, без губитка или прекида услуге. У британском енглеском речнику термин *handover* је чешћи, а користи се у међународним и европским организацијама као што су *ITU-T* (енгл. *International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*), *IETF* (енгл. *Internet Engineering Task Force*) итд. Амерички енглески речник користи термин *handoff*, а најчешће се користи у америчкој организацији *3GPP2* (енгл. *The Third Generation Partnership Project 2*). Термин *handover* се чешће користи у академским оквирима, док је *handoff* нешто чешћи у оквиру *IEEE* (енгл. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) и *ANSI* (енгл. *American National Standards Institute*) организација.

У области мобилних радио-комуникација идентификују се различити разлози коришћења *handover* механизма. Када се телефон удаљава од подручја која покрива једна станица и улази у област коју покрива друга станица, позив се преноси на другу станицу како би се избегао прекид позива кад телефон буде изван домета прве станице [59]. Ако се постојећи или нови позив са телефона реализује у подручју где се преклапају две станице, позив се преноси на следећу станицу како би се ослободио капацитет у првој станици за кориснике који се могу прикључити само на ту станицу, као што је приказано на слици 3.12.



Слика 3.12 Пример преласка на алтернативну станицу

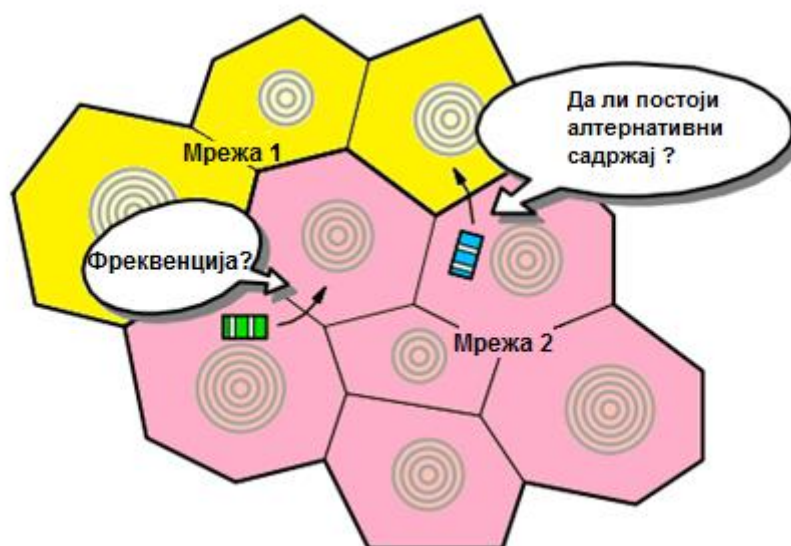
3.7 Механизам за прелазак на алтернативни фреквенцијски канал или на алтернативни садржај у области дигиталне телевизије

Код стационарног пријемника може се претпоставити да ће преносни ток на датом фреквенцијском каналу бити стално на располагању током његовог рада. Насупрот томе, покретни пријемник се суочава са ситуацијом да изабрани преносни ток није више доступан на тренутном фреквенцијском каналу ако се пријемник креће изван подручја пријема. Како би се наставило приказивање изабраног програмског садржаја, покретни пријемник треба аутоматски да одабере нови фреквенцијски канал са истим садржајем, уколико он постоји.

Ако се пријемник преселио из једне станице у другу станицу која припада истој мрежи, исти одабрани преносни ток може, а не мора бити доступан кориснику на различитом фреквенцијском каналу. Покретни пријемник мора да утврди на ком фреквенцијском каналу се изгубљени преносни ток емитовао пре уласка у следећу станицу. Преносни ток не мора бити доступан кориснику ни ако се пријемник преселио из станице која припада једној мрежи у станицу друге мреже.

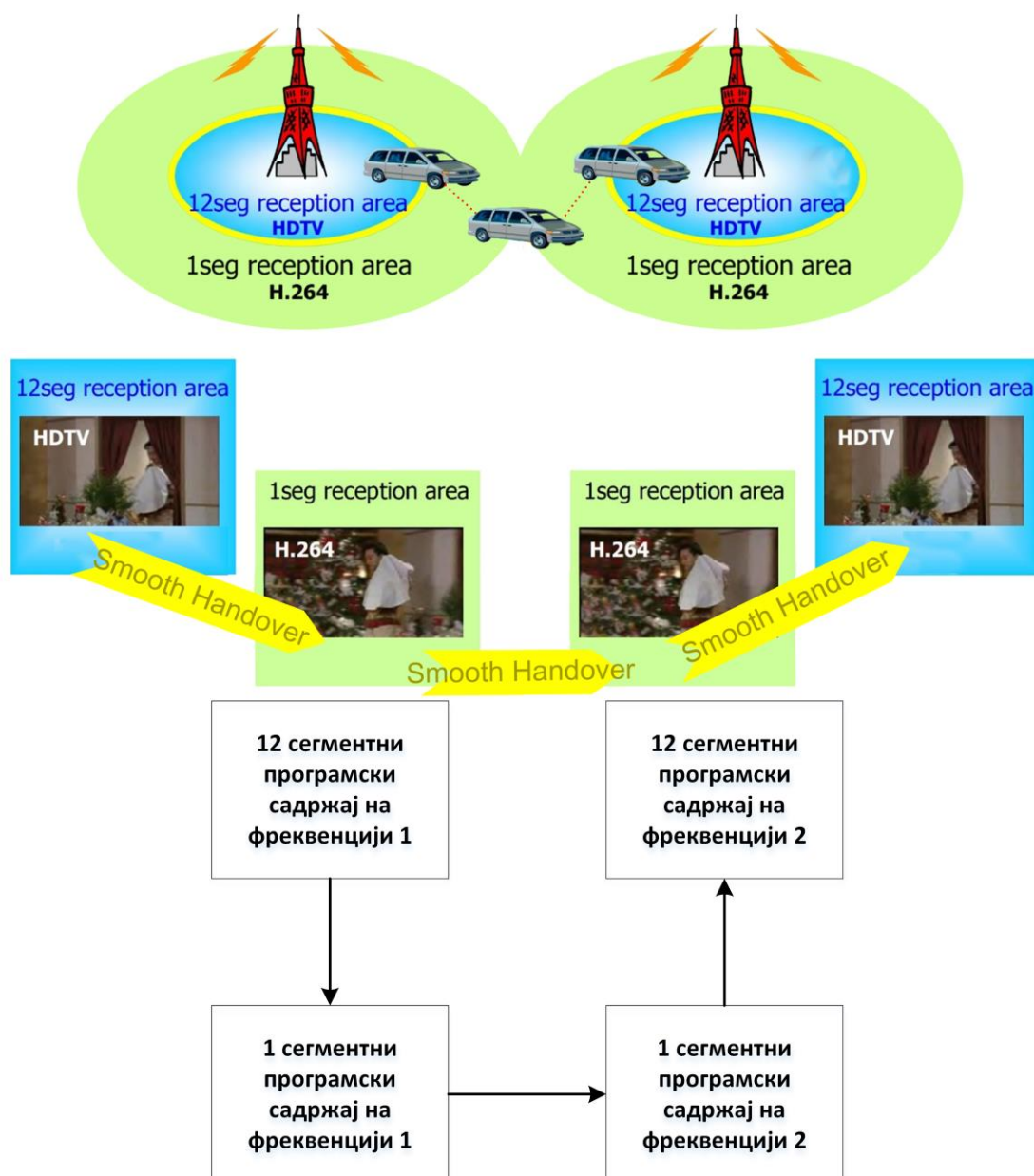
Пријемник може да сазна да ли је програмски садржај који је био изабран од стране корисника доступан на преносном току при промени станице или при уласку у ново мрежно подручје, па ако јесте и даље доступан, пријемник треба да одреди преносни ток који носи одабрани садржај и фреквенцијски канал тог преносног тока. Уколико претходно изабрани програмски садржај није доступан, пријемник може да утврди да ли постоје алтернативни програмски садржаји за одабир (локалне варијације оригиналног програмског садржаја).

Слика 3.13 приказује две опште *handover* ситуације [60]: прелаз из једне станице у другу станицу унутар исте мреже (Мрежа 2 на слици 3.13) и прелаз између станица различитих мрежа (из Мреже 2 у Мрежу 1 на слици 3.13).



Слика 3.13 Приказ две опште ситуације преласка на алтернативни канал или алтернативни садржај

У оквиру *ISDB-T DTV* стандарда прелаз између програмских садржаја се поред општих ситуација приказаних на слици 3.13 дефинише и као специјални случај [61], јер је сам програмски садржај подељен у више пријемних сегмената, као што је приказано на слици 3.14.



Слика 3.14 Општи пример прелаза између програмских садржаја у *ISDB-T DTV* стандарду

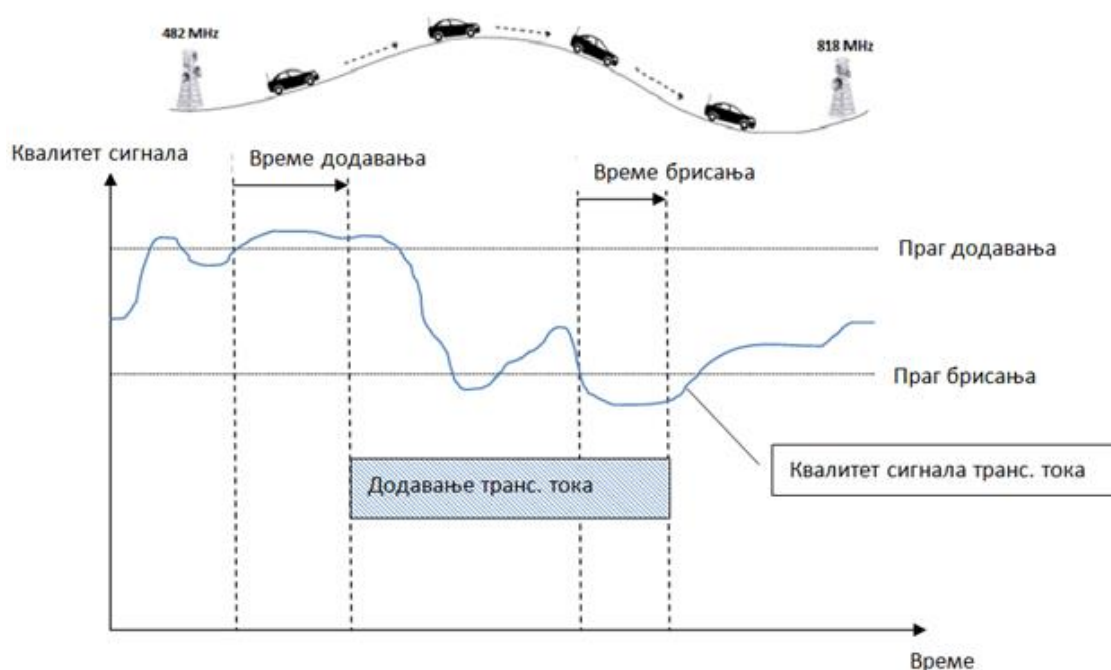
4. АЛГОРИТМИ ЗА АЖУРИРАЊЕ И ПРАЋЕЊЕ ДОСТУПНИХ ПРОГРАМСКИХ САДРЖАЈА

Проблем ажурирања и праћења доступних програмских садржаја дигиталне телевизије није решен у доступној литератури. Отуда је он био тема истраживања ове докторске дисертације. Предложено решење се реализује кроз два алгорита:

- алгоритам за одржавање листе доступних програмских садржаја;
- алгоритам за праћење постојећег програмског садржаја.

4.1 Алгоритам за одржавање листе доступних програмских садржаја

Уколико се пријемник налази у покрету, доступност програмског садржаја се мења са променом нивоа примљеног сигнала. Због тога је неопходно стално ажурирати листу доступних програмских садржаја. Садржаји се могу емитовати на више различитих фреквенцијских канала и треба да се забележе у листи доступних садржаја. Са друге стране, садржаји који више нису доступни на одређеном фреквенцијском каналу треба да се уклоне из листе доступних програмских садржаја. Шематски приказ *DTV* пријемника у покрету представљен је на слици 4.1.



Слика 4.1 Шематски приказ пријемника у покрету

С обзиром на то да се пријемник налази у покрету, поред постојећих и општепознатих начина претраживања *DTV* канала (аутоматско и ручно претраживање), потребно је дефинисати нови начин претраживања канала. Претраживање канала (у даљем тексту позадинско претраживање) врши се стално како би се обезбедили најажурнији подаци у сваком моменту. Позадинско претраживање канала је засновано на ручном претраживању (енгл. *Manual Scan*) сваког појединачног и унапред дефинисаног фреквенцијског канала у цикличном моду рада.

Како би се током позадинског претраживања листа садржаја одржавала ажурном, уведени су следећи параметри:

- *SQTAS* (енгл. *Signal Quality Threshold for Adding Service*) – представља праг квалитета сигнала изражен у децибелима (*dB*). Уколико је квалитет сигнала изнад датог прага, одређени програмски садржај биће забележен у листи доступних програмских садржаја.
- *TTAS* (енгл. *Time Threshold for Adding Service*) – представља трајање временског интервала изражено у секундама након којег ће

одређени програмски садржај бити забележен у листи доступних програмских садржаја.

- *SQTRS* (енгл. *Signal Quality Threshold for Removing Service*) – представља праг квалитета сигнала изражен у децибелима (*dB*). Уколико је квалитет сигнала испод прага, одређени програмски садржај биће уклоњен из листе доступних програмских садржаја.
- *TTRS* (енгл. *Time Threshold For Removing Service*) – представља трајање временског интервала изражено у секундама након којег ће одређени програмски садржај бити уклоњен из листе доступних програмских садржаја.

Поред дефинисаних вредности прагова и трајања временског интервала уведене су две додатне листе програмских садржаја које се користе у поступку освежавања:

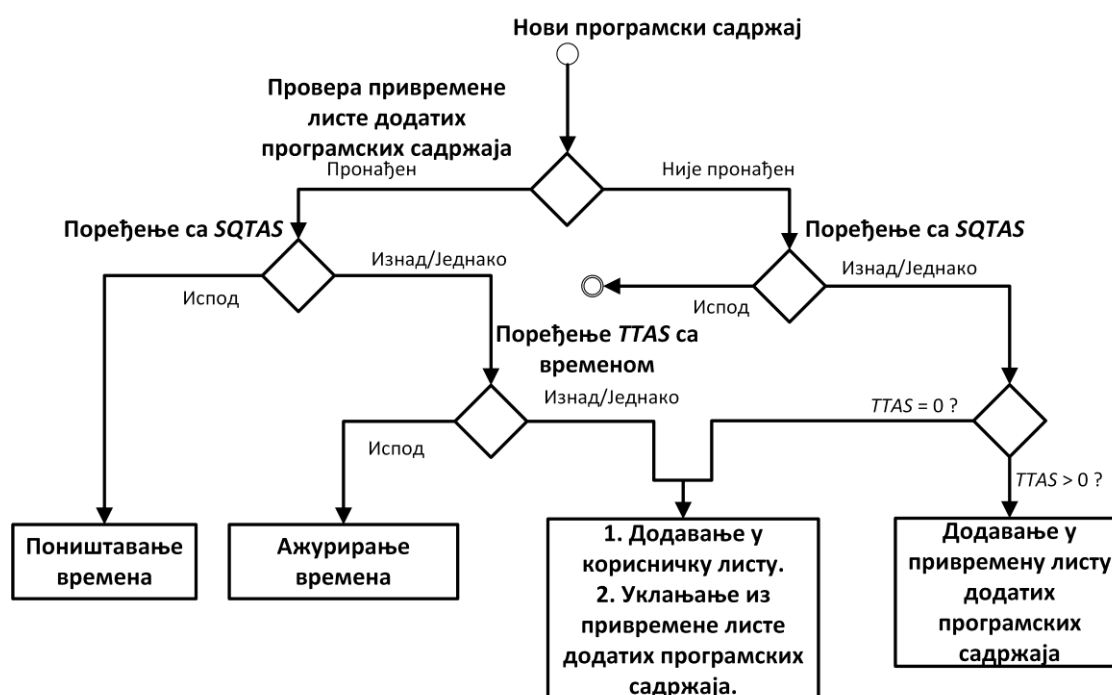
- Привремена листа додатих програмских садржаја (енгл. *Temporary Add Service List*);
- Привремена листа уклоњених програмских садржаја (енгл. *Temporary Delete Service List*)

Након што се обраде *SI/PSI* табеле и утврди да су на одређеном фреквенцијском каналу нађени програмски садржаји, примењује се следећи алгоритам:

- Провера да ли се програмски садржај са тренутног фреквенцијског канала налази у корисничкој листи програмских садржаја.
- Разврставање програмских садржаја по следећем критеријуму: нови програмски садржај, постојећи програмски садржај и непостојећи програмски садржај.
- Уколико је реч о новом програмском садржају, проверава се да ли се дати садржај налази у привременој листи додатих програмских садржаја (ова листа се користи као привремено складиште за све нове програмске садржаје пре него што се ти програмски садржаји забележе у корисничку листу).
- Проверава *SQTAS* и *TTAS* (уколико је то потребно). Пре него што се програмски садржаји забележе у корисничку листу, квалитет

сигнала мора бити изнад прага $SQTAS$ и временски интервал $TTAS$ мора бити задовољен. Уколико временски интервал $TTAS$ није подешен, односно $TTAS$ износи нула секунди, програмски садржаји ће бити забележени непосредно у корисничку листу уколико је квалитет сигнала изнад $SQTAS$.

Део алгоритма одговоран за руковање новим програмским садржајем је илустрован на слици 4.2.

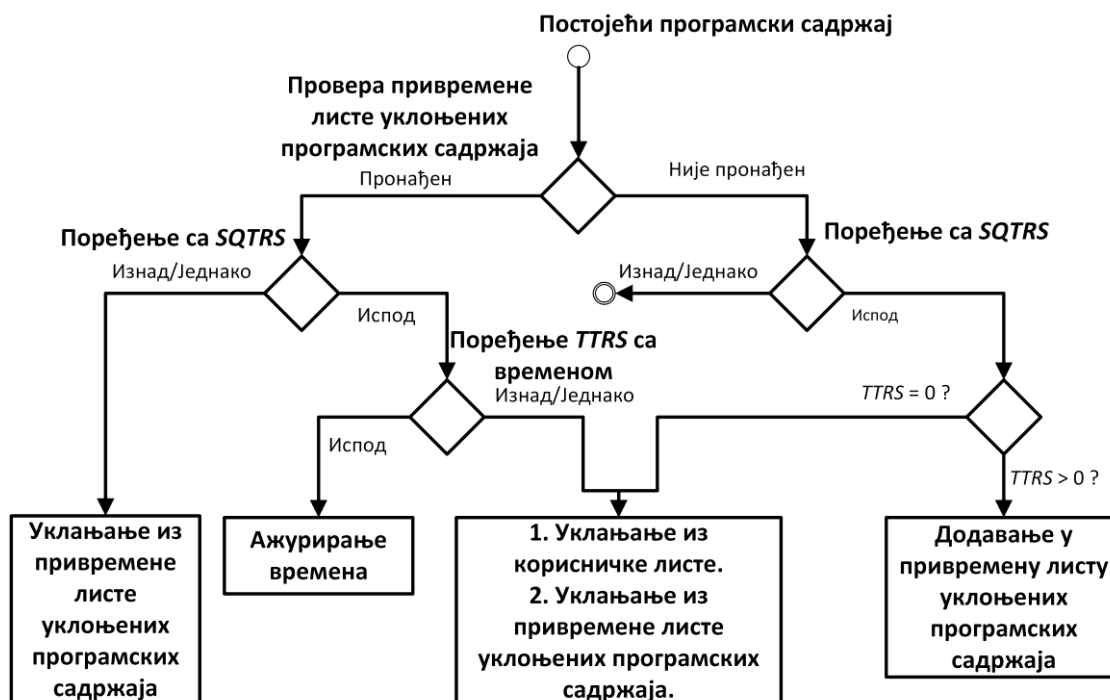


Слика 4.2 Алгоритам за обраду нових програмских садржаја

- За све постојеће програмске садржаје на тренутном фреквенцијском каналу потребна је провера да ли се дати садржај налази у привременој листи уклоњених програмских садржаја (листа се користи као привремено складиште за све постојеће програмске садржаје пре него што се дати садржаји уклоне из корисничке листе).
- Потом се проверава $SQTRS$ и $TTRS$. Пре него што се одређени програмски садржај уклони из корисничке листе, квалитет сигнала мора бити испод задатог прага $SQTRS$ и временски интервал $TTRS$

мора бити задовољен. Уколико временски интервал $TTRS$ није подешен, односно $TTRS$ износи нула секунди, програмски садржаји ће бити уклоњени из корисничке листе уколико је квалитет сигнала испод $SQTRS$.

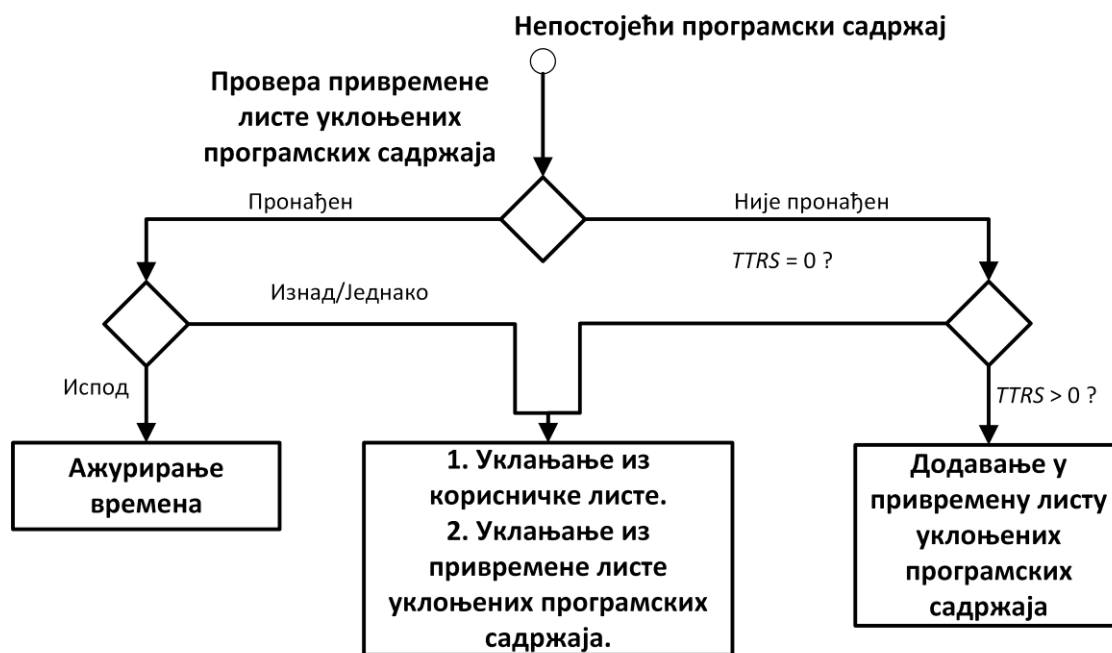
Део алгоритма одговоран за руковање постојећим садржајем илустрован је на слици 4.3.



Слика 4.3 Алгоритам за обраду постојећих програмских садржаја

Постоји могућност да се одређени програмски садржаји појаве у кратком временском интервалу и да након тога у потпуности нестану. Како би се избегло нагомилавање таквих садржаја у привременој листи додатих програмских садржаја, примењена је следећа процедура: уколико програмски садржај постоји у привременој листи додатих програмских садржаја, али дати садржај више није доступан на основу стања у корисничкој листи, програмски садржај ће бити уклоњен из привремене листе додатих програмских садржаја.

За све програмске садржаје који се налазе у корисничкој листи, али нису више доступни на тренутном фреквенцијском каналу, биће примењен део алгоритма одговоран за руковање непостојећим програмским садржајима, а исти је илустрован на слици 4.4.



Слика 4.4 Алгоритам за обраду непостојећих програмских садржаја

Након обраде свих програмских садржаја на тренутном фреквенцијском каналу, а пре преласка на претраживање следећег фреквенцијског канала, потребно је обавестити корисника о тренутном стању листе програмских садржаја (садржаји који су забележени, односно садржаји који су уклоњени из корисничке листе).

4.2 Алгоритам за праћење постојећег програмског садржаја

За потребе описа позадинског претраживања канала и механизма преласка на алтернативни програмски садржај, неопходно је увести нови појам – рута (енгл. *Route*), који уопштено гледано представља путању којом се крећу подаци од извора до одредишта. У оквиру програмске подршке можемо дефинисати више типова рута, тј. путања, а неке од њих су:

- *Install* – служи за претраживање фреквенцијског опсега и садржи бирач фреквенцијских канала и демултиплексер;
- *Live* – служи за репродукцију програмских садржаја и садржи бирач фреквенцијских канала, демултиплексер, декодер и излаз (енгл. *Output*);

- *Record* – служи за снимање програмских садржаја и садржи бирач фреквенцијских канала, демултиплексер и спољну меморију;
- *Playback* – служи за репродукцију снимљеног програмског садржаја и садржи спољну меморију, демултиплексер, декодер и излаз;
- *Stream* – служи за расподелу програмског садржаја до преносних уређаја и садржи бирач фреквенцијских канала, демултиплексер и *HTTP* (енгл. *HyperText Transfer Protocol*) послужилац.

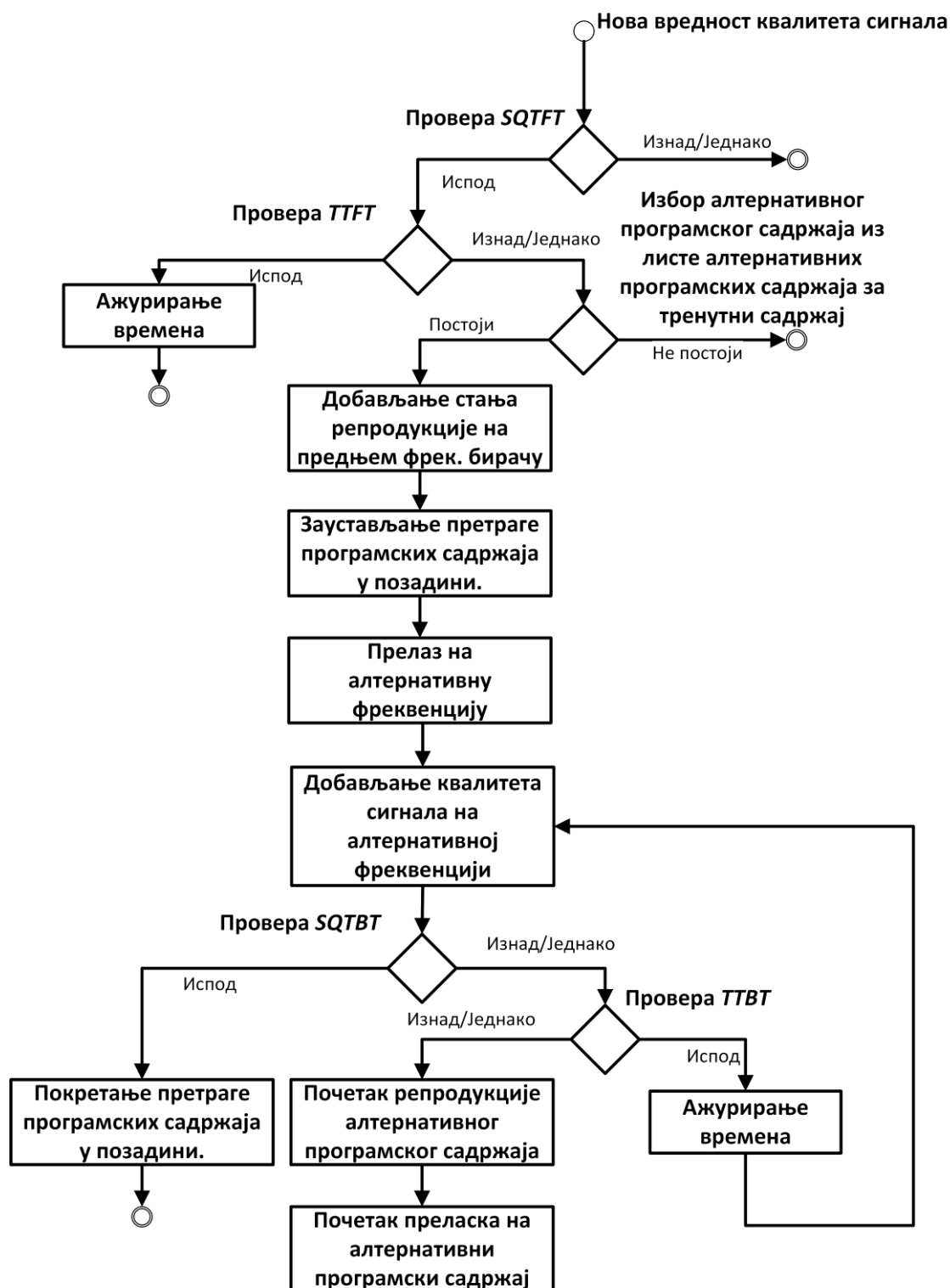
За сервисе позадинског претраживања и преласка на алтернативни програмски садржај путање *Install* и *Live* су од највећег интереса, тако да ће оне бити у фокусу ове докторске дисертације. Поред тога, уколико је пријемник телевизијског сигнала у мобилном окружењу, могуће је дефинисати и два додатна подтипа путања података:

- Позадинска путања – (енгл. *Background Route*) садржи једну *Install* и једну *Live* путању података;
- Предња путања – (енгл. *Foreground Route*) садржи једну *Live* путању података.

Сервис проналазка алтернативног садржаја и преласка на исти јесте један од обавезних и потребних сервиса покретних *DTV* пријемника. Да би се процедура преласка на алтернативни садржај успешно извршила, потребно је увести следеће параметре:

- *SQTFT* (енгл. *Signal Quality Threshold for Foreground Tuner*) – представља праг квалитета сигнала изражен у децибелима (dB) за предњи бирач фреквенцијских канала;
- *TTFT* (енгл. *Time Threshold for Foreground Tuner*) – представља трајање временског интервала изражено у секундама за предњи бирач фреквенцијских канала;
- *SQBT* (енгл. *Signal Quality Threshold for Background Tuner*) – представља праг квалитета сигнала изражен у децибелима (dB) за позадински бирач фреквенцијских канала;
- *TTBT* (енгл. *Time Threshold for Background Tuner*) – представља трајање временског интервала изражено у секундама за позадински бирач фреквенцијских канала.

Када квалитет сигнала на предњој рути (путањи података која се користи за испоруку садржаја преносног тока) падне испод $SQTFT$ за више од $TTFT$ времена, потребно је покренути потрагу за адекватним алтернативним садржајем у листи алтернативних садржаја за дати програмски садржај. Поменута листа алтернативних програмских садржаја се формира при сваком избору програмског садржаја на предњој рути и одржава се током његове репродукције. Ако је адекватан алтернативни програмски садржај пронађен, претходно описани механизам позадинског претраживања потребно је зауставити, а позадинску групу бирача фреквенцијских канала позиционирати на алтернативни програмски садржај ради праћења квалитета сигнала. Ако је квалитет сигнала изнад $SQBT$ за више од $TTBT$ времена, механизам преласка на алтернативни садржај треба отпочети, а у супротном треба наставити претрагу за другим алтернативним програмским садржајем у листи доступних алтернативних садржаја. Ако претходни услови нису испуњени ни на једном од алтернативних програмских садржаја, поступак преласка на алтернативни програмски садржај неће отпочети. Поред тога, уколико квалитет сигнала на предњој путањи података постане већи од $SQTFT$ током преласка на алтернативни програмски садржај, механизам преласка ће бити заустављен. Уколико се $TTFT$ и $TTBT$ прагови поставе на нулу, механизам преласка ће се активирати моментално када квалитет сигнала на предњој групи бирача фреквенцијских канала падне испод $SQTFT$ и квалитет сигнала на позадинској групи бирача фреквенцијских канала пређе изнад $SQBT$. Претходно описан алгоритам је илустрован на слици 4.5.



Слика 4.5 Алгоритам преласка на алтернативни програмски садржај

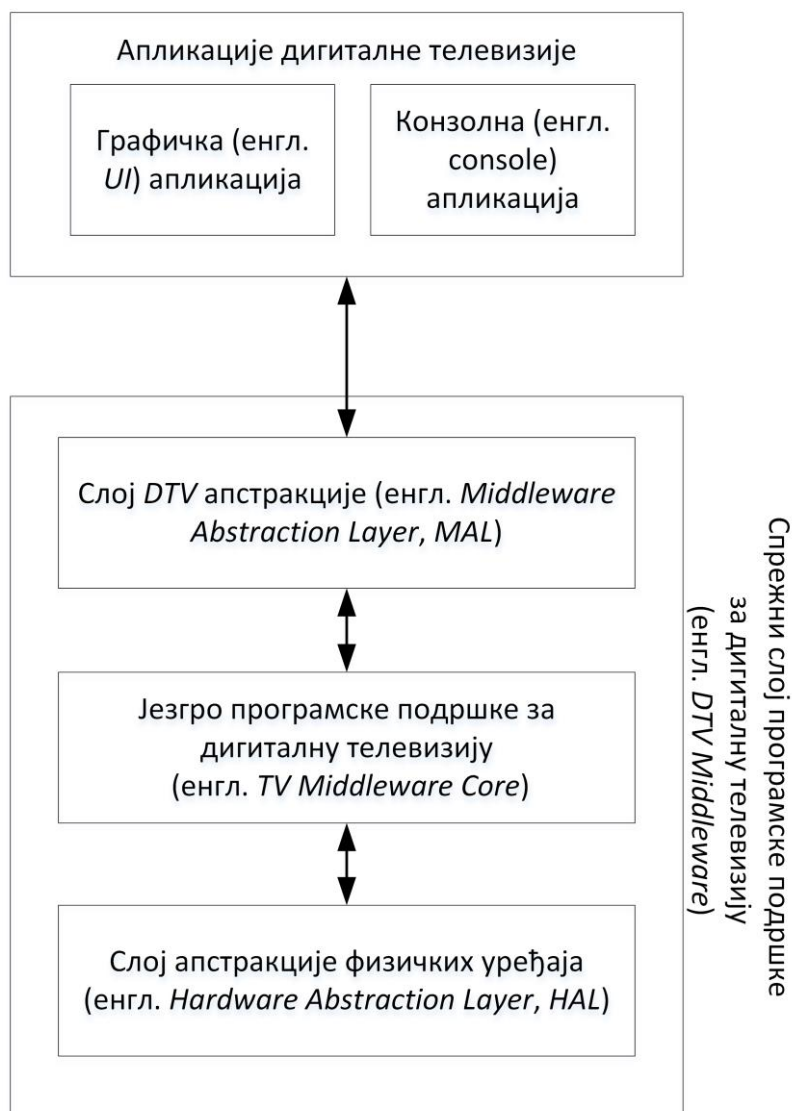
Приликом дефинисања алгоритма води се рачуна о утицају аутоматске промене програмског садржаја на корисника. Потребан услов за исправну

функционалност алгорита је да утицај не буде приметан крајњем кориснику. Током механизма преласка на алтернативни програмски садржај, репродукција тренутног програмског садржаја треба да је доступна кориснику.

5. ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА ПРЕДЛОЖЕНИХ АЛГОРИТАМА

Претходно описани алгоритми су у оквиру ове дисертације реализовани као надоградња постојећег комерцијално доступног спрежног слоја програмске подршке за дигиталну телевизију (енгл. *TV Middleware*) [62]. Решење је блоковски развијано да би се у складу са доступним ресурсима система различити блокови могли укључити у алгоритме. Проширењем програмске спреге, пратећи иста правила која постојећи спрежни слој програмске подршке дефинише, омогућен је истоветан приступ ресурсима дигиталне телевизије као и гарантовање платформске независности и могућег даљег прилагођавања решења.

Архитектура техничког решења дата је на слици 5.1.



Слика 5.1 Архитектура техничког решења

Слој за апстракцију (енгл. *abstraction*) функционалности *DTV* програмске подршке (енгл. *Middleware Abstraction Layer, MAL*) групише скуп функционалности *DTV* програмске подршке и изложен је вишим програмским слојевима. На овај начин виши програмски модули могу да контролишу функционалност *DTV* уређаја без познавања језгра *DTV* програмске подршке.

Постојећи спрежни слој програмске подршке за дигиталну телевизију поред *MAL* слоја садржи и реализацију стандарда за дигиталну телевизију (*DTV* језгро), али и *DTV* програмску подршку ниског нивоа. Слој за апстракцију функционалности физичких уређаја (енгл. *Hardware Abstraction Layer, HAL*) се налази између оперативног система *DTV* пријемника и језгра *DTV* програмске

подршке. Програмска подршка ниског нивоа је изразито платформски зависна, писана у „C/C++” језику, служи за директно руковање ресурсима физичке архитектуре и то: аудио-декодером, видео-декодером, бирачем фреквенцијских канала, демодулатором, демултиплексером. Осим што од виших слојева крије специфичности физичке архитектуре циљне платформе, овај слој од виших, платформски независних слојева крије и тип и архитектуру извршне DTV програмске спреге. Овим приступом је омогућено да се иста телевизијска апликација без измена извршава на различитим платформама.

Постојећи спрежни слој програмске подршке за дигиталну телевизију састоји се од модула програмске подршке. Сваки од модула програмске подршке представљен је кроз једну или више датотека програмског кода. Сваки од модула реализује групу основних обележја или барем по једно од основних обележја дигиталне телевизије која су присутна у модерним стационарним телевизијским пријемницима. Ови модули су:

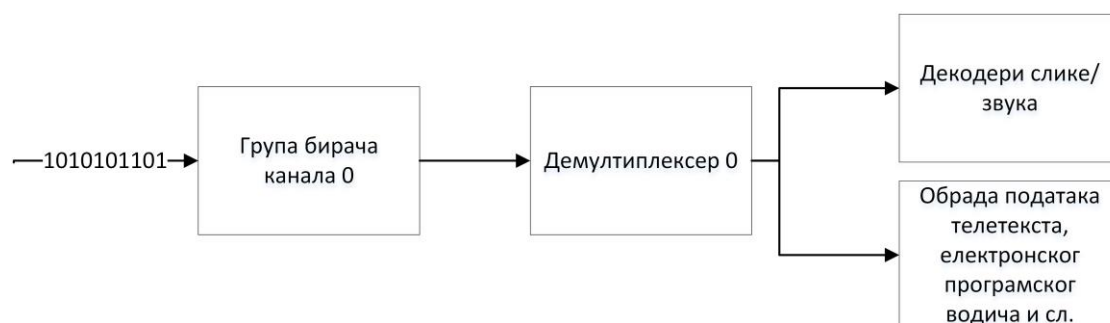
- Модул за приказ емитованог програмског садржаја;
- Телетекст модул;
- Модул за приказ превода;
- Модул за прикупљање података електронског програмског водича;
- Модул за условни приступ/приказ.

Модул за приказ емитованог програмског садржаја реализује следећа обележја:

- Репродукција слике и звука тренутно изабраног програмског садржаја;
- Проналажење програмских садржаја – претрага фреквентног опсега и прикупљање информација о расположивим програмским садржајима;
- Управљање листом расположивих програмских садржаја – додавање/брисање, прављење листа „омиљених” (енгл. *Favorites*) програмских садржаја;
- Пребацивање на новоизабрани програмски садржај;
- Подешавање слике и звука – напредна подешавања квалитета слике и звука;

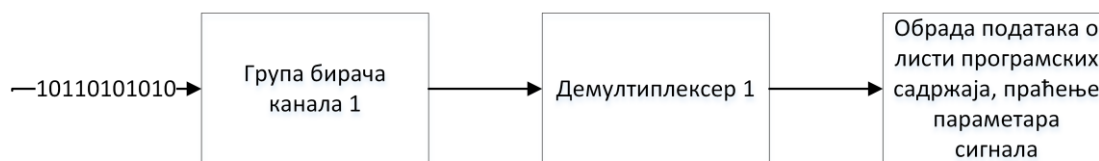
- Апликативна подешавања – промена земље, временске зоне, језика или друга регионална подешавања.

Путања података у случају приказа уживо емитованог програмског садржаја приказана је на слици 5.2 и описана је у наставку: група бирача фреквенцијских канала са индексом 0 врши избор физичког канала који садржи жељени мултиплекс са програмским садржајем и шаље *TS* пакете ка инстанци демултиплексера са индексом 0. Ту се филтрирају пакети који у себи садрже обележја само једног програмског садржаја који је корисник изабрао за приказ. Након филтрирања ти подаци се даље достављају декодерима слике и звука као и *DTV* језгру за даљу обраду.



Слика 5.2 Путања података у случају приказа уживо емитованог програмског садржаја

Путања података у случају претраживања програмског садржаја приказана је на слици 5.3 и описана је у наставку: група бирача фреквенцијских канала са индексом 1 врши избор физичког канала који садржи жељени мултиплекс са програмским садржајем и шаље *TS* пакете ка инстанци демултиплексера са индексом 1. Ту се врши филтрирање података који се односе на стање и доступност програмских садржаја (доступан нови програмски садржај / недоступан постојећи програмски садржај / ажурирани подаци о постојећем програмском садржају), као и филтрирање података о квалитету сигнала у тренутном мултиплексу.



Слика 5.3 Путања података у случају претраживања програмског садржаја

Да би се експериментално потврдило решење са становишта платформске независности, техничко решење је реализовано на платформама које се разликују по:

- типу процесорске јединице која се користи. Данашње тржиште дигиталних телевизијских пријемника се ослања на два типа процесорских јединица – *MIPS* и *ARM*, док се тржиште мултимедијалних уређаја у аутомобилу ослања највише на *ARM* и *Intel*, тако да је функционалност предложеног решења потврђена на *ARM* и *Intel* платформама.
- броју процесорских језгара. Интегрисана кола у модерним телевизијским пријемницима прате тренд повећања броја процесорских језгара, који је видљив на тржишту персоналних рачунара. Одабране платформе поседују процесоре који садрже два и четири процесорска језгра.
- количини расположиве меморије. Количина радне меморије има, заједно са процесном моћи процесорске јединице, највећи удео приликом дефинисања могућности циљне платформе. Одабране платформе се значајно разликују по количини меморије расположиве програмској подршци – 1 GB радне меморије на *ARM* платформи, 8 GB радне меморије на *Intel* платформи.
- по броју доступних бирача фреквенцијских канала. *ARM* платформа поседује три бирача фреквенцијских канала, док *Intel* платформа поседује четири бирача фреквенцијских канала. Постојање различитог броја доступних бирача фреквенцијских канала условљава различито подешавање *MRC* конфигурација, као што је приказано на слици 5.4.



Слика 5.4 MRC конфигурације циљних платформи

Свака од група бирача фреквенцијских канала прослеђује један ток података средњем слоју телевизијске програмске подршке, након чега сваки понаособ буде обрађен. Предња група бирача фреквенцијских канала користи се у овом техничком решењу за репродукцију програмског садржаја и праћење квалитета сигнала. Позадинска група бирача фреквенцијских канала користи се за претраживање канала, напредно руковање листом програмских садржаја и за праћење квалитета сигнала.

Модул програмске подршке под називом *DTV_MobileSTB* је реализован као потпуно нови модул и он представља спрегу између корисничких апликација и језгра *DTV* програмске подршке. Дати модул коришћењем језгра постојеће *DTV* програмске подршке контролише обраду *TS* пакета који долазе са позадинске групе бирача фреквенцијских канала.

Један од основних захтева постављених пред предложено техничко решење јесте да сви прагови и трајања временских интервала алгоритама морају да буду једноставно промењиви у сврху њиховог што прецизнијег дефинисања током верификације решења у реалном окружењу. У ту сврху сви релевантни прагови и трајања временских интервала алгоритама изложени су као засебни параметри структура *DTV_MobileSTB* програмске спреге. Детаљнији опис најзначајнијих делова *DTV_MobileSTB* програмске спреге дат је у наставку.

Вредности енумерације приказане у табели 5.1 представљају могуће повратне вредности свих функција модула *DTV_MobileSTB*.

Табела 5.1 Енумерација *DTV_MobileSTB_ErrorCode*

Назив енумерације	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>
Вредности енумерације	<i>DTV_MobileSTB_NO_ERROR</i> = 0, <i>DTV_MobileSTB_ERROR_NOT_INITIALIZED</i> , <i>DTV_MobileSTB_ERROR_ALREADY_INITIALIZED</i> , <i>DTV_MobileSTB_ERROR_BAD_ARGUMENT</i> , <i>DTV_MobileSTB_ERROR_STATUS_NOT_AVAILABLE</i> , <i>DTV_MobileSTB_ERROR_ALREADY_SET</i> , <i>DTV_MobileSTB_ERROR_GENERIC</i> , <i>DTV_MobileSTB_ERROR_UNDEFINED</i>

Вредности енумерације приказане у табели 5.2 представљају могуће типове подешавања које се може очитати или подесити коришћењем функција *DTV_MobileSTB* модула.

Табела 5.2 Енумерација *DTV_MobileSTB_ConfigType*

Назив енумерације	<i>DTV_MobileSTB_ConfigType</i>
Вредности енумерације	<i>DTV_MobileSTB_ROUTE_CONFIG</i> = 0, <i>DTV_MobileSTB_STANDARD_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_ANTENNA_NUMBER_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_TUNER_MRC_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_FRONTEND_SIGNAL_INFO_TIME_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_SERVICE_LIST_PARAMETERS_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_HANDOVER_PARAMETERS_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_MODE_CONFIG</i> , <i>DTV_MobileSTB_DATA_CACHE_CONFIG</i>

Вредности енумерације приказане у табели 5.3 представљају тренутна стања у којима се модул *DTV_MobileSTB* може наћи.

Табела 5.3 Енумерација *DTV_MobileSTB_State*

Назив енумерације	<i>DTV_MobileSTB_State</i>
Вредности енумерације	<i>DTV_MobileSTB_STATE_IDLE</i> = 0, <i>DTV_MobileSTB_STATE_SCAN</i> , <i>DTV_MobileSTB_STATE_HANOVER</i> , <i>DTV_MobileSTB_STATE_CACHE</i>

Вредности енумерације приказане у табели 5.4 представљају могуће начине претраживања програмских садржаја које модул *DTV_MobileSTB* подржава.

Табела 5.4 Енумерација *DTV_MobileSTB_Mode*

Назив енумерације	<i>DTV_MobileSTB_Mode</i>
Вредности енумерације	<i>DTV_MobileSTB_MODE_NOT_SET</i> = 0, <i>DTV_MobileSTB_MODE_ALL_TRANSPONDERS</i> , <i>DTV_MobileSTB_MODE_ALL_TRANSPONDERS_FAST</i> , <i>DTV_MobileSTB_MODE_SERVICE_TRANSPONDERS</i> , <i>DTV_MobileSTB_MODE_ONE_SEG_TRANSPONDERS</i>

Вредности енумерације приказане у табели 5.5 представљају могуће догађаје које модул *DTV_MobileSTB* користи да би корисника програмске спреге информисао о тренутно извршеној акцији унутар модула.

Табела 5.5 Енумерација *DTV_MobileSTB_Event*

Назив енумерације	<i>DTV_MobileSTB_Event</i>
Вредности енумерације	<i>DTV_MobileSTB_EVENT_ROUTE_UPDATE</i> = 0, <i>DTV_MobileSTB_EVENT_SCAN_STARTED</i> , <i>DTV_MobileSTB_EVENT_SCAN_STOPPED</i> , <i>DTV_MobileSTB_EVENT_TUNER_STATUS</i> , <i>DTV_MobileSTB_EVENT_TUNER_SIGNAL_INFO</i> ,

	<i>DTV_MobileSTB_EVENT_HANOVER_STARTED,</i> <i>DTV_MobileSTB_EVENT_HANOVER_FINISHED,</i> <i>DTV_MobileSTB_EVENT_HANOVER_FAILED,</i> <i>DTV_MobileSTB_EVENT_HANOVER_ABORTED,</i> <i>DTV_MobileSTB_EVENT_SERVICE_INFO</i>
--	---

Структуру података приказану у табели 5.6 *DTV_MobileSTB* модул користи како би корисника програмске спреге информисао о стању модула након одређених догађаја. Догађаји од интереса су:

- информације о сигналу на различитим бирачима фреквенцијских канала (снага, квалитет и сличне информације);
- информације о ажурираној листи програмских садржаја (додати / уклоњени / ажурирани програмски садржаји).

Табела 5.6 Структура *DTV_MobileSTB_Status*

Назив структуре	<i>DTV_MobileSTB_Status</i>
Поља структуре	<i>mal_bool isStarted;</i> <i>DTV_MobileSTB_Mode mode;</i> <i>mal_uint32 frequency;</i> <i>MAL_COMMON_DTVStandard standard;</i> <i>DTV_MobileSTB_State state;</i>

Структуру података приказану у табели 5.7 корисник *DTV_MobileSTB* спреге користи да формира путање података потребне за ажурирање и праћење доступних програмских садржаја.

Табела 5.7 Структура *DTV_MobileSTB_RouteConfig*

Назив структуре	<i>DTV_MobileSTB_RouteConfig</i>
Поља структуре	<i>MAL_RouteID backgroundInstallRoute;</i> <i>MAL_RouteID backgroundLiveRoute;</i> <i>MAL_RouteID foregroundLiveRoute;</i>

Структуру података приказану у табели 5.8 корисник *DTV_MobileSTB* спреге користи да формира прагове и трајања алгоритма за ажурирање доступних програмских садржаја.

Табела 5.8 Структура *DTV_MobileSTB_ServiceListConfig*

Назив структуре	<i>DTV_MobileSTB_ServiceListConfig</i>
Поља структуре	<i>mal_uint32 SQTAS;</i> <i>mal_uint32 TTAS;</i> <i>mal_uint32 SQTRS;</i> <i>mal_uint32 TTRS;</i>

Структуру података приказану у табели 5.9 корисник *DTV_MobileSTB* спреге користи да формира прагове и трајања алгоритма за праћење доступног програмског садржаја.

Табела 5.9 Структура *DTV_MobileSTB_HandoverConfig*

Назив структуре	<i>DTV_MobileSTB_HandoverConfig</i>
Поља структуре	<i>mal_uint32 SQTFT;</i> <i>mal_uint32 TTFT;</i> <i>mal_uint32 SQTBT;</i> <i>mal_uint32 TTBT;</i>

Структуру података приказану у табели 5.10 *DTV_MobileSTB* модул користи да информисе корисника спреге о важним подацима везаним за један програмски садржај.

Табела 5.10 Структура *DTV_MobileSTB_ServiceDescriptor*

Назив структуре	<i>DTV_MobileSTB_ServiceDescriptor</i>
Поља структуре	<i>mal_uint32 TSID;</i> <i>mal_uint32 ONID;</i> <i>mal_uint32 SID;</i> <i>mal_uint32 frequency;</i>

	<i>MAL_COMMON_DTVStandard standard;</i> <i>mal_char</i> <i>serviceName[MAL_SZ_SERVICE_NAME_STRING_LENGTH];</i> <i>mal_char</i> <i>networkName[MAL_SZ_SERVICE_NAME_STRING_LENGTH];</i>
--	---

Структуру података приказану у табели 5.11 *DTV_MobileSTB* модул користи да информише корисника спреге о стању листа доступних, ажурираних или уклоњених програмских садржаја.

Табела 5.11 Структура *DTV_MobileSTB_ServiceListUpdate*

Назив структуре	<i>DTV_MobileSTB_ServiceListUpdate</i>
Поља структуре	<i>mal_uint32 updatedServiceNum;</i> <i>DTV_MobileSTB_ServiceDescriptor *updatedService;</i> <i>mal_uint32 addedServiceNum;</i> <i>DTV_MobileSTB_ServiceDescriptor *addedService;</i> <i>mal_uint32 removedServiceNum;</i> <i>DTV_MobileSTB_ServiceDescriptor *removedService;</i>

Функција описана у табели 5.12 представља функцију повратног позива којом корисничка апликација добија најажурније информације о догађајима из модула. Догађаји од интереса су:

- информације о сигналу на различитим бирачима фреквенцијских канала (снага, квалитет и сличне информације);
- информације о ажурираној листи програмских садржаја (додати / уклоњени / ажурирани програмски садржаји).

Табела 5.12 Функција *DTV_MobileSTB_StatusCallback*

Назив функције	<i>void</i> <i>DTV_MobileSTB_StatusCallback</i> (<i>const DTV_MobileSTB_Event event, const void* eventData</i>)
Параметри	<i>[in] event</i> - догађај типа <i>DTV_MobileSTB_Event</i> <i>[in] eventData</i> - подаци намењени корисничкој апликацији

Додатне напомене	-
Повратна вредност	-

Регистрацију функције повратног позива ради претплате на информације о стању претраживања програмских садржаја могуће је извршити позивањем функције описане у табели 5.13. Уколико је регистрација функције повратног позива успешна, корисник ће бити обавештен о тренутном стању листе доступних програмских садржаја.

Табела 5.13 Функција *DTV_MobileSTB_RegisterStatusCallback*

Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i> <i>DTV_MobileSTB_RegisterStatusCallback(const MAL_BS_StatusCallback callback)</i>
Параметри	<i>[in] callback</i> – функција повратног позива типа <i>MAL_BS_StatusCallback</i>
Додатне напомене	-
Повратна вредност	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

Отказивање претплате на информације о тренутном стању претраживања програмских садржаја могуће је извршити позивањем функције описане у табели 5.14.

Табела 5.14 Функција *DTV_MobileSTB_UnregisterStatusCallback*

Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i> <i>DTV_MobileSTB_UnregisterStatusCallback(const MAL_BS_StatusCallback callback)</i>
Параметри	<i>[in] callback</i> – функција повратног позива типа <i>MAL_BS_StatusCallback</i>

Додатне напомене	-
Повратна вредност	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

Позивањем функције описане у табели 5.15 могуће је прибавити информације о тренутним подешавањима, зависно од прослеђеног типа подешавања.

Табела 5.15 Функција *DTV_MobileSTB_GetConfiguration*

Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode DTV_MobileSTB_GetConfiguration (const DTV_MobileSTB_ConfigType type, void *configData)</i>
Параметри	<i>[in] type</i> – тип подешавања идентификован еnumerацијом типа <i>DTV_MobileSTB_ConfigType</i> <i>[out] configData</i> - подешавања
Додатне напомене	Корисник програмске спреге је дужан да води рачуна о заузимању и ослобађању меморије.
Повратна вредност	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

Позивањем функције описане у табели 5.16 могуће је подешавање модула за претраживање у складу са прослеђеним подешавањима.

Табела 5.16 Функција *DTV_MobileSTB_SetConfiguration*

Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode DTV_MobileSTB_SetConfiguration (const DTV_MobileSTB_ConfigType type, const void *configData)</i>
Параметри	<i>[in] type</i> – тип подешавања који одговара еnumerацији <i>DTV_MobileSTB_ConfigType</i> <i>[in] configData</i> - подешавања
Додатне напомене	Корисник програмске спреге је дужан да води рачуна о заузимању и ослобађању меморије.
Повратна	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

вредност	
----------	--

Позивањем функције описане у табели 5.17 могуће је добити тренутни статус претраге, попут информација да ли је покренута претрага, који се фреквенцијски канал тренутно претражује и слично.

Табела 5.17 Функција *DTV_MobileSTB_GetStatus*

Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode DTV_MobileSTB_GetStatus (MAL_BS_Status *status)</i>
Параметри	<i>[out] status</i> – структура података са информацијама о тренутном статусу.
Додатне напомене	Корисник програмске спреге је дужан да води рачуна о заузимању и ослобађању меморије.
Повратна вредност	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

Позивањем функције описане у табели 5.18 могуће је покренути претрагу и прикупљање *TS* података у складу са постављеним подешавањем.

Табела 5.18 Функција *DTV_MobileSTB_Start*

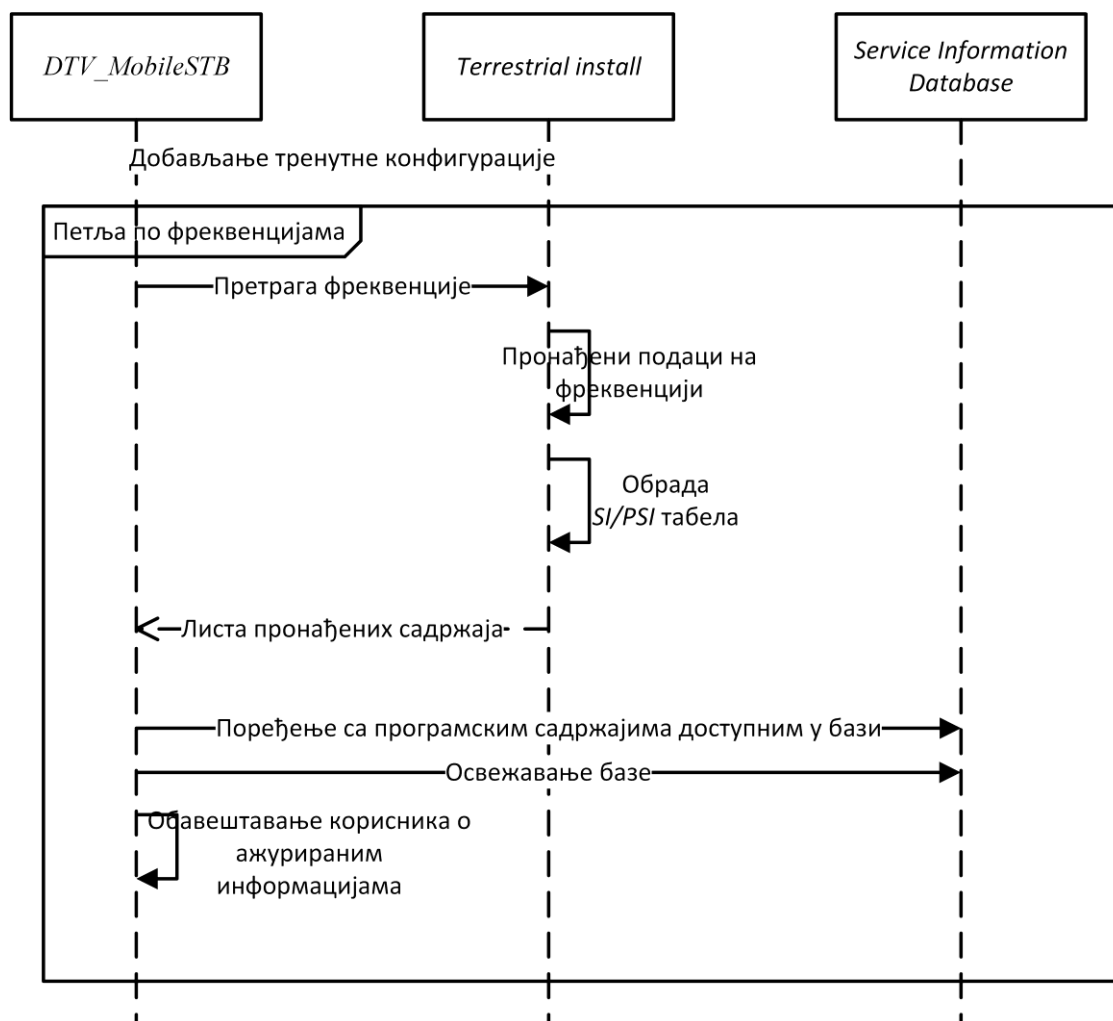
Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode DTV_MobileSTB_Start()</i>
Параметри	-
Додатне напомене	Пре покретања алгоритама потребно је урадити подешавање одговарајућих путања података позивом <i>DTV_MobileSTB_SetConfiguration()</i> . Функција се асинхронно извршава, а информација о успешном покретању алгоритама се прослеђује кориснику кроз функцију повратног позива, слањем догађаја <i>DTV_MobileSTB_EVENT_SCAN_STARTED</i> .
Повратна вредност	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

Позивањем функције описане у табели 5.19 могуће је заустављање претраге и прикупљања *TS* података.

Табела 5.19 Функција *DTV_MobileSTB_Stop*

Назив функције	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode DTV_MobileSTB_Stop()</i>
Параметри	-
Додатне напомене	Функција се асинхроно извршава, а информација о успешном заустављању алгоритама се прослеђује кориснику кроз функцију повратног позива, слањем догађаја <i>DTV_MobileSTB_EVENT_SCAN_STOPPED</i> .
Повратна вредност	<i>DTV_MobileSTB_ErrorCode</i>

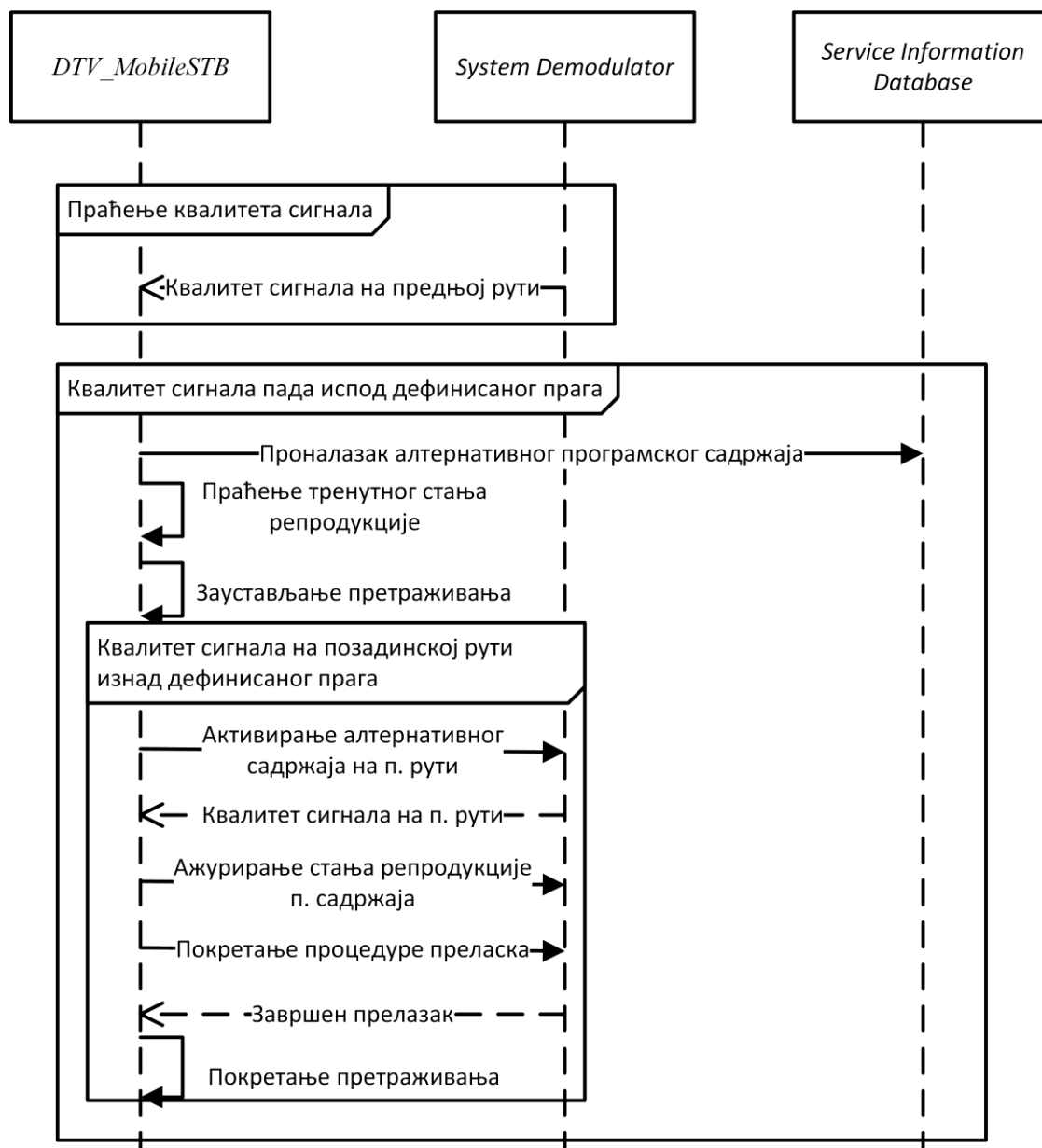
Позадинско претраживање је у предложеном техничком решењу засновано на појединачном претраживању сваког фреквенцијског канала. У ту сврху процедура претраге у позадини користи *Install* путању података при размени података и позивању функција *Terrestrial Install* модула постојеће програмске подршке. На основу подешене земље и *DTV* стандарда у *Terrestrial Install* модулу, подешавају се одређена конфигурација фреквенцијског опсега претраге (енгл. *Frequency range*) и модулациони параметри фреквенцијских канала (енгл. *Modulation parameters*). Процедура претраживања и размене порука између модула реализована у склопу овог техничког решења дата је на слици 5.5.



Слика 5.5 Блок дијаграм претраживања фреквенцијских канала

Уколико је бирач фреквенцијских канала успео да се успешно позиционира и закључа на одређени фреквенцијски канал, претраживање се прекида како би се информације из преносног тока података могле прочитати и сместити у базу података о програмским садржајима. За овај посао задужен је *Program Information Database* модул постојеће програмске подршке.

Процедура праћења квалитета сигнала и преласка на алтернативни програмски садржај приказана је на слици 5.6.



Слика 5.6 Приказ преласка на алтернативни садржај и замене путања података

6. ДЕФИНИСАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА

Узимајући у обзир да ова докторска дисертација тежи проналажењу решења интеграције сервиса дигиталне телевизије у мултимедијални систем аутомобила, потребно је да развој решења буде у складу са стандардом *A-SPICE* (енгл. *Automotive software process improvement and capability determination*), као и са *HIS* (енгл. *Hersteller initiative Software - Manufacturer's software initiative*) метрикама.

Већина произвођача аутомобила, услед све већег броја проблема везаних за безбедност унутар аутомобила, усвојила је стандард *A-SPICE* [63] у своје редовне радне процесе, али и стандард тзв. функционалне безбедности - *ISO 26262* [64]. Оба стандарда дефинишу специфичне техничке и руководеће захтеве, као и ограничења програмске подршке за примену унутар аутомобила [65].

A-SPICE стандард представља формални модел процене процеса развоја програмске подршке у аутомобилској индустрији. Организација *AUTOSIG* (енгл. *Automotive Special Interest Group*) изводи *A-SPICE* стандард из постојећег *ISO/IEC 15504* [66] још 2005. године. *A-SPICE* стандард се фокусира на системе за рад у реалном времену како би смањио време и цену развоја решења, одржавајући при томе квалитет крајњег решења [67]. Процеси дефинисани од стране *A-SPICE* стандарда су засновани на *ISO 12207*, али су често у пракси прилагођени потребама сваког произвођача аутомобила понаособ [68].

Иницијатива дефинисана унутар аутомобилске индустрије, тзв. *HIS* метрике, дефинише скуп метрика које инжењери поштују ради ефикаснијег праћења

квалитета развоја неког програмског решења [69]. У оквиру *HIS* метрика дефинисан је скуп од петнаест процеса који представљају минималан скуп захтева дефинисан од стране произвођача аутомобила. *ISO IS 15504* дефинише појам V-модел, који групише процесе развоја решења од Инжењерске групе процеса (енгл. *Engineering Process Group*) па све до процеса за развој целокупног система и развој програмске подршке [70].

У току развоја програмске подршке процес верификације представља веома важну и неопходну целину, па је из тог разлога процес верификације подељен у неколико целина. Процес верификације дефинишемо као поступак провере система и компоненти система, тако да они буду у складу са дефинисаним захтевима. Пропусти у програмској подршци најчешће осликавају недовољно добро дефинисане захтеве, или програмску подршку која је развијена мимо унапред дефинисаних захтева [71].

У складу са строгим стандардима развоја програмске подршке за аутомобилску индустрију, потребно је извршити верификацију реализоване програмске подршке у неколико нивоа, и то:

- верификација реализованих сервиса унутар издвојених модула програмске подршке (енгл. *Unit testing*)
- верификација реализованих сервиса и комуникације између различитих модула програмске подршке (енгл. *Integration testing*)
- верификација реализованих сервиса на нивоу целокупне програмске подршке, тј. на нивоу крајњег решења (енгл. *Software testing*)

Верификација реализованих сервиса унутар издвојених модула програмске подршке дефинише се као верификација по моделу „беле кутије” (енгл. *white-box testing*) [72], где се подразумева да је могућ приступ изворном коду сваког појединачног модула. На основу те доступности изворног кода дефинишу се испитни случајеви за верификацију [73].

Верификација реализованих сервиса и комуникације између различитих модула програмске подршке дефинише се као верификација по моделу „сиве кутије” (енгл. *gray-box testing*) [72], где се подразумева да је приступ изворном коду могућ само на нивоу документације интерних структура података, документације о коришћењу доступних функција и документације реализованих алгоритама.

Верификација реализованих сервиса на нивоу целокупне програмске подршке, тј. на нивоу крајњег решења, дефинише се као верификација по моделу „црне кутије” (енгл. *black-box testing*) [72], где се подразумева да приступ изворном коду није могућ, нити је потребно детаљније програмерско знање. Потребно је знање о томе шта је очекивано понашање неког процеса верификације и појединачног испитног случаја, али није потребно знање о томе како цео систем и програмска подршка функционишу. Идеја је да се оцена квалитета и сам процес верификације обаве на сличан начин како би то урадио корисник. То подразумева да се систем посматра као целина, са једноставно дефинисаним улазима и излазима. Пре саме верификације реализованог решења у крајњем мултимедијалном систему аутомобила, ради уштеде у времену развоја и у крајњој цени реализације решења, пожељно је решење верификовати у симулираном стационарном и нестационарном окружењу.

У доступној литератури нема информација о алгоритмима који решавају проблем истраживања ове докторске дисертације, па самим тим нема ни дефинисаних критеријума за верификацију ових алгоритама. Због тога, као и ради што бољег корисничког искуства при коришћењу техничких решења предложених алгоритама, експериментално су дефинисани кључни индикатори (енгл. *Key Performance Indicator, KPI*) за проверу карактеристика и квалитета техничких решења.

6.1 Кључни индикатори

У табелама 6.1 и 6.2 су описани експериментално утврђени кључни индикатори реализованог техничког решења.

Табела 6.1 Време активирања решења

Опис	Мерење времена потребног за активирање решења, од покретања процеса до приказа слике програмског садржаја.
Очекивани резултат	Приказан програмски садржај.
Трајање	• 6 секунди за <i>DVB</i> стандард, • 5 секунди за <i>ISDB</i> стандард

Табела 6.2 Количина заузете радне меморије

Опис	Мерење количине заузете радне меморије током извршавања процесно захтевних операција, попут прикупљања података електронског програмског водича, претраживања доступног програмског садржаја, промене активног програмског садржаја.
Очекивани резултат	Количина заузете меморије унутар дефинисаних оквира.
Количина	• 235 мегабајта заузето од стране решења током гледања <i>DVB-T</i> програмског садржаја, • 239 мегабајта заузето од стране решења током гледања <i>DVB-T2</i> програмског садржаја, • 238 мегабајта заузето од стране решења током гледања <i>ISDB-T</i> програмског садржаја, • 183 мегабајта заузето од стране решења током претраживања доступног <i>DVB-T</i> програмског садржаја, • 183 мегабајта заузето од стране решења током претраживања доступног <i>DVB-T2</i> програмског садржаја, • 180 мегабајта заузето од стране решења током претраживања доступног <i>ISDB-T</i> програмског садржаја, • 238 мегабајта заузето од стране решења током акције промене тренутно активног програмског садржаја на <i>DVB-T SD</i> програмски садржај, • 242 мегабајта заузето од стране решења током акције промене тренутно активног програмског садржаја на <i>DVB-T HD</i> програмски садржај, • 238 мегабајта заузето од стране решења током акције промене тренутно активног програмског садржаја на <i>DVB-T2 SD</i> програмски садржај, • 242 мегабајта заузето од стране решења током акције

	промене тренутно активног програмског садржаја на <i>DVB-T2 HD</i> програмски садржај, • 240 мегабајта заузето од стране решења током акције промене тренутно активног програмског садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> програмски садржај, • 252 мегабајта заузето од стране решења током акције промене тренутно активног програмског садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> програмски садржај.
--	---

6.2 Индикатори за проверу електронског програмског водича

У табелама 6.3 и 6.4 су описани експериментално утврђени индикатори за проверу електронског програмског водича.

Табела 6.3 Прикупљање података електронског програмског водича на активном програмском садржају

Опис	Мерење времена потребног за прикупљање садржаја електронског програмског водича на унапред познатом програмском садржају.
Очекивани резултат	Прикупљен унапред познат број догађаја електронског програмског водича.
Трајање	• 15 секунди на <i>DVB</i> стандарду за 1129 догађаја о тренутно активном програмском садржају, • 55 секунди на <i>ISDB</i> стандарду за 880 догађаја о тренутно активном програмском садржају.

Табела 6.4 Складиштење података електронског програмског водича током претраживања програмских садржаја

Опис	Мерење времена потребног за складиштење (енгл. <i>Caching</i>) података електронског програмског водича за програмски садржај који тренутно није активан (током претраживања)
------	--

	доступних програмских садржаја).
Очекивани резултат	Прикупљен унапред познат број догађаја електронског програмског водича.
Трајање	• 330 секунди на <i>DVB</i> стандарду за 972 догађаја, • 1890 секунди на <i>ISDB</i> стандарду за 798 догађаја.

6.3 Индикатори за проверу брзине промене тренутно активног програмског садржаја

У табелама 6.5, 6.6 и 6.7 су описани експериментално утврђени индикатори за проверу брзине промене тренутно активног програмског садржаја.

Табела 6.5 Време промене програмског садржаја унутар истог преносног тока

Опис	Мерење времена потребног за промену тренутно активног програмског садржаја унутар истог преносног тока.
Очекивани резултат	Приказан нови програмски садржај.
Трајање	• 3 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 3 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 3.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 3 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на

	<i>DVB HD</i> криптован садржај, • 3 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 3 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 3.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 3 секунде за прелаз са <i>ISDB-T 1seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>ISDB-T 1seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> садржај, • 3 секунде за прелаз са <i>ISDB-T 12seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>ISDB-T 12seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> садржај.
--	--

Табела 6.6 Време промене програмског садржаја ван истог преносног тока (и ван истог *PLP* у случају *DVB-T2* стандарда)

Опис	Мерење времена потребног за промену тренутно активног програмског садржаја ван истог преносног тока и ван истог <i>PLP</i> у случају <i>DVB-T2</i> стандарда.
Очекивани	Приказан нови програмски садржај.

резултат	
Трајање	• 3.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 3.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> криптованог садржаја

	на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 5 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 1seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> садржај, • 4.5 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 1seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> садржај, • 3.5 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 12seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> садржај, • 4 секунде за прелаз са <i>ISDB-T 12seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> садржај.
--	---

Табела 6.7 Време промене програмског садржаја на *DVB-T2* стандарду ван истог *PLP* и преносног тока, а на истом фреквенцијском каналу

Опис	Мерење времена потребног за промену тренутно активног програмског садржаја на <i>DVB-T2</i> стандарду на програмски садржај који је ван истог преносног тока и ван истог <i>PLP</i> али на истом фреквенцијском каналу.
Очекивани резултат	Приказан нови програмски садржај.
Трајање	• 6 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 6 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 6.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 6.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 7 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 7 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 7.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај,

	• 7.5 секунди за прелаз са <i>DVB SD</i> криптиваног садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 6 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 6 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> криптиваног садржаја на <i>DVB SD</i> некриптован садржај, • 6.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 6.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> криптиваног садржаја на <i>DVB SD</i> криптован садржај, • 7 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 7 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> криптиваног садржаја на <i>DVB HD</i> некриптован садржај, • 7.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> некриптованог садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај, • 7.5 секунди за прелаз са <i>DVB HD</i> криптиваног садржаја на <i>DVB HD</i> криптован садржај.
--	---

6.4 Индикатори за проверу брзине преласка на алтернативни програмски садржај

У табели 6.8 су описани експериментално утврђени индикатори за проверу брзине преласка на алтернативни програмски садржај.

Табела 6.8 Време преласка на алтернативни програмски садржај

Опис	Мерење времена потребног за промену тренутно активног програмског садржаја на алтернативни програмски садржај услед лошег квалитета пријема тренутно активног програмског садржаја.
Очекивани резултат	Време преласка између програмских садржаја унутар дефинисаног ограничења.

Трајање	• 8 секунди за прелаз између два програмска садржаја на <i>DVB</i> стандарду (садржаји на различитим фреквенцијским каналима), • 11 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 12seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> садржај (садржаји на различитим фреквенцијским каналима), • 10 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 1seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> садржај (садржаји на различитим фреквенцијским каналима), • 3.5 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 12seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 1seg</i> садржај (садржаји на истом фреквенцијском каналу), • 3.5 секунди за прелаз са <i>ISDB-T 1seg</i> садржаја на <i>ISDB-T 12seg</i> садржај (садржаји на истом фреквенцијском каналу).
---------	--

6.5 Индикатори за проверу брзине претраге доступног програмског садржаја

У табелама 6.9 и 6.10 су описани експериментално утврђени индикатори за проверу брзине претраге доступног програмског садржаја.

Табела 6.9 Време претраживања програмског садржаја по фреквенцијском каналу (или по *PLP* у случају *DVB-T2* стандарда) када је ток података доступан

Опис	Мерење времена потребног за претраживање једног фреквенцијског канала (или <i>PLP</i> у случају <i>DVB-T2</i> стандарда) у случају када је ток података доступан на датом фреквенцијском каналу.
Очекивани резултат	Откривен унапред познат број програмских садржаја.
Трајање	• 3.5 секунди за један <i>DVB</i> фреквенцијски канал са 2 <i>HD</i> програмских садржаја и 6 <i>SD</i> програмских садржаја,

	• 3 секунде за један <i>ISDB-T</i> фреквенцијски канал са 3 <i>12seg</i> програмских садржаја и исто толико <i>1seg</i> програмских садржаја.
--	---

Табела 6.10 Време претраживања програмског садржаја по фреквенцијском каналу (или по *PLP* у случају *DVB-T2* стандарда) када ток података није доступан

Опис	Мерење времена потребног за претраживање једног фреквенцијског канала (или <i>PLP</i> у случају <i>DVB-T2</i> стандарда) у случају када ток података није доступан на датом фреквенцијском каналу.
Очекивани резултат	Завршетак претраживања без пронађених програмских садржаја.
Трајање	• 0.5 секунди за један <i>DVB</i> фреквенцијски канал без програмских садржаја, • 0.2 секунде за један <i>ISDB-T</i> фреквенцијски канал без програмских садржаја.

6.6 Индикатори квалитета сигнала

У табелама 6.11 и 6.12 су описани експериментално утврђени индикатори квалитета сигнала.

Табела 6.11 Минимални ниво квалитета сигнала потребан за успешно претраживање програмских садржаја

Опис	Мерење минималног нивоа квалитета сигнала, који је потребан и довољан за успешно претраживање програмских садржаја.
Очекивани резултат	Откривен унапред познат број програмских садржаја.
Минимални ниво квалитета	• 16 <i>dB</i> за фреквенцијски канал са <i>DVB-T</i> садржајем, • 18 <i>dB</i> за фреквенцијски канал са <i>DVB-T2</i> садржајем, • 15 <i>dB</i> за фреквенцијски канал са <i>ISDB-T</i> садржајем.

Табела 6.12 Минимални ниво квалитета сигнала потребан за репродукцију програмског садржаја

Опис	Мерење минималног нивоа квалитета сигнала, који је потребан и довољан за успешну репродукцију програмског садржаја.
Очекивани резултат	Приказан програмски садржај.
Минимални ниво квалитета	• 17.5 dB за фреквенцијски канал са <i>DVB-T</i> садржајем, • 18.5 dB за фреквенцијски канал са <i>DVB-T2</i> садржајем, • 17 dB за фреквенцијски канал са <i>ISDB-T 12seg</i> садржајем, • 16 dB за фреквенцијски канал са <i>ISDB-T 1seg</i> садржајем.

6.7 Индикатори за проверу брзине исцртавања интерактивног програмског садржаја

У табели 6.13 су описани експериментално утврђени индикатори за проверу брзине исцртавања интерактивног програмског садржаја.

Табела 6.13 Време приказа интерактивних програмских садржаја

Опис	Мерење времена потребног за приказ промене интерактивног програмског садржаја након слања команде од стране корисника.
Очекивани резултат	Приказ интерактивног програмског садржаја без значајног кашњења.
Трајање	• 1 секунд за интерактивни програмски садржај на <i>DVB-T</i> и <i>DVB-T2</i> стандарду, • 1.5 секунди за интерактивни програмски садржај на <i>ISDB-T</i> стандарду.

7. ИСПИТИВАЊЕ И ВЕРИФИКАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Квалитет решења је оцењен:

- одговарајућим метрикама (за оцену квалитета програмске спреге, контролабилности и целовитости са становишта броја реализованих сервиса дигиталне телевизије) преко оцене квалитета реализоване програмске спреге у "C" програмском језику,
- верификацијом алгоритама у симулираном стационарном и нестационарном окружењу на рачунару опште намене,
- верификацијом алгоритама у реалним условима на модерним мултимедијалним уређајима током вожње аутомобила.

Предложено решење којим су верификовани дефинисани алгоритми омогућава развој различитих телевизијских апликација и даљу спрегу података дигиталне телевизије са остатком мултимедијалног система аутомобила.

7.1 Квалитет програмске спреге

У току развоја овог решења, као мера за праћење квалитета развоја програмске подршке користи се једна од традиционалних метрика праћења броја линија програмског кода (енгл. *Lines of Code, LOC*) [74]. Резултати *LOC* метрике за период од 1.11.2016. до 24.12.2017. су дати на сликама 7.1, 7.2 и 7.3. На поменутих сликама је могуће приметити период убрзаног развоја програмске подршке до јуна 2017, али и период пречишћавања и оптимизације програмског кода након јуна 2017.

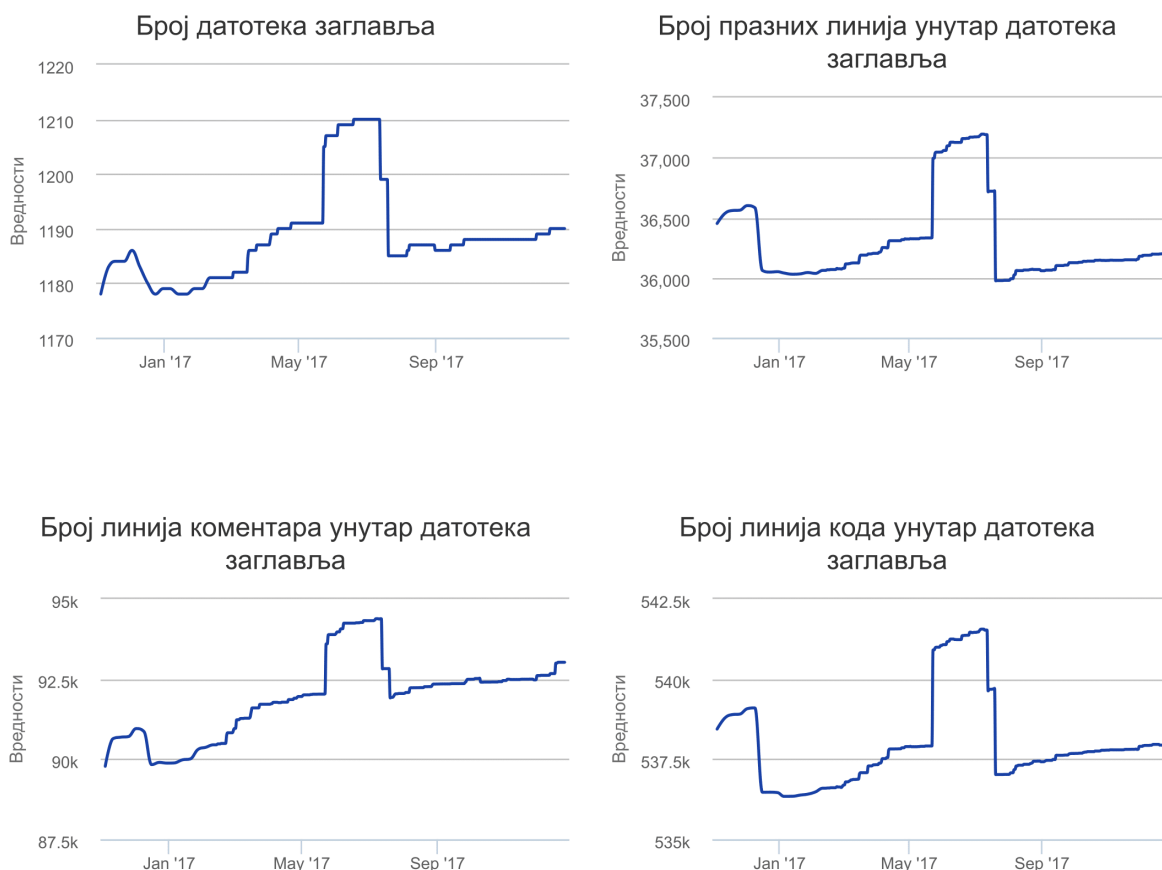


Слика 7.1 LOC метрике датотека програмског кода

На слици 7.1 приказане су промене у вези са линијама кода током времена. На хоризонталној оси је приказано време, а на вертикалној оси промене вредности у одређеној тачки времена. Те промене су:

- промене броја датотека програмског кода (енгл. *source code files*) целокупног спрежног слоја *DTV* програмске подршке;
- промене броја празних линија у оквиру свих датотека програмског кода спрежног слоја *DTV* програмске подршке;
- промене броја линија са коментарима у оквиру свих датотека програмског кода спрежног слоја *DTV* програмске подршке;
- промене броја линија са „C” програмским кодом у оквиру свих датотека програмског кода спрежног слоја *DTV* програмске подршке.

На слици 7.1 је могуће приметити период убрзаног развоја и повећања броја линија коментара и кода програмске подршке до јуна 2017, али и период пречишћавања и оптимизације након јуна 2017.



Слика 7.2 LOC метрике датотека заглавља

На слици 7.2 приказане су промене у вези са линијама унутар датотека заглавља током времена. На хоризонталној оси је приказано време, а на вертикалној оси промене вредности у одређеној тачки времена. Те промене су:

- промене броја датотека заглавља (енгл. *header files*) целокупног спрежног слоја програмске подршке за дигиталну телевизију;
- промене броја празних линија у оквиру свих датотека заглавља спрежног слоја DTV програмске подршке;
- промене броја линија са коментарима у оквиру свих датотека заглавља спрежног слоја DTV програмске подршке;
- промене броја линија са „C” програмским кодом у оквиру свих датотека заглавља спрежног слоја DTV програмске подршке.

На слици 7.2 је могуће приметити период убрзаног развоја и повећања броја датотека заглавља и линија унутар датотека заглавља до јуна 2017, али и период пречишћавања и оптимизације након јуна 2017.



Слика 7.3 LOC метрике командних датотека

На слици 7.3 приказане су промене у вези са линијама унутар командних датотека током времена. На хоризонталној оси је приказано време, а на вертикалној оси промене вредности у одређеној тачки времена. Те промене су:

- промене броја командних датотека (енгл. *make files*) целокупног спрежног слоја програмске подршке за дигиталну телевизију;
- промене броја празних линија у оквиру свих командних датотека спрежног слоја DTV програмске подршке;
- промене броја линија са коментарима у оквиру свих командних датотека спрежног слоја DTV програмске подршке;
- промене броја линија са „C” програмским кодом у оквиру свих командних датотека спрежног слоја DTV програмске подршке.

На слици 7.3 је могуће приметити незнатне промене у вези са командним датотекама програмске подршке до јуна 2017, али и период већег пречишћавања и оптимизације командних датотека након јуна 2017.

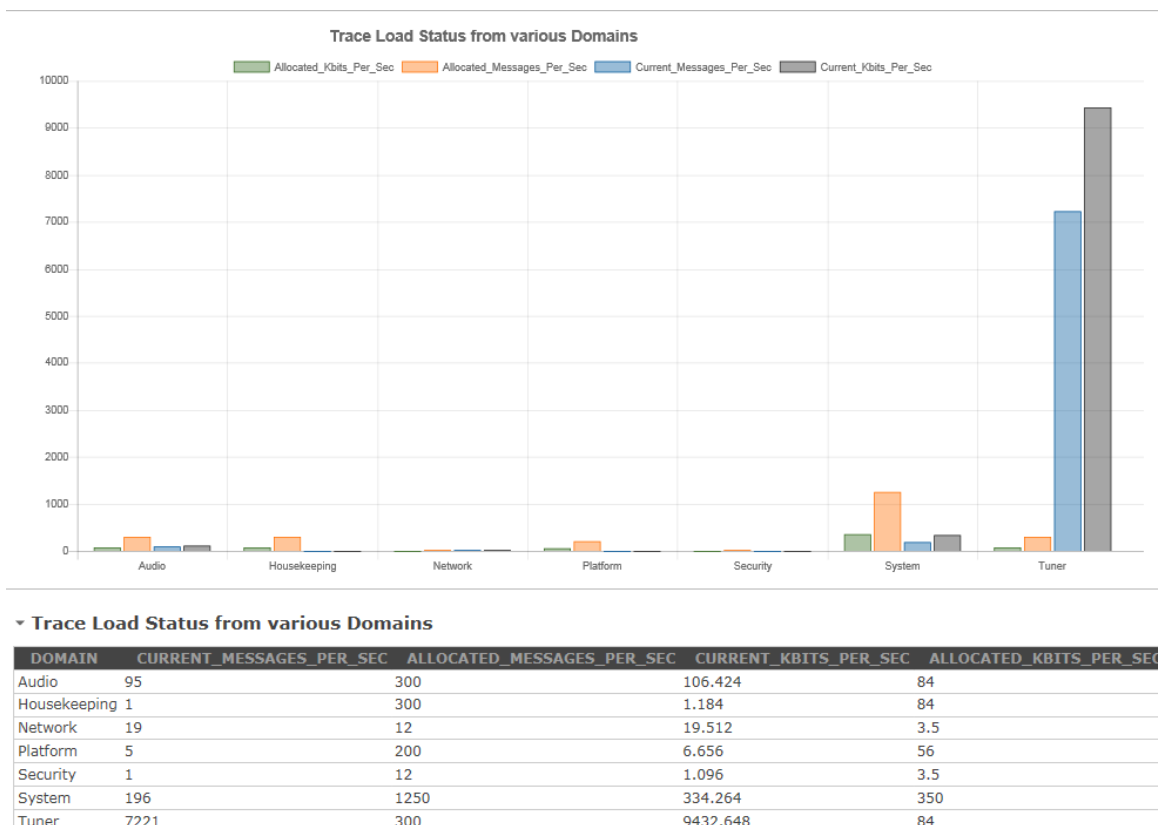
Узимајући у обзир тренутне тенденције на пољу развоја модерних мултимедијалних система, потребно је предложено решење анализирати и са аспекта његове комплетности и контролабилности. Комплетност се посматра као број подржаних сервиса дигиталне телевизије, док контролабилност проверава способност решења да испрати динамику и проток велике количине информација у систему за пренос порука унутар аутомобила.

Модерни мултимедијални системи унутар аутомобила пружају корисницима широк спектар различитих функционалности, али се недостатак осећа у сегменту класичних телевизијских сервиса попут различитих програмских садржаја, телетекста, превода, електронског програмског водича, тј. оних сервиса заснованих на информацијама које долазе из преносног тока података. Да би предложено решење било конкурентно на тржишту у погледу броја сервиса дигиталне телевизије које подржава, издвојен је минималан скуп обележја које програмска подршка треба да реализује. То су:

- проналажење и приказ програмског садржаја, детаљније описани у стандардима *ETSI EN 300 468* [75] и *ARIB TR-B14* [52],
- електронски програмски водич, детаљније описан у стандардима *ETSI EN 300 707* [76] и *ARIB TR-B14* [77],
- превод (енгл. *Subtitle* (за *DVB*), *Closed Caption* (за *ISDB*)), детаљније описан у стандардима *ETSI EN 300 743* [78], *ARIB TR-B14* [52] и *ARIB STB B-24* [54],
- телетекст, детаљније описан у стандарду *ETSI EN 300 472* [79],
- контролисани приступ (енгл. *Conditional Access*), детаљније описан у стандардима *ETSI EN 300 468* [75], *ETSI TS 103 205* [80] и *ARIB STD-B25* [53],
- родитељска контрола, детаљније описана у стандарду *ETSI EN 300 468* [75] и *ARIB TR-B14* [77].

Одабрана листа описује савремени скуп обележја стационарних телевизијских пријемника, па се иста може сматрати релевантном за телевизијске пријемнике у нестационарном окружењу.

Као једна од важних мера квалитета програмске подршке за мултимедијалне системе унутар аутомобила намеће се контролабилност реализоване програмске подршке. Квалитет телевизијске апликације за пријемник унутар аутомобила директно зависи од квалитета спреге програмске подршке која реализује сервисе дигиталне телевизије. Један од важних фактора приликом оцене квалитета овакве апликације огледа се у количини информација, односно порука које се размењују кроз слојеве програмске подршке. Узимајући у обзир количину информација које обрађује и број стања кроз која пролази системска телевизијска програмска подршка приликом редовног извршавања, потребно је разменити сразмерно велику количину порука да би се реализовала телевизијска апликација задовољавајућих квалитета и карактеристика. Ове поруке се односе на промене стања, успешне акције и неуспешне операције које треба приказати кориснику. Примери таквих порука су: промена стања приликом претраге фреквентног опсега, успешна промена активног програмског садржаја, успешан приказ телетекст странице, немогућност приказивања програмског садржаја услед родитељске заштите и многе друге. На слици 7.4 је приказан статус порука за сваки део мултимедијалног система аутомобила, укључујући и део дигиталне телевизије реализован у склопу ове докторске дисертације (обележен на слици као *Tuner*).



Слика 7.4 Приказ статуса порука различитих делова мултимедијалног система аутомобила

У периоду рада система у трајању од 13 минута размењено је 584402 поруке, а од тога је 1980 порука послато од предложеног решења у смеру корисничке апликације. Најзначајнији типови послатих порука од стране предложеног решења су:

- 1249 порука о изостанку програмских садржаја на тренутном фреквенцијском каналу,
- 91 порука о статусу бирача фреквенцијских канала,
- 60 порука о количини пренетих података између бирача фреквенцијских канала и других слојева програмске подршке,
- 54 поруке о доступном садржају на тренутном фреквенцијском каналу,
- 48 порука о успешном проналаску нових програмских садржаја,
- 35 порука о статусу квалитета сигнала,
- 23 поруке о покретању репродукције новог програмског садржаја,
- 22 поруке о заустављању репродукције новог програмског садржаја,
- 22 поруке о статусу промене тренутно активног програмског садржаја,

- 13 порука о промени типа података унутар аудио-тока података,
- 13 порука о промени типа података унутар видео-тока података,
- 13 порука о ажурирању сигналне *PMT* табеле услед промене података о аудио или видео садржају,
- 337 порука о осталим догађајима.

Из претходне листе и слике може се закључити да предложено решење емитује велики број порука, од којих доминирају поруке везане за листу доступних програмских садржаја и поруке за избор активног програмског садржаја, што је на неки начин и очекивано за овакав тип решења телевизијског пријемника.

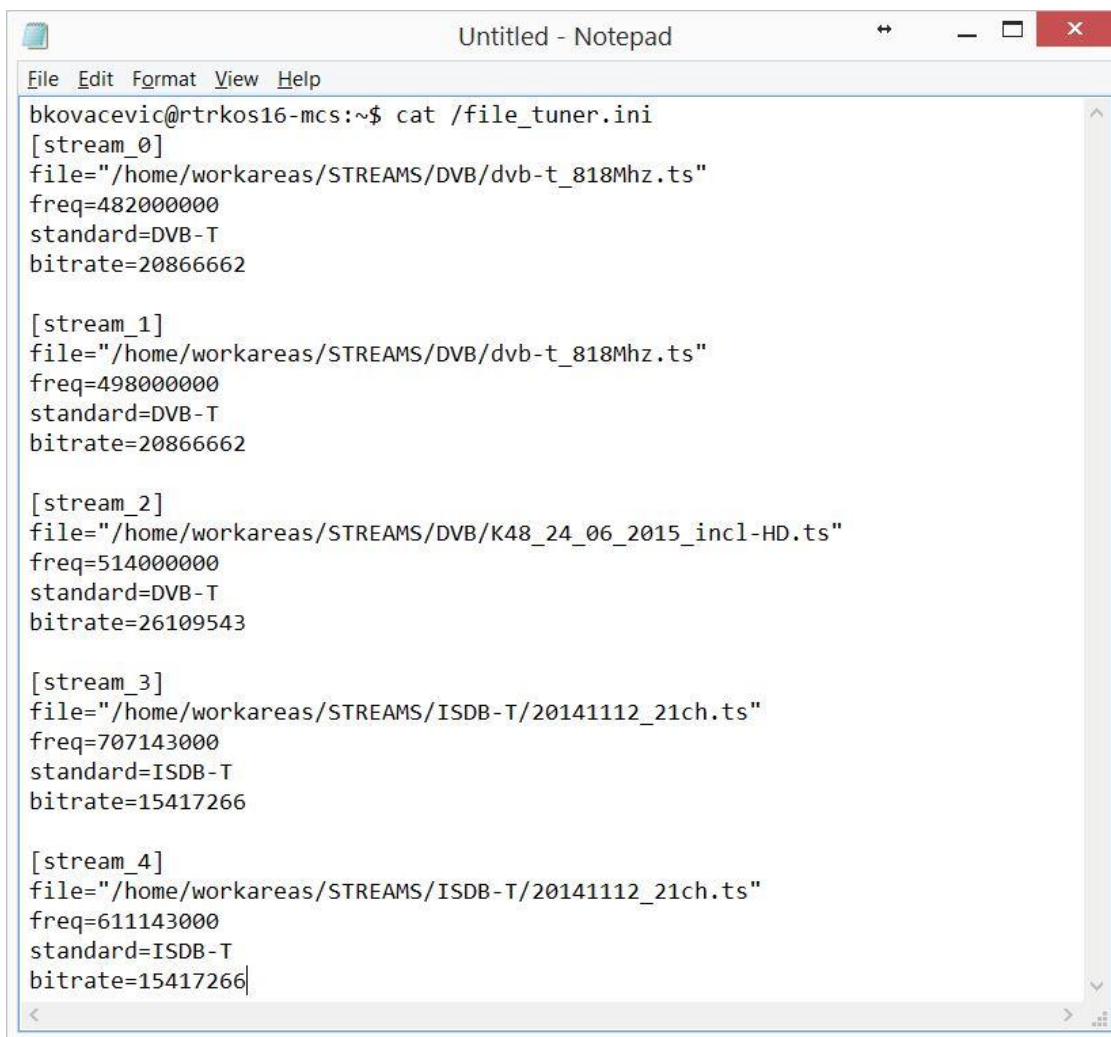
7.2 Верификација у симулираном стационарном окружењу

У сврху верификације начина реализовања алгоритама дефинисана су два симулациона модела:

- рачунар опште намене истих техничких особина (процесорска моћ, доступност радне меморије) као циљна платформа,
- циљна платформа као изолован уређај ван аутомобила

Најпре је за верификацију коришћен програмски симулациони модел на рачунару опште намене.

У већини решења дигиталне телевизије тренутно расположивих на тржишту *DTV* демодулатор и *TS* демултиплексер представљају компоненте које се реализују у физичкој архитектури. Овакав начин реализације изазива зависност између компоненти система, тј. захтева верификацију решења директно на циљној платформи и отежава сам процес верификације. Из тог разлога, у склопу процеса верификације овог решења на више различитих платформи компоненте *DTV* демодулатора и *TS* демултиплексера су реализоване и као засебне компоненте програмске подршке. Програмски *DTV* демодулатор учитава податке о различитим токовима података из конфигурационе датотеке. Пример једне конфигурационе датотеке дат је на слици 7.5.



```
File Edit Format View Help
bkovacevic@rtrkos16-mcs:~$ cat /file_tuner.ini
[stream_0]
file="/home/workareas/STREAMS/DVB/dvb-t_818Mhz.ts"
freq=482000000
standard=DVB-T
bitrate=20866662

[stream_1]
file="/home/workareas/STREAMS/DVB/dvb-t_818Mhz.ts"
freq=498000000
standard=DVB-T
bitrate=20866662

[stream_2]
file="/home/workareas/STREAMS/DVB/K48_24_06_2015_incl-HD.ts"
freq=514000000
standard=DVB-T
bitrate=26109543

[stream_3]
file="/home/workareas/STREAMS/ISDB-T/20141112_21ch.ts"
freq=707143000
standard=ISDB-T
bitrate=15417266

[stream_4]
file="/home/workareas/STREAMS/ISDB-T/20141112_21ch.ts"
freq=611143000
standard=ISDB-T
bitrate=15417266
```

Слика 7.5 Пример конфигурационе датотеке

Подржани су следећи параметри у оквиру конфигурационе датотеке:

- датотека (енгл. *file*) – пуна путања на систему датотека (енгл. *file system*) до претходно снимљеног преносног тока података;
- фреквенција (енгл. *freq*) – жељена фреквенција на којој се преноси ток података изражена у *Hz*;
- брзина протока (енгл. *bitrate*) – параметар који представља учесталост преноса података изражен у бајтима, а коришћен да што приближније имитира пријем тока података са бирача фреквенцијских канала;
- *DTV* стандард (енгл. *standard*) – жељени стандард дигиталне телевизије којим се преноси ток података (подржани стандарди су: *DVB-T*, *DVB-T2* и *ISDB-T*).

Различити модули програмске подршке за дигиталну телевизију захтевају различите податке из преносног тока података. Након издвајања пакета у *DTV* демодулатору, *TS* демултиплексер је задужен да издвоји тражене податке и испоручи их модулима који су те податке тражили. Реализацијом *TS* демултиплексера у програмској подршци омогућена је верификација овог решења на рачунару опште намене, али и на циљној платформи као изолованом уређају ван аутомобила.

За време експерименталне евалуације потребни су различити испитни вектори да би се верификовао овај приступ и показало како се овај приступ понаша у општем случају.

Како би се верификовали издвојени модули програмске подршке, искоришћена је *CUnit* [81] програмска спрега. Уз помоћ ове спреге дефинисан је и реализован скуп испитних случајева, чији је подскуп приказан на слици 7.6.

Order	Test Module	Test	Result	Execution Date	Time
59	tdal_dmd	TestDmdMultipleInitTerm	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
60	tdal_dmd	TestDmdGetCapability	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
61	tdal_dmd	TestDmdGetNimCapability	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
62	tdal_dmd	TestDmdTuneAndUnlockFreq	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
63	tdal_dmd	TestDmdStartScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
64	tdal_dmd	TestDmdGetAPIVersion	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
65	tdal_dmd	TestDmdGetPlatformVersionBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
66	tdal_dmd	TestDmdGetPlatformVersion	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
67	tdal_dmd	TestDmdContinueScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
68	tdal_dmd	TestDmdGetSignalQuality	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
69	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder3	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
70	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder4	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
71	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder5	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
72	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder6	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
73	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder7	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
74	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder8	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
75	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder9	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
76	tdal_dmd	TestDmdScanBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
77	tdal_dmd	TestDmdGetSignalQualityBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
78	tdal_dmd	TestDmdGetInfoBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
79	tdal_dmd	TestDmdConfigBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
80	tdal_dmd	TestDmdUnlockFrequency	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
81	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder1	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
82	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder2	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
83	tdal_dmd	TestDmdRepeatedLockUnlockFreq	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
84	tdal_dmd	TestDmdCheckFuncionCallOrder10	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
85	tdal_dmd	TestDmdGetCapabilityArgumentNull	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
86	tdal_dmd	TestDmdGetFECapabilityArgumentNull	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
87	tdal_dmd	TestDmdCloseFEInstanceBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
88	tdal_dmd	TestDmdTuneConfigBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
89	tdal_dmd	TestDmdGetFEConfigBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
90	tdal_dmd	TestCase_TestDmdDVBConfiguration	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
91	tdal_dmd	TestDmdRegisterMonitoringCallback	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
92	tdal_dmd	TestDmdMultipleRegisterMonitoringCallback	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
93	tdal_dmd	TestDmdMonitoringCallbackArgumentNull	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
94	tdal_dmd	TestDmdCheckFunctionCallOrder11	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
95	tdal_dmd	TestDmdCheckFunctionCallOrder12	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27
96	tdal_dmd	TestDmdMonitorineCallbackTuneCheck	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:27

Слика 7.6 Подскуп испитних случајева за верификацију унутар модула реализованих алгоритама

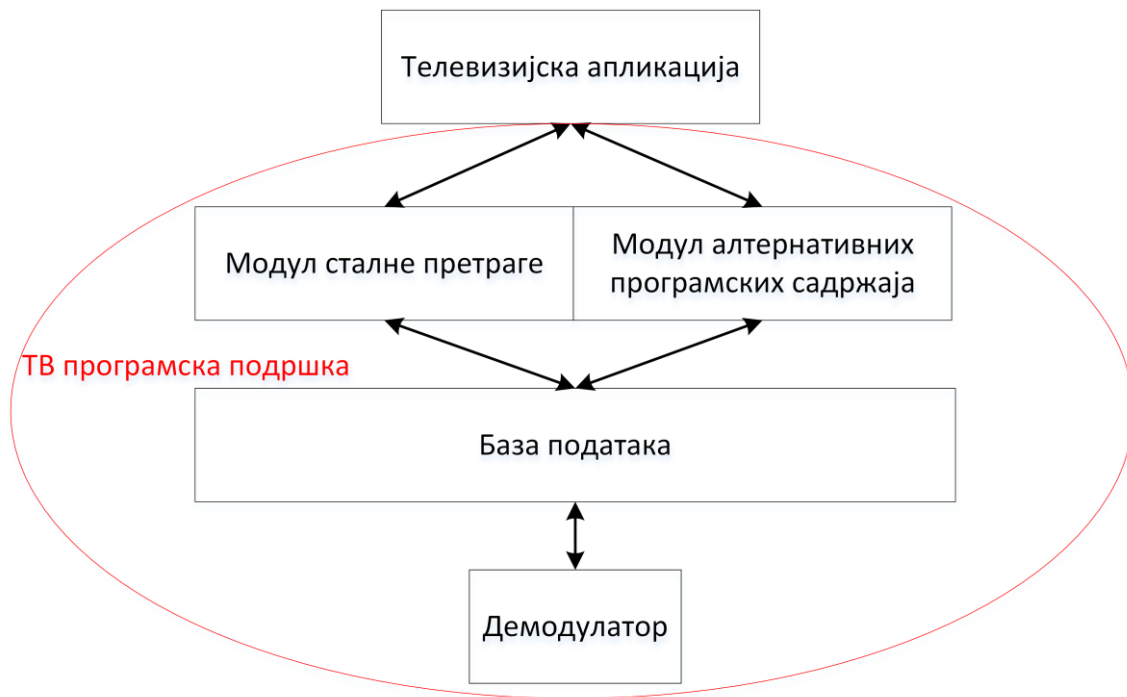
Да би се верификовали реализовани сервиси и комуникација између различитих модула програмске подршке, искоришћена је *CUnit* програмска спрега. Уз помоћ ове спреге дефинисан је и реализован скуп испитних случајева, приказан на слици 7.7.

7. ИСПИТИВАЊЕ И ВЕРИФИКАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Order	Test Module	Test	Result	Execution Date	Time
362	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_MALUninitialized	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
363	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_MALUninitializedMultiTerm	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
364	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ServiceInfoEventBeforeScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
365	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ServiceInfoEvent	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
366	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ImmediateServiceInfoEventBeforeScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
367	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ImmediateServiceInfoEvent	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
368	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverFinish	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
369	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverFail	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
370	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverAbort	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
371	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverFinishScanning	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
372	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverFailScanning	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
373	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverAbortScanning	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
374	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseMalTerminate	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
375	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseMalTerminateScanning	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
376	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseScanStop	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
377	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseScanStopServiceStop	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
378	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseScanStopMalTerminate	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
379	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseScanStart	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
380	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseScanStartServiceStop	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
381	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_HandoverCornerCaseScanStartMalTerminate	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
382	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetInstallConfiguration	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
383	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetInstallConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
384	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetInstallConfiguration	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
385	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetInstallConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
386	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ResetGetRouteConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
387	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ResetRouteConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
388	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetServiceListParamConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
389	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetServiceListParamConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
390	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetServiceListParamConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
391	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetServiceListParamConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
392	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetHandoverParamConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
393	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetHandoverParamConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
394	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetHandoverParamConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
395	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetHandoverParamConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
396	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetDataCacheConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
397	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetDataCacheConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
398	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetDataCacheConfig	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
399	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetDataCacheConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
400	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_RegisterUnregisterCallback	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
401	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_RegisterUnregisterCallbackBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
402	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetStatusBeforeScanStart	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
403	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetStatusDuringScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
404	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetStatusAfterScanStop	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
405	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetStatusBadParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
406	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetStatusCurrentlyScannedStandard	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
407	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ChangeCountryDuringBackgroundScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
408	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_TestFunctionsAfterMalTerm	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
409	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_TestFunctionsAfterMalTermInit	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
410	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetSignalInfoConfiguration	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
411	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetSignalInfoConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
412	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetSignalInfoConfiguration	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
413	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetSignalInfoConfigInvalidParam	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
414	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ScanEventsWrongOrder1	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
415	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_TunerStatusEventsLocked	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
416	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_TunerStatusEventsLockFailed	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
417	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_TunerStatusEventsBeforeScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
418	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetandGetStandardConfiguration	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
419	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetandGetStandardConfigurationInvalidParameters	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
420	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_TuneDuringBackgroundScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
421	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_DataNotCachedWhenBSCachingDisabled	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
422	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetCachingOfEpgPFDDataBeforeBSIsStarted	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
423	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetCachingOfEpgPFDDataAfterBSIsStarted	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
424	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetCachingOfEpgSCDataBeforeBSIsStarted	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
425	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetCachingOfEpgSCDataAfterBSIsStarted	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
426	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetCachingOfTeletextData	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
427	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_SetCachingOfTeletextAndEPGData	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
428	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_ZappDuringBackgroundScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
429	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GraphicsComponentDuringBackgroundScan	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
430	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_GetBSInstallConfigurationAfterFactoryReset	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
431	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_StartBSAfterFactoryReset	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30
432	dtv_mobile_stb	TestCase_MSTB_FastServiceModeOverriding	SUCCESS	Nov 10 2017	22:19:30

Слика 7.7 Подкуп испитних случајева за верификацију између модула реализованих алгоритама

Како би се верификовало крајње решење у окружењу које најприближније покрива обележја дигиталног телевизијског пријемника у реалном времену, потребно је направити апликацију са графичком корисничком спрегом намењену неинжењерском особљу, ради прикупљања што репрезентативнијих утисака корисника. Груб приказ који илуструје позицију телевизијске апликације у целом систему је дат на слици 7.8.



Слика 7.8 Позиционирање телевизијске апликације у целом систему

Као и за претходне нивое верификације, тако је и за верификацију целокупног решења дефинисан скуп испитних случајева, чији је подскуп приказан на слици 7.9.

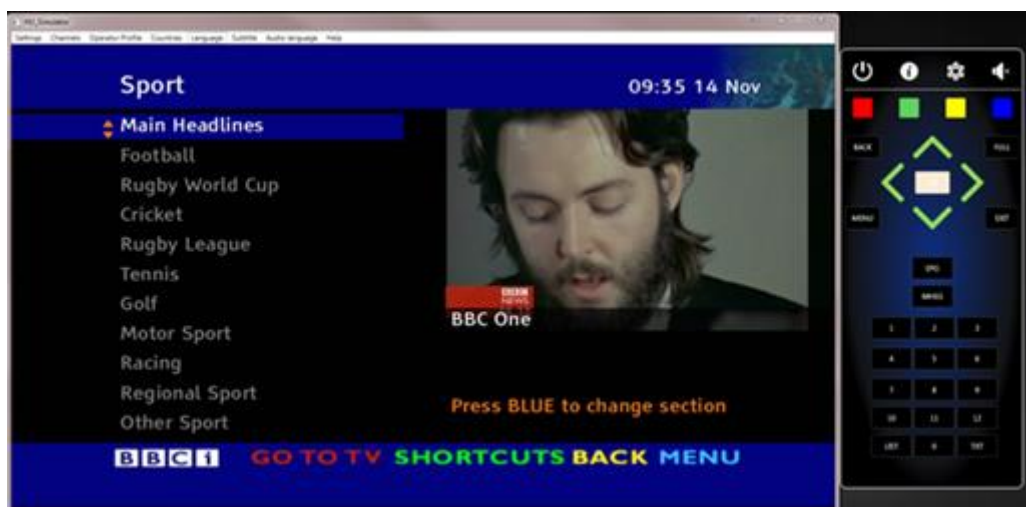
ID	Title
26	Tables Update Monitoring.Service Descriptor Table Change Callback
27	Handover.Successful Handover from Radio Service to Radio Service
28	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Signal Quality Decreased- Activated Background Scan
29	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Signal Quality Decreased- Activated Background Scan
30	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Signal Quality Decreased - Correlation not Enabled
31	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Signal Quality Decreased - Correlation Costume Option Parameter
32	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Signal Quality Decreased - Activated BML
33	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Signal Quality Decreased - Activated BML
34	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Affiliation ID
35	Handover.Successful Handover From FullSeg To FullSeg Based on Affiliation and Content ID
36	Handover.Successful Handover From FullSeg To 1Seg and 1seg To FullSeg - Activated Background Scan
37	Handover.Successful Handover From FullSeg To 1seg - Audio Component Selection
38	Handover.Successful Handover From DVB-T2 To DVB-T2 Based on Signal Quality with EPG_SCH Data Caching
39	Handover.Successful Handover From DVB-T2 To DVB-T2 Based on Signal Quality - Activated Background Scan
40	Handover.Successful Handover From DVB-T2 To DVB-T Based on Signal Quality with EPG_PF Data Caching
41	Handover.Successful Handover From DVB-T2 To DVB-T Based on Signal Quality
42	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T2 Based on Signal Quality with EPG_SCH Data Caching
43	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T2 Based on Signal Quality
44	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T Based on Signal Quality with EPG_PF Data Caching
45	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T Based on Signal Quality - Correlation not Enabled
46	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T Based on Signal Quality - Correlation Custom Option Parameter
47	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T Based on Signal Quality
48	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T Based on Signal Lost - Activated Background Scan
49	Handover.Successful Handover from DVB-T to DVB-T Based on Service Name - Activated Background Scan
50	Handover.Successful Handover from DVB-T to DVB-T Based on SDT Linkage Descriptor - Activated Background Scan
51	Handover.Successful Handover From DVB-T To DVB-T - Audio Selection During Handover
52	Handover.Successful Handover From 1Seg To FullSeg Based on Signal Quality Improved- Activated Background Scan
53	Handover.Successful Handover From 1seg To FullSeg - Correlation not Enabled
54	Handover.Successful Handover From 1seg To FullSeg - Correlation Custom Option Parameter

Слика 7.9 Подскуп испитних случајева за верификацију целокупног решења

За потребе верификације различитих сервиса дигиталне телевизије у корисничкој апликацији су реализована обележја приказа и аутоматског претраживања програмских садржаја, електронског програмског водича, и интерактивних садржаја, као што је приказано на сликама 7.10, 7.11, 7.12 и 7.13.



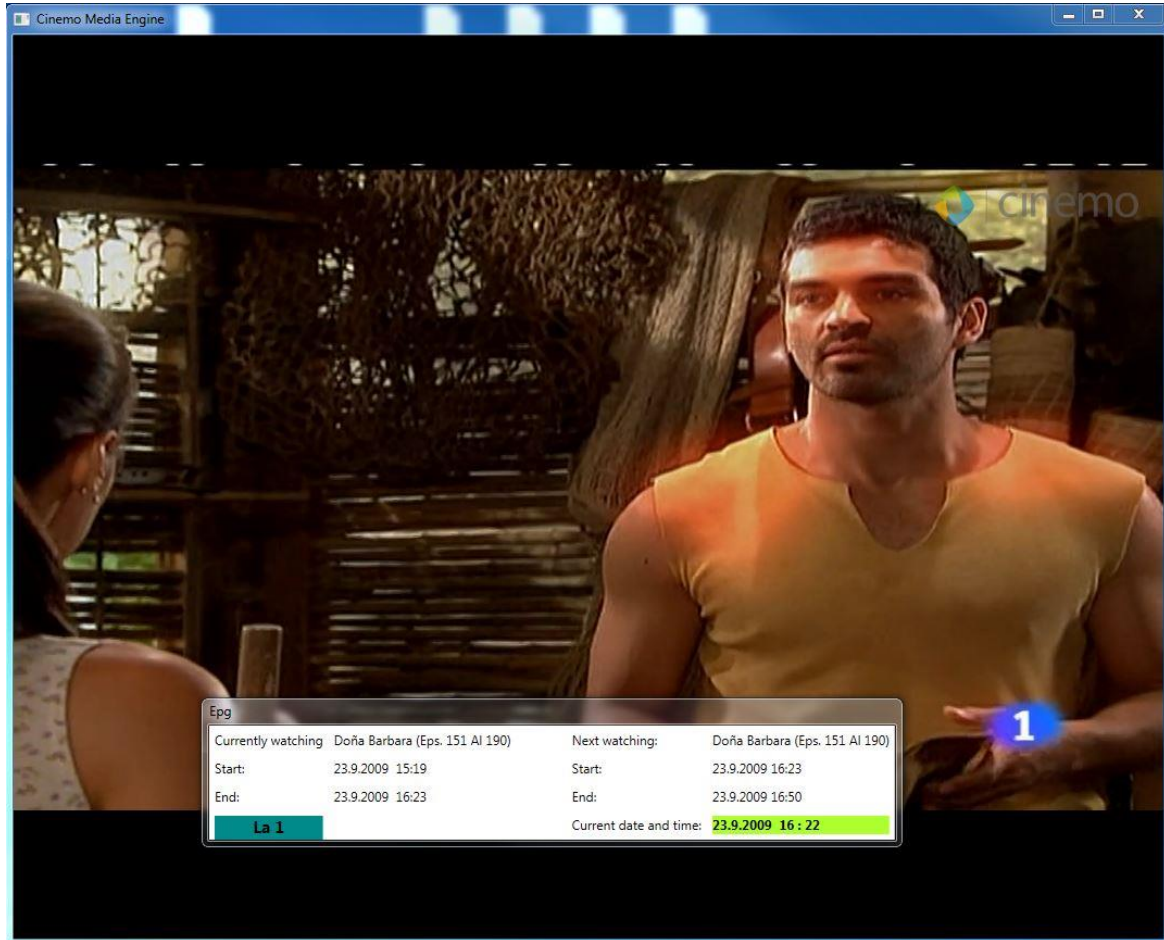
Слика 7.10 Приказ основних подешавања корисничке апликације



Слика 7.11 Приказ интерактивних садржаја у корисничкој апликацији

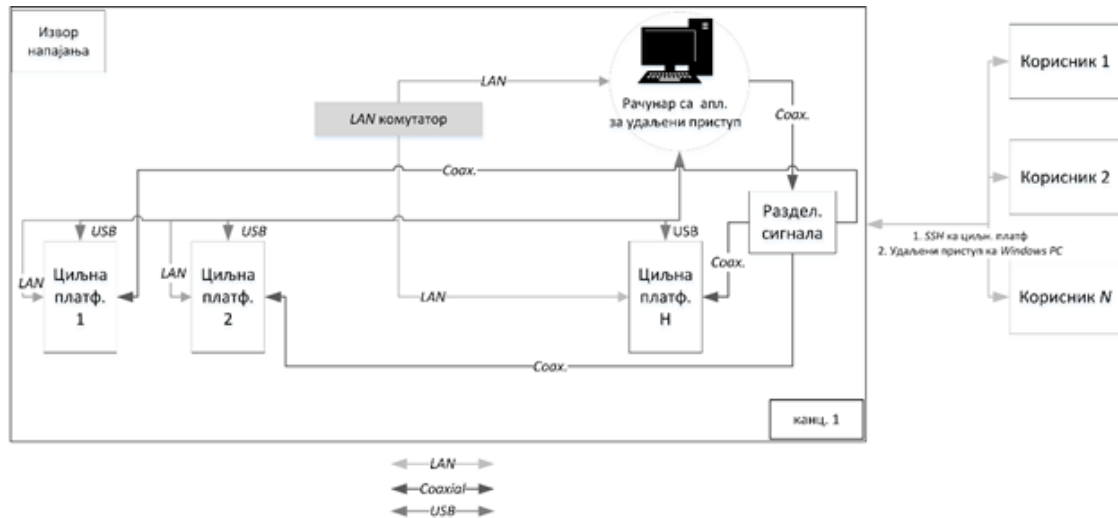
Clan	24h
23.9.2009 16:08 - 23.9.2009 16:34 Mascotas Papanatas	23.9.2009 16:00 - 23.9.2009 16:31 Td Internacional L-D 18.00 2008
23.9.2009 16:34 - 23.9.2009 16:59 Pit And Kantrop (I - II)	23.9.2009 16:31 - 23.9.2009 16:46 Noticias Culturales Iberoamericanas 24h
23.9.2009 16:08 - 23.9.2009 16:34 Mascotas Papanatas	23.9.2009 16:00 - 23.9.2009 16:31 Td Internacional L-D 18.00 2008
23.9.2009 16:34 - 23.9.2009 16:59 Pit And Kantrop (I - II)	23.9.2009 16:31 - 23.9.2009 16:46 Noticias Culturales Iberoamericanas 24h
23.9.2009 16:59 - 23.9.2009 17:26 Lazy Town	23.9.2009 16:46 - 23.9.2009 17:00 Reportaje Informe Semanal 24h 2008
23.9.2009 17:26 - 23.9.2009 17:53 Pichi Pichi Pitch	23.9.2009 17:00 - 23.9.2009 17:15 Noticias 24 Horas 2009
23.9.2009 17:53 - 23.9.2009 18:18 El Espectacular Spiderman I	23.9.2009 17:15 - 23.9.2009 17:30 Reportajes Generales 24 Horas
23.9.2009 18:18 - 23.9.2009 18:43 El Intrepido Batman	23.9.2009 17:30 - 23.9.2009 17:55 La Tarde En 24h 2009
23.9.2009 18:43 - 23.9.2009 18:44 El Buho	23.9.2009 17:55 - 23.9.2009 18:00 Tiempo 5« 24h
23.9.2009 18:44 - 23.9.2009 19:09 Bob Esponja	23.9.2009 18:00 - 23.9.2009 18:30 Noticias 24 Horas 2009
23.9.2009 19:09 - 23.9.2009 19:33 Bob Esponja	23.9.2009 18:30 - 23.9.2009 18:48 Noticias 24 Horas 2009
23.9.2009 19:33 - 23.9.2009 19:57 Codigo Lyoko	23.9.2009 18:48 - 23.9.2009 19:19 Metropolis
23.9.2009 19:57 - 23.9.2009 20:20 Bob Esponja	23.9.2009 19:19 - 23.9.2009 19:34 Fue Informe 1 24h 2008
23.9.2009 20:20 - 23.9.2009 20:22 El Buho	23.9.2009 19:34 - 23.9.2009 19:40 El Tiempo 24 Horas- 2º Edicion 21:45
23.9.2009 20:22 - 23.9.2009 20:48 El Tesoro Perdido De Fiji	23.9.2009 19:40 - 23.9.2009 20:30 Telediario 2ºedicion 2009 1º Semestre
23.9.2009 20:48 - 23.9.2009 21:31 Buffy Cazavampiros I-Vii	23.9.2009 20:30 - 23.9.2009 22:08 La Noche En 24 Horas 2009
23.9.2009 21:31 - 23.9.2009 22:13 Smallville	23.9.2009 22:08 - 23.9.2009 23:00 Repor
23.9.2009 22:13 - 23.9.2009 22:56 Buffy Cazavampiros I-Vii	23.9.2009 23:00 - 23.9.2009 23:11 Noticias 24 Horas 2009
23.9.2009 22:56 - 23.9.2009 23:37 Buffy Cazavampiros I-Vii	23.9.2009 23:11 - 23.9.2009 23:30 Camara Abierta 2.0
23.9.2009 23:37 - 24.9.2009 0:20 Smallville	23.9.2009 23:30 - 23.9.2009 23:44 Noticias 24 Horas 2009
24.9.2009 0:20 - 24.9.2009 1:02 Smallville	23.9.2009 23:44 - 24.9.2009 0:00 Noticias Culturales Iberoamericanas 24h
24.9.2009 1:02 - 24.9.2009 1:44 Buffy Cazavampiros I-Vii	24.9.2009 0:00 - 24.9.2009 0:30 Td Internacional 24h L-D 02.00 2009
24.9.2009 1:44 - 24.9.2009 2:25 Buffy Cazavampiros I-Vii	24.9.2009 0:30 - 24.9.2009 1:00 La Noche En 24 Horas 2009
24.9.2009 2:25 - 24.9.2009 3:08 Smallville	24.9.2009 1:00 - 24.9.2009 1:10 Noticias 24 Horas 2009
24.9.2009 3:08 - 24.9.2009 3:50 Smallville	24.9.2009 1:10 - 24.9.2009 2:00 La Noche En 24 Horas 2009
24.9.2009 3:50 - 24.9.2009 4:11 Dos Hombres Y Medio I - Iv	24.9.2009 2:00 - 24.9.2009 2:30 Td Internacional 24h L-D 02.00 2009
24.9.2009 4:11 - 24.9.2009 4:35 El Tesoro Perdido De Fiji	24.9.2009 2:30 - 24.9.2009 3:00 Metropolis
24.9.2009 4:35 - 24.9.2009 5:00 El Tesoro Perdido De Fiji	24.9.2009 3:00 - 24.9.2009 3:30 Td Internacional 24h L-D 02.00 2009
24.9.2009 5:00 - 24.9.2009 5:28 Los Lunnis. La Serie	24.9.2009 3:30 - 24.9.2009 3:46 Reportaje Informe Semanal 24h 2008

Слика 7.12 Приказ електронског програмског водича са информацијама за више програмских садржаја



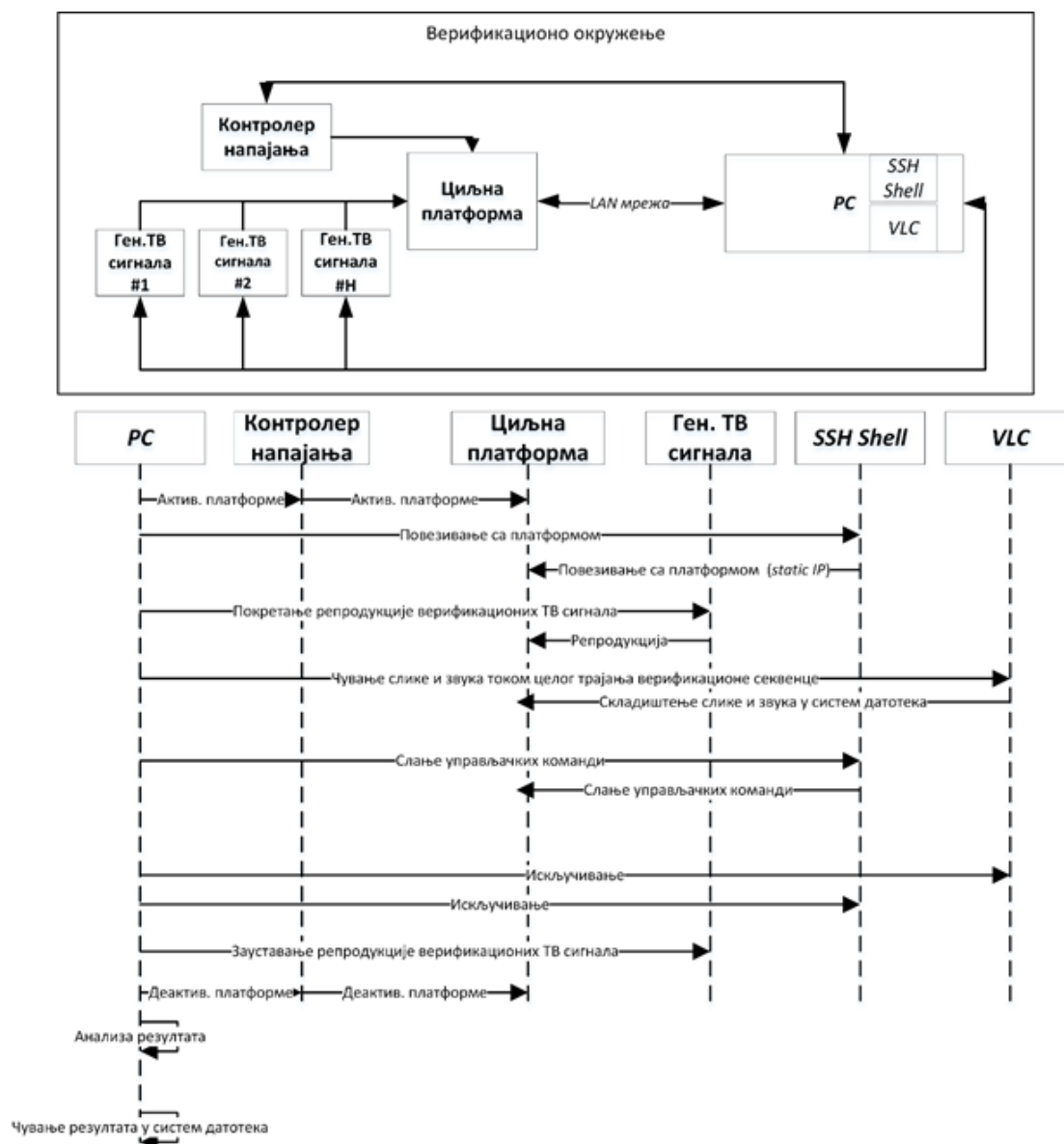
Слика 7.13 Приказ електронског програмског водича који садржи информације о тренутно активном програмском садржају

Услед сложености алгоритма и реализованог решења, као и самог процеса верификације, а како би се што раније дефинисао крајњи изглед програмске подршке, предложен је систем са више испитних станица (Слика 7.14) за бржи развој програмске подршке претходно описаних алгоритама.



Слика 7.14 Систем за удаљени приступ различитим симулационим моделима циљних платформи

Предложени систем се лако може повезати са системом за аутоматску верификацију уређаја принципом црне кутије (енгл. *Black Box Testing, BBT*), који је већ развијан за аутоматску верификацију телевизора [82]. Један пример таквог система је приказан на слици 7.15.



Слика 7.15 Предлог система за аутоматску верификацију у симулираном нестационарном окружењу

Предложени систем врши верификацију уређаја (било да је реч о решењу на рачунару опште намене или циљној платформи у стационарном окружењу) у следеће три фазе:

1. Фаза припреме испитног случаја,
2. Фаза извршења испитног случаја,
3. Фаза објаве резултата испитног случаја.

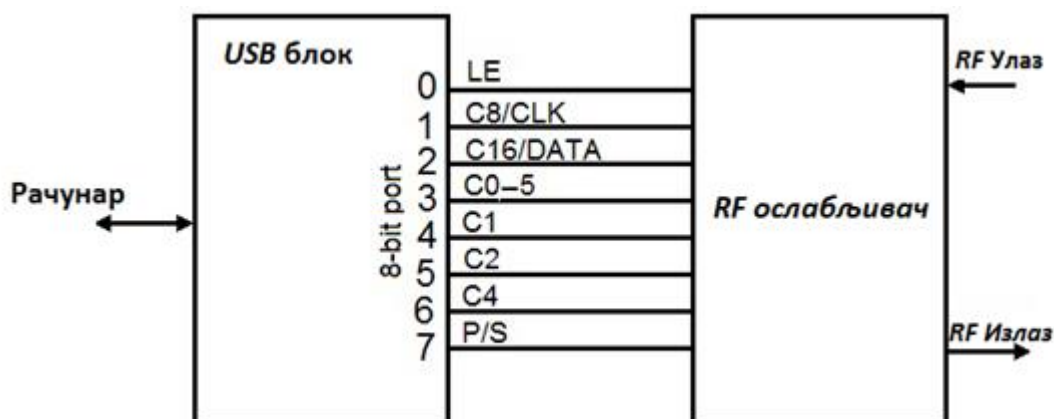
Током фазе припреме испитног случаја уређај се спаја са потребним периферијама (сигнал генератори, контролери напајања, мрежни модули итд.).

Током фазе извршења испитног случаја више испитних случајева се извршава од стране програмске подршке на наменском рачунару. Испитни случајеви покривају проверу исправног рада телевизијске програмске подршке уређаја.

Током фазе објаве резултата испитних случајева резултат претходног извршавања се приказује и чува за каснију употребу. Уређај се искључује са периферија на које је био прикључен и доводи у почетно стање пре верификације.

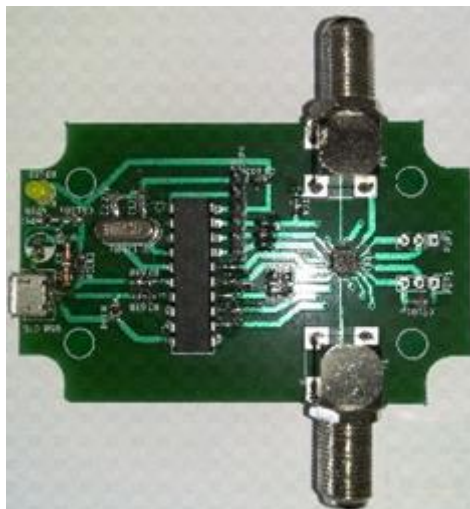
7.3 Верификација у симулираном нестационарном окружењу

Ради прецизније симулације крајњег верификационог окружења, потребан је развој уређаја за динамичку промену квалитета генерисаног телевизијског сигнала. У ту сврху развијен је прототип динамичког ослабљивача сигнала (Слика 7.16). Контрола динамичког ослабљивача омогућена је програмским путем уз помоћ једноставне конзолне апликације развијене само у сврху контроле уређаја путем *USB* спреге рачунара и динамичког ослабљивача.



Слика 7.16 Шема динамичког ослабљивача сигнала

Крајњи изглед ослабљивача сигнала дат је на слици 7.17.

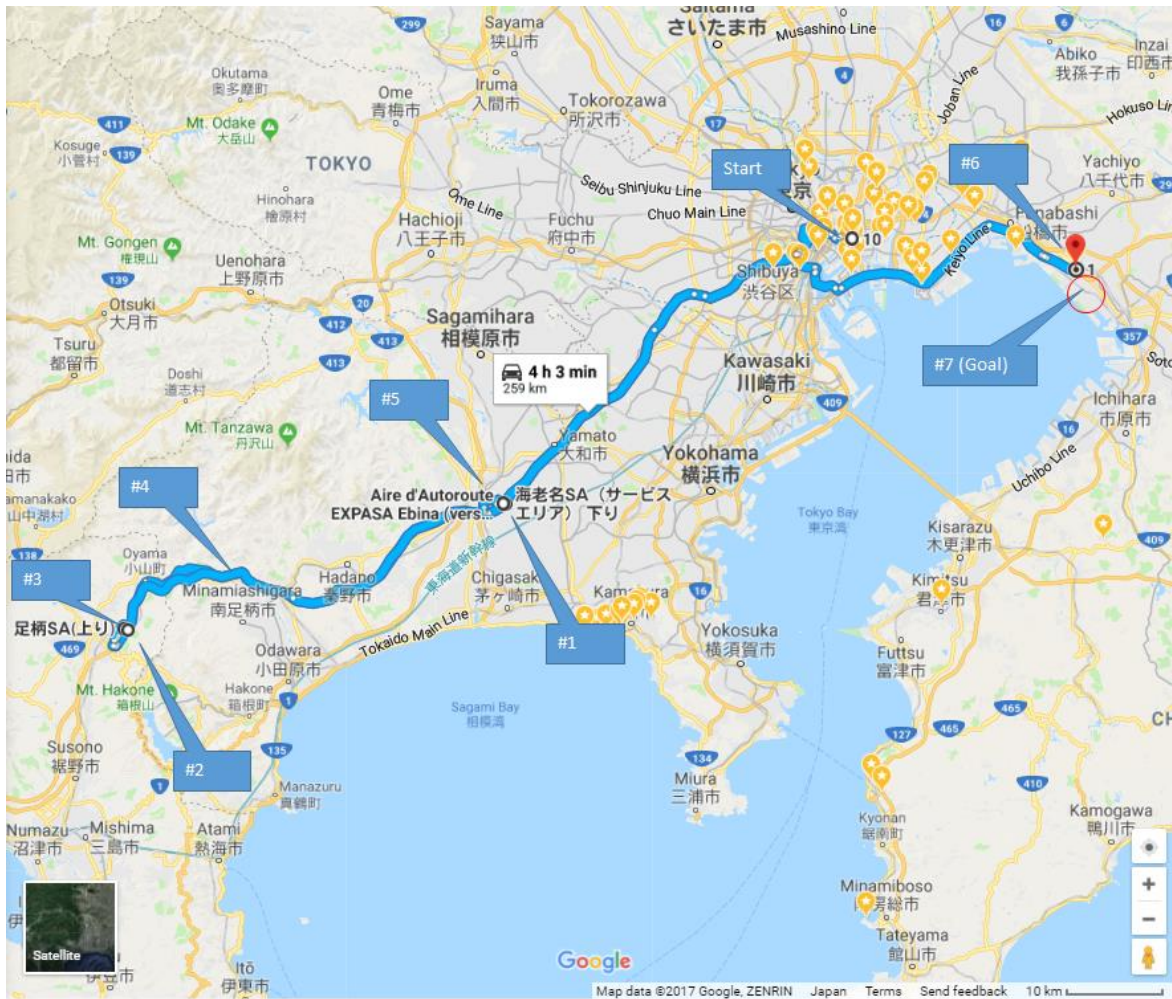


Слика 7.17 Крајњи изглед динамичког ослабљивача сигнала

Сви испитни случајеви коришћени за верификацију решења у симулираном стационарном окружењу сада су поновљени, уз једину разлику да је на излаз генератора сигнала додат динамички ослабљивач сигнала. На тај начин се постиже прецизнија симулација нестационарног окружења.

7.4 Верификација у реалном окружењу

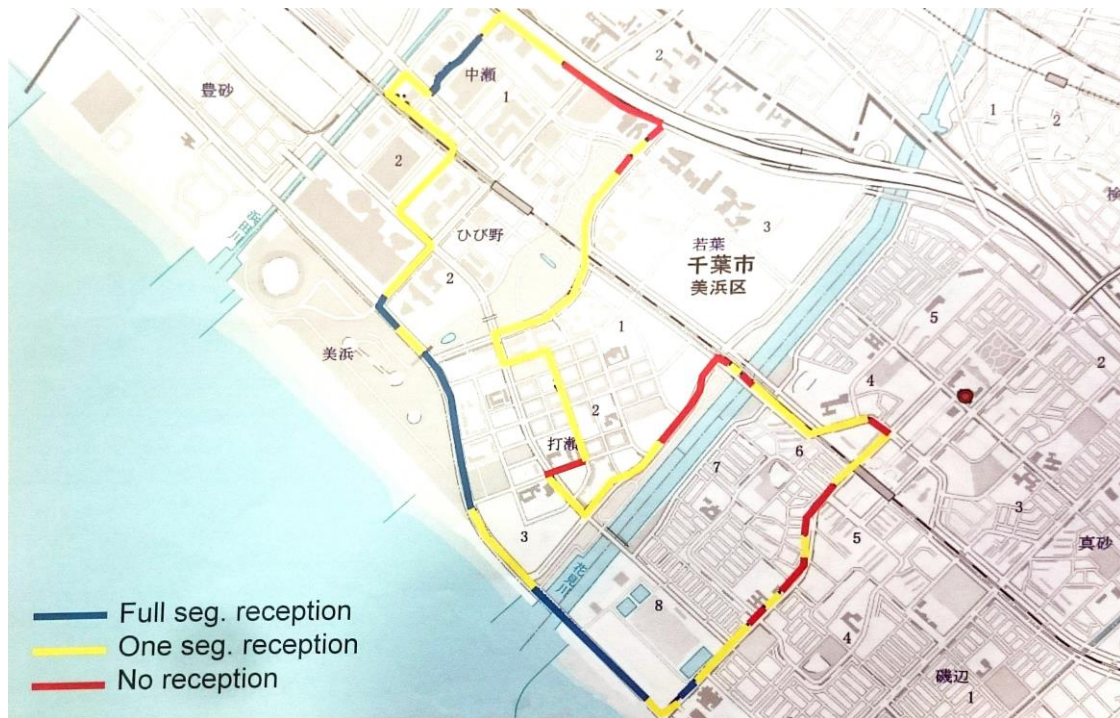
Након верификације решења у лабораторијским условима, ради прецизнијег дефинисања препоручених вредности прагова за описане алгоритме, приступило се верификацији решења у реалним условима, током кретања аутомобила. За верификацију у реалним условима коришћени су отворени путеви (приказано на слици 7.18), путеви са тунелима на својој траси, али примарно путеви који пролазе кроз градска језгра.



Слика 7.18 Приказ путање верификације техничког решења на отвореном путу

На слици 7.18 су приказани најзначајнији контролни пунктеви (енгл. *Check Point*) бројевима од 1 до 7. Функционалност решења је на пунктевима 4 и 7 проверена током кретања возила, а на осталим пунктевима је проверена у стационарном режиму, док је возило било паркирано.

Слика 7.19 приказује путању једне вожње кроз градско језгро Токија.



Слика 7.19 Приказ путање возње са доступним пријемом сигнала кроз градско језгро Токија

Вредности прагова, које су експериментално утврђене током верификације решења у реалним условима, а чијим се коришћењем смањује утицај кретања возила на листу доступних програмских садржаја и тренутно репродуковани садржај видљив кориснику, дате су испод:

- *SQTAS*: 21 *dB*
- *TTAS*: 5000 *ms*
- *SQTRS*: 18 *dB*
- *TTRS*: 5000 *ms*
- *SQTFT*: 20 *dB*
- *TTFT*: 5000 *ms*
- *SQBT*: 25 *dB*
- *TTBT*: 4000 *ms*

Поређењем вредности изнад са измереним вредностима у поглављу 6.6 (Индикатори квалитета сигнала) могуће је закључити да постоји потреба за заштитним интервалом између минималних вредности при којим је могућ пријем сигнала и вредности при којима описани алгоритми треба да покрену одговарајуће акције.

7.5 Предности и недостаци предложеног решења

Након завршеног испитивања и верификације техничког решења идентификоване су следеће предности датог решења:

- иновативни приступ решењу проблема пријема земаљског сигнала дигиталне телевизије унутар аутомобила,
- развој алгоритама чије је прилагођавање могуће на различите физичке архитектуре,
- реализација алгоритама као проширење постојећег програмског решења за пријем сигнала дигиталне телевизије у стационарним условима, тј. могућност реализације датих алгоритама на већ доступним програмским решењима различитих произвођача,
- могућност коришћења телевизијске апликације као једне од многих апликација система за забаву унутар аутомобила,

али и одређени недостаци:

- висока цена и спорији темпо реализације решења у односу на цену и брзину реализације сличних решења на пољу потрошачке електронике и стационарних пријемника телевизијског сигнала. Разлог томе јесте поштовање строгих процеса и процедура при развоју програмске подршке за аутомобилску индустрију,
- немогућност провере и детаљнијег поређења овог решења са већ постојећим решењима, услед недоступности постојећих решења.

8. ЗАКЉУЧАК

У овој докторској дисертацији је дат предлог и извршена верификација решења интеграције сервиса дигиталне телевизије у мултимедијални систем аутомобила. Решење је дефинисано кроз скуп алгоритама, а интеграција је извршена на платформски независан начин. По сложености и скупу реализованих сервиса дато решење је упоредиво са постојећим решењима на тржишту потрошачке електронике и стационарних телевизијских пријемника.

У оквиру докторске дисертације су истражени расположиви извори информација (базе патената и научних часописа, као и постојећа техничка решења). На основу добијених резултата, тј. описаног постојећег стања у области дигиталне телевизије и телевизије у аутомобилу, указано је на потребу за истраживањем како би се обезбедило поуздано и безбедно коришћење мултимедијалних уређаја и функционалности дигиталне телевизије унутар аутомобила. Да би се омогућило коришћење дигиталне телевизије унутар аутомобила, било је потребно изаћи из опсега конвенцијалних пријемника телевизијског сигнала у стационарном режиму. Поред тога, било је неопходно пронаћи решење које ће аутоматски, без потребе за интервенцијом корисника, одржавати листу програмских садржаја дигиталне телевизије ажурном током кретања аутомобила. Предложено је решење које континуирано пружа кориснику исти програмски садржај, емитован у најбољем квалитету слике и звука и доступан на различитим фреквенцијским каналима.

Одабрана је одговарајућа платформа за практичну реализацију и потврду решења. Експериментална провера је извршена на неколико различитих платформи да би се испитала платформска независност предложеног решења.

Извршена је верификација предложеног решења одговарајућим метрикама преко оцене квалитета реализоване програмске спреге у „C” програмском језику. Предложени алгоритми су верификовани како у симулираном стационарном и нестационарном окружењу на рачунару опште намене, тако и у реалним условима на модерним мултимедијалним уређајима током вожње аутомобила.

Резултати ове докторске дисертације могу послужити као основа за будућа истраживања из области интеграције дигиталне телевизије у модерне мултимедијалне уређаје унутар аутомобила. Наредни кораци могу ићи у правцу интеграције и даљег проширења програмском решења унутар аутомобила на тзв. уређаје додатног екрана (енгл. *Second Screen*), попут паметног телефона (енгл. *Smartphone*), таблет рачунара или система за забаву на задњој клупи аутомобила (енгл. *Rear Seat Entertainment*). Ови уређаји омогућавају приказ интерактивних садржаја на додатном екрану током приказивања линеарног садржаја на централном телевизијском пријемнику унутар аутомобила.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. W. Kernighan and D. M. Ritchie, *The C Programming Language*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988.
- [2] B. Kovacevic, M. Kovacevic, T. Maruna and I. Papp, „A Java Application Programming Interface for In-Vehicle Infotainment Devices”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 63, No. 1, pp. 68-76, February 2017.
- [3] United States Patent and Trademark Office, available from: <http://www.uspto.gov>, accessed on: November 21, 2017.
- [4] European Patent Office, available from: <http://www.epo.org>, accessed on: November 21, 2017.
- [5] World Intellectual Property Organization, available from: <http://www.wipo.int>, accessed on: November 21, 2017.
- [6] Denso Corp, „In-vehicle image display system”, *EPO patent US2005138662*, June 23, 2005.
- [7] Hyundai Mobis Co Ltd, „Vehicle television equipped with diversity antenna circuit”, *EPO patent KR20040023336*, March 18, 2004.
- [8] Delphi Electronic Co Ltd, „In-vehicle digital television stream transmission system”, *EPO patent CN103813201*, May 21, 2014.
- [9] Alpine Electronics Inc, „In-vehicle digital broadcast receiver”, *EPO patent JP2014082675*, May 08, 2014.
- [10] Z. Xueyi, „Vehicle-mounted digital television receiver”, *EPO patent CN106507163*, March 15, 2017.
- [11] Gotech Intelligent Tech Co Ltd, „On-vehicle terrestrial digital TV intelligent gateway”, *EPO patent CN205946054*, February 08, 2017.
- [12] J. Chao, „Vehicle-mounted television set”, *EPO patent CN105150950*, December 16, 2015.
- [13] Semisky Group, „On-vehicle intelligent digital television STB all-in-one”, *EPO patent CN204598216*, August 26, 2015.
- [14] Chengdu Xinguang Microwave Engineering Co Ltd, „Vehicle-mounted digital television receiver”, *EPO Patent CN104410888*, March 11, 2015.
- [15] Y. Jiakai, „Vehicle digital mobile television set”, *EPO Patent CN203181137*, September 4, 2013.
- [16] H. Yiping, „Mobile television unit”, *WIPO Patent CN101605212*, December 16, 2009.
- [17] Toyota Gosei Co Ltd. & Matsushita Electric Industrial Co Ltd, „Vehicle television receiver system”, *WIPO Patent US4843477*, June 27, 1989.
- [18] Delphi Electronic Co Ltd, „In-vehicle digital television stream transmission system”, *WIPO Patent CN103813201*, May 21, 2014.
- [19] Matsushita Electric Industrial Co Ltd, „Mobile television receiver”, *USPTO Patent 5,986,720*, November 16, 1999.
- [20] Sanyo Electric Co Ltd, „In-vehicle TV receiver and audio disc player”, *USPTO Patent D551,195*, September 18, 2007.

- [21]Eslite Electronic Commerce Co Ltd, „Method for controlling vehicle-mounted television”, *EPO patent CN105472280*, April 06, 2016.
- [22]Eslite Electronic Commerce Co Ltd, „Vehicle-mounted television video switching method”, *EPO patent CN105430462*, March 23, 2016.
- [23]Alpine Electronics Inc, „In-vehicle television system”, *EPO patent JP2006165858*, June 22, 2006.
- [24]Denso Corp, „On-vehicle television receiver”, *WIPO Patent JP2007027834*, Februar y 01, 2007.
- [25]Sanyo Electric Co Ltd, „On-vehicle broadcast receiver”, *WIPO Patent JP2004180201*, June 24, 2004.
- [26]Pioneer Electronic Corp, „On-vehicle television receiver”, *EPO patent JP2001275047*, October 05, 2001.
- [27]M. Pavlović, A. Nešković and M. Koprivica, „DVB-T Mobile Diversity Reception”, *Proc. of the IEEE Regional 8th International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON)*, pp. 320-325, Irkutsk, Russia, July 11-15, 2010.
- [28]C. C. Wang, H. K. Lo, S. P. Lin and R. Hu, „High-Sensitivity and High-Mobility Compact DVB-T Receiver for In-Car Entertainment”, *Digest of Technical Papers - International Conference on Consumer Electronics*, pp. 423-424, Las Vegas, January 7-11, 2006.
- [29]C. C. Wang, G. N. Sung, J. Y. Liao, J. Chang and R. Hu, „Handheld DVB-T Digital TV with An Automatic Antenna Selection Method for Mobile Reception”, *Digest of Technical Papers - International Conference on Consumer Electronics*, pp. 1-2, Las Vegas, January 10-14, 2007.
- [30]Z. Lei, O. Franzen and H. Schröder, „A Multiantenna Diversity System with Blind Equalisation for Mobile Video Signal Reception”, *Proc. of the 43rd International Scientific Colloquium*, Technical University of Ilmenau, Ilmenau, September 21-24, 1998.
- [31]S. Tomasin, A. Gorokhov, H. Yang and J. Linnartz, „Achieving mobility for dvb-t by signal processing for doppler compensation”, *Proc. of the International Broadcast Convention*, pp. 412–420, Amsterdam, September 2002.
- [32]K. Shirasuka, S. Matsumoto, E. Arita and H. Nakayama, „An Advanced Fast Channel Tracking Method for Automotive Digital TV Receiver”, *Digest of Technical Papers - International Conference on Consumer Electronics*, pp. 10-14, Las Vegas, January 10-14, 2007.
- [33]K. Shirasukaa, S. Matsumotoa, O. Nasub and N. Yamagishic, „Fast Service Following with Broadcast Area Map Generation Method for Automotive Digital TV Receiver”, *Proc. of the IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 174 - 175, Las Vegas, January 9 - 12, 2015.
- [34]G. Hirtz, „Mobile reception of Television signals”, *Digest of Technical Papers - International Conference on Consumer Electronics*, pp. 1 - 2, Las Vegas, January 10 – 14, 2007.
- [35]D. Turina and T. Lohmar, „Mobile TV - The Concept Overview and Technology Enablers”, *Proc. of the 9th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, Zagreb, June 13-15, 2007.
- [36]Kenwood Electronics, „Kenwood Multimedia Systems - KTC-D500E”, available from: http://www.kenwood-electronics.co.uk/car/nav_mm/mm/KTC-D500E, accessed on: November 21, 2017.

- [37] Pioneer Electronics USA, „GEX-P6400TV - 4-Channel Diversity TV Tuner and Antenna”, available from: <http://www.pioneerelectronics.com/PUSA/Car/Accessories/AV-Components/GEX-P6400TV>, accessed on: November 21, 2017.
- [38] Pioneer Electronics USA, „GEX-1750DVB2”, available from: <https://www.pioneer.com.sg/sg/products-detail/index.html/?product=GEX-1750DVB2>, accessed on: November 21, 2017.
- [39] Maxim Integrated, „MAX2136A”, available from: <https://www.maximintegrated.com/en/products/comms/wireless-rf/MAX2136A.html>, accessed on: November 21, 2017.
- [40] Hirschmann Car Communication, „TV Tuner Box – High-Quality TV in Vehicles”, available from: <http://www.hirschmann-car.com/en/products/infotainment-systems/tv-tuner-box>, accessed on: November 21, 2017.
- [41] И. Пап, „Прилог решењу обраде говорног сигнала коришћењем микрофонског низа”, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2009.
- [42] Н. Лукић, „Предлог проширења Андроид оперативног система сервисима дигиталне телевизије”, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2014.
- [43] В. Ковачевић, *Логичко пројектовање рачунарских система*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 1993.
- [44] М. Поповић, *Системска програмска подршка*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2004.
- [45] В. Ковачевић, М. Поповић, М. Темеринац и Н. Теслић, *Архитектуре и алгоритми дигиталних сигнала процесора 1*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2005.
- [46] М. З. Бјелица, Н. Теслић и В. Мухић, *Софтвер у дигиталној телевизији 1*, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2017.
- [47] International Telecommunication Union, *Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation*, Geneva, 2016.
- [48] ETSI EN 302 307 V1.1.1 (2005-03), „Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.01.01_60/en_302307v010101p.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [49] Јавно предузеће Емисиона техника и везе, „Програми у првом мултиплексу”, доступно на: <http://etv.rs/mux1>, приступљено: 21 новембар 2017.
- [50] W. Fischer, *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*, Springer, Berlin, 2008.
- [51] Б. М. Мишковић, „Повећање броја програма у мултиплексима ДВБ-Т2 система”, докторска дисертација, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Београд, 2015.

- [52] ARIB TR-B14. Version 3.8-E1 (Fascicle 3), „Operational Guidelines for Digital Terrestrial Television Broadcasting”, available from: http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/8-TR-B14v3_8-3p3-E1.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [53] ARIB STD-B25, „Conditional Access System Specification for Digital Broadcasting”, available from: https://www.arib.or.jp/english/std_tr/broadcasting/desc/std-b25.html, accessed on: November 21, 2017.
- [54] ARIB STB B-24. Version 5.2, „Data Coding and Transmission Specification for Digital Broadcasting”, available from: http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B24v5_2-1p3-E1.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [55] B. D. Pell, E. Sulic, W. S. T. Rowe, K. Ghorbani and S. John, „Advancements in Automotive Antennas”, in: *New Trends and Developments in Automotive System Engineering* (Editor M. Chiaberge), InTech, Rijeka, 2011.
- [56] J. Rinne, „Subcarrier-based selection diversity reception of DVB-T”, *Proc. of the 50th Vehicular Technology Conference*, pp. 1043-1047, Amsterdam, September 19-22, 1999.
- [57] 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 Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 55, No. 5, pp. 1527-1534, September 2006.
- [58] U. Ladebusch and C. A. Liss, „Terrestrial DVB (DVB-T): A Broadcast Technology for Stationary Portable and Mobile Use”, *Proc. of the IEEE*, Vol. 94, No. 1, pp. 183-193, January 2006.
- [59] M. P. Mishra and P. C. Saxena, „Survey of Channel Allocation Algorithms Research for Cellular Systems”, *International Journal of Networks and Communications*, Vol. 2, No. 5, pp. 75-104, October 2012.
- [60] ETSI TS 101 211 V1.11.1 (2012-04), „Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101200_101299/101211/01.11.01_60/ts_101211v011101p.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [61] O. Yamada, „History and Technology of ISDB-T”, available from: http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0709Argentina_ISDB-T_seminar/070916ISDB-T_for_Argentina.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [62] iWedia, „Comedia 3.0 Middleware”, available from: <http://www.iwedia.com/products/comedia-tv-and-stb-middleware>, accessed on: November 21, 2017.
- [63] Automotive Special Interest Group and the Quality Management Center in the German Association of Automotive Industry, „Automotive SPICE”, available from: <http://www.automotivespice.com/>, accessed on: November 21, 2017.
- [64] P. Stirgwort, „Effective management of functional safety for ISO 26262 standard”, *Proc. of the Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, pp. 1-6, Orlando, January 28-31, 2013.
- [65] B. Gallina, S. Kashiyarandi, H. Martin and R. Bramberger, „Modeling a Safety - and Automotive-oriented Process Line to Enable Reuse and Flexible Process Derivation”, *Proc. of the 38th*

- International Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW)*, pp. 504-509, Vasteras, October 23-26, 2017.
- [66] F. Fabbrini, M. Fusani and G. Lami, „One Decade of Software Process Assessments in Automotive: A Retrospective Analysis”, *Proc. of the 4th International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI)*, pp. 92-97, Cannes, August 23-29, 2009.
- [67] G. Lami and F. Falcini, „Automotive SPICE Assessments in Safety-critical Contexts: an Experience Report”, *Proc. of the IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, pp. 497-502, Naples, November 3-6, 2014.
- [68] A. Meroth, F. Tränkle, B. Richter, M. Wagner, M. Neher and J. Lüling, „Optimization of the development process of intelligent transportation systems using Automotive SPICE and ISO 26262”, *Proc. of the 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 1481-1486, Qingdao, October 8-11, 2014.
- [69] G. Lami, I. Biscoglio and F. Falcini, „Investigation on Common Software Process Weaknesses in Automotive”, *Proc. of the International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*, pp. 1-8, Beijing, October 22-23, 2015.
- [70] R. Klendauer, A. Hoffmann and M. Berkovich, „Using the IDEAL Software Process Improvement Model for the Implementation of Automotive SPICE”, *Proc. of the 5th International Workshop on Co-operative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE)*, pp. 66-72, Zurich, June 2, 2012.
- [71] D. Cybercars, „Safety Assessment and Design of Dependable Cybercars”, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, Vol. 6, No. 2, pp. 69-77, April 2017.
- [72] M. Nouman, U. Pervez and O. Hasan, „Software Testing : A Survey and Tutorial on White and Black-box Testing of C / C ++ Programs”, *Proc. of the IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, pp. 225–230, Bali, May 9-11, 2016.
- [73] L. Gren and V. Antinyan, „On the Relation Between Unit Testing and Code Quality”, *Proc. of the 43rd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, pp. 52-56, Vienna, August 30 - September 1, 2017.
- [74] G. Gaur, B. Suri and S. Singhal, „Overview of software engineering metrics for procedural paradigm”, *Proc. of the Conference on IT in Business, Industry and Government (CSIBIG)*, pp. 1-5, Indore, March 8-9, 2014.
- [75] ETSI EN 300 468 V1.13.1 (2012-08), „Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300468/01.13.01_60/en_300468v011301p.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [76] ETSI EN 300 707 V1.2.1 (2003-04), „Electronic Programme Guide (EPG); Protocol for a TV Guide using electronic data transmission”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300700_300799/300707/01.02.01_60/en_300707v010201p.pdf, accessed on: November 21, 2017.

- [77] ARIB TR-B14 Version 3.8 (Fascicle 2), „Operational Guidelines for Digital Terrestrial Television Broadcasting”, available from: https://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/8-TR-B14v3_8-2p3-E1.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [78] ETSI EN 300 743 V1.5.1 (2014-01), „Digital Video Broadcasting (DVB); Subtitling systems”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300700_300799/300743/01.05.01_60/en_300743v010501p.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [79] ETSI EN 300 472 V1.4.1 (2017-04), „Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for conveying ITU-R System B Teletext in DVB bitstreams”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300472/01.04.01_60/en_300472v010401p.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [80] ETSI TS 103 205 V1.2.1 (2015-11), „Digital Video Broadcasting (DVB); Extensions to the CI Plus™ Specification”, available from: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103200_103299/103205/01.02.01_60/ts_103205v010201p.pdf, accessed on: November 21, 2017.
- [81] CUnit, „C Unit Testing Framework”, available from: <http://cunit.sourceforge.net/>, accessed on: November 21, 2017.
- [82] D. Marijan, N. Teslic, M. Temerinac and V. Pekovic, „On the Effectiveness of the System Validation Based on the Black Box Testing Methodology”, *Proc. of the International Conference on Testing and Diagnosis (ICTD)*, pp. 1-9, Chengdu, April 28-29, 2009.