



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ

---



Немања Фимић

# Прилог решењу брзе промене канала дигиталног ТВ пријемника

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:  
проф. др Илија Башичевић

Нови Сад, 2023.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА<sup>1</sup>

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Немања Фимић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	Др Илија Башичевић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Наслов рада:	Прилог решењу брзе промене канала дигиталног ТВ пријемника
Језик публикације (писмо):	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница _____ 132 Поглавља _____ 9 Референци _____ 90 Табела _____ 8 Слика _____ 27 Графикона _____ 0 Прилога _____ 1
Научна област:	Електротехничко и рачунарско инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Рачунарска техника и рачунарске комуникације
Кључне речи / предметна одредница:	дигитална телевизија, брза промена канала, управљање ресурсима, архитектура програмске подршке, управљање нотификацијама, кориснички доживљај
Резиме на језику рада:	Докторска дисертација се бави проблемом брзе промене канала дигиталног ТВ пријемника. Циљ истраживања је проналазак потребних проширења архитектуре програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, помоћу којих се реализује брза промена канала на произвољном дигиталном ТВ пријемнику и програмској подршци. Решење је првенствено намењено кабловској, сателитској и земаљској телевизији, као области која је недовољно истражена са становишта брзе промене канала. Резултати показују да је са приказаним приступом могуће смањити време процеса промене канала око 4 пута, са 2648 ms на 650 ms. Такође, важан допринос дисертације представља и развој алгоритама за управљање ресурсима физичке архитектуре дигиталног ТВ пријемника помоћу којих се постиже паметна расподела доступних ресурса и повећава кориснички доживљај.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	25.05.2023.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	

<sup>1</sup> Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: Др Никола Теслић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Мирослав Поповић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Мило Томашевић, редовни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду Члан: др Силвиа Гилезан, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду ментор: др Илија Башичевић, , редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Напомена:	

**KEY WORD DOCUMENTATION<sup>2</sup>**

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Nemanja Fimić
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	PhD Ilija Bašičević, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
Thesis title:	A Contribution to Fast Channel Change on DTV Set-Top-Box
Language of text (script):	Serbian language (cyrilic)
Physical description:	Number of: Pages_____132 Chapters_____9 References_____90 Tables_____8 Illustrations_____27 Graphs_____0 Appendices_____1
Scientific field:	Electrical and Computer Engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Computer engineering and communications
Subject, Key words:	digital television, fast channel change, resource management, software architecture, callbacks handling, quality of experience
Abstract in English language:	The topic of doctoral dissertation is fast channel change on DTV Set-Top-Boxes. Main research goal is the identification of necessary extensions of DTV Set-Top-Box software architecture that enable utilization of fast channel change on arbitrary DTV platform. Solution is primarily intended for cable, satellite and terrestrial Set-Top-Boxes, as this field is less explored in regards to fast channel change. Results show that with proposed approach a speed up of 4 times can be achieved and channel change time can be decreased from 2648 ms to 650 ms. Another important contribution of doctoral dissertation are the algorithms for hardware resource handling on DTV Set-Top-Box that enable smart resource management and increase the users quality of experience.
Accepted on Scientific Board on:	25.05.2023.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	President: PhD Nikola Teslić, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: PhD Miroslav Popović, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: PhD Milo Tomašević, full professor, School of Electrical

<sup>2</sup> The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	Engineering, University of Belgrade Member: PhD Silvia Gilezan, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Supervisor: PhD Ilija Bašičević, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
Note:	

## Захвалница

*Желим да се захвалим свом ментору, проф. др Илији Башичевићу на искреној помоћи и подршци у научном раду и приликом писања дисертације. Такође, захваљујем се проф. др Николи Теслићу и проф. др Мирославу Поповићу на саветима и мотивацији приликом писања дисертације.*

*Захваљујем се колегама са Института за Рачунарску технику и рачунарске комуникације који су заједно са мном учествовали у истраживању и са којима сам заједнички превазилазио све проблеме који су се нашли на нашем путу.*

*Посебну захвалност дугујем својој породици која ми је увек била највећи ослонац и подршка током студија и приликом израде ове дисертације, као круне досадашњег научно-истраживачког рада.*

## Садржај

1	Увод.....	1
2	Теоријске основе .....	7
2.1	Потрошачка електроника .....	7
2.2	Дигитална телевизија.....	9
2.3	Пренос података у дигиталној телевизији .....	13
2.3.1	Најчешће коришћене модулације.....	13
2.3.2	Транспортни ток података .....	16
2.3.3	Дигитални ТВ пријемник .....	20
2.4	Кодовање видео и аудио података у ДТВ.....	23
2.5	Синхронизација видео и аудио података на дигиталном ТВ пријемнику.....	28
2.6	Процес промене канала .....	31
3	Математички модели процеса промене канала у дигиталној телевизији .....	36
3.1	Примери математичких модела процеса промене канала.....	37
3.2	Модел коришћен у оквиру истраживања.....	40
4	Стање у области .....	42
4.1	Комерцијална решења дигиталних ТВ пријемника са подршком за брзу промену канала .....	43
4.2	Патенти везани за брзу промену канала дигиталног ТВ пријемника .....	44
4.3	Научна достигнућа у области брзе промене канала .....	47
4.4	Дефинисање праваца и постављање циљева истраживања .....	53

5	Концепт решења.....	55
5.1	Архитектура програмске подршке система.....	55
5.2	Контролер брзе промене канала (ФЦЦ контролер).....	58
5.3	Начин рада контролера брзе промене канала.....	59
5.3.1	Управљање обавештењима.....	62
5.4	Контролер ресурса.....	67
5.4.1	Начин рада контролера ресурса.....	69
5.4.2	Псеудо код алгоритма контролера ресурса.....	74
5.4.3	Математички модел контролера ресурса.....	75
5.5	Видео индексер.....	83
6	Мерења и резултати.....	85
6.1	Опис платформе.....	85
6.2	Опис процеса тестирања.....	86
6.3	Резултати процеса тестирања.....	87
6.4	Поређење резултата са стањем у области.....	90
6.5	Симулација доделе ресурса.....	93
7	Дискусија.....	96
7.1	Оптимизације.....	96
7.2	Резултати симулације са алтернативним избором припремљених сервиса.....	99
8	Закључак.....	102
9	Литература.....	105
	<b>Прилог 1: Пример доделе ресурса на математичким моделима.....</b>	<b>112</b>
	<b>Модел 1 – модел без дељења ресурса и приоритета.....</b>	<b>113</b>
	<b>Модел 2 – модел са дељењем ресурса.....</b>	<b>117</b>
	<b>Модел 3 – модел са дељењем ресурса и приоритетима.....</b>	<b>124</b>



## Списак слика

Слика 1. Временски приказ доминантних производа из области потрошачке електронике (преузето из [1]) .....	8
Слика 2. Расподела стандарда дигиталне телевизије .....	11
Слика 3. Констелациони дијаграми модулационих техника .....	15
Слика 4. Пакет пакетизованог тока података.....	17
Слика 5. Енкапсулација пакета елементарног тока у пакете транспортног тока .....	19
Слика 6. Процес емитовања података са стране предајника .....	20
Слика 7. Физичка архитектура дигиталног ТВ пријемника .....	21
Слика 8. Нивои програмске подршке дигиталног ТВ пријемника .....	23
Слика 9. Пример групе слика .....	25
Слика 10. Додавање временских ознака у ток података .....	29
Слика 11. Графички приказ временских одлика у току података.....	31
Слика 12. Кораци потребни за промену канала на дигиталном ТВ пријемнику.....	33
Слика 13. Графички приказ модела са стањима и прелазима .....	41
Слика 14. Архитектура средњег слоја програмске подршке дигиталног ТВ пријемника .....	56
Слика 15. Архитектура програмске подршке дигиталног ТВ пријемника након увођења нових модула .....	57
Слика 16. Архитектура програмске подршке контролера брзе промене канала.....	59
Слика 17. Дијаграм секвенце процеса промене канала.....	66
Слика 18. Архитектура програмске подршке контролера ресурса.....	68
Слика 19. Алгоритам обраде захтева контролера ресурса.....	72
Слика 20. Хистограм обичних промена канала .....	88
Слика 21. Хистограм брзих промена канала .....	88
Слика 22. Брзе и обичне промене канала у времену .....	89
Слика 23. Потрошња времена у различитим слојевима програмске подршке .....	90
Слика 24. Графички приказ успешног испуњења захтева .....	94
Слика 25. Број и категоризација отказа .....	95
Слика 26. Преглед броја активних функционалности током симулације.....	95
Слика 27. Алгоритам промене канала представљеног модела.....	100

## Списак табела

Табела 1. Потребне брзине за пренос компресованих података .....	25
Табела 2. Битске брзине у оквиру H.264 стандарда .....	27
Табела 3. Преглед анализираних патената .....	47
Табела 4. Приоритети рута.....	72
Табела 5. Резултати тестирања .....	87
Табела 6. Упоредни приказ описаног решења и решења из литературе .....	92
Табела 7. Резултати симулације доделе ресурса.....	94
Табела 8. Резултати различитих алгоритама.....	101

## Списак алгоритама

Алгоритам 1. Псеудо код промене канала у оквиру контролера брзе промене канала ..	67
Алгоритам 2. Алгоритам за обраду захтева за руте .....	75

## 1 Увод

Технологија у свету константно напредује. Резултати завршених истраживања доносе нова сазнања, која када се примене у индустрији воде до унапређења постојећих и стварања нових уређаја. Такође, отварају и нова поља за истраживања, што затвара круг и омогућује да технологија и технолошка открића сами себи постану предуслов за даљи непрекидан напредак. Кроз историју, различите области су биле у фокусу, па се тако у једном периоду највише радило и унапређивало на пољу процесне моћи потребне за обраду информација, у неком другом у фокусу је било решавање проблема складиштења све већег броја доступних информација који је настајао свакодневно, решавани су и проблеми комуникације и брзине преноса информација, као и многи други. Сви ови проблеми у тренутку када се превазиђу отварају широки спектар нових могућности, али исто тако и нове проблеме које је требало решавати. Овај тренд технолошког напретка није заобишао ни потрошачку електронику и дигиталне тв пријемнике као једног од представника потрошачке електронике.

Уређаји потрошачке електронике често се називају и уграђеним системима. Овај назив проистиче из чињенице да се углавном ради о уређајима који се састоје од интегрисаног кола које има унапред испрограмирану функционалност и контролише комплетан уређај у који је уграђено. Дакле, у питању су затворени системи који имају јасно дефинисану намену. Као такви, ови уређаји не морају да имају превелике капацитете по питању процесне моћи или расположиве меморије, већ се све перформансе одређују на основу жељених функционалности. Ово омогућава да се ограничавањем перформанси уређаја на оне које су довољне за извршење предвиђених функционалности, смањи цена ових уређаја, што им доноси предност на тржишту и чини их занимљивијим крајњим купцима. Ипак, у последње време, уређаји потрошачке електронике су делимично одступили од ове карактеристике, и не представљају више само уређаје са тек довољном процесном моћи, већ се све чешће могу срести уређаји са више процесорских језгара и складишним капацитетима на нивоу некадашњих персоналних рачунара. Напредак технологије је омогућио развој у том правцу, првенствено кроз смањење производне цене. Све ово је довело до појаве многобројних

паметних уређаја, чија је главна одлика да имају приступ интернету, или другом виду комуникације са уређајима у њиховом окружењу, како би заједно могли да функционишу као систем и донесу искуство побољшаног коришћења кориснику. Ово искуство се огледа кроз разне аспекте, као што су брзина извршавања задатих команди, боља управљивост већег броја уређаја кроз јединствену спрегу, али и преузимање дела размишљања на себе, где се уз помоћ вештачке интелигенције предвиђа шта је то што би корисник могао да пожели како би се унапред припремило или понудило кориснику.

Побољшање перформанси физичке архитектуре није заобишло ни дигиталне ТВ пријемнике, који данас поред основне улоге приказа телевизијског садржаја који се емитује имају могућност да подрже и разне друге функционалности, као што су снимање садржаја или преузимање улоге послужиоца садржајем у кућној мрежи и многе друге. Могућност уградње процесора са већом процесном моћи, веће количине оперативне и сталне меморије, али и већи број компоненти специфичних за дигиталне ТВ пријемнике као што су фреквенцијски одабирачи, демултиплексери и декодери аудио-визуелног садржаја унапредили су дигитални ТВ пријемник до нивоа уређаја који поред приказа телевизијског садржаја може да подржи и разне друге апликације. Дакле, унапређење физичке архитектуре је отворило могућност за даљи развој решења програмске подршке. Нова решења су настајала као резултат побољшања у стандардима коришћеним у дигиталној телевизији, од којих су најзначајнија она везана за квалитет звука и слике. Поред ових побољшања иновације су довеле и до успостављања двосмерне комуникације између емитера и дигиталног ТВ пријемника, углавном посредством интернета, што је променило начин конзумирања телевизијских садржаја и довело до интерактивне телевизије.

Ако се анализирају све промене и унапређења која су реализована на дигиталним ТВ пријемницима кроз историју, јасно се може видети да је главни циљ и идеја водилца која је довела до свих напредних функционалности побољшање корисничког доживљаја приликом гледања телевизије. Може се рећи да је главни циљ од настанка дигиталне телевизије да се пружи што је могући бољи доживљај корисницима приликом конзумирања садржаја за разоноду и информисање. Проблему унапређења корисничког доживљаја се приступа са различитих становишта, и много је урађено од почетка дигиталне телевизије до данашњег дана. Као резултат, данас корисници практично имају могућност да посредством интерактивне телевизије сами креирају телевизијски распоред усклађен са њиховим афинитетима, а могу и да користе дигитални ТВ пријемник у симбиози са осталим електронским уређајима које поседују у свом окружењу и на тај начин створе сопствени мултимедијални екосистем способан да приказује разне садржаје на више екрана истовремено. Једно од последњих достигнућа дигиталне телевизије је и премештање телевизијског пријемника из стационарног окружења, које је уобичајено, у динамичко, интегрисањем телевизијског пријемника у мултимедијални систем аутомобила, што доноси потпуно нову димензију покретљивости самог ТВ пријемника, и до сада неуобичајене проблеме варијабилног нивоа пријемног сигнала као последице те покретљивости. Из свега наведеног може се

закључити да се у области дигиталне телевизије помно прате сва нова достигнућа технологије и да се стављају у функцију побољшања корисничког доживљаја кад год је то могуће.

Побољшање корисничког доживљаја приликом гледања телевизије је тема којом се бави и ова докторска дисертација. Хипотеза ове дисертације је да се са одређеним архитектуралним изменама програмске подршке дигиталног ТВ пријемника може постићи убрзање приликом промене канала на дигиталном ТВ пријемнику, што има за циљ да побољша целокупан доживљај конзумирања телевизијских садржаја. Време потребно за промену канала је поље на ком постоји простор за значајно побољшање, а ипак, тренутно није у врху листе приоритетних тема којима се бави дигитална телевизија. У блиској прошлости је постојао период када је ова тема била једна од најзанимљивијих и као резултат тога развијени су бројни алгоритми и решења за убрзање процеса промене канала, превентивно у интернет (ИП) телевизији. Ако знамо да су за ИП телевизију била везана времена промене канала реда величине до 10 секунди, јасно је због чега је било неопходно да се развију одређена решења која би смањила то време. Без тих измена, комерцијализација ИП телевизије вероватно никад не би била могућа. Ипак, у то време решења до којих се дошло су била специфична за ИП телевизију и нису се могла применити на телевизију емитовану преко других медијума, односно земаљску, сателитску и кабловску телевизију. Развој физичке архитектуре дигиталних ТВ пријемника који се користе у земаљској, сателитској и кабловској телевизији је омогућио да се слична решења примене и на ове гране дигиталне телевизије и управо то је поље које се разматра у овој дисертацији.

Брзина је једна од речи које на прави начин описују модерно доба. Темпо свакодневног живота је убрзан. Количина доступних информација је у свакодневном наглом порасту, те је потребна брзина како би се све информације обрадиле. Комуникациони канали достижу велике брзине преноса, те се може рећи да за модерне уређаје више није довољно да само тачно обављају своје задатке, већ је потребно да то чине и брзо. Наравно, ово очекивање се односи и на дигиталне ТВ пријемнике, а промена канала је један од аспеката на ком је могуће постићи жељено убрзање. Пошто је реч о убрзању, главни метрички показатељ је време потребно за промену канала, односно смањење потребног времена које се постиже архитектуралним изменама. Време потребно за промену канала се може дефинисати као време које протекне од издавања команде за промену канала притиском на дугме даљинског управљача до појаве прве слике новог канала на екрану телевизора. Наравно, кад год се прича о оптимизацији или убрзању, не сме се заборавити да систем пре свега треба да настави да функционише исправно, и да тек након што је тај услов задовољен, може да се приступи мерењу постигнутог убрзања. Дакле, као први корак верификације потребно је утврдити да систем ради исправно, односно да је канал у сваком од тестних случајева промењен управо на жељени канал, а потом се мери постигнуто убрзање у односу на промену канала без измена описаних у овој докторској дисертацији.

Истраживање које је тема ове дисертације је организовано у следеће целине:

- Анализа процеса промене канала са становишта потрошње времена
- Пројектовање модуларних додатака архитектури програмске подршке дигиталног ТВ пријемника
- Интеграција додатака програмске подршке на специфичној платформи
- Верификација исправног рада модификованог решења и мерење постигнутог убрзања
- Анализа постигнутих резултата и разрада концепта за даља унапређења

У оквиру анализе процеса промене канала са аспекта потрошње времена потребно је најпре теоријски анализирати процес промене канала и идентификовати све потребне кораке како би се овај процес успешно извршио. Затим се приступа анализи овог процеса на конкретној платформи и сваком од идентификованих корака се придружује просечно време трајања. На основу добијених времена трајања одређују се најзначајнији потрошачи времена у процесу промене канала, који и представљају потенцијална места за постизање убрзања.

Након идентификације највећих потрошача у процесу промене канала приступа се пројектовању архитектуралних измена у програмској подршци како би се смањила потрошња времена или минимизовао утицај те потрошње на време потребно за извршење промене канала. Пројектовано решење мора да испуни неколико аспеката, са становишта архитектуре. Потребно је да буде модуларно и подесиво како би одређени модули могли по потреби да се укључе, искључе или измене у циљу испуњена конкретних захтева одређене платформе. Такође, потребно је да буде преносиво, односно независно од конкретне програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, како би могло на једноставан начин да се примени на различите програмске подршке дигиталних ТВ пријемника. Поред тога, циљ је да се добије скалабилно решење како би било примењиво и за дигиталне ТВ пријемнике више класе са многобројним ресурсима и функционалностима, за које је првенствено намењено, али и за нешто слабије дигиталне ТВ пријемнике, нешто нижег ценовног ранга, којима би ово решење донело значајну компаративну предност у односу на остале уређаје из дате класе. Иако је главни циљ постизање брзине промене канала, како је решење првенствено намењено дигиталним ТВ пријемницима више класе, потребно је водити рачуна и о контроли ресурса на самом уређају како се не би нарушило нешто од постојећих функционалности приликом убрзања процеса промене канала. Контрола ресурса је врло важна и у погледу преносивости и скалабилности предложеног решења, јер управо она омогућава да се исто решење примени на дигиталне ТВ пријемнике различитог нивоа и са различитим могућностима у погледу подршке сервисима дигиталне телевизије.

Реализација пројектованог решења на конкретној платформи представља наредну целину. Потребно је реализовати све пројектоване модуле и извршити њихову интеграцију са постојећом програмском подршком изабраног дигиталног ТВ пријемника. У оквиру овог истраживања изабран је дигитални ТВ пријемник високе класе са високим нивоом подржаних функционалности и сервиса дигиталне телевизије,

као и напредним системом заштите садржаја. Као резултат ове целине добија се конкретан пример модификоване архитектуре дигиталног ТВ пријемника који представља алат за даље кораке, односно омогућава верификацију исправности рада дигиталног ТВ пријемника са измењеном програмском подршком и мерење постигнутог убрзања у оквиру процеса промене канала.

Процес верификације обухвата проверу исправности свих подржаних функционалности дигиталног ТВ пријемника које су постојале и пре уношења измена у програмској подршци. Посебан акценат се ставља на процес промене канала који је и главни циљ истраживања, те се поред провере исправности рада, мери и постигнуто убрзање уколико оно постоји. У ту сврху потребно је развити систем који ће моћи да покреће тестове промене канала, прикупља информације о исправности рада и протеклом времену за сваку појединачну промену канала, а потом да изврши обраду над прикупљеним подацима, како би обрадио све доступне информације и приказао оне најзначајније из којих се јасно могу видети постигнута побољшања.

Добијени резултати се анализирају, како би се установило колико побољшање је постигнуто на конкретном примеру, као и да би могли да се упореде са доступним резултатима других истраживања. На тај начин се може добити компаративно рангирање описаног решења, као и проверити да ли су добијени резултати у складу са нормама које су постављене до сада у овој области. Поред анализе резултата, потребно је развити концепте за даља унапређења. Овде спада и даље унапређење процеса промене канала у погледу брзине, али и примена описаних измена архитектуре програмске подршке у другим случајевима коришћења на дигиталном ТВ пријемнику где је то могуће, и где се очекује да донесе побољшање корисничком доживљају.

Остатак докторске дисертације је организован у девет додатних поглавља. Наредно поглавље даје преглед теоријских основа на којима је засновано истраживање и представљено решење, и које су потребне у циљу потпуног разумевања онога што је урађено.

Треће поглавље остаје у домену теорије и представља неке од математичких модела који се могу користити за симулацију процеса промене канала. Такође, у том поглављу кроз математичке формуле приказани су и приступи који се користе у евалуацији представљеног решења и мерењу његовог утицаја на кориснички доживљај.

Након тога, у четвртном поглављу дат је преглед актуелног стања у области. Кроз преглед објављених резултата других истраживања долази се до важећих норми у овој области. На тај начин се креира основа за компаративно рангирање приказаног решења у односу на друга објављена решења.

Пето поглавље се односи на само решење и представља детаље реализације, односно концепт решења. У концепту је дат преглед првенствено архитектуре са високог нивоа апстракције, као и одређени ниво детаља саме реализације решења и његове интеграције на циљној платформи.



У шестом поглављу су приказани резултати мерења извршених у оквиру тестирања реализованог решења на циљној платформи. Дат је опис процедура коришћених за мерење, резултати који су измерени, као и визуелни приказ тих резултата. Дискусија о значају добијених резултата и комплетном утицају на дигитални ТВ пријемник је дата у седмом поглављу.

Закључак истраживања је представљен у осмом поглављу. Истакнут је ефекат који се постиже применом решења које представља резултат истраживања. Такође су постављени правци за даљи наставак истраживања, како у области промене канала, тако и у другим областима где би представљено решење могло да се искористи.

На крају, у деветом, последњем, поглављу дат је преглед литературе коришћене у току истраживања.

## 2 Теоријске основе

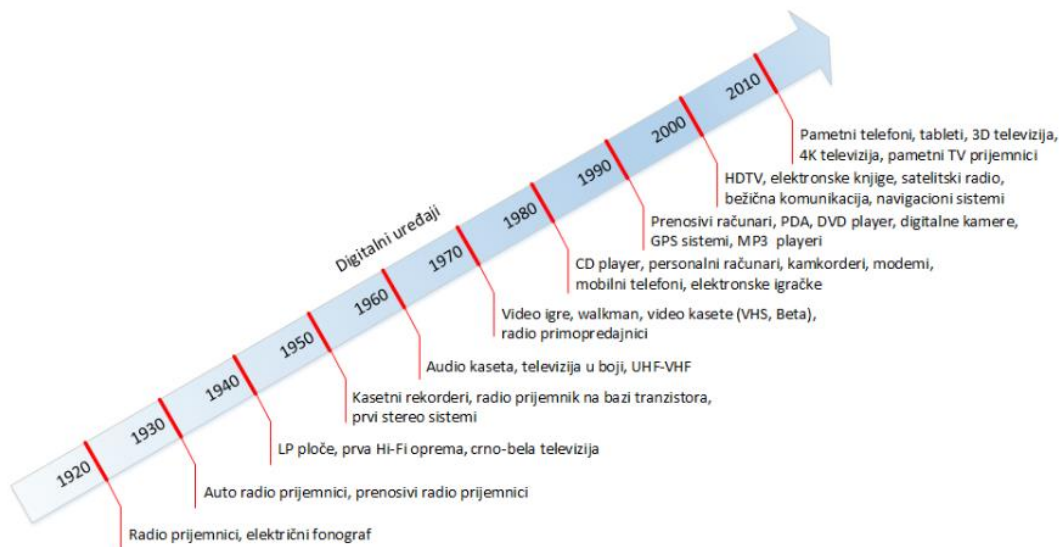
У овом поглављу дат је преглед теоријских основа потребних за потпуно разумевање процеса промене канала, као и проблема које је потребно решити како би се промена канала убрзала. Да би се разумео процес промене канала, потребно је познавати специфичности преносног формата података у дигиталној телевизије, те је и та тема обрађена у овом поглављу.

### 2.1 Потрошачка електроника

Као што је већ речено дигитални ТВ пријемници спадају у уређаје потрошачке електронике. Може се рећи да су дигитални ТВ пријемници једни од најзначајнијих уређаја потрошачке електронике, те стога представљају и носиоце развоја ове области што се може уочити посматрањем историјата развоја потрошачке електронике.

Прво појављивање појма потрошачке електронике се везује за 20-те године 20. века и успешну комерцијализацију, која се огледа кроз масовну продају, радио-пријемника и електронских фонографа. Напредак технологије и нова достигнућа су кроз историју диктирала темпо развоја уређаја потрошачке електронике, па се кроз историјат могу идентификовати нека од најзначајнијих достигнућа која су утицала на ову област. Нека од тих достигнућа су појава транзистора која се везује за 50-те године 20. века, као и појава интегрисаних кола која се десила у 1960-тим годинама [1]. Ова достигнућа су омогућила да се постојећи уређаји значајно унапреде, па су се појавили преносиви радио-пријемници као значајно унапређење дотадашњих радио-пријемника, али и бројни нови уређаји. Све ово је довело до тога да потрошачка електроника постане један од водећих сектора светске економије са широким асортиманом производа попут телевизора, камкордера, видео и „DVD“ уређаја (енгл. Digital versatile disc или Digital video disc), видео-игара, акустичке опреме, мобилних телефона, таблета, ГПС система, преносивих и персоналних рачунара, итд. На слици 1. су приказани водећи уређаји потрошачке електронике кроз претходне деценије. Поред технолошких достигнућа која су резултирала новим физичким компонентама, и развој алгоритама и програмске подршке је имао велик утицај на унапређење производа

потрошачке електронике. Поготово велики значај су имали алгоритми развијани и коришћени у склопу дигитализације телевизијских услуга, те се може рећи да је дигитална телевизија представљала једног од главних покретача развоја комплетне потрошачке електронике. Ово се може закључити и са слике 1. где је видљиво да су после сваког значајнијег напретка у дигиталној телевизији, телевизијски пријемници постајали једни од најдоминантнијих уређаја у текућој деценији.



Слика 1. Временски приказ доминантних производа из области потрошачке електронике (преузето из [1])

Емитовање потпуно дигитализованог садржаја је било незамисливо до краја 80-тих година 20. века из више разлога. До тада развијена технологија није била у стању да подржи овакав приступ, а додатни проблем је представљала економска неисплативост, која је постојала као последица великих битских брзина потребних за пренос података. Наиме, за пренос потпуно дигитализованог видео садржаја у резолуцијама које су биле заступљене у то време, биле су потребне брзине од 108 односно 270 Mb/s како би се пренели некомпримовани подаци за приказ 525, односно 625 линија видео садржаја респективно. Такође, у том периоду главни циљ истраживања у дигиталној телевизији је био повећање квалитета слике и већина средстава је била усмерена у том правцу. Као резултат тих напора, развијена су два нова стандарда за унапређен ниво квалитета 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.

Дигитализовање новонасталих стандарда и слика високе дефиниције је захтевало још веће битске брзине, и до 4 пута веће у односу на слике стандардне дефиниције, те су стога многе иницијативе које су покренуте у то време попут MUSE(енгл. MUltiple sub-nyquist Sampling Encoding) и HD-MAC(енгл. High Definition Multiplexed Analogue Components) дефинисане као аналогни системи са дигиталном асистенцијом. Ипак, у

оквиру ових иницијатива се виде први кораци ка потпуно дигиталној телевизији, те се оне могу сматрати претечом дигиталне телевизије какву данас познајемо [2].

## 2.2 Дигитална телевизија

Почетак 1990-их година и развој напредних алгоритама за компресију слике, попут најпре JPEG стандарда за компресију непомичних слика, а потом и MPEG стандарда за компресију помичних слика је имао велик утицај на развој дигиталне телевизије. Наиме, битске брзине потребне за пренос овако компримованих података су драстично смањене, па је уместо дотадашњих брзина у рангу 1 Gb/s за потребе преноса телевизијског садржаја постало довољно обезбедити брзину у опсегу од 1.5 – 30 Mb/s у зависности од жељене резолуције и самог садржаја слике. Ово је довело до превазилажења једног од главних проблема за експанзију дигиталне телевизије, који су битске брзине представљале, и управо се овај период сматра почетком масовног преласка са аналогне на дигиталну телевизију [3].

Наравно, сама компресија података и њихов пренос у таквом облику је увела потребу за додатном обрадом на страни ТВ пријемника, како би се подаци најпре декомпресовали и потом обрадили. Напредак у развоју интегрисаних кола, који се одвијао у истом периоду је обезбедио да компресија података, ради смањења потребних брзина преноса, не представља проблем који би зауставио развој у том правцу. Као резултат развоја интегрисаних кола, добила се могућност за реализацију комплексних интегрисаних кола са специфичном наменом по приступачним ценама. Основна намена у оквиру дигиталне телевизије и ТВ пријемника је била декомпресија и даља обрада података 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 [4]), односно посебним техникама приликом развоја програмске подршке (као што су паралелизација обраде [5], или напредни алгоритми за дигиталну обраду сигнала [6]).

Емитовање телевизијског садржаја у резолуцији високе дефиниције није одмах донело очекивано побољшање, из разлога што су екрани високе резолуције били веома скупи, те стога недоступни већини корисника. Ипак, та чињеница није зауставила популаризацију дигиталне телевизије, јер су корисници постали веома заинтересовани за неке друге садржаје које су телевизијски емитери нудили након дигитализације. Услед компресије основних аудио визуелних података, након дигитализације, појавила се могућност за пренос додатних садржаја и обележја у преносном току података, те су неки од сервиса и побољшања који су понуђени корисницима на тај начин постали веома популарни и значајно унапредили квалитет услуге који је телевизијски пријемник могао да понуди. Неки од најистакнутијих садржаја који су се појавили и указали на предности дигиталне телевизије у односу на аналогну су:

- Вишејезични преводи и аудио траке,
- Електронски програмски водич који пружа детаљан распоред емисија за више дана,

- Информациони сервиси попут вести, или додатне информације о тренутном програму (биографије, спортске статистике и др.),
- Нове апликације попут електронског банкарства или интерактивних реклама.

Одличан пријем на који су наишла новододата побољшања и унапређен кориснички доживљај су широм отворили врата почетку дефинисања система за пренос дигиталних слика у истим или већим резолуцијама од оних које су коришћене у аналогној телевизији, али уз неизоставне додатне сервисе у склопу дигитализованог преносног тока. Једни од првих видљивих резултата, као последица иницијативе за развој оваквих система, су резултати проистекли из „DirectTV“ пројекта започетог у САД током 1994. године.

Паралелно са овим дешавањима на тржишту САД, у Европи се завршава рад на аналогној телевизији са сликом високе дефиниције и формира се радна група за развој и стандардизацију система за емитовање дигиталне телевизије. Као резултат долази до покретања DVB пројекта (engl. Digital Video Broadcasting), базираног на MPEG-2 интернационалном стандарду компресије слике. Овај стандард је у том тренутку могао да обезбеди исти квалитет слике као у аналогној телевизији, а оставио је могућност за каснији прелазак на телевизију високе дефиниције коришћењем виших нивоа и профила што се и догодило, те је MPEG-2 стандард један од најзаступљенијих и данас у свету дигиталне телевизије. Први резултати DVB пројекта постају видљиви у периоду између 1994. и 1996. године када су усвојене три варијанте DVB стандарда на основу медијума који се користи приликом преноса. На тај начин су покривени сви медијуми коришћени у том тренутку у сврхе емитовања телевизијског садржаја и то су:

- Емитовање путем сателита (DVB-S),
- Емитовање путем кабловске мреже (DVB-C) и
- Земаљско емитовање (DVB-T).

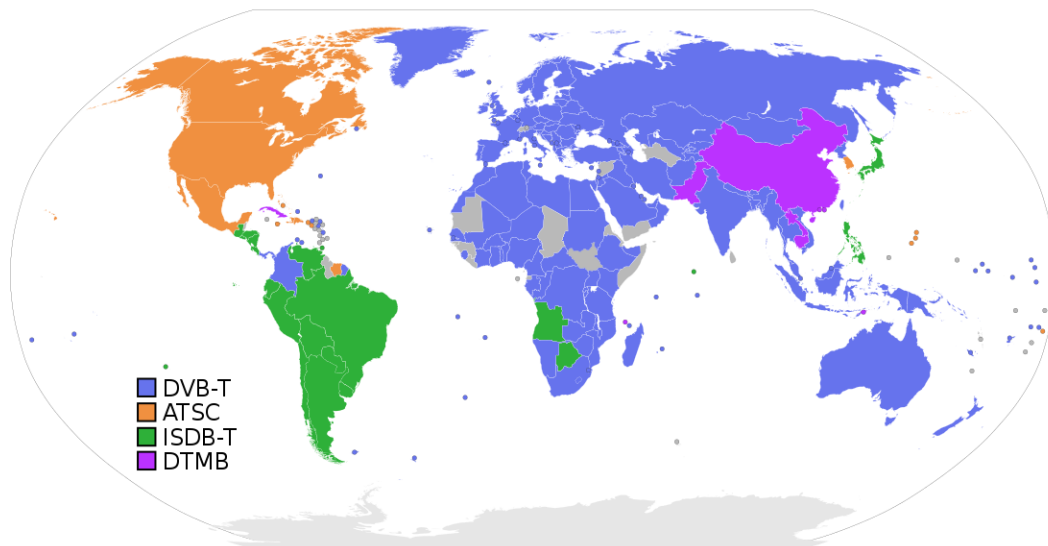
Ови стандарди су касније добили и своје унапређене верзије и наставке када је технологија унапредовала, а такође су развијени и стандарди за телевизију преко интернета (DVB-IP TV), додатног медијума који је ушао у употребу, али и стандарди за телевизију намењену првенствено преносивим уређајима попут мобилних телефона и таблета (DVB-H).

На преласку из двадесетог у двадесет први век долази до пада цена равних екрана високе резолуције. Након тога, овакви екрани постају доступни великом броју корисника и то заједно са новим стандардима за компресију покретних слика доводи до коначне популаризације и развоја стандарда дигиталне телевизије са сликом високе дефиниције широм света.

Данас је присутно неколико конкурентских стандарда за пренос дигиталног телевизијског сигнала, поред већ поменутог DVB стандарда [7]. Почети свих ових стандарда се везују за последњу деценију 20. века. Најзаступљенији стандарди су:

- ATSC (енгл. Advanced Television Standards Committee) који је заступљен у Северној Америци,
- DVB који је најраспрострањенији и користи се у Европи, Африци, Аустралији и неким земљама Азије и Јужне Америке,
- ISDB (енгл. Integrated Services Digital Broadcasting) који је у употреби у Јапану, Јужној Америци и појединим земљама Африке и Азије, и
- DTMB(енгл. Digital Terrestrial Multimedia Broadcast) заступљен у Кини и на Куби.

Расподела стандарда за емитовање дигиталног телевизијског сигнала је приказана и на слици 2. Иако сваки од поменутих стандарда има неке своје специфичности, у добром делу су слични или исти, па се на пример MPEG транспортни ток користи у већини стандарда, што га чини најзаступљенијим у свету.



Слика 2. Расподела стандарда дигиталне телевизије

Након преласка на телевизију широке дефиниције област дигиталне телевизије је, наравно, наставила да се развија и даље на плану побољшања резолуције и квалитета покретних слика. Развој у овом погледу је ишао руку под руку са развојем технологије коришћене у производњи екрана и развојем напреднијих алгоритама за кодовање помичних слика. Као резултат тог развоја, данас имамо UHD TV (енгл. Ultra High Definition Television) са дефинисаним резолуцијама 4K и 8K. 4K резолуција је већ делимично заживела, па су тако екрани са поменутом резолуцијом доступни већем броју купаца, и постоје телевизијски садржаји који се емитују у овој резолуцији. Са друге стране 8K резолуција се још увек налази у експерименталној фази, те се у овој резолуцији емитује свега неколико пробних канала, највећи број у Јапану. Такође екрани са овом резолуцијом нису тако чести, па се може рећи да ова резолуција тек треба да постане свакодневница за кориснике. Занимљиво је да, иако је MPEG транспортни ток био довољан да се подржи сваки досадашњи напредак у погледу повећања резолуције емитованог садржаја закључно са 4K резолуцијом, за 8K

резолуцију овај вид преноса не представља оптимално решење, те се за ову резолуцију уводи нови стандард, ММТ, који је стављен у употребу у Јапану у сврхе тестирања емитовања телевизијског садржаја у 8К резолуцији.

Поред унапређења квалитета слике, свет дигиталне телевизије се развија и у другим правцима. Пре свега се истиче премештање телевизијског пријемника на различите платформе, од којих се Андроид платформа показала као једна од најдоминантнијих. Ово је понајвише последица развоја DVB-H стандарда намењеног за преносиве уређаје на којима је Андроид платформа веома заступљена. Развој у овом погледу, заједно са развојем DVB-IP TV али и чињеницом да су данас и телевизијски пријемници намењени за земаљску, кабловску или сателитску телевизију најчешће повезани на интернет, променила је начин конзумирања телевизијског садржаја. Тако је телевизијски пријемник постао централни уређај који поред приказа садржаја, може и да снима емитовани садржај за каснију репродукцију, а исто тако и да има улогу послужиоца садржајем за друге уређаје у кућној мрежи. Ово је довело до концепта телевизије на више екрана, где се често користе додатни екрани за претраживање додатних информација и садржаја, гледање другог садржаја или једноставно контролу дигиталног ТВ пријемника. Важна ствар коју је донело повезивање телевизијског пријемника на интернет је да је остварен повратни комуникациони канал. Наиме, уместо стандардног приступа коришћеног у свету телевизије, где емитер шаље податке, а ТВ пријемник их само прима и приказује, телевизијски пријемник је добио могућност да иницира комуникацију са емитером, и да на тај начин приступи додатним садржајима, или да бира садржаје које жели да гледа. На тај начин настала је интерактивна телевизија која пружа кориснику много већу слободу у избору садржаја, и самим тим побољшава кориснички доживљај. Такође, развијен је и концепт видеа на захтев, код ког корисници могу да приступе широкој бази различитих садржаја у било које време и да прилагоде конзумирање ових садржаја сопственом распореду. Данас бројни сервиси нуде овај вид услуге уз додатну доплату и представљају праву конкуренцију традиционалном начину гледања телевизијских садржаја.

Овакав вид послуживања садржајем само претплаћених корисника је утицао на то да се велики напори уложе и у развој алгоритама за заштиту садржаја, CAS (енгл. Conditional Access System) и DRM (енгл. Digital Rights Management) система, како би се спречио сваки неовлашћен приступ, и како би платни садржај био доступан само претплаћеним корисницима. Ови системи су задужени да управљају дигиталним правима над садржајем, и да спрече приказивање садржаја за који корисник није претплаћен, али и да зауставе даљу дистрибуцију примљених или снимљених садржаја другим корисницима. Поред алгоритама и система за заштиту, развија се и технологија у погледу сигурности, те је крајњи циљ да се садржај заштити у свим фазама његовог приказа, од почетка емитовања, током обраде на дигиталном ТВ пријемнику и приликом приказа на екрану.

Још један важан вид развоја који је започео са повезивањем телевизијског пријемника на интернет је и развој додатних сервиса. На овај начин, домен доступних информација се проширио, јер је поред информација које долазе од емитера у

транспортном току, постало могуће потражити информације на интернету и на тај начин употпунити садржаје који стижу до корисника. Из ове могућности су проистекли хибридни системи и апликације, попут HbbTv-a (енгл. Hybrid broadcast broadband TV) и BML-a (енгл. Broadcast Markup Language), које користе транспортни ток за пријем дела садржаја, а потом додатне садржаје нуде кориснику посредством интернета. Ово је одличан начин за употпуњавање тренутно емитованих садржаја, са апликацијама попут разних интерактивних квизова, циљаних додатних информација за које је корисник заинтересован и сл.

Све ово је довело до тога да телевизијски пријемник поред своје основне улоге коју има од самог почетка, а то је приказ емитованог садржаја, добије и прегршт других напреднијих функција и на тај начин постане једна од најзначајнијих компоненти дигиталног мултимедијалног екосистема корисника. Приметно је да су трендови у развоју дигиталне телевизије били прилично константни, те се највише пажње поклањало унапређењу квалитета слике и звука емитованог садржаја, проширењу скупа функционалности телевизијског пријемника кроз додатне сервисе и апликације и интегрисању телевизијског пријемника на друге платформе чиме се повећавала распрострањеност дигиталне телевизије, а и могућности ТВ пријемника, јер би преласком на нову платформу, попут Андроида, аутоматски постале доступне и апликације развијане за свет Андроид мобилних телефона. Тренд пребацивања телевизијског пријемника на нове уређаје и платформе је и даље одржан, те се активно ради на убацивању ТВ пријемника у аутомобил и повезивању са мултимедијалним системом у аутомобилу, где су већ видљиви први резултати на тржишту.

## 2.3 Пренос података у дигиталној телевизији

У дигиталној телевизији подаци се преносе од емитера до дигиталних ТВ пријемника. Да би се овај пренос успешно извршио потребно је проћи три фазе: фазу припреме података за слање, пренос података преко изабраног медијума и пријем и обраду података на страни дигиталног ТВ пријемника. Подаци који се користе на страни дигиталног телевизијског пријемника су у облику низа дискретних бита, који могу имати вредност 0 или 1. Ипак, подаци се не преносе у том облику, већ се на страни емитера, у оквиру фазе припреме података за слање, користе различите модуларне технике како би се подаци трансформисали у погодан облик за пренос преко изабраног медијума. У ту сврху се на страни емитера користи модулатор, који има задатак да одређен број узастопних бита у низу замени са једним симболом. Супротно овој обради, на страни дигиталног ТВ пријемника налази се демодулатор који прихвата емитоване симболе и трансформише их у изворни облик, односно у низ дискретних бита, како би примљени подаци могли да се користе у даљим обрадама на страни пријемника.

### 2.3.1 Најчешће коришћене модуларне технике

Применом модуларних техника, поред прилагођавања података преносу преко земаљске антене, кабловске или сателитске инфраструктуре, врши се један вид компресије података заменом већег броја бита једним симболом. На тај начин различите модуларне технике могу да обезбеде различите брзине преноса података.



Што је модулативна техника сложенија, то је могуће заменити већи број бита са једним симболом и на тај начин пренети веће количине података у неком временском интервалу. Са друге стране, комплексније технике модулације имају и мању робусност, те је већа шанса за појаву грешака при преносу. Такође други сигнали који се емитују и који у овом случају представљају шум у преносном каналу имају већи утицај [8].

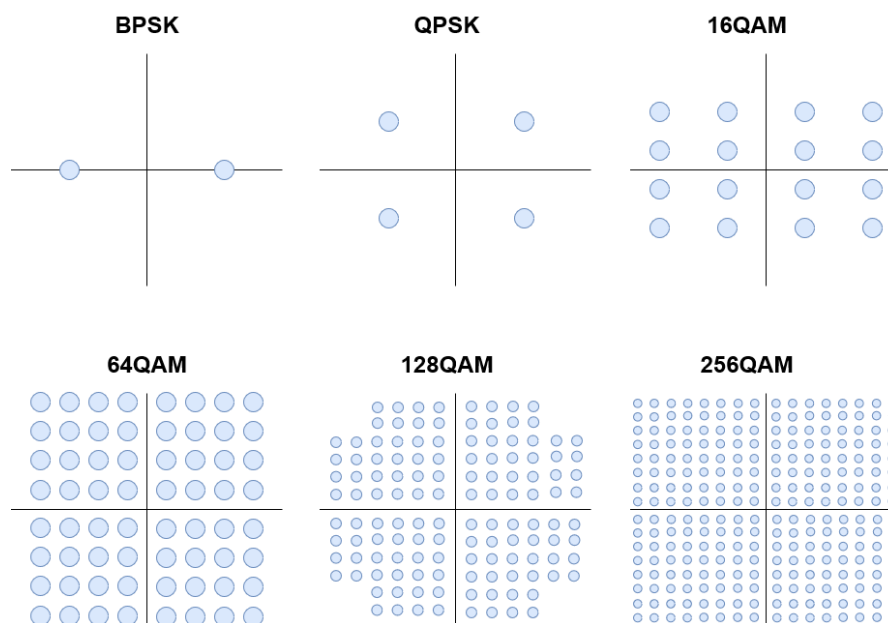
Најробуснија модулативна техника је BPSK (енгл. Binary Phase Shift Keying) код које један симбол представља само један бит. У оквиру ове технике могуће вредности бита (0 и 1) су представљене са померајем фазе у оквиру носеће фреквенције за 180 степени. Амплитуда сигнала нема никаквог утицаја те ова техника спада само у фазну модулацију и као резултат може да обезбеди две различите вредности за један симбол, односно један симбол одговара једном биту података који се преносе. Ово значи да се коришћењем BPSK модулације не постиже компресија података који се шаљу, али са друге стране подаци који се преносе модулисани на овај начин обезбеђују највећу робусност и остављају најмање шансе за грешке у пријему података на страни дигиталног ТВ пријемника.

Ипак са развојем квалитета слике, и самим тим повећањем количине података за слање у оквиру дигиталне телевизије, наметнула се потреба за одређеним степеном компресије података при преносу, те су далеко заступљеније модулације које укључују компресију, односно код којих један преносни симбол представља више од једног бита преносних података. Простор за унапређење је постојао најпре у чињеници да је могуће користити мањи фазни померај у односу на 180 степени коришћених у оквиру BPSK модулације. Увођењем фазног помераја од 90 степени добила се могућност преношења четири различите вредности симбола, односно један симбол у овом случају представља 2 бита. Овај принцип се користи у оквиру QPSK (енгл. Quadrature Phase Shift Keying) модулације која је заступљена у дигиталној телевизији.

Даља унапређења по питању преносне брзине су уведена коришћењем и амплитудних вредности сигнала, односно комбиновањем фазних и амплитудних модулација. Комбинација различитих техника фазних и амплитудних модулација је карактеристична за QAM (енгл. Quadrature Amplitude Modulation) модулацију. Ова модулација користи чињеницу да је могуће пренети два различита сигнала на истом фреквенцијском носачу уколико су ови сигнали међусобно померени у фази за 90 степени. Додатним одређивањем граница у амплитуди сигнала, уводе се додатни нивои значења, те се значење симбола у овом случају представља комбинацијом фазних и амплитудних вредности два сигнала и на тај начин се обезбеђује већи опсег могућих вредности, односно један симбол може да замени већи број узастопних бита. У зависности од броја опсега амплитудних вредности које припадају једном симболу разликујемо 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM и 256-QAM модулације које су најзаступљеније у дигиталној телевизији и код којих један симбол представља 4, 6, 7 и 8 бита респективно. Констелациони дијаграми помињаних модулација који представљају графички приказ могућих симбола су дати на слици 3. Наравно, што је већи број коришћених различитих симбола то је већа и брзина преноса података. Са друге стране, већи број коришћених симбола значи и мању разлику у амплитуди

између два симбола, те се повећава могућност за појаву грешке при преносу. Утицај шума преносног канала се повећава и самим тим већа је вероватноћа да ће се на пријемној страни примљени сигнал лоше демодулисати, чиме се јављају грешке у подацима.

Пошто је за веће квалитете слике потребна већа брзина преноса, у неким случајевима, као при преносу UHDTV канала, неопходно је коришћење 256-QAM модулације упркос смањењу робусности до које то доводи. У таквим ситуацијама честа је појава да се поред самих података шаљу и додатни FEC (енгл. Forward error correction) подаци који се користе у отклањању грешака насталих у оквиру самог преноса. FEC подаци се генеришу на страни емитера и шаљу заједно са подацима дигиталних ТВ сервиса. Постоје различити алгоритми коришћени у FEC подацима, али суштина је да се анализом података који се шаљу генерише додатни контролни низ бита који се на пријемној страни користи за детекцију и исправљање грешака насталих у преносу. Наиме, применом одређених алгоритама и контролних FEC података могуће је на страни пријемника детектовати ситуацију када се вредност неког бита променила у преносу, и исправити ту вредност, како би се добили валидни подаци. Наравно, постоје различити FEC алгоритми, различите сложености и различитих захтева по питању количине додатних контролних података, те се у складу са захтевима примењују они који ће обезбедити довољну робусност система уз минимална додатна оптерећења, по питању извршавања комплексних алгоритама и потрошњи расположивог опсега за пренос података.



Слика 3. Констелациони дијаграми модулационих техника

Коришћење модулатора и демодулатора са стране предајника, односно пријемника, у преносу података у дигиталној телевизији је карактеристично за сателитску, кабловску и земаљску телевизију, док се не примењује у интернет телевизији. У случају интернет телевизије, најчешћи случај је да се подаци који се шаљу, односно низови дискретних бита пакују у RTP (енгл. Real-time Transport

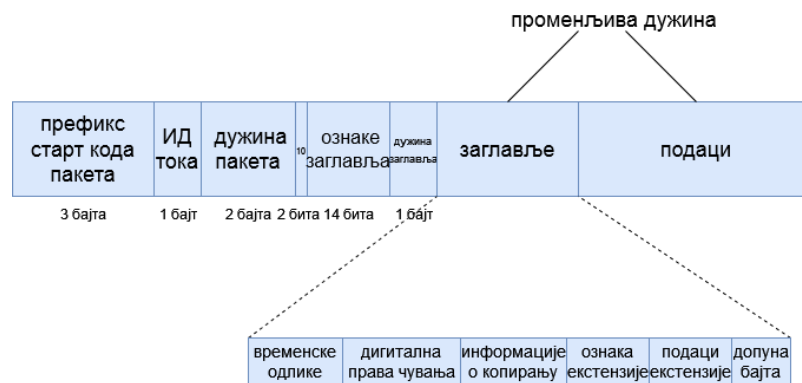
Protocol) пакете и као такви шаљу преко мреже. Ово је најчешћи случај када се прича о IPTV телевизији код које се подразумева да емитер поседује затворену мрежну инфраструктуру, односно емитовани подаци су доступни само у случају да су пријемници повезани на мрежу емитера. Са друге стране, могућ је и пријем података емитованих изван мреже емитера (OTT енгл. Over the Top), код којег се најчешће користе неки од адаптивних протокола заснованих на HTTP (енгл. Hypertext Transfer Protocol) протоколу, попут DASH (енгл. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) и HLS (енгл. HTTP Live Streaming) протокола. Како су грешке могуће и у овом виду преноса података, и у овој телевизији се примењује концепт са FEC подацима, с тим што се ови подаци углавном шаљу кроз посебан канал, а не заједно са подацима који се емитују.

### 2.3.2 Транспортни ток података

Емитовање садржаја уживо у облику низа података носи са собом одређене проблеме. На пример, потребно је омогућити да корисници могу да започну са примањем садржаја и његовом исправном обрадом у произвољном тренутку. Пошто се подаци који се користе у дигиталној телевизији, првенствено подаци везани за аудио и видео садржаје, кодују у облику низа, односно тока, података потребно је омогућити механизам да корисник који започне са коришћењем садржаја у произвољном тренутку може на исправан начин да препозна позицију од које може да започне са обрадом примљених података. Такође, сервиси у дигиталној телевизији могу да садрже поред основне аудио и видео траке и додатне траке, као и податке везане за преводе, интерактивне садржаје и др. Сви ови подаци се кодују у појединачне токове података, а затим на предајничкој страни, пре слања, комбинују у један ток података који се шаље ка корисницима. Из ове чињенице произилази нови проблем, односно, потребно је дефинисати начин помоћу ког корисници могу на исправан начин да повежу одређене делове примљеног тока са траком којој ти подаци припадају. У ову сврху се у дигиталној телевизији користе пакетизовани елементарни ток (енгл. Packetized Elementary Stream) и транспортни ток (енгл. Transport Stream) [9].

Кодовањем сирових аудио, видео или података везаних за преводе добија се елементарни ток података. Сама структура елементарног тока података зависи од кодека који су коришћени за кодовање сирових података, и о томе ће више речи бити у наредном поглављу. Један елементарни ток садржи само један тип података, везан за једну аудио или видео траку или превод. Након добијања елементарног тока на страни предајника, наредни корак у припреми података за слање је дељење сваког појединачног елементарног тока на пакетизован елементарни ток. Сваки пакет пакетизованог елементарног тока се састоји од заглавља и података. Заглавље садржи податке попут идентификатора тока, временских одредница и других мета података, а подаци представљају део секвенцијалних података из елементарног тока који се пакетизује. Пакетизовањем елементарних токова, односно додавањем заглавља, отвара се могућност комбиновања више оваквих токова у један ток података који се емитује корисницима. По пријему пакетизованих елементарних токова корисници могу да издвоје појединачне токове на основу идентификатора, где пакети са истим идентификатором припадају истом току. Такође, временске одреднице које се налазе у

сваком заглављу служе за синхронизацију различитих токова које је потребно приказивати истовремено. Дакле, пакетизовање елементарних токова не додаје нове слике у видео траку, нове одбирке аудио трака или нове линије превода и знакове, већ само мета податке садржане у заглављу који се користе за реконструкцију појединачних елементарних токова на страни корисника и њихов правовремени и исправан приказ. Изглед једног пакета пакетизованог елементарног тока података дат је на слици 4.



Слика 4. Пакет пакетизованог тока података

Комбиновањем више пакетизованих елементарних токова са заједничком временском основом у један ток података добија се програмски елементарни ток (енгл. Program Elementary Stream). Овај формат је погодан за пренос мултимедијалних садржаја и често се користи у поузданим медијима код којих губици података нису честа појава, попут компакт дискова, ДВД-ова и др. Ипак, формат програмског елементарног тока не поседује довољну робусност и отпорност на грешке настале у преносу или губљење дела података. С тога није добар кандидат за коришћење у дигиталној телевизији, јер при емитовању садржаја и преносу до корисника настанак грешака у примљеним подацима је довољно честа појава и из тог разлога је за овај пренос неопходно користити робуснији формат. Транспортни ток података поседује потребну робусност и управо је он најчешћи формат у ком се шаљу подаци у свету дигиталне телевизије.

Транспортни ток, за разлику од пакетизованог елементарног тока код ког су пакети променљиве дужине, одликује фиксна дужина пакета од најчешће 188 бајта. Од тога прва 4 бајта чине заглавље, а остатак су подаци. Управо фиксна дужина пакета обезбеђује овом формату довољну робусност и отпорност на грешке, јер се у случају грешке у једном пакету лако детектује почетак следећег, једноставним померањем за фиксну величину пакета. Такође, фиксна дужина пакета омогућава и кориснику да започне са обрадом садржаја из транспортног тока у произвољном тренутку. Сваки пакет транспортног тока започиње са синхронизационим бајтом који има вредност 0x47, како би се на једноставан начин могао детектовати почетак пакета по пријему садржаја тока. Поред синхронизационог бајта, заглавље пакета транспортног тока садржи додатне мета податке који описују садржај тог пакета, од којих је најважнији пакет идентификатор (пид). Пид се користи да групише пакете који припадају истој

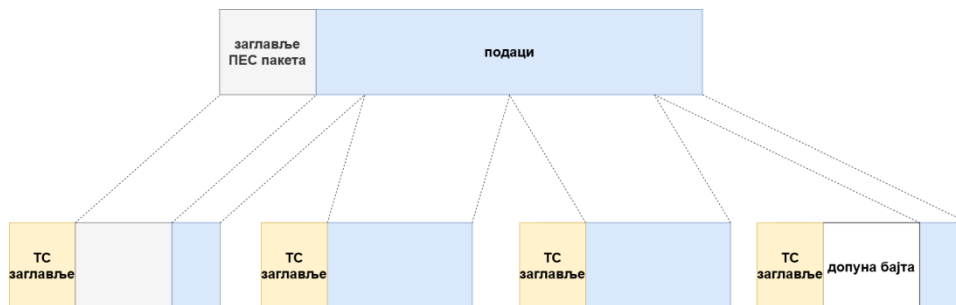
траци, слично као и идентификатор тока у заглављу пакета пакетизованог елементарног тока. Поред трака са елементарним токовима, у транспортном току се налазе и пакети са сервисним информацијама, помоћу којих је могуће утврдити садржај комплетног тока. Ови подаци се преносе у облику различитих табела од којих се свака издваја од осталих пакета у транспортном току на основу уникатног пид-а. Неке од најважнијих табела које се користе у дигиталној телевизији су:

- ПАТ (енгл. Program Association Table) – ова табела представља почетну тачку за претрагу садржаја једног мултиплекса (енгл. Multiplex) који може да садржи један или више ДТВ сервиса и преноси се у оквиру једног фреквенцијског канала. По пријему садржаја једног мултиплекса, ПАТ табела се увек може пронаћи на пиду 0x0000, што је дефинисано стандардом. Из ПАТ табеле се могу сазнати пидови на којима се налазе ПМТ табеле, које представљају наредни корак у потрази за доступним ДТВ сервисима.
- ПМТ (енгл. Program Map Table) – једна ПМТ табела је везана за један ДТВ сервис. То значи да уколико мултиплекс садржи више ДТВ сервиса, у том случају садржи и више ПМТ табела. Ова табела даје садржај трака на једном сервису, односно говори на којим пидовима је могуће наћи видео и аудио траке, преводе или телетекст везане за тај ДТВ сервис. Свака од ових трака се преноси у пакетима транспортног тока са посебним пидом, а мапирање свих трака се може пронаћи у ПМТ табели.
- НИТ (енгл. Network Information Table) – информације о целокупној мрежи се могу пронаћи у НИТ табели. Ово је поготово корисно код процеса инсталације сервиса, јер је довољно пронаћи НИТ табелу на једној фреквенцији, а затим се из ње могу извући информације о свим доступним сервисима у датој мрежи, попут фреквенције на којој је могуће пронаћи сваки сервис и друге. Уколико постоји у неком мултиплексу, НИТ табела се увек преноси у пакетима са пидом 0x0010.
- СДТ (енгл. Service Description Table) – информације о доступним сервисима потребне за креирање листе сервиса, попут имена сервиса и других, се могу наћи у различитим секцијама СДТ табеле. Податке из ове табеле је потребно комбиновати са подацима пронађеним у НИТ табели како би се у процесу инсталације сервиса исправно попунила листа сервиса са свим доступним информацијама. Слично као и НИТ и ПАТ табеле, и СДТ табела се увек преноси у пакетима са истим, стандардом дефинисаним, пидом, а то је пид 0x0011.
- ЕИТ (енгл. Event Information Table) – ова табела садржи информације о емисијама које ће бити емитоване у наредном периоду на доступним сервисима. Приказ садржаја ЕИТ табеле је задатак електронског програмског водича, који представља једну од значајних функционалности дигиталне телевизије.
- ЦАТ (енгл. Conditional Access Table) – табела која контролише условни приступ емитованим садржајима. Ова табела је основа за заштиту садржаја,

јер помоћу података из ЦАТ табеле корисници могу да дођу до информација потребних за декрипцију и приказ заштићеног, плаћеног садржаја.

Све табеле које се емитују у дигиталној телевизији се емитују периодично, у правилним размацама дефинисаним стандардом [10]. Овакав начин емитовања табела са сервисним информацијама је неопходан како би корисници могли да започну са преузимањем транспортног тока у произвољном тренутку и да имају на располагању све потребне информације за обраду података из транспортног тока. Све табеле су организоване у секције и могу се састојати од једне или више секција. Такође, уколико је величина табеле мања од 184 бајта колики је део са подацима у пакету транспортног тока, онда се цела табела преноси у једном пакету, а у случају да је табела већа, онда се преноси у више пакета транспортног тока.

Што се тиче података везаних за пакетизоване елементарне токове, ситуација је слична као код табела које по величини прелазе капацитет једног пакета транспортног тока. Како је сваки пакет пакетизованог елементарног тока већи од 184 бајта увек је потребно да се он издели на више пакета транспортног тока. Ови пакети, који носе видео или аудио податке, преводе или телетекст се деле у пакете транспортног тока тако што се на свака 184 секвенцијална бајта пакета пакетизованог елементарног тока додаје заглавље пакета транспортног тока и на тај начин се врши енкапсулација ових података у пакете транспортног тока. Пример енкапсулације једног пакета елементарног тока у пакете транспортног тока је дат на слици 5.

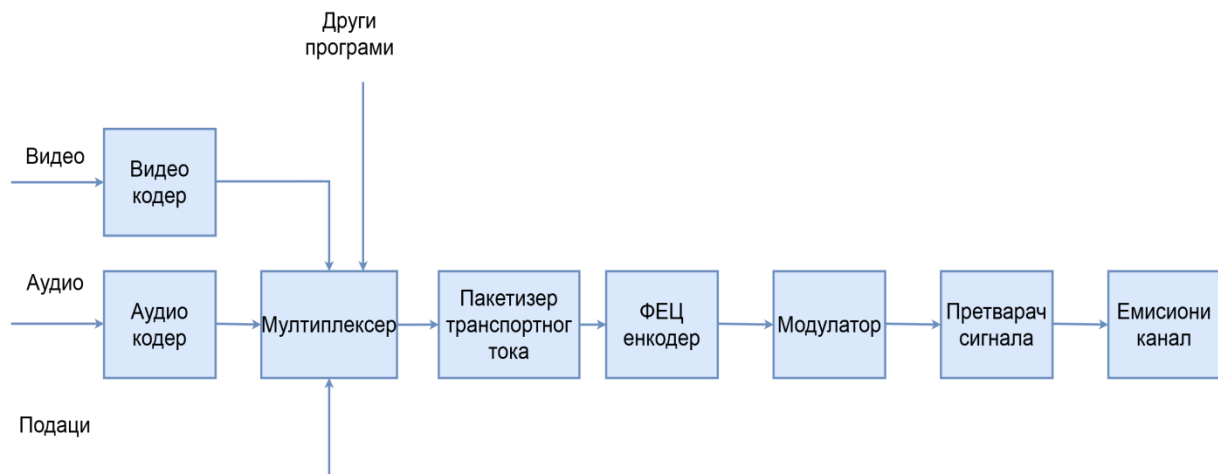


Слика 5. Енкапсулација пакета елементарног тока у пакете транспортног тока

Овако формирану пакети транспортног тока се у наредном кораку мултиплексирају како би се добио завршни облик транспортног тока, који је погодан за слање. Мултиплексирање подразумева промену редоследа пакета у транспортном току, како би се постигао жељени интервал слања свих табела које се налазе у транспортном току, али и да би се омогућио правовремени пријем одређених пакета аудио, видео и других елементарних токова, на страни корисника, у циљу обезбеђивања исправне динамике протока података и постизања синхронизације у раду декодера. Наиме, пошто су видео пакети пакетизованог елементарног тока увек већи од аудио пакета, најчешћи случај је да су пакети транспортног тока, који носе видео податке потребне за реконструкцију једног пакета пакетизованог елементарног тока, раздвојени са пакетима који носе податке других елементарних токова, и на тај начин се постиже

константан прилив података свим активним декодерима на дигиталном ТВ пријемнику [11].

Дакле, цео ток података на страни предајника, везан за слање садржаја дигиталне телевизије, започиње од кодера, који кодују сирове аудио, видео и друге податке и стварају елементарне токове. Елементарни токови се затим деле на пакете, додавањем заглавља пакета пакетизованог елементарног тока. Ови пакети се даље енкапсулирају у пакете транспортног тока, фиксне дужине од 188 бајта, и шаљу на мултиплексирање. На мултиплексеру се врши прилагођавање редоследа ових пакета транспортног тока, заједно са пакетима који носе табеле, односно стандардом дефинисане сервисне информације потребне за исправан приступ и тумачење садржаја транспортног тока. Излаз мултиплексера представља транспортни ток погодан за слање клијентима, односно низ дискретних вредности (0 или 1), које се помоћу модулятора могу трансформисати у симболе, и на тај начин слати корисницима преко изабраног медијума. Овај процес је приказан на слици 6.



Слика 6. Процес емитовања података са стране предајника

### 2.3.3 Дигитални ТВ пријемник

Задатак дигиталног ТВ пријемника је да емитоване податке, прихвати, обради и прикаже. Дакле на дигиталном ТВ пријемнику потребно је извршити обрнут процес обраде података у односу на онај који је спроведен на страни емитера. Потребно је податке који долазе у облику симбола најпре трансформисати у низ бита, односно транспортни ток, а затим тај низ демултиплексирати како би се извукли жељени подаци и реконструисали појединачни елементарни токови које је потребно приказати. Како би ово било могуће, дигитални телевизијски пријемник се састоји од више различитих блокова физичке архитектуре којима управља централни процесор. Организација физичке архитектуре, као и смер протока података на дигиталном телевизијском пријемнику се могу видети на слици 7.



Слика 7. Физичка архитектура дигиталног ТВ пријемника

Као што се може видети на слици 7 на улазу података у дигитални ТВ пријемник се налази фреквенцијски одабирач канала, који има задатак да издвоји податке из изабраног фреквенцијског опсега. Пошто су ти подаци у облику симбола, потребно је трансформисати их у низ бита, те је следећи корак да се подаци пошаљу у демодулатор, како би се извршила демодулација и симболи се заменили одговарајућим дискретним битима. Фреквенцијски одабирач канала и демодулатор се заједно називају мрежни спрежни модул (енгл. Network Interface Module, NIM) и могу се наћи у свим дигиталним ТВ пријемницима који прихватају сателитски, кабловски или земаљски сигнал. Са друге стране, код пријемника који су намењени за интернет телевизију уместо ових компоненти физичке архитектуре мрежни спрежни модул се састоји само од обичног мрежног адаптера какав се користи и у персоналним рачунарима. На изласку из мрежног спрежног модула подаци су у формату транспортног тока, дакле низа бита организованих у пакете фиксне дужине од 188 бајта. Примена FEC података и исправљање грешака у транспортном току, које су евентуално настале у преносу, се такође одвија у мрежном спрежном модулу, уколико су FEC подаци доступни [12]. На тај начин се обезбеђује да транспортни ток који се даље прослеђује наредној компоненти физичке архитектуре, демултиплексеру, буде без или са минималним бројем грешака. Демултиплексер се користи за издвајање пакета са одређеном вредности пида. Жељене пидове поставља централни процесор, како би најпре издвојио пакете са табелама, односно сервисним информацијама, а касније и пакете са аудио или видео траком, преводом или телетекстом које је потребно приказати кориснику. Обрада ових пакета, у којима се налазе делови пакета пакетизованог елементарног тока, се одвија тако што се на основу сигнализације, која се налази у заглављу пакета транспортног тока, најпре реконструише пакет пакетизованог елементарног тока одстрањивањем заглавља пакета транспортног тока и спајањем

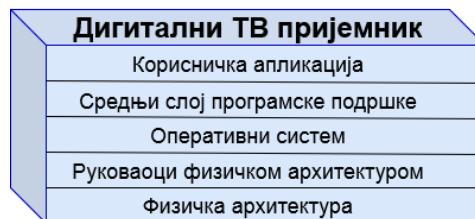


осталих података. Затим се уклања и заглавље пакета пакетизованог елементарног тока и на тај начин се реконструише елементарни ток, који је настао на страни емитера као излаз кодера, и као такав представља погодан улаз за физичке аудио и видео декодере, који се налазе на дигиталном ТВ пријемнику. Код превода и телетекста је обрада слична, са разликом да се уместо физичким декодерима, подаци из ових пакета шаљу централном процесору, јер не постоје компоненте физичке архитектуре које обрађују ове типове података. Након декодовања подаци се преко улазно-излазне спреге шаљу на екран или звучнике. При приказу података потребно је додатно водити рачуна о тренутку приказа, како би сви приказани подаци били синхронизовани. У циљу постизања исправне синхронизације, дигитални ТВ пријемници углавном користе додатну компоненту физичке архитектуре, бројач са 27 MHz тактом.

Треба истаћи да је данас честа појава да дигитални ТВ пријемници имају по више инстанци појединих компоненти физичке архитектуре, за разлику од дигиталних ТВ пријемника кориштених у прошлости, који су имали по једну инстанцу сваке компоненте [13]. До ове појаве је дошло захваљујући развоју технологије и смањењу цена појединачних компоненти, а као последица увођења додатних инстанци појединих компоненти повећале су се могућности и функционалности дигиталних ТВ пријемника. Тако је списак функционалности дигиталног ТВ пријемника далеко већи у односу на тај списак са почетака дигиталне телевизије, када је ТВ пријемник био у могућности да подржи више аудио трака на једном сервису, као и вишејезичне преводе и телетекст и поред тога електронски програмски водич уз минималне додатне информације о емитованим програмима. Данас, дигитални ТВ пријемници имају приступ много већем броју информација, пошто су углавном повезани и на интернет, подржавају и додатне функционалности попут снимања емитованих садржаја, односно касније репродукције снимљених садржаја, могу да деле и примају садржаје посредством технологија попут DLNA (енгл. Digital Living Network Alliance) [14]. Такође, већи број инстанци појединачних компоненти физичке архитектуре, попут мрежних спрежних модула, демултиплексера или декодера омогућава да се многе од ових функционалности обављају истовремено, па је тако могуће снимати један ДТВ сервис док се гледа други, или врши инсталација сервиса претраживањем свих фреквенцијских опсега. Веће могућности захтевају и квалитетније управљање свим ресурсима физичке архитектуре, који су доступни на дигиталном ТВ пријемнику, те је управо управљање ресурсима у оквиру програмске подршке дигиталног ТВ пријемника веома битно за оптимално искоришћење могућности дигиталног ТВ пријемника и достизање пуног потенцијала [15]. Из тог разлога, управљање ресурсима физичке архитектуре је један од најважнијих аспеката којим се бави ова докторска дисертација.

Што се тиче програмске подршке, постоје разне реализације и зависности, почевши од платформе на којој је реализован дигитални ТВ пријемник, преко скупа функционалности које подржава, до нивоа управљивости који је потребно обезбедити. Ипак, може се извршити генерализација и рећи да се програмска подршка сваког дигиталног ТВ пријемника састоји од нивоа који је задужен да обезбеди функционалности оперативног система и руковоаца наменским деловима физичке

архитектуре, средњег слоја програмске подршке и корисничке апликације. Приказ различитих нивоа програмске подршке и њихова хијерархија дата је на слици 8.



Слика 8. Нивои програмске подршке дигиталног ТВ пријемника

Поред основних функционалности оперативног система и основних руковаоца који се могу наћи и на персоналним рачунарима, дигитални ТВ пријемник мора да садржи и руковаоце специфичним компонентама физичке архитектуре карактеристичним за дигиталну телевизију, попут фреквенцијског одабирача канала, демултиплексера или декодера. Оперативни систем, заједно са овим руковаоцима представља најнижи слој програмске подршке, најближи физичкој архитектури. Улога му је да обезбеди спрегу ка средњем слоју за контролу датих компоненти. Средњи слој програмске подршке дигиталног ТВ пријемника представља функционално најважнији део програмске подршке. Управо овај слој је задужен за реализацију подржаних стандарда дигиталне телевизије. Његов задатак је да коришћењем спреге ка руковаоцима и оперативном систему обезбеди исправан рад ТВ пријемника и да управља читавим током података, како би се реализовале жељене функционалности. Уједно, средњи слој програмске подршке представља и највећу целину на сваком дигиталном ТВ пријемнику. Корисничка апликација је задужена за приказ потребних информација кориснику, као и за пружање корисничке спреге, преко које је могуће управљати радом уређаја. Као таква, за апликацију је веома важно да поред лепог изгледа, ради брзо, да буде интуитивна и управљива, како би се обезбедио жељени ниво корисничког доживљаја при коришћењу дигиталног ТВ пријемника.

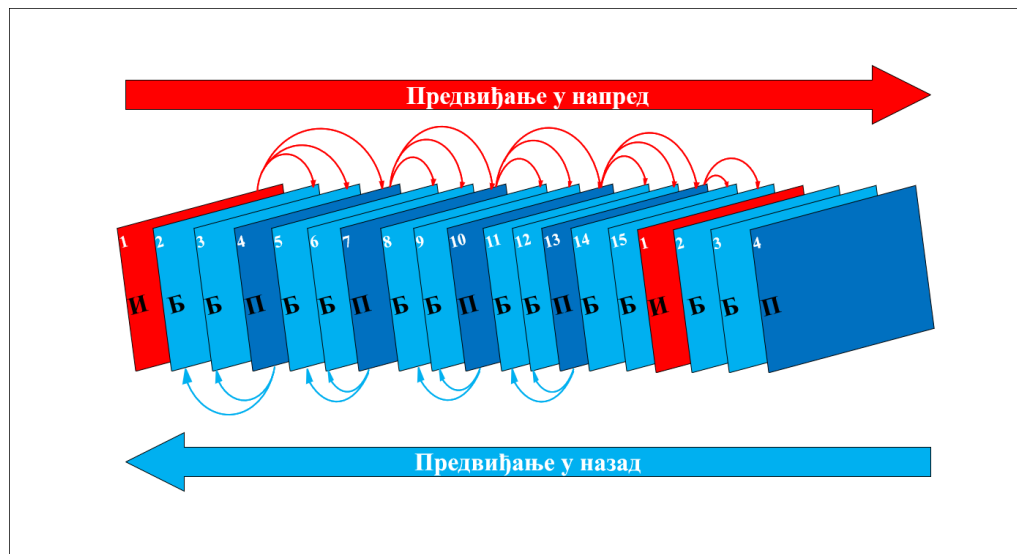
## 2.4 Кодовање видео и аудио података у ДТВ

Видео и аудио подаци представљају највећи део података који се емитују у дигиталној телевизији. Како је од самих почетака један од циљева у дигиталној телевизији био смањење величине података и потребне брзине преноса за емитовање, не чуди што су развијени бројни алгоритми за компресију видео и аудио података. Дакле, видео и аудио подаци се не преносе у сировом облику, већ се кодују и преносе у таквом, компресованом облику [16]. Компресија је могућа захваљујући постојању редувантних података у аудио и видео подацима који се преносе. То значи да одређене делове података који су исти, односно редувантни, је могуће изоставити уз одговарајућу сигнализацију, како би декодер на пријемној страни могао успешно да реконструише оригиналне податке. Ниво компресије који је могуће постићи зависи од алгоритма за компресију који се користи, односно кодека. За пренос података у сировом формату било би потребно пренети 3 бајта по једном пикселу видео података, те се простом рачуницом где се израчуна број пиксела по линији видео садржаја, односно број пиксела у целој слици на основу коришћене резолуције, може доћи до

вредности потребних за пренос сирових видео података, које износе од 216 Mb/s потребних за пренос видеа стандардне дефиниције до 1.5 Gb/s колико је потребно за пренос видео сигнала високе дефиниције. Кад се упореде компресоване вредности са било којим од доступних кодека, јасно је да се компресијом постижу значајни резултати.

Као што је већ речено, постоје различити алгоритми за кодовање видео података и сваки има своје специфичности, али ипак сви почивају на заједничким принципима. Наиме, основна идеја је да се кодују појединачне слике, а затим да се анализира временска компонента, и да се преносе само разлике између узастопних слика. Као последица ове идеје, која се користи у кодовању видеа, већина кодованих видео токова садржи три типа слика. То су И-слике (енгл. I frame), П-слике (енгл. P frame) и Б-слике (енгл. B frame). И-слике се кодују као комплетна слика, уз коришћење техника за просторну (енгл. spatial) компресију. У овом случају циљ је смањење саме слике отклањањем редундантних података. За разлику од И-слика, П-слике и Б-слике се кодују применом техника за временску компресију, односно у резултујућим, кодованим, подацима преносе се само разлике у односу на неку од претходних слика. Разлика између П-слика и Б-слика је у томе што се код кодовања П-слика за референтну слику узима нека од слика које претходе овој слици, док се Б-слике могу референцирати и на слике које претходе, али и на слике које се приказују након слике која се кодује. Овакав начин преношења информација о П-сликама и Б-сликама омогућава да величина ових слика буде знатно мања него величина И-слика. Ипак, за сам процес декодовања П и Б слика, није довољно имати само информације о овим сликама, већ се најпре мора декодовати референтна слика или слике, па тек након тога је могуће применити информације о разликама које носе П и Б слике, и на тај начин реконструисати комплетну слику коју треба приказати. Дакле, јасно је да процес декодовања на пријемној страни мора да започне са И-сликом, након чега је могуће исправно декодовати П-слике и Б-слике. У кодованим подацима, најчешће се све кодоване слике организују у групе слика (енгл. Group of Pictures), где свака група слика започиње са И-сликом. Декодовањем почетне И-слике омогућава се успешно декодовање осталих слика из групе. Пример једне групе слика дат је на слици 9. Може се видети да група слика садржи једну И-слику и више П-слика и Б-слика. Такође, на слици 9 је приказано да се за декодовање П-слика користи предикција у напред, док се за Б-слике користе и предикција у напред и предикција у назад, односно потребно је издекодovati и претходну и наредну слику, како би Б-слика могла успешно да се декодује. Код И-слика не користи се предикција, јер ове слике и у кодованом облику садрже све потребне информације. То чини И-слике случајним приступним тачкама (енгл. Random Access Point) у сваком току видео података, јер сама структура групе слика захтева да се најпре издекодује И-слика. Ово је поготово значајно за дигиталну телевизију и емитовање сигнала уживо, јер се корисник може укључити у било ком тренутку у емитовани садржај. Да би могао успешно да издекодује видео податке, најпре мора да пронађе почетак нове групе слика, односно И-слику. То значи да је потребно периодично емитовати И-слике, иако имају највећу величину, како би корисници могли да започну са приказом садржаја у различитим тренуцима. У пракси,

дужина трајања групе слика може да износи од 1 до 4 секунде. У просеку корисник треба да чека на И-слику половину овог времена, односно од пола до 2 секунде.



Слика 9. Пример групе слика

У дигиталној телевизији највише се користе MPEG-2 и MPEG-4 стандарди за компресију [17]. MPEG-2 је стандард који се користи најдуже у дигиталној телевизији и доста дуго није имао конкуренцију, која би донела довољно побољшање, како би се променио начин преноса видео и аудио података. Тек појавом MPEG-4 стандарда, дошло се до одговарајуће алтернативе, те је и овај стандард ушао у употребу у дигиталној телевизији, али није у потпуности заменио MPEG-2 стандард. Брзине потребне за пренос података компресованих овим стандардима, за садржаје стандардне и високе дефиниције, су дате у табели 1.

Стандард	Резолуција	Битска брзина [Mb/s]
MPEG-2	стандардна	2-4
	висока	15-20
MPEG-4	стандардна	1,5-2
	висока	6-8

Табела 1. Потребне брзине за пренос компресованих података

MPEG-2 [18] је развијен 1999. године као наменски стандард за дигиталну телевизију. Настао је као унапређење MPEG-1 стандарда, користећи исте и додајући нове алате, како би се уклониле мане које је претходни стандард испољио. Неке од главних предности, које је увео MPEG-2 стандард, су повећање битске брзине, нови формати слика, скалабилност квалитета, нови алгоритми за кодовање и др. Овај стандард користи сва три типа слика И, П и Б. Сlike су након компресије организоване у групе слика на већ описан начин. Пошто је целокупан MPEG-2 стандард прилично комплексан и скуп за реализацију на једном чипу, организован је у различите профиле, како би се поделом дошло до оптималних решења за разне области. Иницијално је настало пет профила и то су једноставни профил (енгл. simple), главни профил (енгл. main), SNR скалабилни профил, просторно скалабилни профил (енгл. spatial scalable) и

високи профил (енгл. high). Профили се међусобно разликују и сваки од њих има своју специфичну намену, па тако на пример једноставни профил има главни циљ да поједностави реализацију кодера на страни емитера, односно декодера на пријемној страни. Да би се то постигло, у оквиру овог профила се не користе Б-слике, већ само И и П слике, односно користи се само предикција у напред. Главни профил је најчешће заступљен у дигиталној телевизији и сматра се да је оптимално решење у односу нивоа компресије и цене потребне за његову реализацију. SNR скалабилни профил се користи за мале битске брзине, док просторно скалабилни профил доноси могућност прилагођавања тренутним условима преносног канала. Наиме, у оквиру овог профила се шаље видео садржај нижег квалитета у ужем опсегу преносног канала, а додатно у остатку преносног канала се преноси додатни садржај, који носи информације потребне за реконструкцију слике веће резолуције. На тај начин, корисник у случају слабог пријемног сигнала може да приказује нижи квалитет, док је у случају задовољавајуће јачине сигнала у могућности да прикаже квалитетнију слику. Високи стандард је намењен за коришћење у телевизији високе дефиниције. Накнадно су развијена још два додатна профила, 4:2:2 профил и вишепогледни профил (енгл. multiview). 4:2:2 профил је донео подршку за рад са сликама у боји у формату 4:2:2, и претежно се користи у студијским радовима, иако ово није била основна намена MPEG-2 стандарда. Вишепогледни профил је увео подршку за пренос видео садржаја снимљеног са две камере које су постављене са малим померајем и користи се у реализацији тродимензионалног видеа.

Кад се прича о MPEG-2 стандарду, важно је напоменути да он не обухвата само стандарде за компресију аудио и видео података, већ да је у оквиру њега развијен и MPEG-2 преносни ток који је претходно описан. Овај вид преноса података у дигиталној телевизији је најзаступљенији до данашњег дана.

MPEG-4 [19] стандард је настао као наследник MPEG-2 стандарда. Као и сви MPEG стандарди дефинисан је у више од једног дела, где сваки део има посебну намену. У сврху емитовања и компресије видео података најпре је развијен MPEG-4 Part 2, али како није остварио довољно побољшање, по питању компресије и смањења величине видео података, никад није у потпуности заменио MPEG-2 стандард, као што је било планирано. Новина коју је увео MPEG-4 стандард је да је уместо посматрања сцене као целине, сцену поделио на аудио-визуелне објекте, што је довело до већих могућности компресије, како у просторној, тако и у временској компоненти. У овом стандарду сцену је могуће поделити на пример на статичну позадину, слику особе која говори и глас који се изговара, где сви наведени појмови представљају засебне објекте, који се засебно кодију. Широ примену MPEG-4 стандард је доживео тек са MPEG-4 Part 10, односно H.264/Advanced Video Coding (AVC) [20], делом који је своју улогу нашао у емитовању телевизије високе дефиниције. Овај део MPEG-4 стандарда је настао сарадњом Video Coding Expert Group (VCEG) групе и Motion Picture Experts Group (MPEG) групе, које су заједно формирале Joint Video Team (JVT). Са овим стандардом забележено је побољшање у резултатима компресије од 50% у односу на претходно коришћене стандарде, због чега је овај стандард и добио своју улогу у

емитовању телевизије високе дефиниције, која сама по себи садржи веће количине података, те је компресија од изузетног значаја, како би се смањиле потребне битске брзине. Потребне битске брзине за различите примене H.264 стандарда су дате у табели 2.

Примена	Резолуција и број слика	Битска брзина
Мобилни уређаји (3G)	176 x 144, 10-24 fps	70-180 Kb/s
Интернет / стандардна дефиниција	640 x 480, 24 fps	2-3 Mb/s
Висока дефиниција	1280 x 720, 25p, 30p	7-8 Mb/s
Пуна висока дефиниција	1920 x 1080, 25p, 30p	10-12 Mb/s

Табела 2. Битске брзине у оквиру H.264 стандарда

Поред побољшања у компресији података, овај стандард је донео и већу робусност, односно отпорност на грешке, као и већу флексибилност и поље примене. Ове карактеристике произилазе из саме структуре, која се користи у оквиру H.264 стандарда. Подаци су структурирани у два нивоа. Први ниво је ниво видео кодовања (енгл. Video Coding Layer) и он омогућава високе резултате компресије. Овако кодовани подаци се затим пакују у пакете погодне за пренос преко мреже, или складиштење, које дефинише други ниво у оквиру структуре, а то је ниво апстракције мреже (енгл. Network Abstraction Layer). Што се тиче самог кодовања видео података у оквиру нивоа видео кодовања, користе се слични принципи који су коришћени и у MPEG-2 стандарду, уз разлику да се слика дели на макро блокове, који се засебно кодују, како би се боље искористиле нове могућности са аудио визуелним објектима. То значи да један део слике може да се кодује без предикције, слично као И-слика у оквиру MPEG-2 стандарда, док други делови могу да се кодују са предикцијом. Оваква подела слике није била могућа у ранијим стандардима, те се сматра једном од кључних доприноса MPEG-4 стандарда.

Како је квалитет слике коришћене у дигиталној телевизији наставио да се развија, након увођења телевизије високе дефиниције, дошло се и до телевизије ултра високе дефиниције (енгл. Ultra High Definition TV (UHDTV)), те је било неопходно наставити са развојем стандарда за компресију видео података. Успешна сарадња MPEG и VCEG група је настављена и резултат је High Efficiency Video Coding (HEVC)/H.265 [21], стандард за примену у телевизији ултра високе дефиниције. Овај стандард доноси додатно побољшање од 50% у резултатима компресије у односу на H.264, што га чини погодним за емитовање телевизије у 4K и 8K резолуцијама [22]. Циљеви који су постављени пред овај стандард су да донесе боље резултате компресије, бољу прилагодљивост различитим системима преноса, али и да искористи паралелну обраду у архитектурама са више процесорских језгара. Као и своји претходници, и овај стандард за компресију користи комбинацију директног просторног кодовања без предикције, као и предикцију покрета и просторне трансформације. Једна од кључних разлика је што су макро блокови, на које се делила слика у претходним стандардима, замењени са квадратним стаблом, што доприноси већој флексибилности, а задржава релативно једноставну обраду.

Слично као што је случај са обрадом видео података, и обрада аудио података се развијала кроз историју дигиталне телевизије увођењем нових стандарда [23]. Ипак, принципи организације аудио података су слични кроз све стандарде. Аудио подаци се организују у приступне јединице (енгл. Access Units). Свака приступна јединица садржи аудио податке, односно одбирке аудио сигнала, за константан временски интервал, који зависи од фреквенције одабирања. Главне разлике између стандарда су промене трајања временског интервала једне приступне јединице, као и могућности кодовања више од једног аудио канала. Неки од најзначајнијих аудио кодека, односно стандарда за компресију аудио података, који се користе у дигиталној телевизији су MPEG-2 Layer II, MPEG-2 Layer III и AAC (Advanced Audio Coding) развијен у оквиру MPEG-4 стандарда.

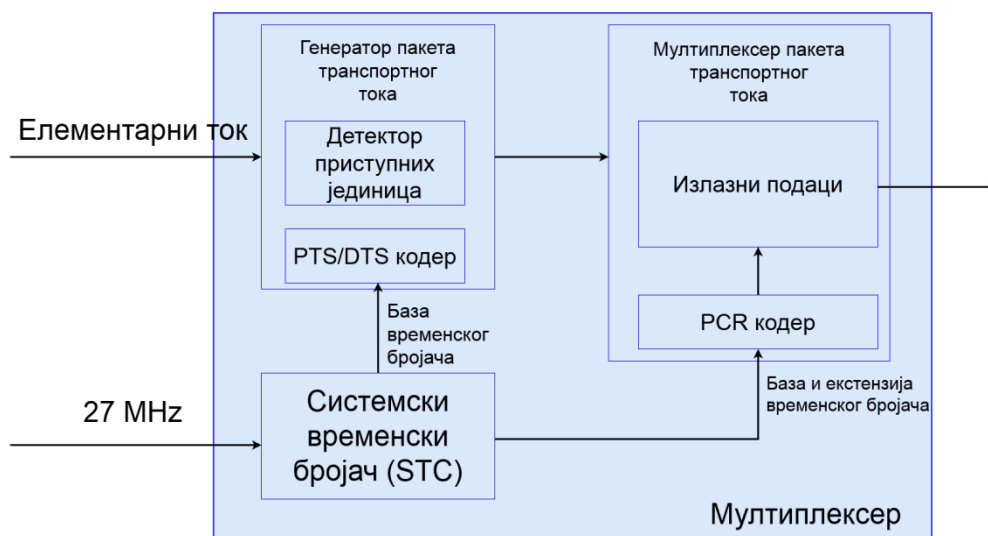
## 2.5 Синхронизација видео и аудио података на дигиталном ТВ пријемнику

Видео и аудио подаци који чине једну сцену се преносе у одвојеним пакетизованим елементарним токовима који су мултиплексирани у исти транспортни ток. Да би на пријемној страни сцена била исправно реконструисана потребно је синхронизовати видео и аудио пакетизоване елементарне токове, односно у правом тренутку приказати одређену слику из видео тока података и упарити је са одговарајућим звуком из тока аудио података. У ову сврху на дигиталним ТВ пријемницима углавном се користи додатна компонента физичке архитектуре, а то је 27 MHz бројач. Бројач исте резолуције се користи и на страни предајника и на тај начин се усклађује протицање времена на пријемној и предајничкој страни. Поред једнаког релативног протицања времена, потребно је обезбедити и исту временску основу на обе стране, како би информације о времену у току података могле да се користе [23].

Дакле, у оквиру транспортног тока се преносе две врсте временских ознака, а то су Program Clock Reference (PCR) и Decoding Timestamp (DTS)/Presentation Timestamp (PTS). PCR служи за усклађивање временске основе на страни предајника и на пријемнику. Преноси се у пакетима транспортног тока и носи информацију о времену на предајничкој страни у тренутку мултиплексирања и слања тока података. DTS/PTS вредности се преносе у оквиру пакета пакетизованих елементарних токова, и ове вредности говоре у ком тренутку је потребно декодовати, односно приказати, садржај из пакета пакетизованог елементарног тока за који су везани. Ове две врсте временских ознака су уско повезане, имају исту почетну вредност и користе исти бројач за промену вредности. Могло би се рећи да PCR представља протицање времена у току података, док DTS/PTS узимају одређену вредност PCR-а и тако означавају тачан тренутак у ком је потребно извршити неку акцију. Приказ предајничке стране са аспекта убацивања временских ознака у ток података дат је на слици 10.

На пријемној страни ове временске ознаке се користе на следећи начин. PCR се користи за првобитно усклађивање временског бројача на уређају са временом на предајничкој страни. Усклађивање се постиже простим уписивањем прве вредности

PCR-a у временски бројач. Након уписа ове вредности, емитер и пријемник имају исту временску основу и даље свако за себе мери протекло време и увећава дату вредност на основу 27MHz бројача. Иако би у теорији ове вредности требало да буду заувек синхронизоване, у пракси је могуће да дође до малих разлика, те се из тог разлога наредне вредности PCR-a користе за периодично ажурирање временског бројача на уређају, како би се обезбедило да остане синхронизован са бројачем времена на предајничкој страни. Вредност PCR-a се преноси у 48 бита, у појединим пакетима транспортног тока. Од ових 48 бита, 33 бита представљају базу која се преноси у 90 kHz резолуцији, 6 бита се не користи за реконструисање вредности док преосталих 9 бита представља екстензију. Тачна вредност се реконструише тако што се база помножи са 300, пребацујући се у резолуцију 27 MHz бројача, и на то се дода екстензија. Карактеристика ове вредности је да кроз цео ток мора да има монотонно растући тренд, осим у случају једног изузетка. Наиме, како се ова вредност преноси у ограниченом броју бита, последично је ограничена максимална вредност која може да постоји. У случају да се бројањем дође до максималне вредности, наредно увећање ове вредности би изашло из могућег опсега, те се у том случају вредност PCR-a враћа на 0 и наставља се монотонно растући тренд. Дакле, ово је једини случај када је могуће нарушити монотонно растући тренд вредности PCR-a, односно једини случај када тренутна вредност може да буде мања од претходне.



Слика 10. Додавање временских ознака у ток података

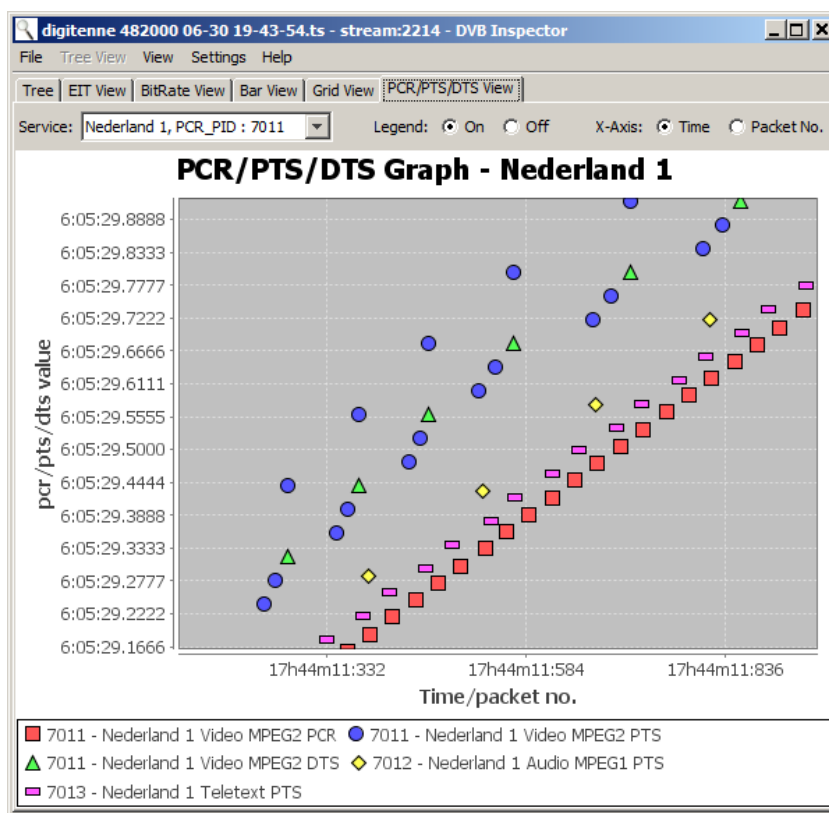
DTS/PTS вредности су карактеристичне за појединачне пакетизоване елементарне токове, те се ове информације налазе у заглављу тих пакета. Ове вредности карактерише слично понашање као и PCR што је и разумљиво када се зна да вредност добијају од истог бројача. Једна од разлика је што се ове вредности преносе у 33 бита, те имају нешто нижу резолуцију, односно преносе се у резолуцији од 90 kHz. 33 бита се издвајају на исти начин као што се то чини за базу PCR-a, а то је дељењем вредности системског 27 MHz бројача са 300. Обавеза монотонног раста важи и за ове вредности, али у овом случају поред изузетка који важи за PCR, и дешава се при прекорачењу



опсега, постоје и додатни изузеци везани за видео податке који проистичу из начина кодовања видео података. Наиме, ако се зна да кодовани видео подаци могу да садрже И, П и Б слике, може се закључити да карактеристика Б слика да се референцирају и на претходне и на наредне слике није у складу са монотоним растом временских одлика. За потребе успешног декодовања Б слика, потребно је декодовати претходне слике које се и приказују пре тренутне Б слике, али и наредне слике које се приказују након ове слике. То значи да у случају када постоје Б слике у току видео података, презентациона временска одредница нарушава тренд монотоног раста, јер је потребно најпре примити и обрадити слику која има већу вредност за PTS од Б слике. Дакле, за пар вредности DTS/PTS важи да временска одредница за тренутак декодовања, DTS, увек монотонно расте, док временска одредница за приказ може да испољава и опадање вредности у случају када постоје Б слике. У пракси се често временска одредница за декодовање изоставља у случајевима кад је и распоред временских одредница за приказ такав да ове вредности монотонно расту, односно када у току података следи секвенца без Б слика. Са друге стране, уколико у секвенци постоји Б слика, тада се у току података може наћи и DTS за ту слику, као и слику на коју се Б слика референцира. Код аудио података не постоје овакви случајеви који су карактеристични за Б слике у видео току, те се увек јасно уочава монотонно растући тренд PTS вредности. Ово важи и за друге компоненте које садрже временску компоненту, и потребно је да се синхронизују, попут превода, или неких интерактивних садржаја који треба да се појаве у одређеном временском тренутку у току података. Сама синхронизација различитих токова се одвија тако што се декодовање покрене у тренутку када системски 27 MHz бројач достигне вредност која одговара DTS вредности из пакетизованог елементарног тока, уколико она постоји. Уколико је DTS вредност изостављена, тада се декодовање покрене довољно раније, у односу на вредност PTS-а, како би у тренутку када бројач достигне вредност која одговара PTS-у био могућ приказ издекодованог садржаја. Дакле, у најзаступљенијем начину синхронизације видео и аудио података подаци се независно синхронизују са системским бројачем времена и на тај начин се постиже синхронизација свих елементарних токова на излазу. Алтернативни начини синхронизације су да се аудио или видео подаци користе као покретач системског времена уместо PCR вредности, где се онда DTS/PTS вредности изабраног тока користе за мерење протеклог времена, а остали токови се усклађују са њим.

Из свега наведеног може се закључити да је при мултиплексирању свих токова у преносни ток потребно изабрати одговарајући редослед пакета, тако да је могуће постићи синхронизацију на пријемној страни. То значи да пакети са приближним вредностима свих временских одлика, PCR-а, DTS-а и PTS-а, морају да буду просторно близу у току података, како би одговарајуће вредности могле у право време да доспеју у системски бројач времена и декодере. Такође морају се поштовати монотонно растући трендови свих ових одлика, уз описане изузетке. Пример графичког приказа распореда пакета са вредностима временских одлика дат је на слици 11. Слика 11 показује садржај тока података са три траке (видео, аудио и телетекст). У оквиру пакета са видео подацима преноси се и PCR (црвени квадрат). На графику су видљиве одлике временских одлика које су претходно поменуте као што су монотони раст и просторно

груписање пакета са сличним вредностима временских одлика. Монотони раст вредности временских одлика важи за PCR, аудио (жути ромб), телетекст (љубичасти правоугаоник) и DTS временску одлику видеа (зелени троугао). Са друге стране, PTS временска одлика видео података (плави круг) не подлеже стриктном монотонном расту, већ долази и до смањења вредности временске одлике између два узастопна одбирка, што је последица Б слика у току података. Може се приметити да је DTS временска одлика углавном изостављена, односно да се појављује само када се наиђе на Б слику. Што се тиче просторног груписања, чињеница да се сви пакети са временским одликама свих трака налазе изнад PCR пакета на графику јасно показује да је обезбеђен услов да се пакети са садржајем који се декодује добијају пре тренутка у ком је потребно да се прикажу, односно да је обезбеђено време потребно за декодовање по пријему пакета.



Слика 11. Графички приказ временских одлика у току података

## 2.6 Процес промене канала

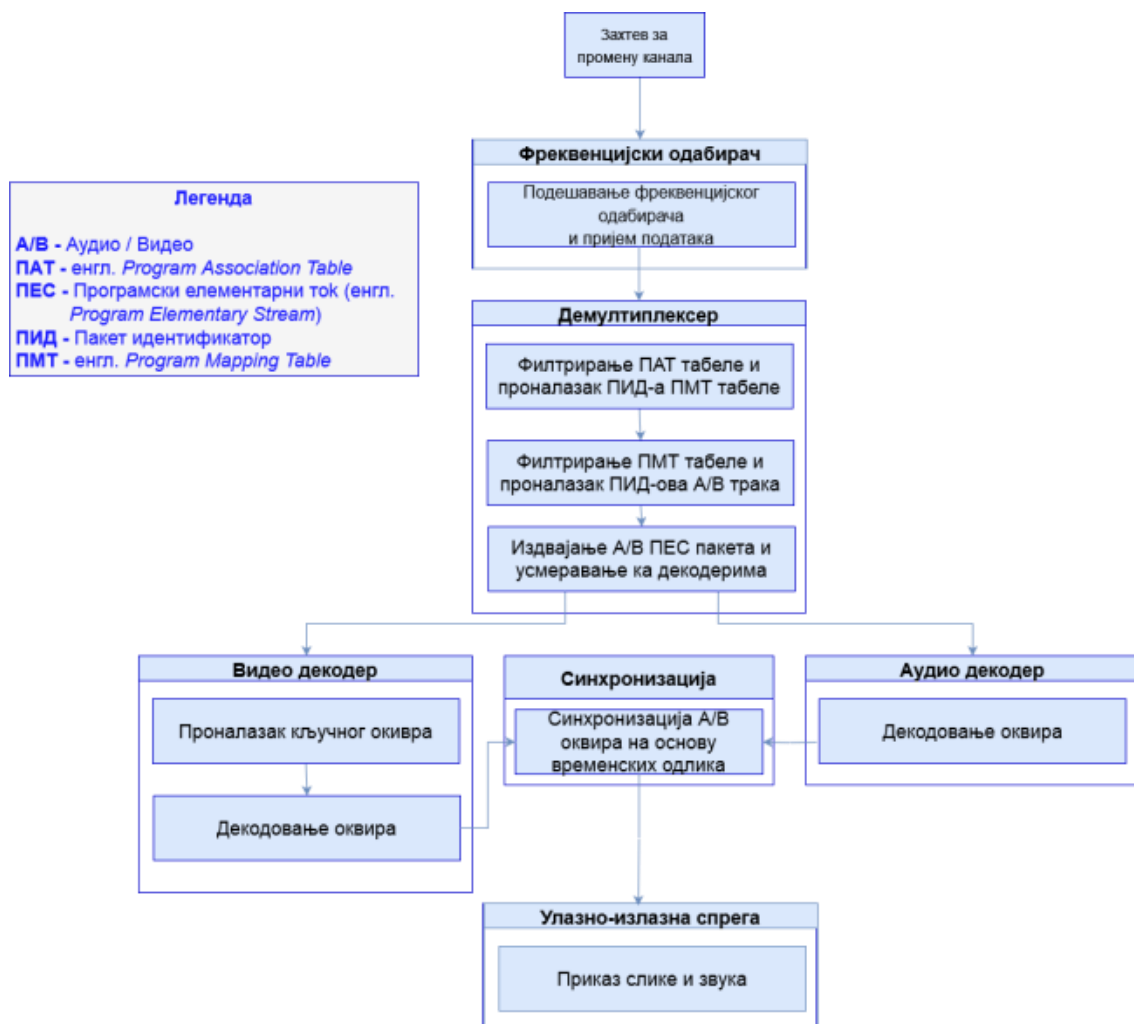
Промена канала на дигиталном ТВ пријемнику започиње издавањем команде, од стране корисника, преко даљинског управљача, или друге спреге уколико она постоји [25]. Команду за промену канала је могуће издати на различите начине. На пример, могуће је користити наменске дугмиће на даљинском управљачу за промену на наредни или претходни канал, команду на даљинском управљачу за повратак на претходно гледани канал, изабрати жељени канал из листе канала, или унети редни број канала помоћу нумеричких типки на даљинском управљачу. У сваком од ових случајева, по пријему команде на дигиталном ТВ пријемнику, она се прослеђује корисничкој апликацији. Апликација је задужена за интерпретацију пристигле команде

и покретање процеса промене канала у средњем слоју програмске подршке на одговарајући начин.

Средњи слој има главну улогу у извршењу процеса промене канала, јер се у њему реализује сва потребна логика. Његова улога је да посредством руковалаца подеси све компоненте физичке архитектуре, прикупи и обради све потребне информације и обезбеди приказ слике и звука са жељеног канала. Све ове акције најпре започињу подешавањем фреквенцијског одабирача да прикупља податке са фреквенције на којој се емитује жељени канал. По успешној конфигурацији фреквенцијског одабирача, подаци у виду транспортног тока се примају на дигиталном ТВ пријемнику и наредни корак је демултиплексирање ових података, како би се издвојили они који су битни у датом тренутку. Процес промене канала увек започиње од прикупљања података из ПАТ табеле. Како се ова табела преноси увек на истом пид-у 0x0000, лако је пронаћи је и анализирати њен садржај. Информација која је битна у овом тренутку је пид на ком се преноси ПМТ табела, која одговара циљном каналу. По аквизицији ове информације наставља се са демултиплексирањем пакета транспортног тока, како би се пронашао онај који преноси ПМТ табелу и како би се приступило њеном садржају. Из ове табеле се проналазе све доступне траке са видео и аудио подацима, преводима и другим доступним садржајима, попут интерактивних компоненти, као и пидови на којима се преносе подаци везани за сваку од ових трака. Наредни корак представља одабир трака на основу тренутних подешавања дигиталног ТВ пријемника. Ово подразумева избор аудио траке на основу жељеног језика, уколико постоји више од једне аудио траке, аутоматско покретање превода на одређеном језику и слично. Једном кад су одређене све траке које је потребно покренути, прелази се на издвајање тих пакета из транспортног тока демултиплексирањем, и њихово усмеравање ка декодерима реализованим у физичкој архитектури, у случају видео и аудио, односно модулу програмске подршке задуженом за обраду, у случају превода или других трака. Покретање декодера не представља крај процеса промене канала, јер је додатно потребно обезбедити синхронизацију између видео и аудио података пре приказа. То подразумева проналажење И-слике у току видео података, како би прва слика која се прикаже била комплетна, а затим упаривање дате слике са одговарајућим подацима из аудио тока података на основу временских одлика. Једном када су ови подаци пронађени, и системски бројач дође до одређене вредности, која одговара временским одликама видео и аудио података, може да се почне са приказивањем слике и звука, и овај тренутак се сматра крајем процеса промене канала. Обезбеђивање синхронизације видео и аудио података је посао који се углавном одвија у руковаоцима компоненти физичке архитектуре, јер као што је већ објашњено, за само декодовање и синхронизацију на дигиталним ТВ пријемницима се користе наменске компоненте реализоване у физичкој архитектури. На крају процеса промене канала, задатак средњег слоја је да обавести корисничку апликацију о исходу овог процеса, како би тај исход могао да се прикаже кориснику. Ово подразумева да се кориснику прикаже одговарајућа порука о грешци, уколико није било могуће извршити промену канала, односно да се прикажу информације о новом каналу, које одговарају приказаној слици

и звуку, уколико је све прошло успешно. Графички приказ корака потребних за промену канала на дигиталном ТВ пријемнику је дат на слици 12.

За анализу временског аспекта процеса промене канала најпре је потребно дефинисати време потребно за промену канала. Ово време се може дефинисати као време које протекне од издавања корисничке команде, притиском на дугме даљинског управљача, до тренутка приказа прве слике, која одговара новом каналу, у случају успешне промене канала, односно, до тренутка појаве информације о грешци на дигиталном ТВ пријемнику, у случају неуспешног извршења промене канала [26]. Када се прича о брзој промени канала, потребно је најпре извршити темељну анализу временског аспекта промене канала, како би се идентификовали сви чиниоци који учествују у укупном времену, а затим се одредили они који највише доприносе укупном времену, јер су управо то места на којима је потребно применити оптимизације и на тај начин, смањењем времена појединачних фактора, смањити укупно време потребно за промену канала.



Слика 12. Кораци потребни за промену канала на дигиталном ТВ пријемнику

Након анализе комплетног процеса промене канала, могу се издвојити следећи чиниоци, који заједно одређују укупно време промене канала [27]:

- време потребно за пренос и обраду команде са даљинског управљача -  $t_{IR}$ ,
- време потребно за пропагацију команде кроз апликацију до средњег слоја програмске подршке -  $t_{PROC}$ ,
- време потребно за подешавање и покретање фреквенцијског одабирача -  $t_T$ ,
- време потребно за парсирање садржаја свих табела са сервисним информацијама које учествују у процесу -  $t_{SI}$  и
- време потребно за успостављање синхронизације између видео и аудио токова података -  $t_{SYNC}$ .

Када су дефинисани сви појединачни фактори, може се дефинисати и укупно време процеса промене канала као сума свих ових фактора, односно записано математичким изразом:

$$t_Z = t_{IR} + t_{PROC} + t_T + t_{SI} + t_{SYNC} .$$

(2-1)

Даљом анализом свих појединачних фактора, може се доћи до следећих закључака. Време потребно за обраду команди са даљинског управљача се може апроксимирати са 0, јер се ради о заиста малим вредностима, а и није могуће утицати на овај фактор променама програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. Време потребно за парсирање табела, такође, не представља превише значајан фактор, те се може објединити са временом потребним за пропагацију команди кроз нивое програмске подршке и означити као  $t_{MW}$ . Код овог обједињеног фактора је могуће уочити да се састоји од приближно константног времена, које се потроши на пропагацију кроз корисничку апликацију за сваку промену канала, које можемо обележити са  $t_{APP}$ , и променљивог фактора, потребног за пропагацију кроз језгро средњег слоја програмске подршке, који се може обележити са  $t_{MWC}$ . Преостала два фактора, време потребно за подешавање фреквенцијског бирача и време потребно за успостављање синхронизације, представљају време које се потроши на обраду у руковаоцима компоненти физичке архитектуре, те се на основу тога могу објединити у један фактор са ознаком  $t_{DRV}$ . И код овог фактора је могуће уочити да се састоји од приближно константног времена за подешавање фреквенцијског бирача, у условима квалитетног и јаког долазног сигнала, и променљивог времена, потребног за успостављање синхронизације [28]. Након описаних трансформација временских фактора, време промене канала се може записати и као:

$$t_Z = t_{APP} + t_{MWC} + t_{DRV}$$

(2-2)

са аспекта истицања слоја програмске подршке у ком се троши време у оквиру процеса промене канала.

Анализом свих појединачних дефинисаних фактора, долази се до закључка да су највећи потрошачи времена акције везане за језгро средњег слоја програмске подршке и постизање синхронизације, односно  $t_{MWC}$  и  $t_{SYNC}$ . Ово представља очекиване

резултате, ако се зна да је сва логика везана за процес промене канала реализована у језгру средњег слоја програмске подршке, односно, ако се разуме формат у ком се видео подаци преносе, јер је јасно да је потребно наћи И-слику, односно почетак нове групе слика, што у просеку траје од 500 ms до 2000 ms [29]. Ова времена су означена као циљна за оптимизацију, у оквиру реализације истраживања приказаног у овој докторској дисертацији, те су даљи кораци, који ће бити описани у наредним поглављима, усмерени највише на смањење ових фактора, а на тај начин и целокупног времена потребног за промену канала на дигиталном ТВ пријемнику.

### **3 Математички модели процеса промене канала у дигиталној телевизији**

Математички модели представљају моћан алат у истраживачком раду. Користе се да представе систем, који је тема истраживања, моделом записаним математичким формулама. Циљ модела је да веродостојно представља понашање реалног система, и да омогући извршавање симулација са разним скуповима улазних података. Развој процесне моћи рачунара до нивоа на ком се данас налази је омогућио извршавање великог броја калкулација у кратком временском периоду, те рачунари и други уређаји, који поседују високу процесну моћ, могу у релативно кратком временском периоду да изврше комплексне симулације, користећи математички модел. Комбиновање математичких модела и симулација са техникама машинског учења и неуронским мрежама пружа бројне могућности, попут предвиђања понашања система у будућности, на основу историјата понашања, или откривања измењеног понашања система са додатним модификацијама, које су описане у математичком моделу. Из тог разлога, често, симулација представља први корак у реализацији неког новог решења, и њена улога је да да назнаке како ће се модификовани систем понашати. На основу резултата симулације може се проценити да ли замишљене концептуалне измене доносе довољно побољшање да вреди уложити додатни напор у њихову реализацију на реалном систему.

Процес промене канала је моделован разним моделима у прошлости [30], првенствено у ИП телевизији, где је трајање овог процеса представљало највећи проблем, те је било потребно бавити се истраживањем, како би се нашао прави начин за убрзање процеса. У овом поглављу ће бити представљени неки од раније развијених модела, од стране разних аутора. Такође, биће представљен и начин моделовања система коришћеног у оквиру истраживања представљеног у овој дисертацији. Потребно је напоменути да многи модели, иако развијени за ИП телевизију, могу да се користе за представљање система заснованог на кабловском, сателитском или земаљском дигиталном ТВ пријемнику. Процес промене канала се може поделити на део који је специфичан за одређени медијум и на заједнички део, па се тако из модела

могу задржати само делови који се односе на општу функционалност промене канала, уколико није погодан да се користи у целости, због различитог циљног медијума. Ипак, и делови модела који описују специфично понашање везано за медијум на основу ког је модел развијен, увек имају и аналогни пар на различитим медијумима, те је могуће или заменити тај део модела, како би се добило тачније понашање, или прихватити модел такав какав јесте уз одређене апроксимације, уколико разлике нису велике. На пример за ИП телевизију је карактеристично да је потребно придружити се мултикаст групи, у циљу добијања података, док је у телевизији која се емитује путем других медијума потребно извршити конфигурацију фреквенцијског одабирача у исту сврху. Иако ове две радње нису исте, и њихово трајање је различито, у одређеним случајевима је могуће користити исти модел, уз прихваћене апроксимације, или заменити део модела који описује ово понашање, а за остатак процеса промене канала користити заједничке делове модела.

Природа процеса промене канала чини га погодним за моделовањем коришћењем неке од варијанти ланаца Маркова. Наиме, ланци Маркова се користе за моделовање система са коначним бројем стања, где прелазак из једног стања у друго зависи само од тренутног стања. Ако се анализира процес промене канала, и гледање сваког појединачног канала се дефинише као једно од могућих стања, јасно је да је то систем са коначним бројем стања (једнаким броју доступних канала), и да у сваком тренутку прелазак на други канал зависи само од тренутно гледаног канала. Овакав систем је одличан кандидат за моделовање коришћењем ланаца Маркова, те је то разлог што је већина модела заснована управо на овим принципима. Наравно, сваки модел додатно поседује одређене специфичности, које се користе у креирању матрице прелаза између стања и придруживању одговарајућих вероватноћа сваком од стања. Додатна примена модела, у истраживањима везаним за процес промене канала, је у креирању скупа улазних података. Наиме, веома је редак случај да су подаци о стварним променама канала доступни истраживачима, јер емитери углавном не објављују те податке и у случајевима када их скупљају, те се често подаци добијени симулацијом користе као улазни подаци за обучавање модела за предвиђање наредног канала. Овакве симулације имају за циљ да генеришу податке, који представљају низ промена канала, који углавном прати дефинисану расподелу, и на тај начин да симулирају понашање корисника. Затим се дати подаци могу користити за тренирање модела, који има за циљ да предвиди понашање корисника, на основу историјата његовог понашања, и на тај начин да допринесе бржој промени канала.

### 3.1 Примери математичких модела процеса промене канала

Један од примера модела процеса промене канала је заснован на следећим принципима [31]:

- Сви доступни канали су подељени у категорије на основу популарности.
- Сви канали у оквиру једне категорије имају једнаку популарност.
- Вероватноћа канала  $i$  да буде изабран за гледање је означена са  $p_i$ .



- Аналогно, вероватноћа категорије  $j$  да буде изабрана за гледање је означена са  $Q_j$ .
- Популарност канала  $i$  означена са  $P_i$  је дефинисана укупним временом које сви корисници заједно проведу гледајући тај канал.

У овом случају аутори су користили ланац Маркова за моделовање система, како би израчунали вероватноће појединачних канала да буду изабрани за гледање. Најпре је потребно дефинисати вероватноће промена категорије из  $i$  у  $j$ , означене са  $q_{i,j}$ . Дакле, вероватноћа  $p_i$  за канал из категорије  $i$  зависи од вероватноће свих канала са којих је могуће извршити промену на канал  $i$ . Ове вероватноће су означене са  $p_l$  за канале из прве категорије (сви канали у оквиру исте категорије имају исту вероватноћу), до  $p_k$  за канале из  $k$ -те категорије. Постоји  $M_l$  оваквих канала у првој категорији,  $M_2$  у другој, и тако даље све до  $M_k$  које одговара  $k$ -тој категорији, са изузетком категорије  $i$  у којој постоји  $M_i - 1$  канала, јер није могуће извршити промену на исти канал. Претходно наведено, записано математичким формулама је:

$$q_{i,j} = \begin{cases} \frac{Q_j}{M_j}, & \text{if } i \neq j, \\ \frac{Q_j}{M_j - 1}, & \text{if } i = j \end{cases} \quad (3-1)$$

$$\begin{cases} p_{(i)} = q_{i,j}(M_i - 1)p_{(i)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^K q_{i,j}M_j p_{(j)}, \\ \sum_{i=1}^K M_i p_{(i)} = 1. \end{cases} \quad (3-2)$$

Лако се доказује да од  $K+1$  једначине само  $K$  је линеарно независно. Заменом  $q_{i,j}$  са дефиницијом, систем се може записати као:

$$\begin{cases} p_i = \sum_{j=1}^K Q_i \frac{M_j}{M_i} p_{(j)}, \\ \sum_{i=1}^K M_i p_{(i)} = 1. \end{cases} \quad (3-3)$$

Решење система је:

$$p_{(i)} = \sum_{j=1}^K Q_i \frac{M_j}{M_i} p_{(j)} = \frac{Q_i}{M_i} \sum_{j=1}^K M_j p_{(j)} = \frac{Q_i}{M_i} \quad (3-4)$$

Други модел, развијен у оквиру другог истраживања се заснива на следећим претпоставкама [32]. Број промена канала пре него што се корисник одлучи да гледа неки од канала прати Поасонову расподелу. У овом случају користи се полу – Марковљев процес (engl. Semi-Markov process). Разлика коју доноси полу-Марковљев процес је та да се дефиниција ланца Маркова проширује са случајном вредношћу, која означава време задржавања у једном стању, пре промене. Очекивано време промене канала се у овом случају може израчунати преко вероватноћа стања мировања (енгл. steady state) и вероватноћа прелаза временски дискретног ланца Маркова. Ако са  $\eta_k$  означимо вероватноћу да ће дугме  $k$ , које може имати вредност од 1 до  $K$ , бити притиснуто, вероватноћу везану за канал  $i$  можемо записати на следећи начин:

$$\prod_i = \begin{cases} \eta_1 \rho_i, & 1 \leq i \leq N \\ \eta_i - N + 1, & N + 1 \leq i \leq N + K - 1 \end{cases} \quad (3-5)$$

Ако са  $C_i$  означимо скуп канала који су припремљени за брзу промену канала када се систем налази у стању  $i$ , тада је очекивано време промене канала дато следећом формулом:

$$E[D_i] = \sum_{j \in C_i} \Pi_j \cdot 0 + \left( 1 - \sum_{j \in C_i} \Pi_j \right) \cdot F \quad (3-6)$$

Промена канала у моделу означава прелазак из стања  $i$  у стање  $i + 1$ , који ствара време промене канала. Ово очекивано време се може израчунати преко вероватноће преласка из стања  $i$  у стање  $i + 1$ , када је систем у стању мировања, односно када време тежи бесконачности. Ова вероватноћа се може означити са  $\pi_i P_{i,i+1}$ . Ако се претпостави да је број стања ограничен на  $m + 1$  вероватноћа стања мировања временски дискретног ланца Маркова се може израчунати из следећих једначина:

$$\pi_0 = \pi_1 P_{1,0} + \pi_2 P_{2,0} + \dots + \pi_m P_{m,0} \quad (3-7)$$

$$\pi_1 = \pi_0 P_{0,1}, \pi_2 = \pi_1 P_{1,2}, \dots, \pi_m = \pi_{m-1} P_{m-1,m} \quad (3-8)$$

$$\sum_{i=0}^m \pi_i = 1 \quad (3-9)$$

које дају

$$\pi_0 = \frac{1}{P_{0,1} + \sum_{i=0}^{m-1} \prod_{j=0}^i P_{j,j+1}}, \pi_i = \pi_{i-1} P_{i-1,i}, (i \geq 1)$$

(3-10)

Вероватноћа да се деси прелаз из стања  $i$  у стање  $i + 1$  када је систем у стању мировања је  $\pi_i P_{i,i+1} = \pi_{i+1}$ . Дакле, очекивано време промене канала се израчунава на следећи начин:

$$E[D] = \sum_{i=0}^m \pi_{i+1} E[D_i]$$

(3-11)

Односно, може се видети да је очекивано време промене канала једнако суми производа вероватноћа које су придружене одговарајућим каналима и временима која су потребна да се изврши промена на те канале.

### 3.2 Модел коришћен у оквиру истраживања

У оквиру истраживања представљеног у овој дисертацији процес промене канала је моделован на следећи начин. Систем у сваком тренутку мора да се налази у једном од два могућа стања:

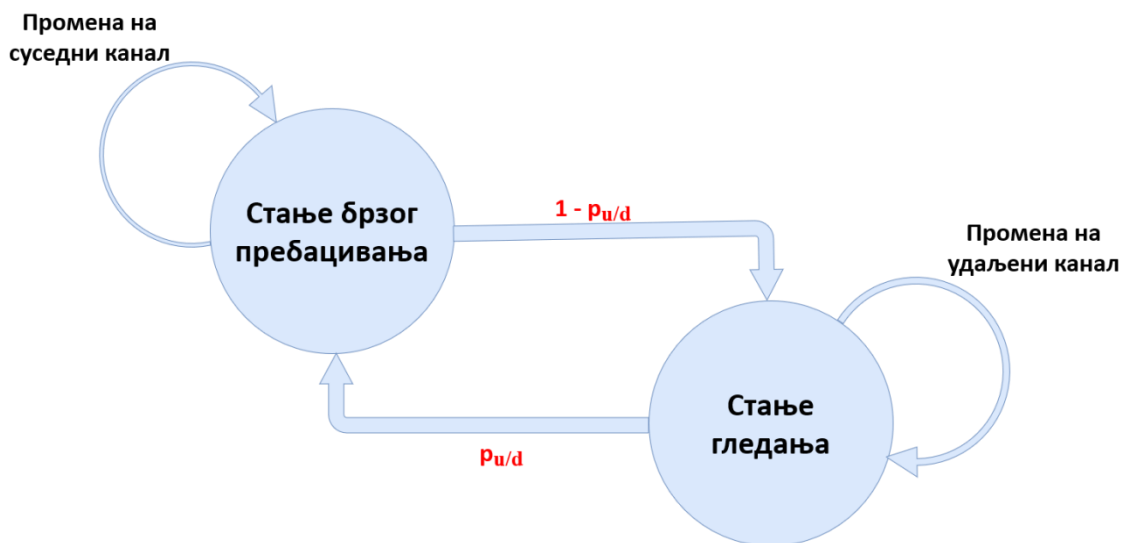
- Стање брзог пребацивања и
- Стање гледања.

Стање брзог пребацивања, означава стање у ком корисник још није изабрао садржај који жели да гледа и врши брзе промене на узастопне канале, како би стекао увид у све програме који се тренутно емитују и који представљају избор садржаја за гледање. Оно што је важно напоменути је да је за развијени систем круцијално да се промене врше на канале који се налазе један до другог у листи канала, односно да се промене врше помоћу дугмића на даљинском управљачу који шаљу команде за промену на наредни или претходни канал. Систем који је резултат овог истраживања користи те канале за омогућавање брзе промене канала, односно, само у случају преласка на неки од тих канала је могуће извршити брзу промену канала. То уједно представља и услов у моделу да систем остане у стању брзог пребацивања. Све док је систем у овом стању може да се користи брза промена канала и време промене канала је скраћено.

Уколико корисник одлучи да пребаци на неки други канал, користећи неки од алтернативних начина за промену канала, попут избора удаљеног канала из сервисне листе или електронског програмског водича, повратка на претходно гледани канал, када то није суседни канала, или промене канала на удаљени канал уношењем броја канала преко нумеричких дугмића даљинског управљача, систем прелази у стање гледања. У овом стању систем остаје све док се поново не изврши промена на суседни канал из листе канала, било којим доступним начином за промену канала. Иако се

стање назива стање гледања, треба нагласити да ово стање обухвата и промене канала на несуседне, односно удаљене канале из листе канала.

Уколико са  $p_{u/d}$  означимо вероватноћу да ће корисник одлучити да промени канал на суседни канал из листе, можемо рећи да то уједно представља и вероватноћу останка у стању брзог пребацивања, када се систем налази у том стању. Како је укупан број могућих стања 2, јасно је да је вероватноћа преласка у стање гледања једнака  $1 - p_{u/d}$ , јер по математичкој теорији збир вероватноћа свих могућих прелаза из тренутног стања мора бити једнак јединици. Аналогно томе, када се систем налази у стању гледања, вероватноћа останка у том стању се може изразити као  $1 - p_{u/d}$ , док је вероватноћа преласка у стање брзог пребацивања једнака  $p_{u/d}$ . Графички приказ модела, са свим могућим стањима и прелазима, као и вероватноћама прелаза дат је на слици 13.



Слика 13. Графички приказ модела са стањима и прелазима

Користећи се описаним моделом као и формулама изведеним у моделима описаним у претходном потпоглављу, очекивано време промене канала датог система се може записати као:

$$E[T_{zap}] = p_{u/d}T_{fcc} + (1 - p_{u/d})T_n \quad (3-12)$$

У овој једначини  $p_{u/d}$  представља вероватноћу да ће корисник да изврши промену канала на суседни канал из листе, као што је већ раније описано,  $T_{fcc}$  означава време потребно за извршење брзе промене канала, која се користи кад се врши промена на суседни канал, а  $T_n$  представља време потребно за извршење обичне промене канала, која се користи када се врши промена на удаљени канал.

## 4 Стање у области

Како би се на исправан начин сагледало стање у области потребно је анализирати доступне податке о достигнућима из различитих области извора. Из тог разлога, у оквиру овог истраживања, прегледане су области комерцијалних решења дигиталних ТВ пријемника са подршком за брзу промену канала, базе патената и научна достигнућа из области брзе промене канала на дигиталном ТВ пријемнику. Ова три типа извора су идентификована као најзначајнији и довољни за формирање тачног становишта о стању у области на тему брзе промене канала. Извори су међусобно комплементарни, те заједно могу да дају комплетну слику стања у области. Комерцијална решења приказују тренутно стање на тржишту, те се на основу њих може закључити који аспекти су најважнији у датом тренутку за индустрију и колика је потражња, као и конкуренција на тржишту. Прегледом релевантних садржаја из база патената може се закључити колика је заинтересованост индустрије за улагање у ову област, као и који аспекти поред оних већ примењених у комерцијалним решењима поседују довољан потенцијал да прерасту у будућа индустријска решења, односно, за које аспекте је процењено да су довољно занимљиви крајњем кориснику, те компаније желе да их заштите, како би обезбедиле повољну позицију на тржишту у датом тренутку и у наредном периоду. Патентне пријаве представљају, на неки начин, спону између научних достигнућа и индустријских решења, јер углавном потичу из истраживачког, научног рада, а циљ им је да се позитивни резултати до којих се дошло истраживањем формализују, прилагоде и заштите за коришћење у индустрији, како би могао да се оствари профит на основу уложеног у истраживачки рад. Научна достигнућа представљају трећи, уједно и најопширнији извор података о некој области. Главни циљ објављивања резултата научних истраживања је дељење знања, те се управо из научних радова може прикупити највише података о истраживањима широм света на одређену тему. Оно што је додатно значајно је да се у научним радовима могу пронаћи и информације о негативним резултатима истраживања, аспектима за које је процењено да у тренутном стању нису погодни за комерцијализацију и правцима будућих планираних истраживања. Такође, како је основни циљ представљања

результата научних истраживања дељење знања, а не остваривање профита, у научним радовима је могуће пронаћи детаљније податке о самом току истраживања, али и о начину рада одређеног решења. Прикупљањем свих ових доступних података, поред добијања увида у стање у области, могуће је такође и успоставити одређени метрички систем на основу ког се пореде решења из дате области. На основу стања у области могуће је идентификовати уже области у којима има простора за даље истраживање и унапређење решења, те се истраживање може усмерити у том смеру. Са друге стране, постојање дефинисаног начина за међусобно поређење различитих решења је веома битно, како би нова решења могла да се пореде са већ постојећим, и да се уочи које су компаративне предности новоразвијених решења, што их чини добрим кандидатима за комерцијализацију.

У наставку овог поглавља дат је преглед најзначајнијих решења која су пронађена из сваког од поменутих извора у току овог истраживања. На основу њих је анализирано стање у области и уочени су правци у којима истраживање треба да се креће, као и зацртани циљеви за допринос новог решења, који су такође истакнути у оквиру овог поглавља.

#### **4.1 Комерцијална решења дигиталних ТВ пријемника са подршком за брзу промену канала**

Што се тиче комерцијалних решења, не постоји превише доступних података о прозводима који подржавају ову функционалност. Неки производи који се истичу су:

- Еџвер ТВ (енгл. Edgware Tv Fast Channel Change) [33]
- Алкател-Луцент решење (енгл. Alcatel/Lucent Fast Channel Change) [34]
- Водафон ТВ (енгл. Vodafone TV) [35]
- Бродпик БкЕ100 (енгл. Broadpeak BkE100) [36]
- Тео плејер (енгл. TheoPlayer) [37]
- Битмовин плејер (енгл. Bitmovin Player) [38]

Након анализе побројаних решења приметно је да једино Водафон ТВ решење подразумева решење у виду дигиталног ТВ пријемника, док остала решења представљају или комплетан систем, попут Алкател-Луцент решења, надоградњу на систем емитовања телевизијског садржаја (Еџвер ТВ, Бродпик БкЕ100) у виду додатног уређаја за предајничку страну у комбинацији са дигиталним ТВ пријемником, или апликације за репродукцију мултимедијалног садржаја са наменских послужилаца (Тео плејер, Битмовин плејер), које такође можемо сматрати решењима дигиталног ТВ пријемника, јер велик број данашњих ТВ пријемника подржава опцију додавања нових апликација за репродукцију мултимедијалних садржаја. Оно што је додатно приметно је да су сва ова решења намењена ИП телевизији, што је и разумљиво ако се узме у обзир да је трајање процеса промене канала представљало највећи проблем у комерцијализацији управо ИП телевизије, те је и највећи део истраживања у овој области везан за ИП телевизију.

Најзаступљенији концепт решења у поменутиим комерцијалним решењима је обезбеђивање додатног тока података, поред основног, емитованог у ИП телевизији, у циљу бржег достављања прве И-слике до дигиталног ТВ пријемника и последично смањивања времена потребног за приказ новог канала. Како би ово било могуће неопходно је да се поседује контрола над комплетном инфраструктуром, односно потребно је контролисати и предајничку и пријемну страну, што је и најчешћи случај у ИП телевизији. Поред овог концепта, истиче се и концепт са памћењем претходно учитаних садржаја, претходно гледаних канала, како би се убрзао, евентуални, будући повратак на тај канал, односно концепт унапред учитаног садржаја, који се може видети у решењима реализованим у виду апликације за репродукцију мултимедијалног садржаја.

## **4.2 Патенти везани за брзу промену канала дигиталног ТВ пријемника**

Широм света постоје бројни патенти повезани са облашћу брзе промене канала. Увид у постојеће патенте може се стећи претрагом релевантних база података. У оквиру овог истраживања, а у циљу стварања исправне слике о стању у области, претражене су следеће базе патената:

- Светска патентна организација (енгл. World Intellectual Property Organization - WIPO) [39]
- Европски патентни завод (енгл. European Patent Organization - EPO) [40]
- Амерички патентни завод (енгл. US Patent and Trademark Office - USPTO) [41]

Велик број патената у свим прегледаним базама сведочи о атрактивности ове области, као и намерама многих компанија да заштите своју интелектуалну својину до које су дошле у овој области. У циљу категоризације и груписања прегледаних патената, следеће карактеристике су означене као кључне.

Под број један, медијум који је покривен патентном пријавом. Наиме, као што је већ речено, дигитална телевизија се емитује преко различитих медијума, од којих сваки има своје карактеристике, те и решења за брзу промену канала често представљају решења специфична за одређени медијум и не могу се применити на друге медијуме без измена. Уколико се доступни патенти анализирају са овог становишта, приметно је да доминирају патенти везани за ИП телевизију, што и није велико изненађење, ако се зна да је највећи део истраживања везаног за брзу промену канала спроведен на овом медијуму, као и да су управо у ИП телевизији ова решења имала највећу вредност у циљу обезбеђивања боље позиције на тржишту у односу на конкуренцију. Поред ових постоје и решења која се односе на сателитску, земаљску, кабловску телевизију или све ове типове заједно, али у далеко мањем броју. Такође приметно је да код одређеног броја решења која нису намењена ИП већ некој другој телевизији, само решење уводи додатну везу преко интернета и тако прелази у хибридни домен, где се комбинују сигнали и подаци добијени преко различитих медијума.

Следећи аспект по ком је могуће извршити поделу решења заштићених патентним пријавама је локалитет решења, односно, да ли се решење реализује на пријемној страни, односно на дигиталном ТВ пријемнику, или на страни предајника у виду проширења послужиоца подацима или комплетне инфраструктуре за емитовање и пренос података са додатним уређајима и алгоритмима. Посматрајући овај аспект уочљиво је да су патентни везани за решења на предајничкој страни бројнији од оних који се реализују на страни дигиталног ТВ пријемника. Такође, постоје и решења која обухватају комплетан систем, односно код којих је потребно извршити измене на предајничкој страни, у инфраструктури која се користи за пренос података али и на самом дигиталном ТВ пријемнику, како би се искористиле додатне информације које се обезбеђују проширењима на предајничкој и преносној страни.

Најзад, патенте је могуће груписати и према техници која се користи за убрзање промене канала. Наиме, анализом свих патената долази се до одређеног броја решења за брзу промену канала, која се базирају на разним техникама, које ипак деле одређене концепте, те се генерализацијом и груписањем могу издвојити они концепти који се најчешће појављују и обухватају већину доступних решења. У оквиру истраживања сви концепти су подељени на следеће групе:

- Концепти базирани на додатном току података,
- Концепти базирани на измени емитованих видео и аудио података,
- Концепти базирани на предикцији следећег канала

Неки патенти комбинују концепте из различитих група решења, али углавном је могуће издвојити оне који су представљени као најзначајнији и који највише доприносе убрзању процеса промене канала.

У концепте базирание на додатном току података, који су најзаступљенији, спадају решења попут слања додатног тока података са повећаним бројем И-слика, или са мањом резолуцијом, или слање додатног тока повећаном брзином. Такође, често се може срести решење везано за ИП телевизију где се по промени канала уместо добијања података са мултикаст адресе, користи додатни ток података који је намењен само том дигиталном ТВ пријемнику (енгл. unicast), а садржи неку од карактеристика која има за циљ да обезбеди бржу синхронизацију видео и аудио података, и на тај начин смањи време промене канала. Додатни ток може бити сачињен и од оригиналних података који су померени у времену у назад, односно сачувани у таквом формату да пријемник, по пријему, може јако брзо да прикаже прву слику. Код свих ових решења, која се заснивају на додатном току података, јављају се проблеми накнадног преласка са додатног тока података на основни, кад се за то стекну услови. Овај прелаз је потребно извршити на начин који је неприметан кориснику, како би се обезбедио задовољавајући ниво корисничког доживљаја.

Концепти базирани на измени емитованих видео и аудио података углавном обухватају решења која врше реорганизацију података који се шаљу, како би прилагодили редослед података пријемној страни, за брже постизање синхронизације



између видео и аудио података. Такође, заступљени су и концепти код којих се мењају временске одлике видео и аудио података, и на тај начин се омогућава да се започне са приказом пре постизања комплетне синхронизације. Решење које користи слање два тока различито енкодovаних истих видео података је уврштено у ову групу решења, а не у решења са додатним током података, јер се у овом решењу основни ток замењује са модификованим, који у себи садржи временски померене, различито енкодovане видео податке и на тај начин пружа више могућности пријемној страни за обраду података и постизање синхронизације.

Трећа група концепата решења, концепти базирани на предикцији следећег канала, се заснивају на припремању других садржаја, поред оног који се тренутно гледа како би се у случају промене канала на неки од припремљених, процес промене брже извршио. Код ових концепата се могу пронаћи решења која су реализована на страни предајника, где се углавном користе неки од додатних уређаја који на основу информација из комплетне мреже одређују канале које је потребно припремити, и затим их припремају за брзу промену канала, али такође многа од ових решења се реализују на дигиталном ТВ пријемнику, где се обавља одређени вид сакупљања и делимичне обраде података са канала који представљају потенцијалне мете за гледање. Алгоритми за предикцију наредног канала су бројни, те се ова решења најчешће управо по томе међусобно разликују, као и по броју канала који се припремају за брзу промену.

Преглед анализираних патената са акцентом на организацију код које су пријављени, као и карактеристикама према којим је вршено груписање патената дат је у табели 3.

Назив	Организација	Медијум	Локалитет	Концепт решења
“Fast channel change in digital media systems” [42]	WIPO	Сви	Комплетан систем	Додатни ток података
“Robust mode staggercasting fast channel change” [43]	WIPO	Интернет	Предајничка страна	Измена тока података
“Milestone synchronization in broadcast multimedia streams” [44]	WIPO	Интернет	Предајничка страна	Додатни ток података
“Fast Channel Change” [45]	EPO	Интернет	Предајничка страна	Додатни ток података
“Unicast/multicast media edge proxy with fast channel switching” [46]	USPTO	Интернет	Предајничка страна	Додатни ток података
“Fast channel switching for digital tv” [47]	USPTO	Интернет	Предајничка страна	Додатни ток података
“Fast channel change” [48]	USPTO	Интернет	Предајничка страна	Измена

			страна	тока података
“Fast Channel Change In A Digital Television Receiver” [49]	USPTO	Сателитска, земаљска, кабловска	Дигитални ТВ пријемник	Предикција следећег канала
“Fast channel change with conditional return to multicasting” [50]	USPTO	Интернет	Предајничка страна	Додатни ток података
“Multi-channel digital video transmission receiver with improved channel-changing response” [51]	USPTO	Сателитска	Дигитални ТВ пријемник	Предикција следећег канала
“Client configuration and management for fast channel change of multimedia services” [52]	USPTO	Интернет	Предајничка страна	Предикција следећег канала
“Fast channel change in a video delivery network” [53]	USPTO	Интернет	Комплетан систем	Измена тока података
“Method and server for fast channel change in unicast-multicast IPTV networks” [54]	USPTO	Интернет	Предајничка страна	Додатни ток података

Табела 3. Преглед анализираних патената

Патентне пријаве, иако описују систем и решење, често не садрже довољно података о карактеристикама програмске подршке која је реализована у заштићеном решењу, као и о резултатима који се постижу датим решењем. Из тог разлога, за сврхе истраживања већу вредност имају објављени резултати научних достигнућа у научним часописима и на конференцијама. Поготово је важно анализирати научна достигнућа како би било могуће сагледати детаље одређених решења и успоставити систем за рангирање различитих решења и међусобно поређење.

### 4.3 Научна достигнућа у области брзе промене канала

Слично као код патената, и научни радови представљају велики број различитих решења за брзу промену канала. Овај број је још и већи, јер не резултира свако истраживање са патентном пријавом, док се углавном могу пронаћи резултати и закључци до којих се дошло истраживањем. Научне радове је могуће категоризовати на исти начин као што је то учињено са патентима, односно поделити их у групе на основу медијума за који је решење намењено, на основу локалитета примене решења и концепта решења, код којих су опет уочљиве доминантне групе, слично као што је случај са патентима. За сагледавање стања у области на основу научних радова велики значај имају прегледни радови, који презентују актуелно стање у области у датом тренутку када су објављени, и на тај начин представљају добру основу за почетак истраживања и за разумевање развоја дате области кроз време [57], [55], [56].

Оно што је очекивано, и што важи и за патенте, важи и за научна достигнућа, а то је чињеница да се највећи број представљених решења односи на ИП телевизију из већ

претходно описаних разлога. Како научни радови углавном откривају већи ниво детаља о самом решењу, могуће је у овом случају анализирати да ли одређена решења, иако наменски реализована за ИП телевизију, могу да се примене без измена и на телевизију емитовану преко неког другог медијума, попут кабловске, сателитске или земаљске телевизије. Основна разлика која се уочава између ИП телевизије и телевизије емитоване преко другог медијума је постојање, односно одсуство, физичког одабирача фреквенција. У ИП телевизији не постоји ова компонента физичке архитектуре, већ улогу пријема сигнала преузима мрежни адаптер. Са друге стране, дигитални ТВ пријемници намењени за кабловску, сателитску или земаљску телевизију морају да поседују барем један одабирач фреквенција реализован у физичкој архитектури. Карактеристика мрежног адаптера је да поседује одређени пропусни опсег, и у случају пријема телевизијског сигнала преко мрежног адаптера ограничење у виду броја канала које је могуће примати истовремено зависи искључиво од битских брзина емитованог садржаја и пропусног опсега мрежног адаптера и мрежне инфраструктуре. Са друге стране, у телевизији емитованој преко другог медијума број фреквенцијских одабирача и демодулатора директно одређује максимални број мултиплекса које је могуће примати истовремено. Сваки мултиплекс може да садржи више од једног сервиса, али то и не мора бити случај, те варијабилност броја сервиса у оквиру једног мултиплекса уноси додатно недетерминистичко понашање, што је представљало један од главних разлога за мали број развијених решења за брзу промену канала у не ИП телевизији у прошлости. Наиме, у прошлости дигитални ТВ пријемници са више од једног фреквенцијског одабирача и демодулатора су били реткост, те су ови пријемници углавном били ограничени на пријем једног мултиплекса. Поред тога, трајање процеса промене канала није представљало толико велики проблем као у ИП телевизији, те се није улагало пуно напора и средстава у развијање решења намењених овим типовима дигиталних ТВ пријемника. Појава широко-појасних фреквенцијских одабирача (енгл. full-band capture tuners) значајно је променила стање у овој области, јер је омогућила да чак и пријемници са само једним фреквенцијским одабирачом могу истовремено да примају садржај комплетног спектра у случају кабловске и земаљске телевизије, односно једног квадранта у случају сателитске телевизије, уколико поседују широко-појасни фреквенцијски одабирач [57]-[59]. Поред тога, све чешћа појава су постали дигитални ТВ пријемници са више од једног фреквенцијског одабирача, те се ограничење у виду броја мултиплекса које је могуће примати истовремено изједначило са бројем демодулатора на дигиталном ТВ пријемнику. Чињеница је да данашњи дигитални ТВ пријемници, махом, имају више од једног демодулатора, те могу да примају више од једног мултиплекса у сваком тренутку. Овим су испуњени сви услови да се бројна решења за брзу промену канала пребаце из области ИП телевизије у области телевизија емитованих преко других медијума, и да се на тај начин искористи накопљено знање стечено у ИП телевизији за унапређење корисничког доживљаја при гледању кабловске, сателитске или земаљске телевизије.

Научне радове, попут патената, можемо поделити у две групе са аспекта локалитета извршавања. Прву групу чине радови у којима су описана решења која

захтевају измене на страни предајника или у мрежној инфраструктури, уз потенцијалне измене на страни пријемника. У другу групу спадају радови који описују решења која се могу у потпуности реализовати на дигиталном ТВ пријемнику. Битно је нагласити да нека од решења која су везана за ИП телевизију, и у том домену спадају у прву групу, попут решења у ком се ка пријемнику шаљу додатни канали поред гледаног са стране емитера, при примени на телевизију емитовану преко другог медијума постају решења која се могу у потпуности реализовати на дигиталном ТВ пријемнику, јер се у овим медијумима непрекидно емитују сви канали, те нема потребе за мењањем уобичајеног начина рада предајничке стране. Приметно је да, иако постоји велики број решења у обе ове групе, већи број решења захтева измене и на предајничкој страни, односно прва група научних радова је обимнија.

Ако се посматрају концепти решења који су коришћени за постизање брзе промене канала, уочљиве су исте три групе које су дефинисане у анализи патената, а у које се могу распоредити готово сва доступна решења. Прва група се заснива на додатном току података, и у оквиру ове групе се могу пронаћи многа различита решења. Оно што је заједничко за сва решења из ове групе је да захтевају измене на предајничкој страни, како би се омогућило слање додатног тока података, који има за циљ да убрза процес промене канала. Нека решења подразумевају слање додатног тока података са повећаним бројем И-слика, или чак тока који се у потпуности састоји искључиво од И-слика [28], [60]-[64]. Циљ је бржи пријем прве И-слике по промени канала чиме се смањује период у ком се на екрану приказује црна слика. Овај приступ се у истраживањима показао као погодан и за HEVC компресоване токове видео података, који данас представљају врхунац компресије, користе се за пренос видео садржаја највећих резолуција и самим тим су и најкомплекснији за обраду [62]. Алтернативни приступ садржају додатног тока података је да се уместо већег броја И-слика, користи стандардна шема кодовања, али да додатни ток садржи податке у нижој резолуцији, чиме се смањује укупна величина тих података, и обезбеђује бржа детекција прве И-слике, која представља тачку насумичног приступа току видео података [66]. Сличан приступ се користи и при слању стандардно кодованог видеа стандардне резолуције али већом брзином, како би до пријемника подаци стигли брже и како би се убрзао процес детекције прве И-слике [67]. Нека решења практикују слање комплементарног тока података основном току података, који комбиновањем омогућавају рекреирање комплетне слике од П или Б слике [68]. Поред тога, у циљу смањења величине додатног тока података, у неким решењима, се додатним током шаље само једна И-слика која се приказује као замрзнута слика на екрану, уместо црне слике, док се не успостави синхронизација видео и аудио података из основног тока података. Такође, постоје решења која у оквиру додатног тока не шаљу податке везане само за један одређени сервис, већ кратке сегменте различитих сервиса, који би могли да буду мета наредне промене канала. Ови сегменти се складиште на пријемнику и омогућају да се промена на неки од сервиса, чији сегмент се већ налази на пријемнику, изврши веома брзо [69]. Овај концепт решења представља комбинацију решења са додатним током података и предвиђањем наредног канала. Концепт са складиштењем кратких сегмената одређених канала, где сваки сегмент почиње са И-сликом, није редак, и

често се може видети у решењима заснованим на додатном уређају, који се додаје у инфраструктурну мрежу, и има задатак да складишти сегменте и на захтев их шаље ка пријемницима. Генерални проблем код решења са додатним током података је што сваки додатни ток додатно оптерећује мрежу кроз коју се емитују подаци, те је увек потребно водити рачуна о пропусном опсегу мреже, како се не би постигао контра ефекат, који би резултирао успорењем процеса промене канала, уместо убрзањем, као последица оптерећења инфраструктурне мреже за пренос података. Занимљиво решење у том погледу је коришћење уграђених мрежних капацитета за складиштење, за чување одређених сегмената садржаја, којима корисници могу да приступе без додатног оптерећења мреже [70]. Такође, интересантан приступ је анализа временских тренутака у којима се шаљу кључне слике са стране послуживоца, и реорганизација редоследа канала у листи, на тај начин да се обезбеди што краће време чекања на прву кључну слику по извршењу процеса промене канала [71].

Решења која се базирају на изменама над видео и аудио подацима се пре свега односе на предајничку страну. Најистакнутија су решења која користе скалабилно видео кодовање, што подсећа на решења са додатним током података. У овом случају у једном нивоу се преносе основни подаци у стандардном формату, као када се не користи брза промена канала, док се у нивоу намењеном за побољшања преносе додатни подаци, попут истог садржаја ниже резолуције, додатних И-слика, или комплементарних података који омогућавају реконструкцију комплетних слика [72], [73]. Овај тип решења је доста сличан већ поменутих решењима из групе са додатним током података, али ипак није уврштен у ту групу, јер у овом случају ток података кодован скалабилним видео кодовањем представља уједно и основни ток, те стога не постоји додатно оптерећење мрежне инфраструктуре. Занимљиво решење засновано на измени обраде видео и аудио података на страни дигиталног ТВ пријемника је решење у ком се користе различите временске основе, засноване на истом програмском бројачу, за декодовање видео и аудио података [74]. Оваквим приступом се може смањити количина видео податак коју је потребно скупити пре почетка приказивања, јер се сам процес приказивања може успорити једноставним понављањем исте слике више пута узастопно. Људско око није у стању да примети разлику која се постиже на тај начин, јер се не ради о великом успорењу. Са друге стране уколико би се и звук успорио, та измена би се лако детектовала од стране гледаоца, те овај приступ обради видео података није могућ у случају када се користи иста временска основа за декодовање видео и аудио података, што је случај у нормалном раду дигиталног ТВ пријемника. Раздвајањем на две временске основе, омогућава се успоравање видео података без утицаја на аудио податке, те се смањује време потребно за приказ прве слике видео података, односно убрзава се комплетан процес промене канала.

Велику заступљеност имају и решења заснована на предикцији наредног канала [75]. Ова решења укључују решења заснована на предвиђању на предајничкој страни, која су већ поменута, али и решења која се имплементирају на страни дигиталног ТВ пријемника. У ИП телевизији испољава се проблем оптерећења мреже приликом слања додатних канала, који су предвиђени као потенцијалне мете за наредну промену

канала, слично као код решења која се базирају на додатном току података, док у кабловској, сателитској и земаљској телевизији овај проблем не постоји, јер кроз те медијуме сви канали се непрекидно емитују ка свим дигиталним ТВ пријемницима. Управо ово чини ову групу решења најпогоднијим за реализацију на овим типовима дигиталних ТВ пријемника. Сам концепт је једноставан. Подаци везани за одређен број канала, различитих од канала који се тренутно гледа, се привремено складиште на дигиталном ТВ пријемнику и припремају за брзу промену канала. Уколико се наредна промена канала изврши на неки од претходно припремљених канала, у том случају се користи брза промена канала, а уколико се корисник одлучи за промену на канал који није припремљен, не постоји убрзање у односу на нормалан процес промене канала. Дакле, главни циљ свих ових решења је да се што боље предвиди наредни канал. Најзаступљенија опција је да се припремају суседни канали из листе канала у односу на тренутно гледани канал [76]-[79]. Ово становиште произилази из резултата истраживања и статистичких параметара који показују да се 62% промена канала изврши преко дугмића за претходни или наредни канал на даљинском управљачу, што одговара промени на неки од суседних канала из листе канала [80]. Други приступи се заснивају на популарности канала. На нивоу комплетне мреже, или на нивоу појединачних корисника, се сваком од канала додели одређена популарност, која се користи као индикатор при предикцији потенцијалних мета за наредну промену канала. Што је већа популарност канала, то је већа шанса да се изврши промена баш на тај канал [76], [81], [82]. Популарност канала се мења у зависности од тренутно гледаног канала, те се на тај начин делимично прилагођава претходном избору одређеног корисника. Сличан приступ заснован на популарности, користи популарност емисија, уместо популарности канала, те при избору канала за припрему за брзу промену даје предност каналима на којима се тренутно емитују емисије истог или сличног типа и жанра као на каналу који се тренутно гледа [83]. Решење које је додатно прилагођено навикама корисника је решење засновано на памћењу шаблона у променама канала из прошлости, јер се сматра да корисници имају тенденцију да понављају обрасце при промени канала и тражењу садржаја који желе да гледају [84]. Наравно, и решења заснована на популарности канала, и на корисничким навикама, се могу додатно побољшати коришћењем машинског учења и неуронских мрежа, што је показано у засебним истраживањима [85]. У почетку су се машинско учење и неуронске мреже примењивале на нивоу мреже, али са напретком дигиталних ТВ пријемника стекли су се услови да се ове технике реализују на самом дигиталном ТВ пријемнику, јер су дигитални ТВ пријемници стигли до довољно велике процесне моћи да то не представља велико оптерећење. Проблем за сва истраживања овог типа је слаба доступност реалних података о променама канала, стварних корисника из комерцијалних окружења. Из тог разлога, велики број истраживања је заснован на математичким моделима и симулацијама, или подацима који су резултат симулација. Проблем са стварним подацима је што су власници ових података емитерске куће, које не објављују ове податке зарад заштите приватности својих корисника. Занимљив приступ превазилажењу овог проблема је коришћење логова са мрежних уређаја, који учествују у емитовању телевизијског садржаја, за креирање модела процеса промене

канала. На тај начин се долази до релевантних и веродостојних података, а истовремено се чува анонимност, односно штити приватност корисника [86].

Додатна предност научних достигнућа, у односу на патенте, при анализи стања у области је та што научни радови, махом, представљају и решења до којих се дошло током истраживања те омогућавају да се успостави систем за рангирање и међусобно поређење различитих решења. За брзу промену канала у дигиталној телевизији, два индикатора се истичу као доминантна, кад се прича о квалитету неког решења, а то су:

- Апсолутно време убрзане промене канала
- Постигнуто релативно убрзање

Апсолутно време убрзане промене канала представља просечно време трајања процеса промене канала након примене решења за брзу промену канала. Спроведена истраживања дају различите вредности за пожељно време промене канала која се сматра брзом променом канала. Вредности које се појављују су од испод пола секунде [87], преко времена испод 1 секунде [65], до крајње границе која се поставља на 2 секунде [56]. Сва истраживања која се баве испитивањем граница описују утицај датих времена на кориснички доживљај, као сумарни закључак спроведених анкета над учесницима истраживања. Разлике потичу из чињенице да су у питању различита истраживања, у којима су учествовали различити субјекти, али и из различитих услова, јер у одређеном броју случајева се истраживање спроводило на симулираном окружењу, док је у другим случајевима спроводило на реалном систему. Такође, у одређеним истраживањима се процес промене канала симулирао само мењањем видео садржаја, док је аудио компонента била изостављена, што последично води до краћих времена потребних за промену канала, јер нису обухваћене све фазе процеса промене канала, на пример време потребно за синхронизацију видео и аудио података. С тога не чуди што постоје истраживања чији се резултати налазе у конфликту, јер на пример, једно истраживање је утврдило да је потребно спустити време промене канала испод одређене временске границе, док друго истраживање, једноставном анализом свих чинилаца времена промене канала, долази до закључка да постављена граница није реална. Ипак, сва ова истраживања имају значај, јер говоре какво је очекивање корисника, али и која су ограничења базирана на тренутном нивоу технолошког развоја области.

Други индикатор, релативно убрзање, показује колико је убрзан процес промене канала на конкретном дигиталном ТВ пријемнику у конкретном окружењу. Пореди се време које је било потребно за извршење промене канала пре примене решења за брзу промену канала, као и потребно време након примене датог решења, и на тај начин се долази до постигнутог релативног убрзања. Овај индикатор јасно показује бенефит који се постиже за кориснички доживљај на конкретном уређају, на ком је реализовано решење. Корисно је укрстити вредности ова два индикатора са временским границама постављеним у истраживањима, јер се на основу тога може видети значај решења, уколико је убрзање довољно велико да је процес промене канала прешао испод прихватљиве границе након примене решења. Оба ова индикатора се могу користити

за међусобно поређење различитих решења, али при томе треба водити рачуна да се пореде исте ствари. Односно, поређење резултата измерених на стварном уређају и у реалном окружењу и резултата добијених као резултат симулације не даје увек тачну слику, јер се симулације заснивају на математичким моделима, који почивају на одређеним претпоставкама, и уносе одређене апроксимације, које не морају увек бити тачне, те и резултати могу бити различити од оних који би се добили након реализације датог решења и мерења на стварном уређају. Ово свакако не значи да не треба уопште поредити реалне резултате и резултате симулација, али треба увек имати на уму ову чињеницу и бити свестан могућих одступања која могу да настану.

#### **4.4 Дефинисање праваца и постављање циљева истраживања**

Након анализе стања у области донети су следећи закључци. Област ИП телевизије је највише истражена и највећи број доступних решења се односи на ову област, док са друге стране брза промена канала у кабловској, сателитској и земаљској телевизији није до те мере истражена, и у тој области постоји више простора за будућа истраживања и унапређења. Дакле, један од дефинисаних праваца за ово истраживање је развој решења које ће првенствено моћи да се примени у кабловској, сателитској или земаљској дигиталној телевизији, док уколико својом опшћности успе да покрије и област интернет телевизије то се сматра додатном користи.

Наредно запажање се односи на локалитет примене решења. Примећено је да већина решења укључује барем неке измене на предајничкој страни, док мањи број решења може да се у потпуности реализује на дигиталном ТВ пријемнику. Измене на предајничкој страни су лакше спроводљиве у ИП телевизији, те како је као правац истраживања постављена област кабловске, сателитске и земаљске телевизије, истраживање је усмерено у правцу проналазак решења које ће моћи да се имплементира на дигиталном ТВ пријемнику, да буде независно од предајничке стране, и да не захтева никакве додатне измене на страни предајника. Развој оваквог решења доноси већу флексибилност приликом његове примене, јер је лакше вршити измене само на једној компоненти система, дигиталном ТВ пријемнику у овом случају, него на комплетном систему.

Из дефинисаних праваца произилазе и циљеви истраживања. Дакле, основни циљ је да се пронађе решење за брзу промену канала, које се имплементира у потпуности на дигиталном телевизијском пријемнику, које одговара захтевима кабловске, сателитске и земаљске телевизије и које доноси упоредиве или боље резултате у складу са важећим нормама и стандардима у области брзе промене канала. Као најважнији аспект жељеног решења и допринос који треба да донесе су уочавање потребних проширења стандардне програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, како би се подржала функционалност брзе промене канала. Такође, решење треба да буде независно од конкретне програмске подршке одређеног ТВ пријемника, односно треба да буде преносиво и прилагодљиво било којем решењу програмске подршке ТВ пријемника. Додатно, потребно је да буде скалабилно и конфигурабилно, како би могло да се примени на дигиталним ТВ пријемницима са различитим могућностима, са аспекта физичке архитектуре, и како би било компатибилно са различитим случајевима



коришћења дигиталног ТВ пријемника. Наиме, у доступним радовима не постоји много описа о интеграцији решења за брзу промену канала са постојећом програмском подршком дигиталног ТВ пријемника, те је циљ овог истраживања да предложи једну спрегу, преко које се функционалност брзе промене канала може додати било ком дигиталном ТВ пријемнику. Такође, већина доступних решења у описима представља искључиво функционалност брзе промене канала као засебну целину, без разматрања њеног утицаја на остатак дигиталног ТВ пријемника и његове остале функционалности, занемарујући чињеницу да брза промена канала треба да представља само једну функционалност у компактној целини коју чини дигитални ТВ пријемник са свим својим могућностима, у заједничком екосистему са предајником и мрежном инфраструктуром. С тога, додатни циљ истраживања је сагледавање комплетног екосистема холистичким приступом, са акцентом на целину дефинисану дигиталним ТВ пријемником на којој се реализује решење, са становишта различитих начина коришћења и њихових захтева. Након анализе, потребно је дефинисати алгоритме који омогућавају оптимално искоришћење ресурса физичке архитектуре, чији број, иако се налази у порасту са развојем технологије, је и даље ограничен. Упоредо са развојем физичке архитектуре дигиталног ТВ пријемника, развијају се и захтеви који се постављају пред овај уређај, те је оптимално коришћење расположивих ресурса у сваком тренутку, од круцијалног значаја за достизање основног циља, а то је пружање кориснику највишег могућег нивоа корисничког доживљаја. Са становишта да брза промена канала представља једну од напреднијих функционалности дигиталног ТВ пријемника, за очекивати је да ће дигитални ТВ пријемници који реализују ову функционалност, поред ње, подржавати и мноштво других напредних функционалности, те је дефинисање алгоритма за контролу расположивих ресурса постављено као један од најважнијих аспеката и циљева истраживања.

Решење којим резултира ово истраживање ће се користити у индустрији, а најпре ће се применити на комерцијалном сателитском дигиталном ТВ пријемнику, који поред брзе промене канала, треба да подржи додатне напредне функционалности у виду истовременог снимања до два садржаја UHD резолуције на екстерни меморијски диск, уз могућност временски одложене репродукције (енгл. timeshift) истог типа садржаја у истом тренутку, као и приказ електронског програмског водича за осам дана уз могућност заказивања гледања и снимања, апликације интерактивне телевизије (HbbTv) и низ различите додатне антенске опреме коју је потребно контролисати путем дигиталног ТВ пријемника, уз наравно већ стандардни сет функционалности у виду подршке за вишеструке аудио траке, вишејезичне преводе, телетекст и др. Уз све побројане функционалности, веома важан аспект је и сигурност података на дигиталном ТВ пријемнику, контрола приступа и управљање дигиталним правима, јер је циљ подршка и плаћених, заштићених садржаја, поред бесплатних. Све ово захтева да проширења програмске подршке, која се уводе зарад остваривања брзе промене канала, буду довољно адаптивна и флексибилна, како би се прилагодила различитим начинима коришћења дигиталног ТВ пријемника и допринела повећању корисничког доживљаја у целини [88].

## 5 Концепт решења

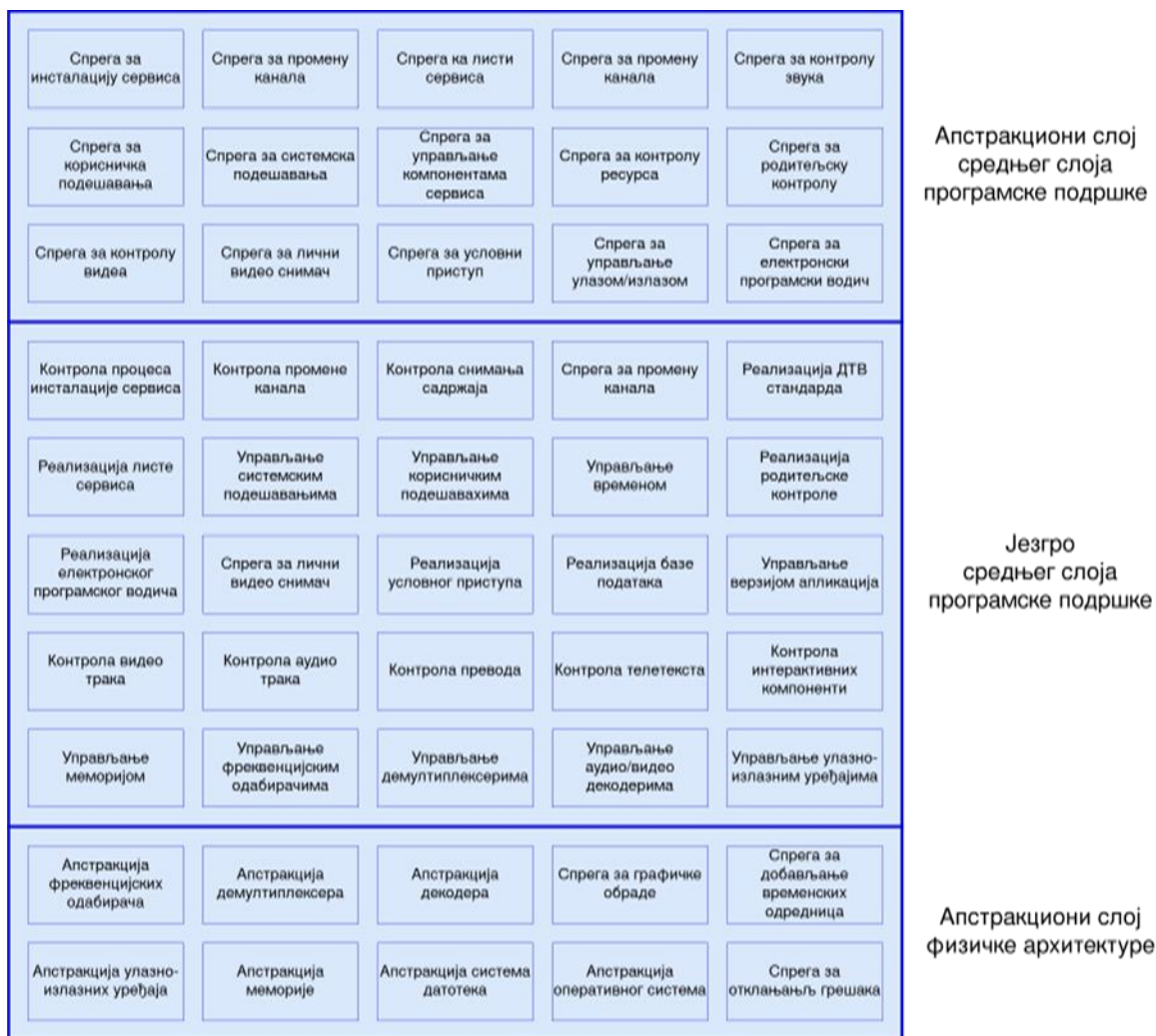
Као што је описано у претходном поглављу, циљно решење треба, поред основне функционалности дигиталног ТВ пријемника, да омогући брзу промену канала, а да притом буде независно од конкретног решења програмске подршке, односно лако преносиво на различита решења. Такође, из истог разлога, потребно је да буде скалабилно и конфигурабилно на једноставан начин, како би могло да се примени на дигиталне ТВ пријемнике са различитим нивоом подржаних опција у физичкој архитектури и програмској подршци. У овом поглављу су описане основне идеје помоћу којих се дошло до решења са жељеним карактеристикама.

За реализацију брзе промене канала коришћен је концепт са унапред припремљеним каналима, при чему се унапред припремају суседни канали из листе сервиса у односу на тренутно гледани канал. Како је важан део истраживања усмерен на архитектуру система и потребна проширења, а не на сам алгоритам за реализацију брзе промене канала, битан аспект код начина реализације алгоритма је да буде лако замењив уз минималне измене, што утиче на архитектуру и начин додавања пројектованих проширења.

### 5.1 Архитектура програмске подршке система

Основна идеја у оквиру истраживања је да се изменама уобичајене архитектуре програмске подршке дигиталног ТВ пријемника може додати функционалност брзе промене канала. Како би се задовољили захтеви о преносивости и скалабилности резултујућег решења најпре је потребно извршити анализу постојећег стања. Посматрано са највишег нивоа апстракције, програмска подршка сваког дигиталног ТВ пријемника се састоји од оперативног система и руковоца компонентама физичке архитектуре, који представљају најнижи слој програмске подршке, затим од средњег слоја програмске подршке, који реализује сву потребну логику за реализацију подржаних стандарда и функционалности, и графичке корисничке спреге, која уједно представља спрегу ка кориснику, преко које се приказују подаци и постиже управљивост уређаја. У циљу лакше преносивости решења на различите платформе

пожељно је локализовати измене, односно вршити измене на што мањем броју слојева програмске подршке. Након спроведене анализе, закључак који је усвојен у оквиру овог истраживања је да се жељена функционалност може постићи мењањем искључиво средњег слоја програмске подршке, а да графичка корисничка спрега и слој оперативног система и руковаоца физичком архитектуром могу да остану непромењени.



Слика 14. Архитектура средњег слоја програмске подршке дигиталног ТВ пријемника

Иако се измене врше само на једном делу програмске подршке уређаја, треба напоменути да се ради о веома сложенем решењу програмске подршке, те је и даље потребно водити рачуна о локализацији измена, како би се постигле жељене перформансе и карактеристике. Најпре је потребно упознати се са уобичајеним изгледом, са становишта архитектуре, средњег слоја програмске подршке неког дигиталног ТВ пријемника, који је графички приказан на слици 14. И у овом кораку се говори о одређеној апстракцији и приказују се заједнички аспекти различитих решења средњег слоја програмске подршке дигиталних ТВ пријемника. Са слике 14 се може видети да у оквиру средњег слоја програмске подршке постоји одређена слојевитост, те се тако као најнижи слој препознаје слој задужен за апстракцију физичке архитектуре, а затим следи језгро средњег слоја програмске подршке, које представља

логички најзначајнији део и управља комплетном програмском подршком. Овај део, као најкомплекснији, увек има висок ниво модуларности, што омогућава подршку за различите делове стандарда дигиталне телевизије, али и повезивање свих делова у целину. Постојање додатног слоја, који има за циљ да обезбеди једноставну спрегу ка корисничкој апликацији и да апстрахује комплетан средњи слој програмске подршке, је честа појава у решењима програмске подршке у дигиталној телевизији, те се и овај слој може видети као хијерархијски највиши на приказаној слици 14.

На слици 15 се може видети измењена архитектура програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, након примене решења насталог као резултат овог истраживања. У циљу што веће локализације измена, нове функционалности су додате као нови блокови програмске подршке. Може се видети да не постоје измене у корисничкој апликацији, као ни у слоју руковоаца физичком архитектуром. Новододати блокови програмске подршке су видео индексер, додат у слоју задуженом за апстракцију физичке архитектуре, као и два контролера, контролер ресурса и контролер брзе промене канала, који су додати као проширење виших делова језгра програмске подршке средњег слоја и слоја задуженог за апстракцију комплетног средњег слоја програмске подршке. Идеје коришћене за реализацију сваког од новододатих блокова, као и разлози за њихово увођење, су описани у наредним потпоглављима.



Слика 15. Архитектура програмске подршке дигиталног ТВ пријемника након увођења нових модула

Додавање додатних функционалности на овај начин доноси највећу корист у виду лаке преносивости решења на различите платформе и средње слојеве програмске подршке, при чему се може наставити са коришћењем постојеће корисничке апликације. Ово доноси могућност практично, за корисника, невидљивог преласка на нову верзију са додатним функционалностима, а такође доприноси ниској цени додавања нових функционалности са становишта потребног рада.

## 5.2 Контролер брзе промене канала (ФЦЦ контролер)

Основна улога новододатог контролера брзе промене канала, или скраћено ФЦЦ контролера (енгл. Fast Channel Change) је додавање логике потребне за жељену функционалност у комплетан систем и управљање брзом променом канала. Како није могуће управљати само брзом променом канала, а не и нормалном променом канала, закључује се да нови модул мора у потпуности да контролише промене канала на дигиталном ТВ пријемнику, како би могао да испуни своју сврху. Ово не значи да је у контролеру брзе промене канала потребно реализовати комплетну логику промене канала, која подразумева конфигурацију фреквенцијског одабирача, прикупљање података из табела сервисних информација и покретање аудио и видео декодера, јер је та логика већ реализована у средњем слоју програмске подршке, већ је контролер брзе промене канала задужен за покретање комплетног процеса преко постојећих спрега у средњем слоју програмске подршке. Након преузимања контроле над процесом промене канала, контролер брзе промене канала постаје спрега средњег слоја ка корисничкој апликацији. То значи да овај модул треба да преузме и дотадашњу улогу средњег слоја да обавештава корисничку апликацију о резултату покренутих акција у циљу промене канала. Пошто је са овим модулом додата нова функционалност, јасно је да начин рада у току промене канала није могао да остане исти, те је то још један додатни разлог због ког овај модул мора да преузме извештавање ка корисничкој апликацији. Дакле, основни задаци контролера брзе промене канала су:

- Контрола процеса промене канала и
- Извештавање о овом процесу ка корисничкој апликацији.

Поред ових основних задатака, потребно је испоштовати и архитектуралне захтеве како би се постигла што већа искористивост новог контролера. Ти захтеви су:

- Лака примена на различите средње слојеве програмске подршке,
- Повезивање са постојећом корисничком апликацијом, без додатних измена у апликацији, и
- Лак начин за измену логике избора циљних сервиса за прирему

У циљу задовољења свих постављених циљева осмишљена је архитектура новог модула која је приказана на слици 16. Приметно је да се архитектура контролера брзе промене канала састоји из три слоја: апстракционог слоја средњег слоја програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, језгра контролера брзе промене канала и спреге ка корисницима овог модула.

Улога апстракционог слоја средњег слоја програмске подршке дигиталног ТВ пријемника је да обезбеди лаку преносивост на различите средње слојеве програмске подршке. Практично, овај слој дефинише спрегу која се користи унутар језгра контролера брзе промене канала, а сама реализација овог слоја зависи од конкретног решења средњег слоја програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. Спреге које су потребне језгру ФЦЦ контролера су спрега ка листи сервиса, спрега ка процесу промене канала и спрега за регистровање корисника заинтересованих за обавештења о

процесу промене канала. Разлози због којих су ове спреге неопходне су објашњени у даљем тексту.



Слика 16. Архитектура програмске подршке контролера брзе промене канала

Језгро контролера брзе промене канала реализује комплетну логику модула. Главни видови функционалности, коју пружа овај слој, су одлука о типу промене канала, избор циљних сервиса за припрему, евиденција припремљених сервиса и механизам за привремено складиштење обавештења. Модуларност, која постоји унутар овог слоја, је веома битна и има за циљ да обезбеди једноставан начин за замену логику унутар неког од постојећих подмодула, који су детаљније описани у наставку, и на тај начин промени начин рада комплетног модула.

Спрега ка корисницима контролера брзе промене канала има за циљ да обезбеди управљивост комплетним модулом кроз дефинисање спреге за покретање процеса промене канала. Поред тога, неопходно је да обезбеди спрегу преко које се корисници могу пријавити за добијање обавештења о процесу промене канала, те на тај начин да испуни основне задатке постављене пред овај модул. У описаном решењу, за дефинисање ових спрега, су искоришћене постојеће спреге у средњем слоју програмске подршке, односно контролер брзе промене канала је преузео спреге које постоје у конкретном коришћеном средњем слоју програмске подршке, како би се избегла потреба за мењањем корисничке апликације која користи ове спреге. Препорука је да се при преношењу описаног решења на други средњи слој програмске подршке дигиталног ТВ пријемника искористи исти принцип, те на тај начин локализује сфера измена искључиво на средњи слој програмске подршке, иако, наравно, ово не представља једини начин на који је могуће интегрисати описано решење са постојећом програмском подршком неког дигиталног ТВ пријемника.

### 5.3 Начин рада контролера брзе промене канала

Као што је већ поменуто, у представљеном решењу брза промена канала је реализована преко предвиђања наредног сервиса, при чему се предвиђа да ће увек мета процеса промене канала бити један од суседних сервиса из листе сервиса. Ови сервиси се унапред припремају за процес промене канала, те се на тај начин убрзава промена канала, у случају да заиста дође до промене на припремљени сервис. Припрема

одређеног сервиса за процес промене канала подразумева извршавање одређеног дела акција везаних за процес промене канала пре него што се покрене промена на дати канал. Ако се вратимо на сам процес промене канала у оквиру средњег слоја програмске подршке, може се видети да се он састоји од следећих акција:

1. Подешавање фреквенцијског одабирача на жељену фреквенцију;
2. Добављање ПАТ табеле, у циљу проналаска пида ПМТ табеле жељеног сервиса;
3. Добављање ПМТ табеле, у циљу проналаска пидова који носе аудио, видео податке и друге потребне траке, као и пида ЕЦМ табеле у случају да се ради о заштићеном сервису;
4. Усмеравање аудио и видео података ка декодерима реализованим у физичкој архитектури;
5. Подешавање декриптора уколико се ради о заштићеном садржају;
6. Синхронизација аудио и видео података;
7. Приказ издекодovаних видео и аудио података;
8. Слање обавештења о успешно извршеном процесу промене канала

Ових осам корака представљају основне акције потребне за почетак гледања садржаја жељеног сервиса, и то је процес који се извршава на сваком дигиталном ТВ пријемнику при свакој промени сервиса који се гледа, невезано од функционалности брзе промене канала. У случају припреме одређеног сервиса за процес брзе промене канала, потребно је извршити све исте кораке, са изузетком седмог корака, односно приказа издекодovаних видео и аудио података. Уместо ове акције, уколико се говори о каналу који је припремљен за брзу промену канала, потребно је вршити индексирање издекодovаних података, како би се одржавала синхронизација између два одвојена тока података. У ту сврху, у овом решењу, се користи новододата компонента у слоју апстракције физичке архитектуре дигиталног ТВ пријемника, видео индексер. На овај начин се обезбеђује да је, уколико у будућности дође до промене на припремљени сервис, потребно само започети са приказивањем издекодovаних података, што доприноси значајном смањењу потребног времена за извршење процеса промене канала. Експериментални резултати измерени у оквиру описаног истраживања показују да је поменуто време могуће смањити и до 4 пута.

Након што је објашњен појам припремљеног сервиса за процес брзе промене канала, као и разлика између обичне промене канала и брзе промене канала, може се осврнути на архитектуру контролера брзе промене канала, како би се објаснила улога појединачних модула. По пријему команде за промену канала, најпре је потребно одредити да ли да се изврши обична или брза промена канала. Ова одлука се доноси на основу тога да ли је жељени сервис, у том тренутку, припремљен за брзу промену канала или није. У случају да је припремљен врши се брза промена канала, а у супротном се покреће процес обичне промене канала. Описана одлука се доноси у делегату брзе или обичне промене канала. Приметно је да је за доношење исправне одлуке неопходно познавање тренутног стања, односно свих претходно припремљених сервиса, те стога модул за делегирање типа промене канала користи модул за

евиденцију припремљених сервиса, који у сваком тренутку чува актуелно стање и листу припремљених сервиса. Како би се обезбедило да и на следећој промени канала постоји шанса за брзу промену канала, неопходно је припремити додатне сервисе, поред промене сервиса који се гледа, у процесу промене канала. Одређивање сервиса које је потребно припремити се врши у модулу задуженом за избор циљних сервиса за припрему. Иако је овај модул у представљеном решењу прилично једноставан, јер увек бира суседне сервисе из листе сервиса, инсистира се на његовој издвојености у посебан модул, како би лако могао да се замени другим начином избора циљних сервиса, и на тај начин да се добије другачије решење, уз искоришћење комплетног радног оквира, развијеног у оквиру истраживања представљеног у овој дисертацији. Описани модули, који се налазе у језгру контролера брзе промене канала, користе спреге дефинисане у апстракционом слоју средњег слоја програмске подршке за приступ листи сервиса и покретање процеса промене канала, како би на исправан начин извршили своје задатке. У овом конкретном случају се то своди на проналажење суседних сервиса из листе сервиса, у односу на жељени сервис, као и њихову припрему, односно покретање гледања траженог сервиса. Битно је уочити да са увођењем контролера брзе промене канала свака промена канала, уместо уобичајеног једног канала, покреће, у овом случају, три процеса промене канала, с тим што се један од та три сервиса гледа, а друга два се припремају. Број сервиса који се припремају за брзу промену канала се такође одређује у модулу за избор сервиса за припрему, што чини представљено решење лако конфигурабилно и скалабилно, јер се на једноставан начин може прилагодити платформама са различитим капацитетима.

Преостали модули контролера брзе промене канала, који нису до сада детаљније објашњени, се односе на обавештења о резултату процеса промене канала. То су спрега за регистрацију корисника заинтересованих за добијање ових обавештења према средњем слоју програмске подршке, која се налази у апстракционом слоју, као и модул за обраду ових обавештења у језгру контролера брзе промене канала и спрега којом се омогућава корисницима контролера брзе промене канала да се пријаве за добијање поменутих обавештења. Као што је већ поменуто, спреге ка корисничкој апликацији су преузете од средњег слоја, како би се избегле измене у апликацији. Одсуство измена у корисничкој апликацији значи да апликација очекује обавештење о резултату једног процеса промене канала, када се пошаље захтев за променом гледаног сервиса. Са друге стране, контролер брзе промене канала покрене три таква процеса у средњем слоју, као што је објашњено, један за сервис који се гледа и два за сервисе које је потребно припремити. Јасно је да у циљу исправног функционисања корисничке апликације, треба ограничити број обавештења која стижу до овог нивоа програмске подршке само на она очекивана. Управо то је улога модула за привремено складиштење обавештења унутар контролера брзе промене канала. Дакле, контролер брзе промене канала треба да прими сва обавештења везана за покренуте процесе промене канала од средњег слоја, да ажурира модул за евиденцију припремљених сервиса, и да пропусти одређена обавештења до корисничке апликације. У ову сврху се користи концепт привременог складиштења обавештења, по ком је и назван овај модул



у контролеру брзе промене канала. Опис овог концепта, као и детаљи конкретне примене у описаном решењу су дати у наредном потпоглављу.

Начин рада контролера брзе промене канала има јасан циљ да убрза процес промене канала, када су за то испуњени услови, и да обезбеди исправан рад корисничке апликације, испуњавајући улогу филтера за неочекивана обавештења између средњег слоја и корисничке апликације. Корист коју доноси се огледа у смањеном времену процеса промене канала и повећаном корисничком доживљају. Са друге стране, уколико би се анализирале негативне стране контролера брзе промене канала и његовог начина рада, онда би то, дефинитивно, било повећање у броју коришћених ресурса дигиталног ТВ пријемника. Наиме, покретање већег броја, у овом случају три, процеса промене канала уместо једног, несумњиво води ка већој потрошњи како процесне моћи платформе, тако и наменских компоненти физичке архитектуре за дигиталну телевизију, попут фреквенцијских одабирача, демултиплексера или видео и аудио декодера. Ипак, уз паметно управљање постојећим ресурсима на платформи, могуће је минимизовати ефекте повећаних захтева за ресурсима, те је стога саставни део решења развијеног у оквиру овог истраживања контролер ресурса, који има за циљ да обезбеди већу видљивост позитивних аспеката решења, у односу на негативне, када се посматра комплетна слика. Поред саме потрошње већег броја ресурса од неопходног за гледање једног сервиса, проблем који је такође потребно решити при реализацији брзе промене канала, на описан начин, је и претходно поменуто управљање обавештењима, које подразумева филтрирање сувишних обавештења, али и генерисање додатних када је то потребно.

### 5.3.1 Управљање обавештењима

Основна улога модула за привремено складиштење обавештења, у контролеру брзе промене канала, је да омогући овом контролеру да преузме управљање обавештењима ка корисничкој апликацији од средњег слоја програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. У циљу минималног броја потребних измена, спрега за регистровање корисника заинтересованих за добијање обавештења коришћена у средњем слоју програмске подршке, постаје спрега коју реализује контролер брзе промене канала, те се на тај начин не уводи потреба за изменама у корисничкој апликацији. Са друге стране, контролер брзе промене канала постаје једини корисник обавештења које потичу из средњег слоја програмске подршке. Све ово омогућава контролеру брзе промене канала да заузме улогу филтера за обавештења која иду од средњег слоја програмске подршке према корисничкој апликацији.

Постоје два главна разлога због којих је потребно филтрирање обавештења у случају кад се на овај начин реализује брза промена канала. Први разлог је број обавештења која се појављују у систему након увођења брзе промене канала. Наиме, како је претходно описано, при увођењу брзе промене канала уместо дотадашње ситуације кад се само гледа одређени сервис, у овом случају још два додатна сервиса су припремљена као потенцијалне мете будуће промене канала, те самим тим и генеришу додатна обавештења. Како припремљени сервиси нису потекли од команди прослеђених из корисничке апликације, већ из контролера брзе промене канала, и

корисничка апликација није свесна постојања припремљених сервиса, јасно је да је за исправно и неометано функционисање корисничке апликације потребно исфилтрирати сувишна обавештења.

Други разлог представља временска компонента обавештења, односно разлика у времену које прође од тренутка појаве обавештења до тренутка када је потребно проследити обавештење ка корисничкој апликацији. Посматрано као целина, програмска подршка дигиталног ТВ пријемника представља систем заснован на догађајима (енгл. Events based system), односно, комплетно понашање система је покренуто одређеним догађајима који се дешавају. Догађаји могу бити корисничке команде послате преко одговарајућих спрега, али исто тако могу бити и догађаји који потичу од садржаја који се конзумира, као на пример, промена броја трака на гледаном сервису или нестанак комплетног сигнала преко ког се емитује гледани садржај. У свим овим ситуацијама, битно је да се догађај, који се појавио, на време пропагира до одговарајућег дела програмске подршке и обради, те да се покрену све потребне акције за обраду самог догађаја и његових последица. Како се догађаји могу појављивати у насумичним тренуцима, и представљају покретаче разних процеса у програмској подршци дигиталног ТВ пријемника, овакав систем се назива системом заснованим на догађајима, и веома је битно обезбедити правовремене реакције на све могуће догађаје, како би систем исправно функционисао и донео жељени ниво корисничког доживљаја. Стога је уобичајен начин обраде догађаја тренутна обрада, односно сваки догађај је потребно процесуирати непосредно по његовом појављивању у систему. Брза промена канала уноси одређене измене у оваквом виду функционисања програмске подршке. Наиме, како су припремљени сервиси невидљиви за корисничку апликацију, а догађаји, односно обавештења, се на њима генеришу у тренутку припреме, а не у тренутку пребацивања на одређени припремљени сервис, потребно је обрадити ове догађаје на посебан начин. Дакле, потребно је сачекати са обрадом одређеног догађаја, на пример обавештења о успешној промени канала, јер у овом случају, у тренутку појаве догађаја у систему, корисничка апликација не очекује тај догађај, и не може да га повеже са познатим тренутним стањем система, те тренутна обрада, у овом случају, потенцијално може да изазове грешке у раду корисничке апликације или других делова програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. Игнорисање оваквих догађаја, који потичу од садржаја припремљених сервиса, такође, не може да буде решење овог проблема, јер би то довело до потенцијалних проблема у даљем раду система. На пример, уколико би се обавештење о процесу промене канала на припремљеном сервису изигнорисало, зато што тренутна обрада није могућа, то би довело до нових проблема у будућности. У тренутку касније промене канала, баш на тај припремљени сервис, обавештење се не би опет генерисало, јер, као што је претходно описано, брза промена канала подразумева само промену из индексирања у приказивање видео и аудио садржаја изабраног сервиса, те се самим тим догађаји који потичу од садржаја емитованог на том сервису, или од процеса промене канала, не генеришу поново у тренутку брзе промене канала.

Дакле, контролер брзе промене канала, поред филтрирања сувишних обавештења у одређеном временском тренутку, треба да обезбеди и временску компоненту обавештењима, односно да замени тренутну обраду догађаја са обрадом у одговарајућем тренутку, који се више не поклапа са тренутком настанка догађаја, већ ова два тренутка могу бити на произвољној временској удаљености. Како би се обезбедило овакво понашање, неопходно је да контролер брзе промене канала поседује одређено памћење догађаја који се појављују у систему, како би могао да обезбеди њихову обраду у исправним временским тренуцима. У ту сврху уведен је концепт привремено ускладиштених обавештења који се користи у контролеру брзе промене канала и представља његов веома значајан део.

Сам концепт привремено ускладиштених обавештења је прилично једноставан. Захтева одређену количину меморије за складиштење обавештења, што је у супротности са уобичајеним начином обраде обавештења. Наиме, класична обрада обавештења, у пропагационим деловима програмске подршке, подразумева пропагацију обавештења свим претходно регистрованим корисницима, и додатно обраду специфичну за конкретно обавештење, уколико је потребно. Са друге стране, концепт привремено ускладиштених обавештења уводи неке додатне кораке и ограничења, како би могао да обезбеди временску компоненту обраде обавештења. Овај концепт се заснива на следећим принципима:

1. Свако примљено обавештење се по пријему најпре ускладишти у меморији
2. Уколико обавештење задовољава задати критеријум, прослеђује се регистрованим корисницима
3. На сваку промену неког од фактора, који се испитују у задатом критеријуму, врши се поновно испитивање критеријума за свако ускладиштено обавештење и у случају позитивног резултата испитивања врши се обрада датог обавештења
4. По истеку валидности ускладиштених обавештења, она се бришу и искоришћена меморија се ослобађа

На овај начин се омогућује да се обавештења не обрађује непосредно по појави у систему, већ да се за обраду сачека испуњење задатог критеријума. Јасно је да се у овом случају троши већа количина меморије, што се може посматрати као негативна страна овог концепта, и потенцијално може представљати проблем при реализацији на платформама са мањом количином радне меморије. Стога је потребно водити рачуна о скалабилности овог решења. Скалабилност се, у овом случају, постиже ограничавањем броја обавештења која се обрађују на овај начин, док се остала обавештења обрађују на уобичајен начин, чиме не захтевају додатну радну меморију за складиштење.

У оквиру контролера брзе промене канала концепт привремено ускладиштених обавештења је реализован на следећи начин:

- Обавештења која се обрађују на овај начин су обавештења везана за процес промене канала и на садржај транспортног тока на гледаном и припремљеним сервисима
- Обрада обавештења подразумева прослеђивање корисничкој апликацији
- Критеријум за обраду обавештења је да она потиче са гледаног сервиса
- На сваку промену канала, односно промену гледаног сервиса, врши се поновно испитивање критеријума
- Обавештења се бришу, и меморија се ослобађа, када се сервис више не налази међу гледаним и припремљеним сервисима

Дакле, од тренутка подешавања фреквенцијског одабирача за одређени сервис, било да се ради о гледаном или припремљеном сервису, свако обавештење, које се генерише у средњем слоју програмске подршке, а потиче од акција везаних за промену канала или описује садржај транспортног тока, се најпре ускладишти. Уколико се установи да обавештење потиче од гледаног сервиса, оно се прослеђује корисничкој апликацији. Процес складиштења и испитивања критеријума за сва нова обавештења се одвија све док се гледа исти сервис. По промени канала, односно гледаног сервиса, врши се обрада свих ускладиштених обавештења за сервис који је изабран за гледање након измене. Битно је да се обавештења са претходно гледаног сервиса не ослобађају у овом тренутку, већ остају ускладиштена, јер тај сервис постаје припремљен сервис у овом тренутку. То значи да, у случају повратка на гледање тог сервиса, обавештења се неће поново генерисати у средњем слоју програмске подршке, те их је неопходно задржати као привремено ускладиштена. Обавештења се могу обрисати из меморије за привремено складиштење тек када се изврши поновно подешавање фреквенцијског одабирача, јер се тек тада подразумева да се, у случају накнадног избора тог сервиса за гледање, мора извршити комплетан процес промене канала, односно тај сервис се у том тренутку више не сматра припремљеним. Графички приказ, у виду дијаграма секвенце, са акцентом на обраду обавештења, је дат на слици 17. Слика 17 приказује обраду само једног типа обавештења ради једноставности приказа и лакшег разумевања, а исти принцип се примењује и на остале типове обавештења.

У суштини, коришћењем концепта привремено ускладиштених обавештења убрзава се време процеса промене канала на уштрб потрошње веће количине радне меморије у току рада система. Скалабилност решења се постиже променом броја различитих типова обавештења која се обрађују на овај начин, док се остала обавештења обрађују по принципу тренутне обраде. Такође, у ситуацијама када долази до узастопних обавештења истог типа на припремљеним сервисима, она преписују једно друго. На тај начин се чувањем само последњег, односно тренутног, стања уместо историје промена, постиже уштеда потребне меморије. На пример, уколико се током периода док се одређени сервис налази на листи припремљених сервиса, на њему појави додатна аудио трака, или додатни превод, битно је само запамтити последње стање, а претходна обавештења која су описивала те промене нису битна. Такође, могућа је ситуација да дође до нестанка и поновног појављивања сигнала на припремљеном сервису. У том случају, такође, је битна само информација о присуству сигнала, те се

претходно обавештење о губитку сигнала може занемарити. Поред уштеде у количини коришћене меморије, на овај начин се у одређеној мери доприноси и самој брзини извршења брзе промене канала. Као што се види на слици 17, у тренутку промене канала на припремљен сервис, обрађују се сва ускладиштена обавештења везана за тај сервис у контролеру брзе промене канала, те је јасно да мањи број обавештења води ка краћем времену потребном за њихову обраду, те самим тим убрзава комплетан процес промене канала.



Слика 17. Дијаграм секвенце процеса промене канала

Псеудо код алгоритма који се користи за извршење промене канала у оквиру контролера брзе промене канала дат је у наставку.

```

01: let PT be the list of pre-tuned services // Информације о припремљеним сервисима
02: let SL be the list of all services // Информације о листи сервиса
03: let BC be the map of buffered callbacks // Мапа сачуваних обавештења по сервису
04: let Play be the global indikator of playbaced service // Тренутно гледани сервис
05:
06: func isPreTuned(sId) :
07:     return PT.contains(sId)
08:
    
```

```

09: func getZapTargets(sId):
10:     prev = SL.getPrevious(sId)
11:     next = SL.getNext(sId)
12:     return (prev, next)
13:
14: func executeCallbacks(sId):
15:     foreach callback in BC[sId]
16:         callback()
17:
18: func switchDisplay(old, new):
19:     stopDisplay(old) // Заустави приказ претходног сервиса, настави са индексирањем
20:     startDisplay(new) // Започни приказ новог сервиса
21:
22: func fccZap(sId, doPrepare):
23:     if doPrepare return true
24:     switchDisplay(Play, sId)
25:     executeCallbacks(sId)
26:     Play = sId
27:
28: func normalZap(sId, doPrepare):
29:     if !doPrepare start(sId) // Позив функције средњег слоја за покретање сервиса
30:     startIndex(sId) // Позив функције средњег слоја за индексирање сервиса
31:     registerCallbacksMonitoring(BC[sId]) // Прати обавештења на изабраном сервису
32:
33: func stopService(sId):
34:     PT.remove(sId)
35:     BC[sId].clear()
36:     stop(sId) // Позив функције средњег слоја за заустављање сервиса
37:
38: func startService(sId):
39:     let zapTargets be an empty array // Све мете промене канала
40:     let stopTargets
41:     zapTargets.add(sId) // Позиција 0 у низу означава сервис који треба приказати
42:     (prev, next) = getZapTargets(sId)
43:     zapTargets.add(prev) // Позиције 1 и 2 з низу означавају сервисе за индексирање
44:     zapTargets.add(next)
45:     stopTargets = PT - zapTargets // Припремљени сервиси који нису више потребни
46:     foreach id in zapTargets
47:         if isPreTuned(id) // Одлука о типу промене канала
48:             fccZap(id, zapTargets.indexOf(id) != 0)
49:         else
50:             normalZap(id, zapTargets.indexOf(id) != 0)
51:     foreach id in stopTargets
52:         stopService(id)

```

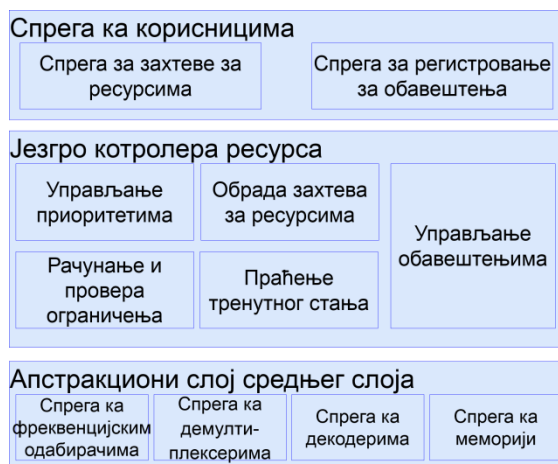
Алгоритам 1. Псеудо код промене канала у оквиру контролера брзе промене канала

## 5.4 Контролер ресурса

Повећање у потрошњи ресурса физичке архитектуре дигиталног ТВ пријемника је један од главних проблема који произилазе из проширења програмске подршке модулима потребним за функционалност брзе промене канала. Утростручен број потребних ресурса, само за гледање једног сервиса и припрему за брзу промену канала, недвосмислено наглашава овај проблем. Уколико се узме у обзир да је представљено решење намењено широком опсегу дигиталних ТВ пријемника, међу које спадају и они са бројним комплексним функционалностима, попут вишеструких паралелних снимања садржаја или временски одложене репродукције, јасно је да је неопходно увести додатне алгоритме и протоколе за управљање расположивим ресурсима, како би се колико год је то могуће смањиле негативне и нагласиле позитивне стране овог

решења. Сама употреба појединачних ресурса физичке архитектуре није видљива кориснику, већ се негативним утицајем, поготово на корисничко искуство, сматрају ситуације у којима долази до отказа при покушајима да се различите функционалности користе истовремено на дигиталном ТВ пријемнику. Дакле, потребно је обезбедити паметно управљање ресурсима како би се максимално искористио потенцијал конкретне платформе и кориснику пружио што бољи кориснички доживљај. Овај задатак у решењу представљеном као резултат овог истраживања испуњава контролер ресурса, увођењем поменутих протокола и алгоритама за контролу ресурса у комплетан систем. Контролер ресурса, уз контролер брзе промене канала представља кључни део описаног решења.

Основни циљ контролера ресурса је да кроз централизовану контролу ресурса обезбеди оптималну потрошњу ресурса физичке архитектуре у сваком тренутку рада дигиталног ТВ пријемника. Оптимална потрошња, у овом случају, подразумева коришћење најмањег могућег броја ресурса потребног за исправан рад свих функционалности које су покренуте од стране корисника. При пројектовању контролера ресурса, слично као и код пројектовања контролера брзе промене канала, веома важан аспект је скалабилност решења, као и његова преносивост на различите средње слојеве програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. Резултат пројектовања је архитектура приказана на слици 18.



Слика 18. Архитектура програмске подршке контролера ресурса

Као што се може видети на слици 18 архитектура контролера ресурса је организована у три слоја: слоја апстракције средњег слоја, језгра и спреге ка кориснику. Слој апстракције средњег слоја је веома једноставан, у овом случају, и његова улога је да реализује спреге преко којих контролер ресурса може да прикупи информације о бројном стању појединачних типова ресурса физичке архитектуре. Спрега ка кориснику, такође, не реализује логику и начин рада, већ само омогућава корисницима да праве захтеве за ресурсима и да се региструју за добијање обавештења везаних за ресурсе. Језгро контролера ресурса је најсложенији део и у овом делу програмске подршке су реализоване све функционалности овог модула. Задаци које треба да испуни језгро, а уједно и контролер ресурса су:

- Обрада захтева за ресурсима и додела ресурса
- Праћење тренутног стања свих ресурса
- Рачунање ограничења у конкретном тренутку
- Одређивање приоритета сваког ресурса
- Слање обавештења корисницима о променама стања ресурса

Сваки од побројаних задатака је реализован у засебном подмодулу, како би се остварио потребан ниво конфигурабилности и општости овог решења. Раздвајањем језгра на мање модуле омогућава се лака промена рада комплетног контролера ресурсима заменом појединачних подмодула језгра, уколико је то потребно, при преношењу решења на друге платформе или друге средње слојеве програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. Улога сваког од подмодула и начин рада, коришћен у овом истраживању, су описани у даљем тексту.

#### 5.4.1 Начин рада контролера ресурса

У циљу остваривања централизованог управљања ресурсима, најпре је потребно да се прикупе информације о бројном стању сваког од присутних типова ресурса физичке архитектуре. Ресурси који су од интереса за контролер ресурса су фреквенцијски одабирачи, демодулатори, демултиплексери, декодери и меморијска складишта. Пошто за испуњење било које функционалности дигиталног ТВ пријемника нису довољни ресурси само једног типа, већ је потребна комбинација ресурса различитог типа, контролер ресурса врши груписање појединачних ресурса у руте. Рута се састоји од скупа ресурса, који су међусобно повезани, и као такви погодни за одређену функционалност дигиталног ТВ пријемника. Улога рута је поједностављење процеса тражења ресурса, јер се на овај начин, уместо појединачних захтева за ресурсе, подноси само један захтев за руту. Постоје различити типови рута. Међусобно се разликују по ресурсима који их формирају, али и по функционалности коју омогућавају, или по логичком смислу.

На основу функционалности разликују се: рута за инсталацију сервиса, рута за гледање телевизије уживо, рута за снимање садржаја и рута за репродукцију претходно снимљеног садржаја. Сви ови типови рута се међусобно разликују по ресурсима од којих су формиран. Рута за инсталацију сервиса је најједноставнија, са становишта ресурса, и обухвата фреквенцијски одабирач, демодулатор и демултиплексер. Ова рута уједно представља основу потребну за добијање садржаја из етра, са становишта ресурса физичке архитектуре. За гледање телевизије уживо потребно је на ове ресурсе додати још и видео и аудио декодер (само декодер у наставку поглавља), те рута за гледање телевизије уживо садржи ове ресурсе. Руте за снимање садржаја и репродукцију снимљеног садржаја се користе у контексту персоналног видео снимача. Рута за снимање садржаја повезује основу за добијање садржаја, односно фреквенцијски одабирач, демодулатор и демултиплексер, са меморијским складиштем и омогућава да се емитовани садржај запише у локално меморијско складиште. Са друге стране, циљ руте за репродукцију снимљеног садржаја је да прикаже на екрану претходно снимљен садржај из меморијског складишта, те се ова рута састоји од



меморијског складишта, демултиплексера и декодера. Као што се може видети, све ове руте се међусобно разликују логички, односно по функционалности коју омогућавају, и по садржају различитих типова ресурса. Увођење функционалности брзе промене канала захтева додатни, чисто логички, тип руте, а то је рута за индексирање уживо емитованог садржаја. Ова рута се користи за индексирање сервиса припремљених за брзу промену канала. Она је чисто логичка, јер се по саставу ресурса не разликује од руте за гледање телевизије уживо, већ је основна разлика та што на рути за индексирање декодер ради у режиму индексирања, те се садржај на приказује на екрану. Логичка разлика направљена увођењем новог типа руте је потребна управо да би се истакла ова разлика у конкретном временском тренутку, што поједностављује реализацију комплетног решења. Временска компонента, која је присутна у решењу које подржава брзу промену канала, потиче од чињенице да рута за индексирање у сваком тренутку може да постане рута за гледање телевизије уживо и обрнуто, уколико се изврши промена на припремљени сервис. Ова одлика не важи за остале типове рута, већ су оне увек истог типа.

Увођењем рута, задатак контролера ресурса постаје да обрађује захтеве за рутама, добијене од корисника овог модула, на основу функционалности коју тај корисник жели да оствари. Контролер ресурса је задужен да за сваки захтев прикупи одговарајући скуп ресурса, уколико је то могуће, и да га врати кориснику у виду руте. Како би могао исправно да обавља свој посао, неопходно је да зна тачно стање сваког појединачног ресурса у сваком тренутку. Управо за то је задужен модул за праћење тренутног стања у језгру контролера ресурса. Овај модул води евиденцију о свим претходно додељеним рутама, и ресурсима који сачињавају те руте, и представља памћење контролера ресурса потребно за доношење одлука о новопристиглим захтевима.

Поред тренутног стања ресурса, контролер ресурса мора да буде свестан и свих ограничења која постоје на платформи. Разликују се два типа ограничења: ограничења физичке архитектуре и логичка ограничења програмске подршке. Сваки дигитални ТВ пријемник има ограничења у виду физичке архитектуре, јер је број ресурса физичке архитектуре карактеристичних за дигиталне ТВ пријемнике, иако у порасту у односу на прошлост, и даље коначан и ограничен. Пример оваквог ограничења би било ограничење које омогућава приказ декодованог садржаја само са једног декодера, иако на платформи постоји више од једног декодера. У том случају остали декодери могу да се користе за индексирање садржаја, али није могуће реализовати одређене функционалности попут слике у слици. Још један пример би било ограничење у виду дељене DiSEqC склопке између већег броја сателитских фреквенцијских одабирача и демодулатора које ограничава све фреквенцијске одабираче и демодулаторе на један, исти, квадрант дефинисан поларизацијом и фреквенцијским опсегом, који може бити виши или нижи. Са друге стране, логичка ограничења програмске подршке су ограничења уведена од стране пројектаната програмске подршке, која онемогућавају коришћење одређених различитих функционалности паралелно, и поред чињенице да је то могуће са становишта капацитета физичке архитектуре. Снимање само једног

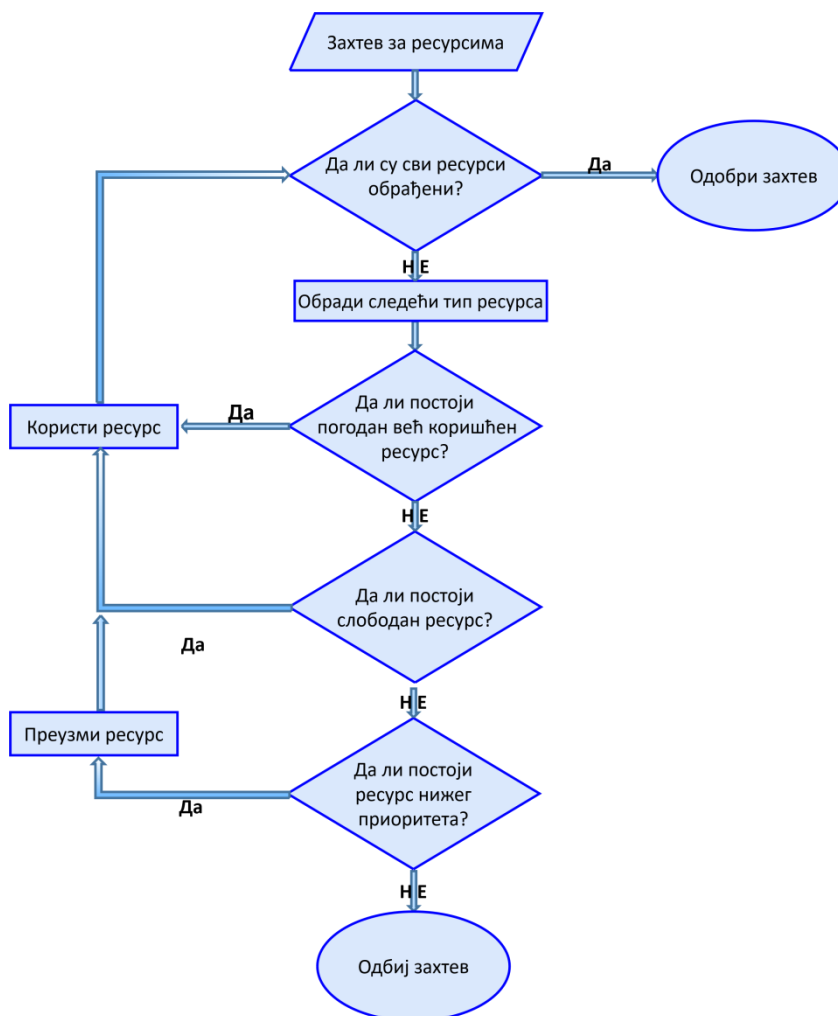
сервиса у сваком временском тренутку би био пример једног логичког ограничења. Јасно је да за различите платформе и средње слојеве програмске подршке могу да се разликују и логичка и ограничења физичке архитектуре, те је део програмске подршке задужен за дефинисање ограничења, као и њихово проверавање, на основу информација о тренутном стању свих ресурса, реализован као засебан модул, у циљу постизања лаке преносивости решења.

Основни задатак контролера ресурса, доделу ресурса, обавља модул за обраду захтева за ресурсима. У циљу постизања оптималног искоришћења ресурса обрада захтева се одвија по алгоритму приказаном на слици 19. Сви захтеви се обрађују секвенцијално, по редоследу доласка. Као што је већ речено, ради поједностављења реализације програмске подршке која користи контролер ресурса, сви захтеви се упућују у форми захтева за рутом. У оквиру контролера ресурса захтев за рутом се најпре трансформише у низ захтева за ресурсима, на основу типа руте. Затим се захтеви за ресурсима обрађују један по један. Први корак је да се провери да ли постоји ресурс траженог типа, који се већ користи у оквиру друге функционалности, а да је погодан и за нови захтев. На овај начин, вишеструким искоришћењем истог ресурса се постиже минимална могућа потрошња ресурса и обезбеђује се покретање већег броја функционалности паралелно. Овакви ресурси се називају дељени ресурси, а услов за дељење ресурса је да свака од функционалности, у оквиру којих ће се користити ресурс, захтева исту конфигурацију. Пример оваквих захтева би били захтеви за снимање и гледање истог сервиса, где се могу користити исти фреквенцијски одабирач, демодулатор и демултиплексер. Уколико не постоји ресурс који је могуће користити као дељени, обрада захтева за ресурсом се наставља тако што се тражи слободан ресурс одговарајућег типа. Уколико је погодан ресурс пронађен у једном од ова два корака, захтев за ресурсом се сматра успешно испуњеним, ресурс се привремено алоцира за дати захтев за рутом, и прелази се на обраду наредног захтева за ресурсом. Када су сви захтеви за ресурсима успешно испуњени, сматра се да је испуњен захтев за рутом, те се потврђује алокација руте и ресурса, ажурира се тренутно стање свих ресурса и рута се враћа кориснику који је поднео захтев.

Са друге стране, уколико један од прва два корака не пронађе погодан ресурс, дељени или слободан, у току обраде било ког захтева за ресурсима јавља се могућност да целокупан захтев за рутом буде одбијен. У случају одбијања захтева, привремено алоцирани ресурси се ослобађају, односно привремена алокација се брише и не утиче на евиденцију тренутног стања свих ресурса, док се кориснику враћа информација о грешци, односно немогућности испуњења захтева. Да ли ће заиста доћи до одбијања захтева или не, у овом случају зависи од приоритета захтева и тренутног стања ресурса.

Увођење приоритета је посебно потребно на дигиталним ТВ пријемницима са већим бројем подржаних функционалности, јер се на таквим дигиталним ТВ пријемницима очекују чешће конфликтне ситуације, у којима није могуће испунити нови захтев због тренутне заузетости ресурса. Такође, брза промена канала је једна од функционалности која значајно утиче на већи број конфликтних ситуација у тражењу

ресурса, јер увећава број кориштених ресурса на платформи на претходно описан начин. Приоритети захтева се одређују на основу типа руте која је тражена, односно на основу функционалности коју та рута треба да обезбеди. Приоритети рута су статички одређени и не мењају се у времену. Дефинисање приоритета је у програмској подршци издвојено у засебан модул, који иако једноставан, доприноси конфигурабилности решења, и лаким начину измене начина рада, у случају да је то потребно при пребацивању на другу платформу. Приоритети, коришћени у оквиру овог истраживања, су приказани у табели 4.



Слика 19. Алгоритам обраде захтева контролера ресурса

Тип руте	Приоритет
позадинска инсталација	1
брза промена канала	2
гледање снимљеног садржаја	3
снимање садржаја	4
гледање уживо	5
инсталација	6

Табела 4. Приоритети рута

Из табеле 4 се види да су виши приоритети додељени рутама, које треба да обезбеде функционалности које су директно видљиве кориснику, и које се покрећу на кориснички захтев, док руте које се извршавају у позадини, или се аутоматски покрећу из средњег слоја програмске подршке, без корисничког знања, имају нижи приоритет. Оваква расподела приоритета има за циљ да смањи број отказа, због недостатка ресурса, у случају акција захтеваних од стране корисника, као и број обавештења према кориснику да је потребна додатна одлука, због недостатка ресурса за испуњење свих тражених функционалности. Такође, може се видети да сви статички додељени приоритети припадају рутама, док ресурси сами за себе не поседују стални приоритет, већ се он мења у времену. Приоритет ресурса се одређује на основу руте у коју је ресурс укључен, једноставним преузимањем приоритета руте. У случају дељених ресурса, приоритет ресурса одговара највишем приоритету од свих рута у које је укључен. Слободни ресурси немају приоритет, јер нису у том тренутку укључени ни у једну руту, али њима приоритет није ни потребан, јер се он користи само у конфликтним ситуацијама, до којих долази уколико се не пронађе погодан дељени или слободан ресурс.

Евалуација приоритета ресурса се врши уколико дође до конфликтне ситуације и управо резултат ове евалуације одређује да ли ће тренутно обрађивани захтев бити одбијен, или ће нека друга функционалност бити заустављена, као мање приоритетна. Евалуација се врши поређењем приоритета обрађиваног ресурса са приоритетима које у том тренутку поседују заузети ресурси. Уколико је приоритет захтева већи отвара се могућност да дође до приоритизованог преузимања ресурса, односно до преузимања датог ресурса за нову функционалности, и заустављања тренутно активне функционалности нижег приоритета. Битно је напоменути да се ово преузимање ресурса не обавља тренутно, већ, као и код привремене алокације ресурса у једном од прва два корака, чека се крај обраде свих захтева за ресурсима, па се тек онда врши ажурирање стања ресурса, где спада и приоритизовано преузимање ресурса, само у случају успешно испуњених свих захтева. Овакав редослед операција има за циљ да спречи ситуације у којима долази до заустављања тренутно активних функционалности, због преузимања ресурса, у току обраде једног захтева за ресурсом, а да се потом испостави да није могуће испунити захтев за рутом, због недостатка ресурса другог типа. У случајевима када долази до преузимања ресурса, неопходно је о томе обавестити кориснике контролера ресурса, те је то задатак модула за слање обавештења корисницима о променама стања ресурса. Овај модул чува информације о свим регистрованим корисницима и обавештава их када изгубе претходно додељене ресурсе. У циљу смањења последица приоритизованог преузимања ресурса, при избору ресурса који треба да буде украден, посматрају се два различита приоритета. Један је већ поменути приоритет ресурса, преузет од најзначајније руте у коју је ресурс укључен, док други представља кумулативни приоритет. Кумулативни приоритет представља суму приоритета свих рута у којима је ресурс ангажован, и разликује се од додељеног приоритета ресурса само у случају дељених ресурса. Његов утицај се види у ситуацијама када се евалуацијом открије да постоји више од једне потенцијалне мете за приоритизовано преузимање ресурса, односно да постоји више од једног ресурса

једнаког приоритета, који је уједно мањи од приоритета обрађиваног захтева. Наравно, увек се бира ресурс најмањег приоритета да буде мета преузимања ресурса, а у случају да постоји више од једног ресурса са тим, најнижим, приоритетом, пореди се њихов кумулативни приоритет, како би се при преузимању ресурса зауставио што мањи број покренутих функционалности што нижег приоритета, а све у циљу постизања што је могуће вишег нивоа корисничког доживљаја, чак и у конфликтним ситуацијама, када је неопходно ускратити корисника за неку од функционалности.

#### 5.4.2 Псеудо код алгорита контролера ресурса

Псеудо код алгорита коришћеног у оквиру контролера ресурса дат је у наставку.

Обрада захтева се врши извршењем функције `handleRouteRequest`.

```

01: let Tuners be array with tuners information // Подаци о фреквенцијским одабирачима
02: let Demuxers be array with demultiplexers information // Подаци о демултиплексерима
03: let Decoders be array with decoders information // Подаци о декодерима
04: let Storages be array with mass storages information // Подаци о меморији
05: let Resources be map with following key-val pairs // Мапа свих ресурса
06: {
07:   {TUNER, Tuners},
08:   {DEMUX, Demuxers},
09:   {AV, Decoders},
10:   {MS, Storages},
11: }
12:
13: func checkReuseRes(req): // Тражење погодног дељеног ресурса
14:   if resType(req) == AV return false // Декодер није могуће делити
15:   if resType(req) == MS return true // Меморија је увек дељива
16:
17:   foreach res in Resources[resType(req)]
18:     if res.freq == req.freq // Дељење је могуће када је иста фреквенција
19:       claimResource(res, req)
20:       return true
21:   return false
22:
23: func checkFreeRes(req): // Тражење слободног ресурса
24:   if resType(req) == MS return true // Меморија се увек сматра слободном
25:
26:   foreach res in Resources[resType(req)]
27:     if res.free
28:       claimResource(res, req)
29:       return true
30:   return false
31:
32: func claimResource(res, request):
33:   res.free = false
34:   res.requests.add(request) // Додај корисника у листу
35:   res.prio = res.prio >= request.prio ? res.prio : request.prio // Највећи приоритет
36:   if resType(res) != AV && resType(res) != MS // небитно за меморију и декодер
37:     res.freq = request.freq
38:
39: func checkPrio(res):
40:   foreach chk in Array[resType(res)]
41:     if res.prio > chk.prio
42:       takeOverResource(chk, res)
43:       return true
44:   return false
45:
46: func takeOverResource(res):
47:   foreach req in res.request
48:     notifyStop(req) // Обавести корисника ресурса о преузимању
49:     res.requests.remove(req) // Уклони корисника из листе
50:   claimResource(res, request)
51:
52: func handleResourceRequest(request):
53:   if checkReuseRes(request) return true // 1. Тражи дељени ресурс
54:   if checkFreeRes(request) return true // 2. Тражи слободан ресурс
55:   if checkPrio(request) return true // 3. Тражи ресурс за преузимање
56:   return false // Не постоји погодан ресурс, одбијен захтев

```

```

57:
58: func handleRouteRequest(request):
59:     resources = transformRouteRequestToResources(request)
60:     foreach res in resources
61:         if !handleResourceRequest(res) return false //Сви ресурси морају бити доступни
62:     return true

```

Алгоритам 2. Алгоритам за обраду захтева за руте

### 5.4.3 Математички модел контролера ресурса

Проблем доделе ресурса који решава контролер ресурса је погодан за представљање математичким моделом. На тај начин је могуће исказати правилности и законитости, које се појављују у току рада контролера ресурса, математичким формулама, и уврстити их у општи модел са произвољним бројем ресурса сваког типа. Такав модел може да се користи у симулацијама и да се стекне увид како се систем понаша у различитим условима, односно како број доступних ресурса на платформи и редослед захтева за ресурсима утичу на испуњење датих захтева.

У циљу дефинисања математичког модела, најпре је потребно дефинисати одређене скупове који представљају захтеве и ресурсе којима се управља. Као што је објашњено у претходном поглављу, захтеви који се упућују ка контролеру ресурса су захтеви за рутама, које одговарају одређеним функционалностима. Па тако скуп подржаних функционалности можемо означити са  $Z$  и он садржи следеће функционалности:

$$Z = \{ \text{позадинска инсталација, брза промена канала, гледање снимљеног садржаја, снимање садржаја, гледање уживо, инсталација} \}$$

(5-1)

Уједно овај скуп представља и скуп захтева које је могуће упутити контролеру ресурса. Након дефинисања скупа функционалности, односно рута, потребно је дефинисати и типове појединачних ресурса којима управља контролер ресурса. Овај скуп можемо означити са  $Res$  и он садржи следеће елементе:

$$Res = \{ \text{фреквенцијски одабирач (O), демултиплексер (D), декодер (AV), меморија (M)} \}$$

(5-2)

Додатно, потребно је дефинисати и скупове расположивих инстанци за сваки од типова ресурса из скупа  $Res$ :

$$O = \{ O_1, O_2, \dots, O_o \mid o \in \mathbb{N} \}$$

(5-3)

$$D = \{ D_1, D_2, \dots, D_d \mid d \in \mathbb{N} \}$$

(5-4)

$$AV = \{AV_1, AV_2, \dots, AV_a \mid a \in \mathbb{N}\} \quad (5-5)$$

$$M = \{M_1\} \quad (5-6)$$

Може се видети да у оквиру модела постоји произвољан природни број ресурса сваког типа, осим меморије, која постоји само једна и сматра се искористивом за бесконачан број корисника истовремено.

Наредни корак у прављењу математичког модела је дефинисање правила на основу којих се захтеви за рутама трансформишу у захтеве за ресурсима. Ова правила су јасно одређена ресурсима који сачињавају руте, односно који су потребни за одређене функционалности. Дата правила могу се записати на следећи начин:

$$Z_{gu}(i) = Z_{bpk}(i) = \{O(i) + D(i) + AV(i)\} // 3 \quad (5-7)$$

$$Z_i(i) = Z_{pi}(i) = \{O(i) + D(i)\} // 2 \quad (5-8)$$

$$Z_s(i) = \{O(i) + D(i) + M(i)\} // 3 \quad (5-9)$$

$$Z_{gs}(i) = \{M(i) + D(i) + AV(i)\} // 3 \quad (5-10)$$

где су  $Z_{gu}$ ,  $Z_{bpk}$ ,  $Z_i$ ,  $Z_{pi}$ ,  $Z_s$  и  $Z_{gs}$  функције које описују доделу ресурса, у  $i$ -том тренутку, на основу захтева за рутама за гледање садржаја уживо, брзу промену канала, инсталацију, позадинску инсталацију, снимање садржаја и гледање снимљеног садржаја респективно. Додатно  $O$ ,  $D$ ,  $AV$  и  $M$  представљају функције које описују доделу фреквенцијског одабирача, демултиплексера, декодера односно меморије у  $i$ -том тренутку. У циљу нормализације резултата, односно свођења кодомена свих датих функција на скуп дискретних вредности  $\{0, 1\}$ , у оквиру функција које описују обраду захтева за рутом врши се целобројно дељење са бројем ресурса који учествују у формирању дате руте. Додатно, и функције које описују доделе појединачних ресурса треба да имају исти кодомени. На овај начин се број успешно испуњених захтева, у току рада контролера ресурса, може једноставно израчунати сабирањем вредности функција за обраду захтева за рутама за све улазе. У овом случају улазни параметар, односно независна променљива је само временски тренутак  $i$  у ком се захтев обрађује, која узима вредности из скупа природних бројева редом. За сваки модел важи претпоставка да у сваком временском тренутку  $i$  постоји 1 захтев који се обрађује, који може бити или захтев за доделу или за ослобађање ресурса. Ослобађање ресурса се дешава у тренутку када се стомира функционалност у оквиру које се ресурс користио. На основу ове претпоставке могу се дефинисати два подскупа скупа природних бројева,  $ZF$  и  $ZS$

који садрже тренутке у којима се обрађују захтеви за функционалностима, односно за ослобађањем ресурса. Како би било могуће стопирати функционалност, она мора најпре да буде покренута, те је потребно водити евиденцију о свим покренутим функционалностима у сваком тренутку, што се може учинити формирањем скупа  $AF$  који је инцијално празан, а затим се функционалности додају у њега након испуњеног захтева за покретање, а избацују након испуњеног захтева за стопирање. Јасно је да је за комплетирање модела потребно дефинисати и функције  $O$ ,  $D$ ,  $AV$  и  $M$  за доделу појединачних ресурса. Дефиниција ових функција је приказана у наредним потпоглављима за три различита модела који представљају одређене степене у оквиру развоја коначног контролера ресурса.

Након дефинисања скупова  $ZF$  и  $ZS$  могу се дефинисати и функције за обраду захтева за функционалностима, односно захтева за ослобађањем ресурса. Уколико са  $Res$  означимо произвољни тип ресурса, функцију за ослобађање ресурса,  $S$ , можемо записати као:

$$SRes(i) = \begin{cases} 0, & i \notin ZS \\ 0, AF(i) \text{ не садржи потребну функционалност} \\ 1, & Res_i < Res_{max} \\ 0, & Res_i = Res_{max} \end{cases} \quad (5-11)$$

где  $Res_i$  и  $Res_{max}$  представљају тренутно коришћени и максимални број ресурса датог типа, при чему се користе иста правила за трансформисање рута у ресурсе као при захтевима за доделу ресурса. Дакле, функција за ослобађање ресурса враћа 0 уколико у датом тренутку  $i$  не постоји такав захтев, уколико функционалност није претходно покренута, или уколико је број слободних ресурса датог типа једнак максималном броју ресурса тог типа, што значи да се ресурс не користи у том тренутку, односно да је захтев за ослобађањем невалидан. Са друге стране, уколико је захтев валидан повратна вредност је 1.

Аналогно функцији за ослобађање ресурса и функције за обраду захтева за функционалностима враћају 0 у тренутцима када се не дешава обрада захтева за ресурсима, односно ова функција се може записати на следећи начин:

$$Z(i) = \begin{cases} 0, i \notin ZF \\ Z_z \end{cases} \quad (5-12)$$

где  $Z_z$  представља неку од претходно описаних функција (5-7) – (5-10).

#### 5.4.3.1 Модел без дељења ресурса и приоритета

У оквиру првог модела не постоји дељење ресурса, односно једном заузети ресурс се не може искористити у оквиру друге функционалности. Такође, не постоје ни приоритети, те није могуће извршити приоритизовано преузимање ресурса и преузети туђи ресурс. Функције за доделу појединачних ресурса су дате у наставку.



$$O(i) = \begin{cases} 1, & OS(i) > 0 \\ 0, & OS(i) = 0 \end{cases},$$

(5-13)

где је  $OS$  функција која показује да ли постоји слободан фреквенцијски одабирач у датом тренутку и мења се по следећим правилима:

$$OS(0) = o \mid OS(i) = OS(0) - \sum_{j=1}^{i-1} ZO(j) + \sum_{j=1}^{i-1} SZO(j)$$

(5-14)

где су  $ZO$  и  $SZO$  резултати захтева у оквиру којих је захтеван фреквенцијски одабирач, односно ослобађање фреквенцијског одабирача респективно.

$$D(i) = \begin{cases} 1, & DS(i) > 0 \\ 0, & DS(i) = 0 \end{cases},$$

(5-15)

где је  $DS$  функција која показује да ли постоји слободан демултиплексер у датом тренутку и мења се по следећим правилима:

$$DS(0) = d \mid DS(i) = DS(0) - \sum_{j=1}^{i-1} ZD(j) + \sum_{j=1}^{i-1} SZD(j)$$

(5-16)

где су  $ZD$  и  $SZD$  резултати захтева у оквиру којих је захтеван демултиплексер, односно ослобађање демултиплексера респективно.

$$AV(i) = \begin{cases} 1, & AVS(i) > 0 \\ 0, & AVS(i) = 0 \end{cases},$$

(5-17)

где је  $AVS$  функција која показује да ли постоји слободан декодер у датом тренутку и мења се по следећим правилима:

$$AVS(0) = a \mid AVS(i) = AVS(0) - \sum_{j=1}^{i-1} ZAV(j) + \sum_{j=1}^{i-1} SZAV(j)$$

(5-18)

где су  $ZAV$  и  $SZAV$  резултати захтева у оквиру којих је захтеван декодер, односно ослобађање декодера респективно.

$$M(i) = 1 \mid \forall i \in \mathcal{N}$$

(5-19)

Може се видети да су захтеви за меморијом увек успешно извршени, јер се она сматра искористивом за бесконачан број корисника истовремено, док се код осталих типова ресурса води рачуна о броју слободних ресурса у датом тренутку. Такође, из

дефиниција функција јасно је да је кодомен свих функција сведен на скуп  $\{0, 1\}$ , што је био циљ.

#### 5.4.3.2 Модел са дељењем ресурса

Главна промена коју уводи други модел је могућност вишеструког искоришћења истог ресурса у оквиру више рута истовремено. Док је у оквиру првог модела ову могућност имала само меморија, у оквиру другог модела могуће је вишеструко искористити и фреквенцијски одабирач и демултиплексер. Вишеструко коришћење неког ресурса називамо дељење ресурса. Услов за дељење фреквенцијског одабирача и демултиплексера је да се у оквиру свих функционалности које користе ови ресурси користи иста фреквенција, односно сервиси са истог мултиплекса.

Да би било могуће математички моделирати овакав модел са подршком за дељење ресурса, неопходно је дефинисати додатне скупове, као и додатна правила. Најпре је потребно дефинисати скуп свих расположивих фреквенција  $F$ .

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_f, -1 \mid f \in \mathcal{N}\}$$

( 5-20 )

У оквиру овог скупа налазе се све фреквенције које садрже мултиплексе са сервисима дигиталне телевизије, као и вредност  $-1$  која служи да јасно искаже да неки од захтева не дозвољава дељење ресурса. Додатно је потребно дефинисати функције помоћу којих се води евиденција о тренутно коришћеној фреквенцији за фреквенцијске одабираче и демултиплексере, како би ови ресурси могли да се деле када се стекну услови за то. Ова евиденција се води помоћу додатних променљивих  $O_{f_1}, O_{f_2}, \dots, O_{f_f}$  које одговарају фреквенцијским одабирачима на фреквенцијама  $f_1, f_2, \dots, f_f$  респективно, односно  $D_{f_1}, D_{f_2}, \dots, D_{f_f}$  које имају исту сврху за демултиплексере. Почетна вредност свих ових променљивих је  $0$ , док се вредност ажурира након обраде сваког захтева, што се може записати следећим формулама:

$$O_{fj0} = D_{fj0} = 0 \mid j \in \{1, 2, \dots, f\}$$

( 5-21 )

$$O_{fji} = O_{fj(i-1)} + Z(i, f_j) - SO(i, f_j)$$

( 5-22 )

$$D_{fji} = D_{fj(i-1)} + Z(i, f_j) - SD(i, f_j)$$

( 5-23 )

где  $i$  означава временски тренутак обраде захтева, док  $SO$  и  $SD$  представљају функције које одговарају захтевима за ослобађање ресурса, односно заустављање активне функционалности, слично као у првобитном моделу, док је разлика да постоји и додатна независна променљива,  $f_j$ , у виду фреквенције. Функција за ослобађање ових типова ресурса се у овом случају мења и добија следећи облик:

$$SRes(i, f_j) = \begin{cases} 0, & i \notin ZS \\ 0, & AF(i) \text{ не садржи потребну функционалност} \\ 1, & Res_{f_j i} > 0 \\ 0, & Res_{f_j i} = 0 \end{cases} \quad (5-24)$$

односно ресурс се ослобађа уколико стигне такав захтев у тренутку када постоји ресурс који се користи на датој фреквенцији у датом тренутку.

Видљиво је из претходно наведених формула да у оквиру модела са дељењем ресурса обрада захтева више не зависи само од временског тренутка као независне променљиве, већ се уводи додатна независна променљива  $f_j$ , што се аналогно преноси и на све захтеве за ресурсима. Након увођења додатне независне променљиве функције за обраду захтева за фреквенцијске одабираче и демултиплексере се трансформишу са додатним правилима за доделу ових ресурса, док функције за доделу декодера и меморије остају исте.

$$O(i, f_j) = \begin{cases} 1, & O_{f_j(i-1)} > 0 \\ O(i) \end{cases} \quad (5-25)$$

Уз ову измену мења се и начин рачунања слободних ресурса, јер више не зависи само од броја испуњених захтева, пошто један ресурс може да буде додељен као дељени ресурс у више захтева. Из тог разлога, функција за проверу броја слободних ресурса у произвољном тренутку се мења тако да се заснива на провери броја фреквенција на којима се користе фреквенцијски одабирачи и добија следећи облик:

$$OS(i) = o - \sum_{j=1}^f \begin{cases} 1, & O_{f_j(i-1)} > 0 \\ 0, & O_{f_j(i-1)} = 0 \end{cases} \quad (5-26)$$

$$D(i, f_j) = \begin{cases} 1, & D_{f_j(i-1)} > 0 \\ D(i) \end{cases} \quad (5-27)$$

Као и у случају фреквенцијских одабирача, и код демултиплексера, као код ресурса који може бити дељени, мења се функција за проверу броја доступних ресурса у произвољном тренутку и аналогно случају фреквенцијских одабирача добија следећи облик:

$$OD(i) = d - \sum_{j=1}^f \begin{cases} 1, & D_{f_j(i-1)} > 0 \\ 0, & D_{f_j(i-1)} = 0 \end{cases} \quad (5-28)$$

$$AV(i, f_j) = AV(i) \quad (5-29)$$

$$M(i, f_j) = M(i) \quad (5-30)$$

Дакле, промена код функција за  $O$  и  $D$  је та, да се као први корак проверава да ли се тренутно већ користи дати ресурс на траженој фреквенцији, као резултат обраде претходних захтева, и у том случају долази до дељења ресурса и захтев је одобрен. Уколико не постоји погодан ресурс, тада се додела врши на исти начин као у претходном моделу уз измену при провери броја слободних ресурса у произвољном тренутку.

#### 5.4.3.3 Модел са дељењем ресурса и приоритетима

Трећи модел, који уједно представља и завршно решење, додатно уводи приоритете и приоритизовано преузимање ресурса. У ту сврху најпре је потребно дефинисати скуп свих могућих вредности приоритета  $P$ . Дате вредности се користе да опишу приоритет захтева, руте и ресурса.

$$P = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} \quad (5-31)$$

Овај скуп се пресликава на скуп функционалности  $Z$ , тако што се приоритети додељују функционалностима на тај начин што приоритет из скупа  $P$  на  $i$ -тој позицији се додељује функционалности на  $i$ -тој позицији у скупу  $Z$ . Дакле, приоритети се статички додељују функционалностима, односно рутама, при чему 1 представља најнижи, а 6 највиши приоритет, који се додељују позадинској инсталацији и инсталацији респективно.

Пошто се захтеви обрађују на нивоу ресурса, а не рута, потребно је доделити и приоритет ресурсима. Ипак, ова додела се не врши статички, као у случају рута, већ ресурси преузимају приоритет од рута у којима учествују, и то тако што се узима највећи приоритет од свих рута у којима ресурс учествује. Због тога је неопходно водити евиденцију о свим рутама у којим ресурс учествује и о њиховим приоритетима. Кад ресурс не учествује ни у једној рути, нема приоритет. Ако низ приоритет било ког ресурса означимо са  $ResP$ , доделу приоритета ресурсима можемо записати као:

$$ResP_0 = \emptyset \quad (5-32)$$

$$ResP_i = \{ResP_{i-1}\} \cup \{p_1 * ZRes(i, f_j, p_1)\} \setminus \{p_2 * SRes(i, f_j)\}, \quad (5-33)$$

где  $p_1$  и  $p_2$  представљају вредности приоритета захтева за ресурсе и ослобађање ресурса респективно, а  $ZRes$  и  $SRes$  дате захтеве. На основу формуле се види да до

промене вредности ресурса може доћи само у случају да је неки од захтева одобрен, јер се вредност ресурса множи са резултатом обраде захтева. У случају да је захтев одбијен, резултат је 0, те аутоматски и производ тог резултата и вредности приоритета постаје 0, те не утиче на приоритет ресурса, јер се у обзир узима максимална вредност из низа приоритета придружених ресурсу. У случају одобреног захтева за ресурсима додају се нове вредности у низ придружених приоритета датог ресурса, док се у случају одобреног захтева за ослобађање ресурса вредност избацује из низа придружених приоритета.

Као што се може видети из претходних функција, захтев за ресурсима у трећем моделу добија још једну независну променљиву те функције за доделу ресурса добијају следећи облик:

$$O(i, f_i, p) = \begin{cases} 1, & O_{f_j(i-1)} > 0 \\ 1, & OS(i) > 0 \\ 1, & \exists z | \max\{O_z P_i\} < p \\ 0 & \end{cases} \quad (5-34)$$

$$D(i, f_i, p) = \begin{cases} 1, & D_{f_j(i-1)} > 0 \\ 1, & DS(i) > 0 \\ 1, & \exists z | \max\{D_z P_i\} < p \\ 0 & \end{cases} \quad (5-35)$$

$$AV(i, f_i, p) = \begin{cases} 1, & AVS(i) > 0 \\ 1, & \exists z | \max\{AV_z P_i\} < p \\ 0 & \end{cases} \quad (5-36)$$

$$M(i, f_i, p) = M(i) \quad (5-37)$$

Дакле, у случају фреквенцијских одабирача и демултиплексера, измена у односу на претходни модел је да уколико се не пронађе погодан ресурс за дељење, као ни слободан ресурс, проверава се да ли постоји ресурс са приоритетом нижим од приоритета захтева који се обрађује, што га чини погодним за приоритизовано преузимање ресурса, при чему се за приоритет ресурса узима максимална вредност из низа придружених приоритета. Уколико се такав ресурс пронађе он се преузима од стране новог захтева који је одобрен у том случају, а у супротном захтев је одбијен. У случају декодера, такође се, као додатни корак, проверава да ли је могуће извршити приоритизовано преузимање ресурса, уколико не постоји слободан ресурс. Уколико дође до приоритизованог преузимања ресурса, интерно се аутоматски извршава захтев за ослобађање ресурса, након чега се наставља са обрадом захтева за доделу ресурса током које је дошло до преузимања.

## 5.5 Видео индексер

Поред контролера брзе промене канала и контролера ресурса, модул који је потребно додати програмској подршци дигиталног ТВ пријемника је видео индексер. За разлику од два поменута контролера, који се налазе у вишим слојевима средњег слоја програмске подршке, видео индексер припада слоју за апстракцију физичке архитектуре и основна улога му је да обезбеди спрегу ка декодеру, у циљу коришћења декодера за индексирање садржаја, потребно за припремљене сервисе који су мете за брзу промену канала.

Индексирање видео садржаја се своди на декодовање садржаја на исти начин који се користи и при приказивању тог садржаја, са разликом што се у случају индексирања слике не исцртавају на екрану, већ се води евиденција о позицијама кључних слика, и саме слике се чувају спремне за приказ у сваком тренутку. Циљ индексирања је смањење времена потребног за синхронизацију видео и аудио садржаја, по пребацивању на дати сервис, на тај начин што је потрага за кључном сликом већ обављена, и може се одмах почети са приказивањем декодованих слика.

У оквиру спроведеног истраживања видео декодер је могао да ради и као индексер, што уједно представља и најбољу могућу опцију, те се суштина реализације овог модула свела на обезбеђивање спрега за постављање декодера у жељени режим рада и додатну конфигурацију. Најзначајнији аспекти додатне конфигурације се односе на подешавање величине меморијских сегмената коришћених у декодеру за пријем и декодовање садржаја, као и подешавање броја декодованих слика које се чувају спремне за приказ по промени сервиса. Ови параметри су у уској вези са начином кодовања садржаја. Одређена правилност, која се може уочити, је да је за садржај ниже резолуције потребно користити мање количине меморије у декодеру, док са порастом резолуције и потребна количина меморије за смештање садржаја за декодовање расте. Овакво понашање је последица саме величине слика у кодованом садржају, где слике веће резолуције имају и већи меморијски отисак, али и чињенице да сама реализација руковаоца декодером почиње са декодовањем садржаја тек након одређеног нивоа попуњености меморије намењене за смештање садржаја пре декодовања. Кад је реч о броју слика које је потребно чувати након декодовања као спремне за приказивање, увиђа се правилност да са порастом резолуције, број потребних сачуваних слика расте, јер сам процес декодовања и генерисања нових слика брже протиче за садржаје ниже резолуције, те је стога мањи ризик да се не припреми нова слика након пребацивања сервиса, а да се све претходно сачуване слике прикажу.

У случају када режим рада видео индексера није подржан у декодеру реализованом у физичкој архитектури, могуће је користити решење реализовано у потпуности у програмској подршци. То решење је засновано на реализацији самог декодера у програмској подршци и на екстрактору слика. На тај начин је могуће симулирати исти процес, који се одвија и у декодеру реализованом у физичкој архитектури, када ради у режиму видео индексера, односно декодовање и чување слика. У оквиру описаног истраживања развијен је и основни доказ да је овај приступ могућ. Ипак решење засновано у потпуности на програмској подршци захтева већу процесну моћ

платформе, и представља додатно оптерећење за комплетан уређај, како би дало приближне резултате решењу заснованом на физичкој архитектури. Како реализација овог модула није представљала један од главних циљева истраживања, ова тема није продубљена и доведена до пуног потенцијала, који је могуће остварити користећи искључиво програмску подршку, без подршке у физичкој архитектури.

## 6 Мерења и резултати

У овом поглављу су описани детаљи процеса тестирања. Такође, представљени су добијени резултати, као и њихово поређење са резултатима других истраживања. Поред корака у самом процесу тестирања, дат је опис коришћене платформе како би добијени резултати могли да се ставе у прави контекст, и да се стекне потпун увид и разумевање представљених резултата.

### 6.1 Опис платформе

Тестирање описаног решења, након његове реализације на конкретном средњем слоју програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, је извршено на сателитском дигиталном ТВ пријемнику. На ТВ пријемнику се налазе два широко-појасна фреквенцијска одабирача, способна да у сваком тренутку прибављају податке из једног комплетног квадранта, четири демодулатора, осам демултиплексера и четири пара видео и аудио декодера, где сваки од видео декодера може да буде или у режиму видео индексера или у режиму видео декодера. На основу описаних компоненти физичке архитектуре специфичних за дигиталне ТВ пријемнике јасно је да је могуће истовремено добијати податке са не више од четири мултиплекса, који се могу налазити у највише два квадранта. Четири мултиплекса могу да садрже четири или више сервиса, а даља ограничења која су постављена физичком архитектуром су да се не може користити више од осам сервиса истовремено, што је одређено бројем демултиплексера, док се од поменутих осам само четири могу користити за приказивање садржаја уживо и припрему за брзу промену канала.

Захтеви постављени пред програмску подршку овог дигиталног ТВ пријемника су да се поред брзе промене канала подржи и могућност истовременог снимања до два сервиса уз временски померену репродукцију додатног сервиса. Потребно је подржати широк спектар антенских уређаја, који се повезују на два фреквенцијска одабирача, где спадају и антене са мотором, DiSEQc уређаји и др. Интерактивна телевизија у виду HbbTv-а је такође подржана, као и сет стандардних функционалности у виду вишеструких аудио трака и вишејезичних превода, електронски програмски водич за



осам дана и могућност креирања произвољне сервис листе од стране корисника. Изабрани дигитални ТВ пријемник подржава сервисе стандардне, високе и ултра високе резолуције за све наведене функционалности. Поред свих ових функционалности важно је истаћи да дигитални ТВ пријемник поседује и висок степен заштите садржаја и управљања дигиталним правима, што уводи додатна ограничења и захтеве, са аспекта сигурности, при реализацији свега наведеног.

Главни задаци и изазови, при додавању функционалности брзе промене канала овом дигиталном ТВ пријемнику, су се односили на исправно увођење контролера брзе промене канала и контролера ресурса у програмску подршку, како се не би нарушили други аспекти комплексног решења програмске подршке. Додавање ова два контролера, који реализују брзу промену канала, је урађено на следећи начин. Најпре су прикупљене информације о компонентама физичке архитектуре, које су од интереса контролеру ресурса, како би могла да се успостави централизована контрола ресурса. Овај корак је реализован коришћењем постојећих спрега у средњем слоју програмске подршке дигиталног ТВ пријемника. Контролер брзе промене канала је преузео реализацију спрега за промену гледаног сервиса и регистрацију за добијање обавештења о овом процесу, док су ове спрегe у средњем слоју програмске подршке постале интерне спрегe, које више нису доступне корисничкој апликацији. На овај начин контролер брзе промене канала је преузео потпуну контролу над процесом промене канала кроз реализацију слоја за апстракцију средњег слоја програмске подршке. Концептом привремено складиштених обавештења је обезбеђено исправно функционисање свих функционалности дигиталног ТВ пријемника, након увођења подршке за брзу промену канала.

## 6.2 Опис процеса тестирања

Тестирање реализованог решења је спроведено кроз низ промена канала у различитим околностима. У ту сврху је успостављено полуаутоматизовано окружење, које симулира задавање корисничких команди за промене канала у одређеним временским интервалима, док се на дигиталном ТВ пријемнику у току извршавања процеса промене канала бележе временске одреднице значајних тренутака у овом процесу, како би се каснијом анализом и обрадом датих временских одредница могли извући подаци о трајању самог процеса промене канала, али и његових појединих делова. У тестирању су коришћени канали стандардне, високе и ултра високе дефиниције. Такође, тестови су покретани са различитим почетним стањем, са аспекта оптерећења дигиталног ТВ пријемника, од ситуације када се на дигиталном ТВ пријемнику врши искључиво гледање сервиса уживо и промена канала, до ситуација када се истовремено снимају два сервиса ултра високе дефиниције. Каснијом анализом резултата се испоставило да оптерећење дигиталног ТВ пријемника другим функционалностима не утиче на време процеса промене канала. Поред времена потребног за извршење промене канала, проверавана је и тачност самог процеса промене канала, односно да ли је сваки пут резултат промене канала промена на жељени сервис, што је био случај у 100% тестних случајева.

У првој фази тестирања, прикупљању података, вршене су промене канала на тај начин да се део промена изврши као брза промена канала, а део као обична промена канала. Финални резултати садрже више од 600 промена канала сваког типа, односно и брзих промена канала и обичних. Време трајања промене канала се одређује из прикупљених података, на основу временских одредница, на тај начин што се израчуна разлика између временске одреднице забележене у тренутку пријема команде за промену канала у руковаоцу инфрацрвеним сензором и временске одреднице која представља тренутак када се од декодера добије информација да је прва слика приказана на екрану. Поред овог, комплетног, времена процеса промене канала и поменутих временских одредница, бележене су и додатне временске одреднице које одговарају тренутку када команда за промену канала стигне до средњег слоја програмске подршке, када се започне конфигурација фреквенцијског одабирача, када започне пријем података са фреквенцијског одабирача, када се покрену видео и аудио декодери и када се успешно издекодује прва слика из видео тока података. Бележење свих ових временских одредница има за циљ да омогући израчунавање трајања појединих подпроцеса процеса промене канала, као и идентификовање делова програмске подршке који су већи или мањи потрошачи времена у овом процесу. Сва израчунавања се обављају у другој фази тестирања, која подразумева анализу и обраду прикупљених података из прве фазе.

У циљу реализације анализе и обраде прикупљених података, написане су једноставне скрипте у Python програмском језику, за обраду и визуализацију података. Ове скрипте представљају саставни део успостављеног полуаутоматизованог тестног окружења, а имају за циљ да најпре издвоје временске компоненте које припадају појединачним процесима промене канала, затим да разврстају све издвојене промене канала у две групе на основу тога да ли је извршена брза промена канала или обична, и на крају да израчунају сва тражена времена на основу временских одредница и прикажу добијене резултате.

### 6.3 Резултати процеса тестирања

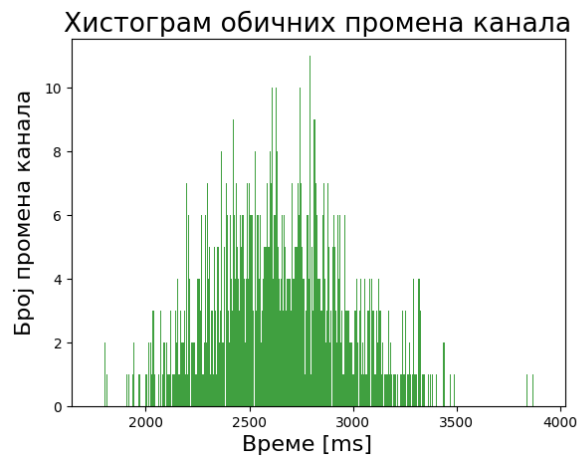
Као што је већ поменуто, у коначној обради и анализи су учествовали резултати преко 600 брзих промена канала и преко 600 обичних промена канала између сервиса стандардне, високе и ултра високе дефиниције. Први предуслов, да су све промене канала успешно и тачно извршене је испуњен, па је могуће приступити рачунању убрзања и појединих статистичких фактора. У оквиру обраде су израчуната просечна времена обичне промене канала и брзе промене канала, како би могла да се уочи разлика између њих, односно постигнуто убрзање. Ови резултати су приказани у табели 5.

Тестни случај	Просечно време промене канала
Обична промена канала	2648 ms
Брза промена канала	650 ms
Убрзање	1998 ms

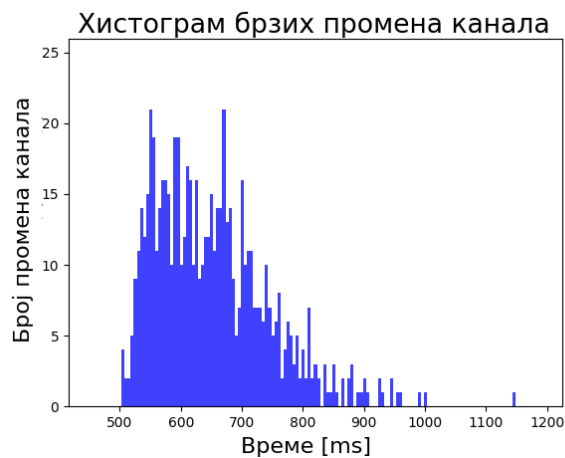
Табела 5. Резултати тестирања

На основу података из табеле 5 може се видети да је просечно време промене канала, када се говори о брзој промени канала, односно о промени канала на један од припремљених сервиса, више од четири пута брже него просечно време обичне промене канала. Убрзање од готово две секунде, које се постиже на овај начин, односно 4.07 пута краће време које је потребно за промену канала представља значајан напредак и кад се говори о релативним и апсолутним вредностима, односно без сумње позитивно утиче на кориснички доживљај. Ове закључке је могуће извести из представљених резултата и без упоређивања времена са резултатима постигнутим у другим истраживањима из ове области.

Погодан начин за визуализацију резултата, где се јасно графички може приказати утицај сваке појединачне промене канала је хистограм. Због боље прегледности хистограма обичних и брзих промена канала су раздвојени на две слике, слике 20 и 21 респективно. Оба хистограма наравно имају исте вредности приказане на осама, односно време промене канала и број промена канала који одговара том времену.



**Слика 20. Хистограм обичних промена канала**

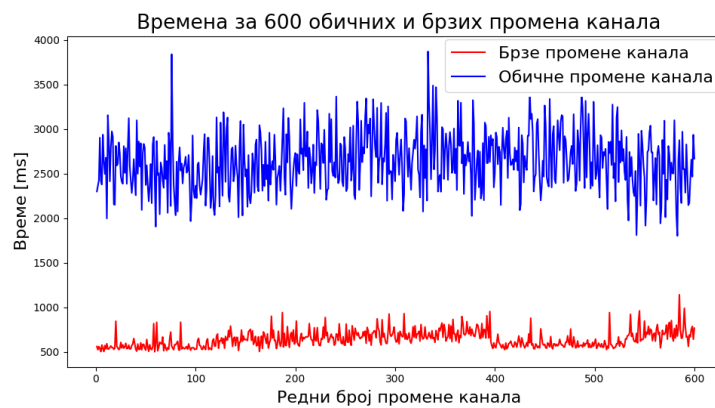


**Слика 21. Хистограм брзих промена канала**

Са хистограма се може видети да се већина обичних промена канала заврши у опсегу између 2250 ms до 3000 ms, док се у случају брзих промена канала већина заврши у

опсегу између 550 ms и 750 ms, што и одговара израчунатим просечним вредностима у оба случаја. У оба случаја постоје одбирци који одступају од просечне вредности, те тако постоје екстремне вредности, које се појављују у малом броју, и на хистограму су изоловани у односу на већинске вредности. Ове вредности такође улазе у рачунање просечног трајања промене канала, а могу се приписати одређеним додатним процесима који се одвијају на дигиталном ТВ пријемнику и који су исказали појачан утицај у датом тренутку.

И поред прегледности коју хистограм омогућава, само постигнуто убрзање се лакше уочава када се вредности обичних и брзих промена канала прикажу на истом графику. То је приказано на слици 22, где се могу видети хронолошки поређана времена свих промена канала која су ушла у обраду и анализу. Јасно се види просечна разлика од око две секунде између обичних и брзих промена канала. Такође, битно је истаћи да се са графика приказаног на слици 22 може видети да је и најспорија брза промена канала брже од најбрже обичне промене канала, што гарантује постизање убрзања коришћењем представљеног решења у 100% тестних случајева.



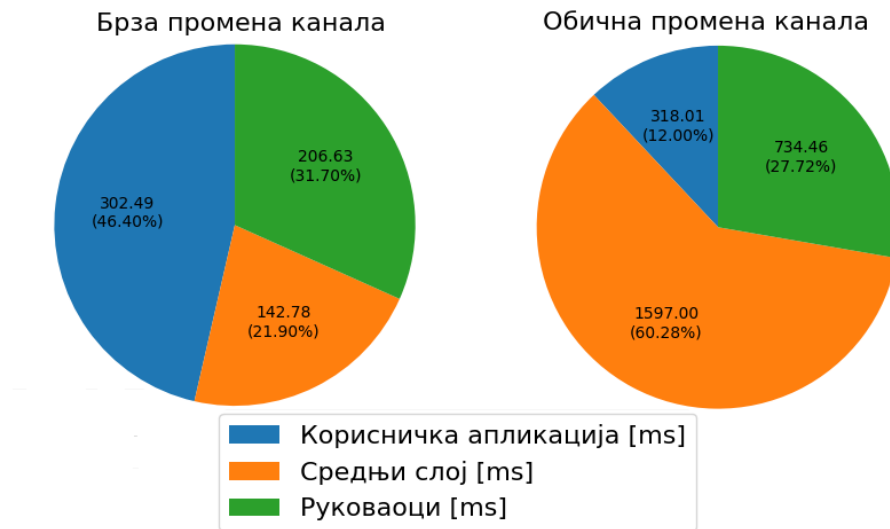
Слика 22. Брзе и обичне промене канала у времену

Додатне временске одлике које су бележене у фази прикупљања података и извршавања промена канала, односно остале временске одлике поред почетка и краја процеса промене канала, су искоришћене да се утрошак времена мапира на поједине делове програмске подршке који представљају потрошаче. Разликујемо време које се потроши у корисничкој апликацији, време које се потроши у језгру средњег слоја програмске подршке, где спадају и новододати контролери брзе промене канала и ресурса, и време које се потроши у руковаоцима компонентама физичке архитектуре. Слика 23 приказује ова времена у случају обичне и брзе промене канала.

Може се видети да је време које се потроши у корисничкој апликацији остало приближно исто, што је и очекивано ако се зна да је циљ био да се направи решење које не захтева измене у корисничкој апликацији, те да у овом слоју програмске подршке нису ни вршене оптимизације. Са друге стране, јасно се види да је највећи напредак остварен у језгру средњег слоја програмске подршке, где је постигнуто убрзање од преко десет пута, док је значајно убрзање постигнуто и у слоју руковаоца компонентама физичке архитектуре. Убрзање у језгру средњег слоја програмске

подршке се објашњава реорганизацијом операција у току процеса промене канала, у случају брзе промене канала, где се све операције унапред изврше у фази припреме сервиса, те стога и сама брза промена канала се своди на извршавање мањег броја краћих операција. И у слоју руковаоца компонентама физичке архитектуре поменута припрема сервиса за брзу промену канала представља узрок смањења потребног времена, јер се на тај начин комплетна конфигурација фреквенцијског одабирача измешта у фазу припреме сервиса, а такође се смањује и време потребно за синхронизацију видео и аудио података увођењем видео индексера.

### Временски фактори у брзој и обичној промени канала



Слика 23. Потрошња времена у различитим слојевима програмске подршке

На основу резултата приказаног решења и статистике која показује да се 62% промена канала врши на претходни или наредни сервис из листе сервиса, који су у случају овог решења увек припремљени, можемо израчунати очекивано просечно време свих промена канала на датом дигиталном ТВ пријемнику преко следеће формуле:

$$E[t_z] = 0.62 \cdot 650ms + (1 - 0.62) \cdot 2648ms = 1409.24ms$$

(6-1)

Ово значи да укупно просечно убрзање које се постиже овим решењем када се посматрају све промене канала износи 1239 ms, односно убрзање од 1,88 пута.

## 6.4 Поређење резултата са стањем у области

У области брзе промене канала један од значајнијих научних радова представља истраживање спроведено од стране групе аутора предвођених Кооиј-ем које одређује везу између брзине процеса промене канала и корисничког доживљаја. Према том истраживању процес брзе промене канала треба да траје максимално 0,43 секунде [87]. Јасно је да просечно време брзе промене канала, које је постигнуто у оквиру истраживања описаног у овој дисертацији, од 0.65 секунди не задовољава задати

критеријум од 0.43 секунде. Ипак, постоје одређене разлике у приступу и представљању процеса брзе промене канала, које боље објашњавају разлике у временима. Наиме, у оквиру Кооџ-евог истраживања није коришћен реални дигитални ТВ пријемник, већ се учесницима анкете приказивала симулација процеса промене канала у оквиру које су се само мењале слике, без аудио компоненте. У истраживању представљеном у овој дисертацији, као што је и описано, сва мерења су вршена са реалним дигиталним ТВ пријемником, и крајем процеса промене канала се сматра тренутак кад су видео и аудио синхронизовани. Сам видео ток, односно слике које се из њега приказују, је увек могуће и раније приказати, пре него што се оствари синхронизација са аудио током података, што се и дешава у фази када корисник дигиталног ТВ пријемника брзо издаје узастопне команде за променом канала, јер у том случају није битно чути аудио са датог сервиса, већ је довољан само увид у садржај сервиса кроз слике из видео тока података. Такође, чињеница да при постављању границе од 0,43 секунде није коришћен реалан дигитални ТВ пријемник оставља питање да ли је ова граница уопште реална. Тим питањем се бавило истраживање друге групе научника предвођене Сиеберт-ом, који су се фокусирали на чиниоце процеса промене канала, и детаљно их анализирали, како би дошли до реалних вредности које су могуће за процес промене канала. Резултат овог истраживања показује да граница од 0,43 секунде није реална, и да се сва времена испод 2 секунде могу сматрати брзом променом канала[56].

Друга анкета која је такође мерила утицај времена процеса промене канала на кориснички доживљај сматра одличним резултатом свако време испод пола секунде, док се све испод секунде сматра прихватљивим[65]. На основу закључака добијених из ове анкете, негативан утицај на кориснички доживљај се примећује када процес промене канала траје дуже од две секунде. Према овој анкети резултати добијени са описаним решењем су у потпуности прихватљиви и веома близу најбоље могуће категорије. Још једна веома битна чињеница је да коришћење описаног решења доводи до смањења времена потребног за процес промене канала са вредности која негативно утиче на кориснички доживљај на вредност која је у потпуности прихватљива.

При поређењу резултата постигнутих са различитим решењима веома је битно обратити пажњу на окружење у којем се врши мерење. Идеални услови би били уколико би дигитални ТВ пријемници са различитим решењима били постављени у исто окружење у ком би се приступило мерењу на свим уређајима. Ипак, резултати добијени са реалним дигиталним ТВ пријемницима и у комерцијалним окружењима нису превише чести у научној литератури, те је било неопходно користити и резултате симулација за поређење. Ову чињеницу је битно увек имати на уму, пошто она делимично може да објасни разлике у измереним резултатима, јер симулације углавном врше одређене апроксимације и не постоји гаранције да би се у реалном систему, уместо у симулираном, добили идентични резултати.

Резултати већине симулација, па тако и симулације спроведене са решењем реализованим од стране Сарни-ја и групе научника око њега, описују времена до пола секунде као времена пожељна и измерена за процес брзе промене канала. Слична

времена су представљена и у симулацијама других аутора, с тим што неки од њих попут Сонг-а описују и почетно стање које представља време од једне секунде потребно за процес промене канала. Већ ту се види разлика између тог симулираног система и реалног система на ком је реализовано решење описано у овој дисертацији, јер је полазна тачка у овом случају, односно време нормалне промене канала, време од преко две секунде. Такође, неки од поменутих аутора описују сва времена испод две секунде као прихватљива и на тај начин додатно подижу границу за време које се може сматрати брзом променом канала.

Постоје и симулације које резултирају, за нијансу, већим временима, па тако аутори једне од њих смештају време процеса промене канала у интервал између 600 ms и 1200 ms што у потпуности одговара и резултатима измереним и описаним у овој дисертацији. Штавише, ови резултати делују за нијансу реалније, јер и други резултати измерени у комерцијалним окружењима и на реалним уређајима представљају слична или већа времена потребна за процес промене канала, као на пример времена између 0,8 секунди до 2,1 секунде.

Табела 6 даје упоредни приказ описаног решења и других решења доступних у литератури. Приказане су вредности за релативно постигнуто убрзање, као и за апсолутно време убрзане промене канала. Такође, табела 6 приказује и тип медијума за који је решење намењено, као и да ли је у питању симулација или реализација решења на стварном уређају, што су веома битне информације приликом поређења раличитих решења брзе промене канала. Треба напоменути да велики део доступне литературе не представља све потребне параметре за овај вид поређења, јер се информација о почетном стању, односно времену потребном за извршење обичне промене канала углавном не може пронаћи у литератури, те су у табели коришћени само они радови који садрже све информације потребне за овај вид приказа. Такође, одређени радови не представљају тачне бројке у тексту, већ је искоришћен графички приказ резултата, те је за поређење у том случају узета приближна вредност очитана са графичких приказа, и то је у табели 6 назначено симболом ~.

	Описано решење	[61]	[67]	[74]	[79]	[82]
Медијум	Сателитска, земаљска, кабловска	Интернет	Интернет	Интернет	Интернет	Интернет
Тип верификације решења	Уређај	Уређај	Уређај	Уређај	Симулација	Симулација
Обична промена канала [ms]	2648	~1800	1830	2165	~1237	1037
Брза промена канала [ms]	650	~500	1320	833	~725	419
Убрзање [ms]	1998	~1300	510	1332	~512	618

Табела 6. Упоредни приказ описаног решења и решења из литературе

На основу табеле 6 може се видети да описано решење полази од најлошијег почетног стања, односно да је у овом случају потребно највише времена за извршење обичне промене канала. Такође, постигнуто је најбоље релативно убрзање, док је

апсолутна брзина процеса брзе промене канала сведена на приближне вредности које се појављују у другим решењима у литератури.

Након поређења резултата овог истраживања са стањем у области, закључак је да су резултати у потпуности упоредиви и да се ради о истом реду величине. Одређене разлике које постоје су очекиване, јер се углавном ради о различитим окружењима, где је већина других истраживања фокусирана на интернет телевизију, док је ово решење намењено земаљској, кабловској и сателитској телевизији, а конкретно мерење је извршено на дигиталном ТВ пријемнику намењеном сателитској телевизији. Такође, додатни фактор, који утиче на појаву разлика у резултатима, је чињеница да је већина резултата са којим је поређено описано решење, и која креирају стање у области, добијена на основу симулација, а не у реалном комерцијалном окружењу, попут резултата приказаних у овој дисертацији.

## 6.5 Симулација доделе ресурса

На основу математичких модела представљених у поглављу 5.4.3 извршена је симулација доделе ресурса, како би се упоредиле перформансе сваког од наведених модела. За сврху симулације најпре је симулирана секвенца захтева за рутама [89] за листу са 700 различитих сервиса, која је коришћена као улаз за моделе развијене у Python програмском језику. Реализована су три модела: модел без дељења ресурса и приоритета (5.4.3.1), модел са дељењем ресурса (5.4.3.2) и модел са дељењем ресурса и приоритетима (5.4.3.3), у даљем тексту *M1*, *M2* и *M3* респективно. Свим моделима је за симулацију додељен исти број ресурса, у овом случају 4 фреквенцијска одабирача, 4 демултиплексера, 4 пара аудио и видео декодера и 1 бесконачно дељива меморија. Такође, пред моделе су постављени идентични захтеви, подршка за гледње садржаја уживо, снимање садржаја, гледање снимљеног садржаја, инсталација сервиса на кориснички захтев и у позадини, као и барем два припремљена сервиса за брзу промену канала. Идентична улазна секвенца је убачена у сваки од модела, при чему се рад модела мерио кроз неколико параметара. Најважнији параметар је број успешно обрађених захтева за ресурсима, а поред тога измерен је и број активних функционалности у сваком тренутку симулације, максимални број истовремено активних функционалности, као и категоризација отказа на позадинске, где спадају откази за позадинску инсталацију и припрему брзе промене канала, и отказе корисничким захтевима. У наставку овог поглавља приказани су резултати симулације у виду табеле и графика.

Резултати добијени од сва три модела су приказани у табели 7. Може се видети да најбоље резултате постиже *M3*, док се из табеле 7 јасно види и предност модела *M2* у односу на *M1*, кроз број успешно испуњених захтева као и мањи број корисничких отказа уз већи максимални број подржаних истовремених функционалности.

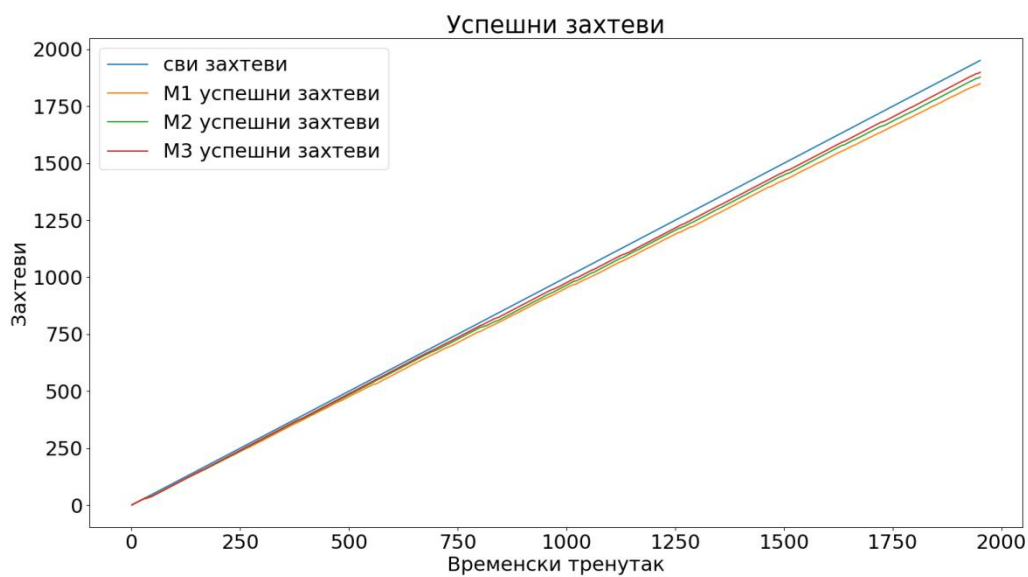
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
<b>укупно захтева</b>	1951	1951	1951
<b>успешни захтеви</b>	1849	1878	1899



откази (позадински)	102 (17)	73 (40)	52 (43)
максимално подржаних функционалности истовремено	4	9	9
број преузимања ресурса	-	-	31

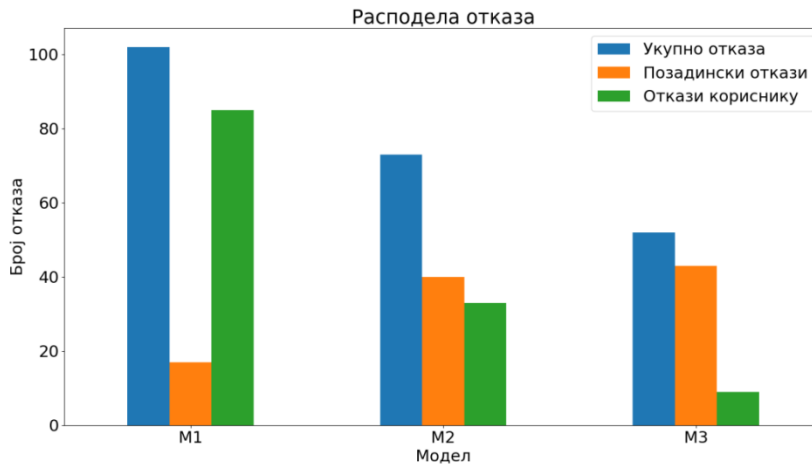
Табела 7. Резултати симулације доделе ресурса

Разлика у броју испуњених захтева у времену графички је приказана на слици 24. Може се видети да је *M3* најближи идеалном сценарију, односно испуњењу свих захтева. За њим следи *M2*, а највећи отклон од идеалног сценарија је видљив код модела *M1*.



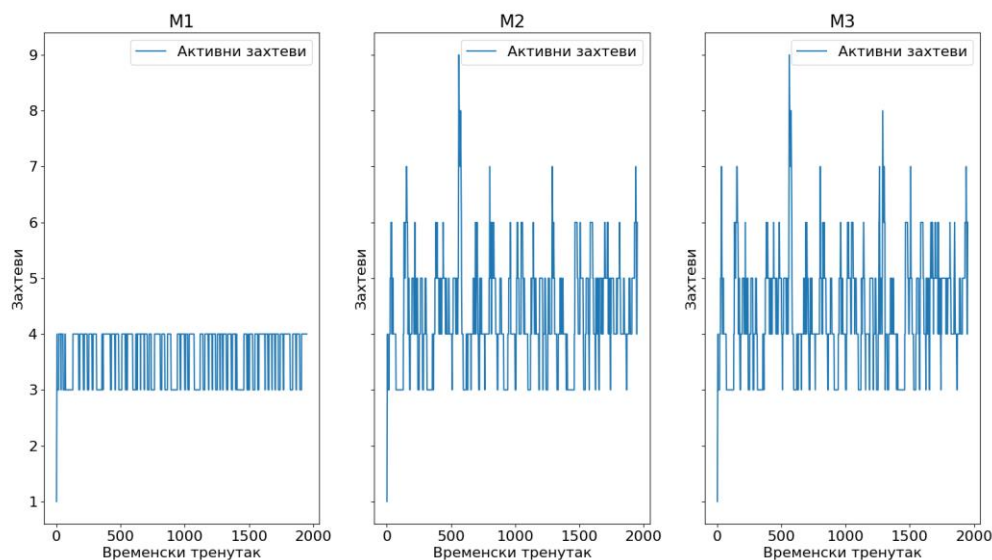
Слика 24. Графички приказ успешног испуњења захтева

Слика 25 даје приказ броја отказа за сваки од модела, као и категоризацију на позадинске и корисничке. Ова подела је битна из разлога што корисник није свестан позадинских отказа, те они не утичу негативно на кориснички доживљај, док кориснички откази представљају немогућност испуњења захтева директно захтеваних од стране корисника, те је с тога број ових отказа обрнуто пропорционалан квалитету корисничког доживљаја.



Слика 25. Број и категоризација отказа

Када се говори о корисничком доживљају, велик утицај има и број истовремено подржаних функционалности са одређеним бројем ресурса. Управо на основу овог показатеља се види да ли је један модел бољи од другог, односно да ли успева боље да искористи могућности платформе. Графички приказ активних функционалности током симулације за сва три модела је дат на слици 26. На слици 26 се јасно види да дељење ресурса доприноси подршци за већи број функционалности истовремено, па тако максимална вредност подржаних функционалности у једном тренутку расте са 4 у случају *M1* на 9 са увођењем дељења ресурса. Такође са графика се види и да *M3* који у обзир узима и приоритете успева дуже да одржи већи број функционалности у односу на *M2* иако имају слично понашање.



Слика 26. Преглед броја активних функционалности током симулације

## 7 Дискусија

У овом поглављу дат је преглед оптимизација, које су вршене на путу до коначног решења, као и концепата који су коришћени у реализацији решења, а који су познати у другим областима којима се бави инжењерство програмске подршке. Такође, представљени су потенцијални правци даљег развоја описаног решења кроз резултате добијене на основу симулација са измењеним параметрима од оних коришћених у решењу.

### 7.1 Оптимизације

Након реализације првобитног решења, поред мерења брзине процеса промене канала изведена је и анализа комплетног система, са циљем да се установе делови система који троше највише времена и који су погодни за оптимизацију. Циљ оптимизација је, поред убрзања процеса промене канала, уопштено бољи рад целог система.

Ако се обрати пажња на могућа стања у којима дигитални ТВ пријемник може да се налази, са становишта процеса промене канала, јасно је да постоје стање гледања и стање узастопних брзих промена канала. Са становишта времена потребног за процес промене канала пожељно је друго стање, стање узастопних брзих промена канала, јер се у том стању извршава брза промена канала и самим тим процес промене канала краће траје. Ово је последица тога што се дигитални ТВ пријемник налази у стању спремном за брзу промену канала, те се промена канала своди само на замену декодера који ради у нормалном режиму декодовања. Ипак, да би систем поново дошао у стање спремно за брзу промену канала, потребно је припремити потенцијални наредни сервис, те се стога врши припрема једног додатног сервиса уз замену режима рада декодера. Дакле, циљ је да се у стању спремном за брзу промену канала у сваком тренутку користе подаци са три сервиса, једног који се гледа и његових суседа из листе сервиса који су припремљени. Као што се може видети, ово стање је веома одрживо јер је, уколико се полази од стања спремног за брзу промену канала и врши се брза промена канала, потребно обавити само један процес промене канала за сервис који се

припрема. Овај процес се обавља у позадини и није видљив кориснику, јер је сервис на који се врши промена канала већ претходно припремљен и његов садржај се приказује у најкраћем могућем року.

Са друге стране, уколико се анализира обична промена канала, односно промена канала на сервис који није претходно припремљен, и узму се у обзир акције које је потребно извршити да би се извршила промена канала и достигло стање спремно за брзу промену канала, јасно је да је у овом случају потребно извршити три процеса промене канала, у најгорем случају, за сервис који се гледа и два која се припремају. Овакав начин рада подсећа на концепт проточне обраде који се користи у централним процесорима. Код проточне обраде инструкције које се извршавају кроз више од једне фазе се послажу на такав начин, да се паралелно извршавају различите фазе различитих инструкција у сваком такту централног процесора. Ово резултира тиме да једном када се проточна структура напуни тако да постоји одређена инструкција у свакој могућој фази, сваки наредни такт централног процесора доноси по једну извршену команду, за разлику од ситуације када се тек започиње пуњење проточне структуре и када је потребно  $n$  тактова да се добије једна извршена инструкција. Јасно је да код овог концепта најскупљу операцију представља пражњење и поновно пуњење проточне структуре, јер се тада долази у ситуацију да је потребно више од једног такта за добијање резултата одређене инструкције. Аналогно томе, обична промена канала, односно промена на сервис који није припремљен је најскупља операција у представљеном решењу, јер је у том случају потребно извршити до три промене канала како би се достигло стање спремно за брзу промену канала. Супротно томе, извршавање брзе промене канала је аналогно ситуацији када је проточна структура у централном процесору напуњена, односно, у том случају само са извршавањем једне промене канала поново се долази до стања спремног за брзу промену канала. Из ове анализе произилази закључак да за укупно побољшање времена процеса промене канала, поред самог убрзања брзе промене канала, потребно је и убрзати извршење обичне промене канала, као и одрживост стања спремног за брзу промену канала.

Управо су ово били циљеви оптимизација које су спроведене на путу од првобитног решења до решења представљеног у овој дисертацији. Идеја помоћу које је убрзана обична промена канала је увођење паралелизма у тај процес. Наиме, у првобитном решењу три промене канала, потребне за постизање стања спремног за брзу промену канала, су вршене секвенцијално, једна за другом, што је доносило значајно веће време комплетног процеса. Анализом самог процеса је уочено да је могуће извршити те три промене истовремено, уз одређене измене и адаптације у програмској подршци. Познато је да при извршавању програмског кода паралелно, односно у више од једне нити, се појављују одређени проблеми синхронизације и дељених променљивих који не постоје при секвенцијалном извршавању у једној нити. Такви проблеми су идентификовани, и извршене су потребне измене у коду процеса промене канала, које су неопходне да овај код постане погодан за паралелно извршавање. Ове измене, иако су продужиле појединачан процес промене канала,

допринеле су значајно краћем времену укупног извршења нормалне промене канала, односно извршења три промене канала.

Наредна оптимизација се односила на одржавање стања спремног за брзу промену канала. Првобитно решење је имало наменске руте за припремљени наредни сервис и за припремљени претходни сервис. Како не постоји значајна разлика између ових припремљених сервиса, логика у контролеру брзе промене канала је промењена, како би се ове руте замениле са рутама за припремљене сервисе, без обзира да ли је реч о наредном или претходном сервису. Утицај ове измене је најлакше разумети на практичном примеру. Ако се претпостави да је полазно стање стање спремно за брзу промену канала, односно да се гледа један сервис, а његови суседи из листе су припремљени, погледајмо шта се дешава у случају промене канала на претходни сервис. Врши се брза промена канала, претходни припремљени сервис постаје сервис који се гледа, сервис који се гледао до тог тренутка наставља да се индексира и постаје наредни припремљени сервис, и врши се један процес промене канала, како би се наредни припремљени сервис, из претходног корака пре команде за промену канала, променио на сервис који претходи новом тренутно гледаном сервису, и како би се одржало стање спремно за брзу промену канала. Уколико постоје наменске руте за претходни и наредни припремљени сервис респективно, јасно је да није могуће извршити само једну промену канала, јер би на тај начин дошло до инверзије тих наменских рута, већ је потребно извршити промене канала на обе руте које припремају потенцијалне наредне сервисе. Дакле, изједначавање рута која припремају потенцијалне наредне сервисе, и не прављење разлике између наредног и претходног сервиса, већ само постизање циља да сви сервиси буду припремљени омогућава извршавање процеса брзе промене канала са само једном ефективном променом припремљеног канала и заменом режима рада декодера.

Додатна оптимизација извршена на путу од првобитног до представљеног решења је везана за ниво апстракције физичке архитектуре, односно за видео индексер. Наиме, увођење различитих конфигурација видео индексера за различите квалитете сервиса је показало позитиван утицај на време потребно за остваривање синхронизације између видео и аудио података, а самим тим и на скраћење процеса промене канала. Ове конфигурације је могуће мењати динамички у току рада система, што омогућава једноставна спрега ка видео индексерима, преко које се они контролишу. Адекватна конфигурација у сваком тренутку, у зависности од тога да ли се индексира сервис стандардне дефиниције, високе дефиниције или ултра високе дефиниције, омогућава видео индексеру да произведе најбоље могуће резултате.

Увођење приоритета у контролеру ресурсима је оптимизација која има за циљ да побољша рад система у целини. Наиме, првобитно решење контролера ресурса је било засновано на обради по времену стижања захтева, односно захтеви који су први пристигли на обраду су имали приоритет, и није било могуће одузети им додељене ресурсе. Ово је имало за последицу већи број отказа, услед недостатка ресурса, а везано за захтеве за функционалностима које су видљиве кориснику. Такво решење је захтевало већу интеракцију са корисником и већи ниво корисничких акција у циљу

остваривања жељених функционалности, што никако не може да иде у прилог корисничком доживљају. Увођење приоритизованог преузимања ресурса је заменило ову политику са политиком заснованом на приоритетима, која је описана у поглављу везаном за контролер ресурса, и на тај начин смањило потребу за корисничким акцијама, као и отказима везаним за функционалности које су директно видљиве кориснику. Мања количина непотребних информација и упита упућених кориснику, као и већа могућност искоришћења капацитета дигиталног ТВ пријемника до максимума, без сумње доприноси бољем корисничком доживљају.

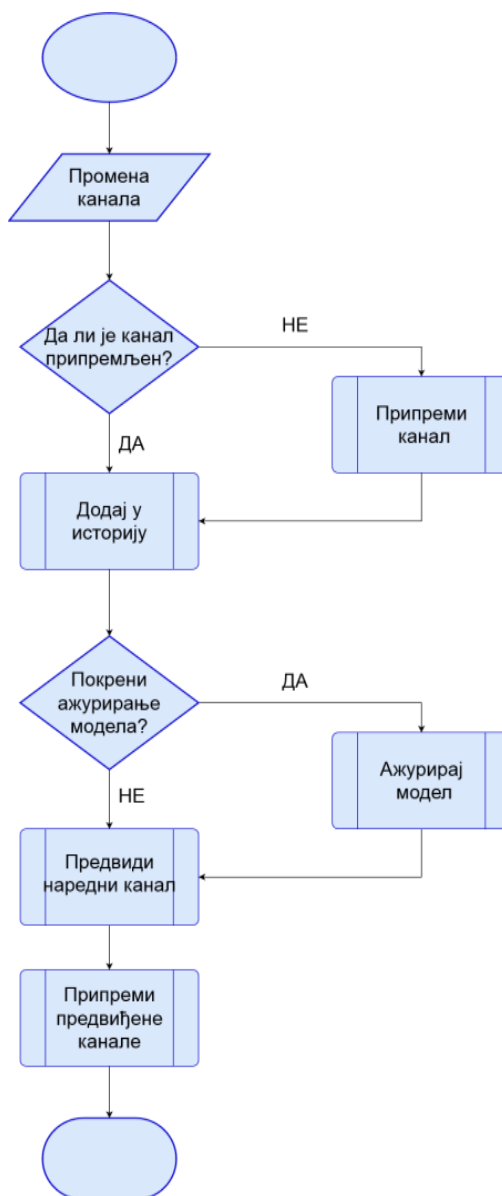
## 7.2 Резултати симулације са алтернативним избором припремљених сервиса

Избор суседних сервиса из листе сервиса за припремљене сервисе дефинитивно данас представља подразумевано понашање, и кроз разна истраживања је доказано једно од најбољих решења, јер има висок степен погодака (62%), а не захтева логички захтевну реализацију. Ипак, са порастом процесне моћи данашњих дигиталних ТВ пријемника, и развојем алгоритама машинског учења и неуронских мрежа, појављује се додатна занимљива могућност. Наиме, не постоје велике препреке на путу ка реализацији неуронске мреже, или модела заснованог на алгоритмима машинског учења, који се извршавају на дигиталном ТВ пријемнику, а имају за циљ да предвиде наредну мету процеса промене канала. На тај начин могуће је доћи до решења које се временом обучава и прилагођава конкретном кориснику и даје све боље и боље резултате.

Овакав приступ је испробан у оквиру истраживања спроведеног на катедри паралелно са истраживањем описаним у овој дисертацији [89]. На нивоу симулације су се упоредили различити алгоритми машинског учења и неуронских мрежа у сврху предвиђања наредног изабраног сервиса. Добијени резултати показују да је могуће постићи додатну тачност од 5,67% у предвиђању наредног изабраног сервиса уколико се поред суседних сервиса из листе сервиса, припреми и додатни сервис израчунат уз помоћ предикционог модела. У сврху решавања овог проблема класификације, од свих испитаних алгоритама машинског учења, најбоље се показао алгоритам заснован на С4.5 стаблу одлучивања.

Као што је већ поменуто, реални подаци о променама канала се тешко проналазе, те је најчешћи случај да се користе подаци добијени симулацијом. То значи да се најпре генерише историја промена канала помоћу симулације и она се користи за обучавање модела. Модел користи историју промена канала у сврху предвиђања наредне промене. Начин рада замишљеног решења је приказан на слици 27. Као што се може видети на слици 27 по пријему команде за промену канала, као и у описаном решењу брзе промене канала, прво се провери да ли је циљни сервис већ припремљен. Уколико није, врши се припрема за његово пуштање, односно конфигурише се фреквенцијски одабирач да добавља податке са тог сервиса. Затим се сама промена канала, односно изабрани сервис, бележи у историји свих промена канала, и приступа се наредном кораку уколико је потребно, а то је ажурирање самог модела. Услов за

ажурирање модела може да буде време које је проткло од претходног ажурирања, одређене промене до којих је дошло везано за саме сервисе који се емитују, достигање задатог броја промена канала и др. Након овог корака следи предвиђање наредне потенцијалне мете процеса промене канала, а затим и припрема тог сервиса и суседних сервиса из листе сервиса. Јасно је да у оваквом моделу постоји читав низ параметара који врше конфигурацију самог модела и мењају његово понашање, као што су величина сачуване историје, као и број промена канала које улазе у предвиђање резултата следеће промене.



Слика 27. Алгоритам промене канала представљеног модела

За извођење симулација коришћен је алат Weka 3.8. Резултати добијени коришћењем различитих алгоритама су представљени у табели 8. Приказани резултати одговарају случају када се у датотеци са историјом промена канала чува до 4096 уноса, док се 5 претходних промена канала користе за предвиђање наредне мете, јер је управо та комбинација показала најбоље резултате. Такође, изабране вредности ових

параметара не представљају велико оптерећење за процесну моћ данашњих дигиталних ТВ пријемника.

Метода	Прецизност [%]	Капа статистика	Величина стабла	Број листова
Random forest	29,48	0,2786	NA	NA
LMT	32,79	0,3117	155	78
J48 (default C,M)	34,58	0,3298	663	332
J48 (default C,M=10)	35,76	0,3406	207	104
J48 (optimized C,M)	37,39	0,358	263	132
RepTree	35,14	0,3335	235	NA
Random Committee (RepTree)	36,32	0,3457	211	NA
AdaBoostM1 (J48, default C,M)	35,20	0,3364	669	335
AdaBoostM1 (J48, optimized C,M)	37,39	0,358	263	132

Табела 8. Резултати различитих алгоритама

Из табеле 8 се може приметити да најбоље резултате описане кроз тачности и капа статистику даје алгоритам J48 са оптимизованим параметрима C и M, где C представља фактор поузданости, док M представља минимални број објеката по листу стабла. Овај алгоритам представља реализацију C4.5 алгорита у Weka алату.

Значај резултата ове симулације се огледа у томе што показују да је примена машинског учења веома сврсисходна у области брзе промене канала, и да се реализацијом погодних алгоритама на дигиталном ТВ пријемнику може постићи већи број брзих промена канала, где су сервиси унапред припремљени у тренутку када корисник жели да гледа дати сервис. Ово наравно води постизању бољих резултата сваког решења брзе промене канала заснованог на припремљеним сервисима, а самим тим доприноси глобалном убрзању процеса промене канала и свеукупном корисничком доживљају.



## 8 Закључак

У овој дисертацији приказан је ток и резултати истраживања на тему брзе промене канала. Постављена хипотеза на почетку истраживања, да је могуће убрзати време процеса промене канала архитектуралним променама у програмској подршци дигиталног ТВ пријемника је потврђена постигнутим резултатима. Показан је начин на који је могуће проширити и изменити архитектуру средњег слоја програмске подршке, са потребним модулима, како би се додала функционалност брзе промене канала дигиталном ТВ пријемнику. Уз то испуњени су и додатни циљеви, постављени на почетку истраживања, а то су да решење треба да буде независно од конкретног средњег слоја програмске подршке, односно да буде лако преносиво, скалабилно и конфигурабилно, што је постигнуто кроз архитектуру новододатих модула који имају јасно дефинисане слојеве преко којих се интегришу са остатком програмске подршке на дигиталном ТВ пријемнику, односно корисничком апликацијом и остатком средњег слоја програмске подршке.

На основу анализе стања у области, прегледом комерцијалних решења, база патената и научних радова, главни циљ је био пројектовање решења које се у потпуности реализује на дигиталном ТВ пријемнику, без потреба за изменама на предајничкој страни. Такође, циљна група дигиталних ТВ пријемника је дефинисана као дигитални ТВ пријемници задужени за пуштање садржаја емитованих сателитским, земаљским и кабловским путем. Ова група је постављена као циљна јер се анализом стања у области установило да управо у тој области постоји најмањи број решења. Додатна корист која је постигнута је да је решење примењиво и на интернет телевизију, што није било постављено као један од основних циљева истраживања, али се показало као изводљиво. Такође, важан аспект истраживања је био холистички приступ комплетном мултимедијалном екосистему присутном на дигиталном ТВ пријемнику, те је истраживање резултирало алгоритмима који омогућавају паметно искоришћење ресурса дигиталног ТВ пријемника и максимални могући ниво подржаних функционалности.

Пројектовано решење је реализовано на сателитском дигиталном ТВ пријемнику пред који су постављени сложени захтеви у виду подржаних функционалности. Тестирање које је спроведено на овом дигиталном ТВ пријемнику је у потпуности потврдило постављену хипотезу, јер је процес промене канала убрзан преко четири пута, односно, просечно време потребно за извршење процеса промене канала је смањено за око две секунде, са 2648 ms на 650 ms. Основни приступ реализацији брзе промене канала је припрема суседних сервиса из листе сервиса за брзу промену канала. Овај приступ је изабран на основу статистике која показује да се 62% промена канала изврши управо на неки од суседних сервиса из листе сервиса. И поред тога, урађена је анализа других приступа, коришћењем алгоритама машинског учења. Симулацијом таквог решења дошло се до охрабрујућих резултата, који показују да је на тај начин могуће додатно побољшати проценат промена канала које се врше на претходно припремљени сервис. Сви добијени резултати имају позитиван утицај на кориснички доживљај приликом конзумирања садржаја са дигиталног ТВ пријемника. Овај закључак је изнесен поређењем добијених резултата са другим истраживањима од којих нека важе за стандарде у датом области брзе промене канала. Закључак је да су резултати добијени на овај начин у потпуности упоредиви са резултатима других истраживања, поготово уколико је реч о истраживањима која су спроведена на реалним дигиталним ТВ пријемницима и у комерцијалним окружењима, а нису остала само на нивоу симулације. Поређењем са резултатима разних симулација, долази се до одређених одступања, односно за нијансу слабијих резултата добијених помоћу решења описаног у овој дисертацији, али дата одступања су донекле и очекивана, ако се сагледају различите почетне позиције које постоје у другим и у овом истраживању, чињеница да је ово решење намењено првенствено кабловским, земаљским и сателитским дигиталним ТВ пријемницима, а да већина осталих се фокусира на интернет телевизију.

Додатни значај овог истраживања је и парцијална модуларна искористивост реализованих проширења програмске подршке дигиталног ТВ пријемника, где се издваја контролер ресурса. Наиме, овај модул је могуће интегрисати на било који дигитални ТВ пријемник, чак и у случају да брза промена канала није један од захтева постављених пред дигитални ТВ пријемник. На тај начин могуће је остварити централизовано управљање ресурсима дигиталног ТВ пријемника, како би се осигурао висок ниво подршке за различите функционалности истовремено, и кроз оптимизацију начина коришћења ресурса физичке архитектуре на дигиталном ТВ пријемнику подигао кориснички доживљај корисника датог дигиталног ТВ пријемника.

Даље истраживање засновано на представљеном решењу је усмерено на дубљу примену алгоритама машинског учења, и проналажење најбољих алгоритама, који могу да се извршавају на самом дигиталном ТВ пријемнику, и да додатно поправе проценат погодака при избору сервиса који се припремају за брзу промену канала. Најзанимљивији правци су пројектовање неуронских мрежа, или других алгоритама машинског учења, који узимају у обзир популарност сервиса, популарност емисија, историју промена канала или корисничког понашања, као и сличности по жанру

између емисија које се емитују на различитим сервисима. Занимљива тема је и динамичко одређивање броја канала који се припремају на основу расположивих ресурса дигиталног ТВ пријемника. При томе је битно водити рачуна да се не оптерећује корисник непотребним обавештењима, односно цео процес припреме сервиса за брзу промену канала треба да остане невидљив за корисника. Такође, мора се водити рачуна да се кориснику не ускраћују друге функционалности које подржава дигитални ТВ пријемник. Од изузетне важности за овај правац даљег истраживања је контролер ресурса и алгоритми који су развијени у овом истраживању у оквиру тог модула, јер би управо овај модул имао улогу да на исправан начин, у сваком тренутку, одреди број припремљених сервиса и да на тај начин омогући максималну могућу вероватноћу извршења брзе промене канала, без негативних утицаја на рад комплетног дигиталног ТВ пријемника.

Занимљива тема за истраживање је и примена описаног решења за сврхе различите од брзе промене канала, где се издваја концепт циљаних реклама. Наиме, један од последњих трендова у дигиталној телевизији је управо емитовање циљаних реклама, где се рекламе које се приказују кориснику усклађују са његовим преференцијама, што резултира тиме да различити корисници гледају различите рекламе у исто време и на истом сервису. Код овог приступа, са предајничке стране, се дефинише само временски оквир током ког се емитује реклама, а не и сам садржај, већ садржај долази са различитих послужилаца на основу преференција корисника. У том случају, у тренутку када се приказује садржај рекламе потребно је извршити, невидљиву за корисника, измену емитованог садржаја, и уместо до тада емитованог садржаја сервиса приказати садржај рекламе. Исто је потребно извршити и у тренутку када се заврши са приказивањем рекламе, и потребно је поново покренути приказивање изабраног емитованог сервиса. Сам опис овог проблема у доброј мери подсећа на проблем брзе промене канала, где се врши што је бржа могућа промена приказиваног садржаја, односно прелази се са једног на други сервис. Самим тим намеће се идеја да би представљено архитектурално решење брзе промене канала било погодно и за област циљаних реклама.

## 9 Литература

- [1] И. Пап, „Прилог решењу обраде говорног сигнала коришћењем микрофонског низа“, Докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2009.
- [2] Н. Лукић, „Предлог проширења Андроид оперативног система сервисима дигиталне телевизије“, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2014.
- [3] Б. Ковачевић, „Предлог проширења мултимедијалног система у аутомобилу сервисима дигиталне телевизије“, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2018.
- [4] В. Ковачевић, Логичко пројектовање рачунарских система, Факултет техничких наука, Нови Сад, 1993.
- [5] М. Поповић, Системска програмска подршка, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2004.
- [6] В. Ковачевић, М. Поповић, М. Темеринац и Н. Теслић, Архитектуре и алгоритми дигиталних сигнал процесора 1, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2005.
- [7] М. З. Бјелица, Н. Теслић и В. Михаић, Софтвер у дигиталној телевизији 1, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2017.
- [8] Lou Frenzel, “Understanding Modern Digital Modulation Techniques”, Antenna Design 101, Electronic Design, 2021.
- [9] H.222.0, “Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems”, available on: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.222.0-202106-I/en>, accessed on April 19, 2023.
- [10] ETSI EN 300 468, “Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems”, available on: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/300400\\_300499/300468/01.03.01\\_60/en\\_300468v010301p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300468/01.03.01_60/en_300468v010301p.pdf), accessed on April 19, 2023.
- [11] Yuste, LB.; Boronat Segui, F.; Montagut Climent, MA.; Melvin, H. (2015). Understanding

- Timelines within MPEG Standards. *Communications Surveys and Tutorials*, IEEE Communications Society. 18(1):368-400. doi:10.1109/COMST.2015.2488483.
- [12] Reimers, U. (2001). Forward Error Correction (FEC) in Digital Television Transmission. In: *Digital Video Broadcasting (DVB)*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-04562-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04562-6_6)
- [13] D. Dejanovic, D. Rasic, N. Fimic, N. Kuzmanovic and M. Savic, "A proposal for VMS extension of Android based DTV STB," *2013 IEEE Third International Conference on Consumer Electronics & Berlin (ICCE-Berlin)*, Berlin, Germany, 2013, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2013.6698002.
- [14] T. Shida, T. Sato, H. Nakayama, H. Kosaka and K. Sugiyama, "Robust HD Video Stream Transmission for Wireless DTV," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 53, no. 1, pp. 96-99, February 2007, doi: 10.1109/TCE.2007.339508.
- [15] D. Dejanović, M. Subotić, N. Fimić and L. Benarik, "A method of centralized resource management on a set-top box," *2014 IEEE Fourth International Conference on Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin)*, Berlin, Germany, 2014, pp. 144-146, doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2014.7034327.
- [16] B. S. Jaksic and M. B. Petrovic, 'Implementation of Video Compression Standards in Digital Television', *Recent Advances in Image and Video Coding*. InTech, Nov. 23, 2016. doi: 10.5772/64833.
- [17] ETSI TS 101 154 V2.7.1 (2022-01), "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcast and Broadband Applications", available on: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/101100\\_101199/101154/02.07.01\\_60/ts\\_101154v020701p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101100_101199/101154/02.07.01_60/ts_101154v020701p.pdf), accessed on April 25, 2023.
- [18] H.262 : Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video, available on: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.262>, accessed on April 25, 2023.
- [19] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "MPEG-4 Overview", March 2002.
- [20] H.264 : Advanced video coding for generic audiovisual services, available on: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.264-202108-I/en>, accessed on April 25, 2023.
- [21] H.265 : High efficiency video coding, available on: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-202108-I/en>, accessed on April 25, 2023.
- [22] Y. Shishikui, "Quality-Of-Experience Evaluation of 8K Ultra-High-Definition Television," *2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Anchorage, AK, USA, 2021, pp. 1404-1408, doi: 10.1109/ICIP42928.2021.9506605.
- [23] Bosi, Marina, and Richard E. Goldberg. *Introduction to digital audio coding and standards*. Vol. 721. Springer Science & Business Media, 2002.
- [24] Pan, D., Hua, Y., Xiang, Y., 2013. Research of Transport Stream and PCR Timestamp in the Satellite Digital TV Time Service System. *AMM*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.411-414.799>
- [25] N. Fimic and I. Basicovic, "Software architecture for supporting FCC in DVB-S/C/T set top boxes," in *Proc. TELFOR*, Belgrade, Serbia, 2016, pp. 1-4, DOI: 10.1109/TELFOR.2016.7818887.

- [26] N. Fimic, I. Basiccevic and N. Teslic, "Reducing Channel Change Time by System Architecture Changes in DVB-S/C/T Set Top Boxes," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 65, no. 3, pp. 312-321, Aug. 2019, doi: 10.1109/TCE.2019.2913361.
- [27] M. Kyryk, N. Pleskanka and M. Sylyuchenko, "Reducing channel zapping time based on predictive tuning method," in Proc. TCSET, Lviv-Slavske, Ukraine, 2012, pp. 224-225.
- [28] D.A. G. Manzato and N. L. da Fonseca, "A survey of channel switching schemes for IPTV," IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 8, pp. 120-127, Aug. 2013, DOI: 10.1109/MCOM.2013.6576349.
- [29] J. M. Boyce and A. M. Tourapis, "Fast efficient channel change [set-top box applications]," in Proc. ICCE, Las Vegas, NV, USA, 2005, pp. 1-2.
- [30] M. Long, S. Radhakrishnan, S. Karabuk and J. Antonio, "On zap time minimization in IPTV networks," 2012 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), Maui, HI, USA, 2012, pp. 713-718, doi: 10.1109/ICCNC.2012.6167515.
- [31] A. Bikfalvi, J. García-Reinoso, I. Vidal, F. Valera and A. Azcorra, "P2P vs. IP multicast: Comparing approaches to IPTV streaming based on TV channel popularity," J. Computer Networks, vol. 55, no. 6, pp. 1310-1325, April 2011.
- [32] C. Y. Lee, C. K. Hong and K. Y. Lee, "Reducing channel zapping time in IPTV based on user's channel selection behaviors," IEEE Trans. Broadcast., vol. 56, no. 3, pp. 321-330, Sept. 2010, DOI: 10.1109/TBC.2010.2051494.
- [33] Edgware TV, "Data sheet: Fast Channel Change", available on: <https://www.edgware.tv/wp-content/uploads/udp-retransmission-fast-channel-change-datasheet-edgware.pdf>, accessed on: May 06, 2023.
- [34] "Retransmission and Fast Channel Change", available on: [https://documentation.nokia.com/html/0\\_add-h-f/93-0262-04-01/7750\\_SR\\_OS\\_MS-ISA\\_Guide/Video-concepts.html#462551](https://documentation.nokia.com/html/0_add-h-f/93-0262-04-01/7750_SR_OS_MS-ISA_Guide/Video-concepts.html#462551), accessed on: May 06, 2023.
- [35] "Vodafone TV and set top box features", available on: <https://n.vodafone.ie/support/tv-hub/tv/features.html>, accessed on: May 06, 2023.
- [36] "Fast Channel Change for an All-ABR world", available on: <https://broadpeak.tv/blog/fast-channel-change-for-an-all-abr-world/>, accessed on: May 06, 2023.
- [37] "THEOplayer", available on: [https://2163521.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2163521/22Q3\\_Datasheet\\_THEOplayer-Cutting-edge-video-player-1.pdf?hstc=&hssc=&hsCtaTracking=52890515-0833-4430-96aa-d2753e88e616%7C783f9735-cac9-4c75-8721-1415fba23f2c](https://2163521.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2163521/22Q3_Datasheet_THEOplayer-Cutting-edge-video-player-1.pdf?hstc=&hssc=&hsCtaTracking=52890515-0833-4430-96aa-d2753e88e616%7C783f9735-cac9-4c75-8721-1415fba23f2c), accessed on: May 06, 2023.
- [38] Bitmovin, "The leader in quality playback", available on: <https://bitmovin.com/video-player/>, accessed on: May 06, 2023.
- [39] World Intellectual Property Organization - WIPO, available on: [www.wipo.int](http://www.wipo.int)
- [40] European Patent Office – EPO, available on: [www.epo.org](http://www.epo.org)
- [41] US Patent and Trademark Office – USPTO, available on: [www.uspto.gov](http://www.uspto.gov)

- [42] Robin L. Opie, Charles L. Compton, Weidong Mao, "Fast channel change in digital media systems", WIPO patent, WO2006019481A2
- [43] Jeffrey Cooper, Jill Boyce, Kumar Ramaswamy, "Robust mode staggercasting fast channel change", WIPO patent, WO2004070953A3
- [44] Alistair John Parker, Jeff Furlong, Gino Louis Dion, Richard Bettelheim, Boven Christian Van, "Milestone synchronization in broadcast multimedia streams", WIPO patent, WO2006103567A3
- [45] Microsoft Technology Licensing LLC, "Fast Channel Change", EPO patent, EP1523190A1
- [46] Telefonaktiebolaget LM Ericsson AB, "Unicast/multicast media edge proxy with fast channel switching", USPTO patent, US9065700
- [47] Arris Enterprises LLC, "Fast channel switching for digital tv", USPTO patent, US20090064242
- [48] Avago Technologies International Sales Pte Ltd , "Fast channel change", USPTO patent, US9402098
- [49] InterDigital CE Patent Holdings SAS, "Fast Channel Change In A Digital Television Receiver", USPTO patent, US20100183285
- [50] ARROVO VIDEO SOLUTIONS Inc, Synamedia Ltd, "Fast channel change with conditional return to multicasting", USPTO patent, US20070107026
- [51] DirecTV Group Inc, "Multi-channel digital video transmission receiver with improved channel-changing response", USPTO patent, US5933192
- [52] Alcatel Lucent SAS, "Client configuration and management for fast channel change of multimedia services", USPTO patent, US20100083328
- [53] HULU LLC, US Patent for Fast channel change in a video delivery network Patent (Patent # 10,791,366)
- [54] Lundqvist, Thomas (Stockholm, SE), Cedervall, Mats (Härnösand, SE), 2015 Method and server for fast channel change in unicast-multicast IPTV networks United States Telefonaktiebolaget L M Ericsson (publ) (Stockholm, SE) 9009765
- [55] S. Zare, S.M.H. Verki, and A.G.Rahbar, "Channel-Zapping Time in IPTV: Chalenges and Solutions," in IPTV Delivery Networks, 1st ed., New York City, NY, USA, John Wiley and Sons Ltd., 2018,. ch. 6, pp. 151-183.
- [56] P. Siebert, T. N. M. Van Caenegem and M. Wagner, "Analysis and Improvements of Zapping Times in IPTV Systems," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 55, no. 2, pp. 407-418, June 2009, doi: 10.1109/TBC.2008.2012019.
- [57] J. Wu et al., "A 2.7 mW/Channel 48–1000 MHz Direct Sampling Full-Band Cable Receiver," in IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 51, no. 4, pp. 845-859, April 2016, DOI: 10.1109/JSSC.2015.2511164.
- [58] R. Gomez, H. Zou, B. Chen, B. Currivan and D. Chang, "A Full-Band processor for reduction of RF mixer LO harmonic images," in Proc. CICC, San Jose, CA, USA, 2012, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CICC.2012.6330614.
- [59] O. Jamin, V. Rambeau, F. Goussin and G. Lebailly, "An RF front-end for multi-channel direct RF sampling cable receivers," in Proc. ESSCIRC, Helsinki, Finland, 2011, pp. 347-350, DOI: 10.1109/ESSCIRC.2011.6044978.

- [60] H. Joo, H. Song, D. B. Lee and I. Lee, "An effective IPTV channel control algorithm considering channel zapping time and network utilization," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 54, no. 2, pp. 208-216, June 2008, DOI: 10.1109/TBC.2008.915767.
- [61] M. Sarni, B. Hilt and P. Lorenz, "A Novel Scheme for a Fast Channel Change in Multicast IPTV System," in *Proc. ICC*, Kyoto, Japan, 2011, pp. 1-6, DOI: 10.1109/icc.2011.5962529.
- [62] Van Wallendael, G.; Mareen, H.; Vounckx, J.; Lambert, P. Keyframe Insertion: Enabling Low-Latency Random Access and Packet Loss Repair. *Electronics* 2021, 10, 748. <https://doi.org/10.3390/electronics10060748>
- [63] A. Azgin and Y. Altunbasak, "A Semi-Distributed Fast Channel Change Framework for IPTV Networks," 2011 Proceedings of 20th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), Lahaina, HI, USA, 2011, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICCCN.2011.6006088.
- [64] A. Azgin and Y. Altunbasak, "A unified fast channel change framework for IPTV networks," 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2011, pp. 695-696, doi: 10.1109/CCNC.2011.5766576.
- [65] H. Fuchs, U. Jennehag and H. Thoma, "Subjective evaluation of low resolution tune-in streams for IPTV fast channel change," 2009 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Bilbao, Spain, 2009, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISBMSB.2009.5133797.
- [66] Dekeris, B., & Narbutaite, L. (2010). IPTV Channel Zap Time Analysis. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 106(10), 117-120. Retrieved from <https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/9138>
- [67] C. Sasaki, A. Tagami, T. Hasegawa and S. Ano, "Rapid Channel Zapping for IPTV Broadcasting with Additional Multicast Stream," 2008 IEEE International Conference on Communications, Beijing, China, 2008, pp. 1760-1766, doi: 10.1109/ICC.2008.338.
- [68] I. Kopilovic and M. Wagner, "A benchmark for fast channel change in IPTV," 2008 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Las Vegas, NV, USA, 2008, pp. 1-7, doi: 10.1109/ISBMSB.2008.4536622.
- [69] C. Yang and Y. Liu, "On Achieving Short Channel Switching Delay and Playback Lag in IP-Based TV Systems," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 17, no. 7, pp. 1096-1106, July 2015, doi: 10.1109/TMM.2015.2429552.
- [70] Ghahfarokhi, B.S., Moghim, N. & Eftekhari, S. Reducing channel zapping time in live TV broadcasting over content centric networks. *Multimed Tools Appl* 76, 23239–23271 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11042-016-4037-3>
- [71] Azgin, Aytac and Yücel Altunbasak. "Channel Reordering with Time-shifted Streams to Improve Channel Change Latency in IPTV Networks." *ArXiv abs/1111.3711* (2011): n. pag.
- [72] G. Van Wallendael, P. Lambert and R. Van de Walle, "Fast Channel Switching Based on SVC in an IPTV Environment," 2009 11th IEEE International Symposium on Multimedia, San Diego, CA, USA, 2009, pp. 136-141, doi: 10.1109/ISM.2009.35.



- [73] G. Van Wallendael et al., "Fast channel switching for single-loop scalable HEVC," 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Paris, France, 2014, pp. 5991-5995, doi: 10.1109/ICIP.2014.7026209.
- [74] T. Akgul, "A Client-Based Fast Channel Change Technique Using Multiple Decoder Clocks," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 66, no. 1, pp. 61-68, Feb. 2020, doi: 10.1109/TCE.2019.2956625.
- [75] A. Azgin and Y. Altunbasak, "Analyzing performance tradeoffs for the delivery of concurrent channel change streams to enable fast channel change in IPTV networks," 2012 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2012, pp. 116-121, doi: 10.1109/CCNC.2012.6181068.
- [76] Lee, J., Lee, G., Seok, S., Chung, B. (2007). Advanced Scheme to Reduce IPTV Channel Zapping Time. In: Ata, S., Hong, C.S. (eds) Managing Next Generation Networks and Services. APNOMS 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4773. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-75476-3\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-540-75476-3_24)
- [77] Chunglae Cho, Intak Han, Yongil Jun and Hyeongho Lee, "Improvement of channel zapping time in IPTV services using the adjacent groups join-leave method," The 6th International Conference on Advanced Communication Technology, 2004., Phoenix Park, Korea (South), 2004, pp. 971-975, doi: 10.1109/ICACT.2004.1293012.
- [78] Fernando M.V. Ramos, Jon Crowcroft, Richard J. Gibbens, Pablo Rodriguez, Ian H. White, "Reducing channel change delay in IPTV by predictive pre-joining of TV channels", Signal Processing: Image Communication, Volume 26, Issue 7, 2011, Pages 400-412, ISSN 0923-5965, <https://doi.org/10.1016/j.image.2011.03.005>.
- [79] J. Koo and K. Chung, "User behavior-aware adaptive channel control scheme to reduce channel zapping time of mobile IPTV service," 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA, 2011, pp. 845-846, doi: 10.1109/ICCE.2011.5722897.
- [80] Meeyoung Cha, Pablo Rodriguez, Jon Crowcroft, Sue Moon, and Xavier Amatriain. 2008. Watching television over an IP network. In Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (IMC '08). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 71–84. <https://doi.org/10.1145/1452520.1452529>
- [81] E. Lee, J. Y. Ku and H. Bahn, "An efficient hot channel identification scheme for IPTV channel navigation," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 60, no. 1, pp. 124-129, February 2014, doi: 10.1109/TCE.2014.6780934.
- [82] Y. -H. Song and T. -G. Kwon, "Fast Channel Change IPTV System for Enhanced User Experience," 2009 Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Kyoto, Japan, 2009, pp. 815-818, doi: 10.1109/IIH-MSP.2009.12.
- [83] Zare, S. A program-driven approach joint with pre-buffering and popularity to reduce latency during channel surfing periods in IPTV networks. Multimed Tools Appl 77, 32093–32105 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6235-7>
- [84] Yuna Kim et al., "Reducing IPTV channel zapping time based on viewer's surfing behavior and preference," 2008 IEEE International Symposium on Broadband

- Multimedia Systems and Broadcasting, Las Vegas, NV, 2008, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISBMSB.2008.4536621.
- [85] G. Li, L. Qiu, C. Yu, H. Cao, Y. Liu and C. Yang, "IPTV Channel Zapping Recommendation With Attention Mechanism," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 23, pp. 538-549, 2021, doi: 10.1109/TMM.2020.2984094.
- [86] Qiu, Tongqing, "Understanding a large-scale IPTV network via system logs", PhD Theses, Georgia Institute of Technology, 2011.
- [87] Kooij, Robert E. et al. "Perceived quality of channel zapping." International Conference on Communication Systems and Networks (2006).
- [88] Н. Фимић, Л. Бенарик, Б. Мликота, С. Богић, Р. Симикић, Н. Шошкић, О. Бјековић, „Програмска подршка за дигитални пријемник HD+”
- [89] I. Basicevic, D. Kukolj, S. Osovaj, G. Smiljanovic and N. Fimic, "A Fast Channel Change Technique Based on Channel Prediction," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 64, no. 4, pp. 418-423, Nov. 2018, doi: 10.1109/TCE.2018.2875271
- [90] F. Kozamernik, L. Vermaele, "Will Broadband TV shape the future of broadcasting?", EBU Technical Review – April 2005

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

### Прилог 1: Пример доделе ресурса на математичким моделима

Општи опис сценарија (важи за све моделе):

Секвенца захтева упућена контролеру ресурса:

Итерација ( $i$ )	Захтеви	Ресурси / Ослобађање ресурса	Приоритет ( $p$ )
1	$Z_i$	$O, D$	6
2	$SZ_i$	$SO, SD$	6
3	$Z_{gu}(f_2)$	$O, D, AV$	5
4	$Z_{bpk}(f_2)$	$O, D, AV$	2
5	$Z_{bpk}(f_3)$	$O, D, AV$	2
6	$Z_s(f_5)$	$O, D, M$	4
7	$Z_s(f_4)$	$O, D, M$	4
8	$SZ_s(f_5)$	$SO, SD, SM$	4

**Број компонентни физичке архитектуре:**

Фреквенцијски одабирачи:  $o = 3$

Демултиплексери:  $d = 8$

Декодери:  $a = 3$

**Итерације у којима се обрађује захтев за ресурсима:**  $ZF = \{1, 3, 4, 5, 6\}$

**Итерације у којима се обрађује захтев за ослобађање ресурса:**  $ZS = \{2, 7\}$

**Скуп расположивих фреквенција:**  $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, -1\}$

**Правила за претварање захтева за функционалностима (ослобађање) у захтеве за ресурсе:**

$$Z_{gu}(i) = Z_{bpk}(i) = \{O(i) + D(i) + AV(i)\} // 3$$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$$Z_i(i) = Z_{pi}(i) = \{O(i) + D(i)\} // 2$$

$$Z_s(i) = \{O(i) + D(i) + M(i)\} // 3$$

$$Z_{gs}(i) = \{M(i) + D(i) + AV(i)\} // 3$$

### Општи опис сценарија:

У свакој итерацији ка моделу се упућује или захтев за ресурсима или захтев за ослобађање ресурса. На основу обраде пристиглог захтева он бива или одобрен (резултат обраде захтева је 1) или одбијен (резултат обраде захтева је 0), и ажурира се стање модела. Стање модела се прати кроз број доступних компоненти физичке архитектуре сваког од подржаних типова, тренутно активне функционалности (скуп  $AF$ ) и приоритета активних ресурса у моделу који подржава приоритете ( $M3$ ).

### Опис записа итерације:

Запис сваке итерације на почетку садржи почетно стање у виду броја расположивих ресурса (стање након претходне итерације), а затим обраду захтева који се обрађује у тој итерацији.

### Модел 1 – модел без дељења ресурса и приоритета

У овом моделу захтев за ресурсима ће бити испуњен само уколико постоје слободни ресурси који су потребни за дати захтев. Захтев за ослобађање ресурса је испуњен уколико је функционалност која се зауставља претходно покренута.

У оквиру овог модела број доступних ресурса у свакој итерацији се рачуна тако што се од почетног стања (укупан број инстанци неке компоненте) одузме број претходно додељених ресурса кроз успешне обраде захтева за ресурсима и на то се дода број ослобођених ресурса датог типа кроз успешно обрађене захтеве за ослобађање ресурса.

### Итерација 1:

#### Почетно стање:

Број слободних фреквенцијских одабирача:  $OS(1) = 3$

Број слободних демултиплексера:  $DS(1) = 8$

Број слободних декдоера:  $AVS(1) = 3$

Активне функционалности након претходне итерације:  $AF(0) = \{ \}$

#### Обрада захтева:

Захтев за доделу ресурса за инсталацију:  $Z_i(1) = (O(1) + D(1)) // 2 = (1 + 1) // 2 = 1$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача и демултиплексера, инсталација је додата у активне функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 2:

#### Почетно стање:

$$OS(2) = OS(0) - O(1) + SO(1) = 3 - 1 + 0 = 2$$

$$DS(2) = DS(0) - D(1) + SO(1) = 8 - 1 = 7$$

$$AVS(2) = AVS(0) = 3$$

$$AF(1) = \{\text{инсталација}\}$$

#### Обрада захтева:

**Захтев за заустављање инсталације:**  $SZi(2) = (SO(2) + SD(2))//2 = (1 + 1)//2 = 1$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су ослобођене по једна инстанца фреквенцијског одабирача и демултиплексера, инсталација је избачена из низа активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 3:

#### Почетно стање:

$$OS(3) = OS(0) - Zi(1) + SZi(2) = 3 - 1 + 1 = 3$$

$$DS(3) = DS(0) - Zi(1) + SZi(2) = 8 - 1 + 1 = 8$$

$$AVS(3) = AVS(0) = 3$$

$$AF(2) = \{\}$$

#### Обрада захтева:

**Захтев за гледање уживо:**  $Zgu(3) = (O(3) + D(3) + AV(3))//3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и декодера, гледање уживо је додато у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 4:

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

### Почетно стање:

$$OS(4) = OS(0) - Zi(1) - Zgu(3) + SZi(2) = 3 - 1 - 1 + 1 = 2$$

$$DS(4) = DS(0) - Zi(1) - Zgu(3) + SZi(2) = 8 - 1 - 1 + 1 = 7$$

$$AVS(4) = AVS(0) - Zgu(3) = 3 - 1 = 2$$

$$AF(3) = \{\text{гледање уживо}\}$$

### Обрада захтева:

$$\text{Захтев за припрему брзе промене канала: } Zbpk(4) = (O(4) + D(4) + AV(4)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и декодера, брза промена канала је додата у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 5:

#### Почетно стање:

$$OS(5) = OS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) + SZi(2) = 3 - 1 - 1 - 1 + 1 = 1$$

$$DS(5) = DS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) + SZi(2) = 8 - 1 - 1 - 1 + 1 = 6$$

$$AVS(5) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) = 3 - 1 - 1 = 1$$

$$AF(4) = \{\text{гледање уживо, брза промена канала}\}$$

#### Обрада захтева:

$$\text{Захтев за припрему брзе промене канала: } Zbpk(5) = (O(5) + D(5) + AV(5)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и декодера, брза промена канала је додата у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 6:

#### Почетно стање:

$$OS(6) = OS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) + SZi(2) = 3 - 1 - 1 - 1 - 1 + 1 = 0$$

$$DS(6) = DS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) + SZi(2) = 8 - 1 - 1 - 1 - 1 + 1 = 5$$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$$AVS(6) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$$

$$AF(5) = \{ \text{гледање уживо, брза промена канала, брза промена канала} \}$$

**Обрада захтева:**

$$\text{Захтев за снимање: } Zs(6) = (O(6) + D(6) + M(6))/3 = (0 + 1 + 1)/3 = 0$$

**Резултат:** Захтев је одбијен услед недовољног броја фреквенцијских одабирача. Сви делови модела остају непромењени.

**Итерација 7:**

**Почетно стање:**

$$OS(7) = OS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) - Zs(6) + SZi(2) = 3 - 1 - 1 - 1 - 1 - 0 + 1 = 0$$

$$DS(7) = DS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) - Zs(6) + SZi(2) = 8 - 1 - 1 - 1 - 1 - 0 + 1 = 5$$

$$AVS(7) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$$

$$AF(6) = \{ \text{гледање уживо, брза промена канала, брза промена канала} \}$$

**Обрада захтева:**

$$\text{Захтев за снимање: } Zs(7) = (O(7) + D(7) + M(7))/3 = (0 + 1 + 1)/3 = 0$$

**Резултат:** Захтев је одбијен услед недовољног броја фреквенцијских одабирача. Сви делови модела остају непромењени.

**Итерација 8:**

**Почетно стање:**

$$OS(8) = OS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) - Zs(6) - Zs(7) + SZi(2) = 3 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 0 - 0 + 1 = 0$$

$$DS(8) = DS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) - Zs(6) - Zs(7) + SZi(2) = 8 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 0 - 0 + 1 = 5$$

$$AVS(8) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$$

$$AF(7) = \{ \text{гледање уживо, брза промена канала, брза промена канала} \}$$

**Обрада захтева:**

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

**Захтев за заустављање снимања:**  $SZs(7) = 0$  |  $AF(7)$  не садржи покренуто снимање

**Резултат:** Захтев је одбијен јер тражена функционалност (снимање) није претходно покренута. Сви делови модела остају непромењени.

### Завршно стање:

$$OS(9) = OS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) - Zs(6) - Zs(7) + SZi(2) + SZs(7) = 3 - 1 - 1 - 1 - 1 - 0 - 0 + 1 + 0 = 0$$

$$DS(9) = DS(0) - Zi(1) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) - Zs(6) - Zs(7) + SZi(2) + SZs(7) = 8 - 1 - 1 - 1 - 1 - 0 - 0 + 1 + 0 = 5$$

$$AVS(9) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$$

$$AF(8) = \{ \text{гледање уживо, брза промена канала, брза промена канала} \}$$

Након обраде свих 8 захтева у оквиру Модела 1 резултат је 5 успешно извршених захтева (4 покретања функционалности и 1 заустављање) и 3 одбијена захтева (2 покретања и 1 заустављање снимања). До одбијања захтева је дошло услед недовољног броја фреквенцијских одабирача у случају захтева за покретање снимања, што је последично довело и до одбијања захтева за заустављање снимања, јер оно није претходно покренуто. Завршно стање модела је да су активне 3 функционалности за које су заузети 3 фреквенцијска одабирача, 3 демултиплексера и 3 декодера.

### Модел 2 – модел са дељењем ресурса

У овом моделу новина је да је могуће дељење фреквенцијског одабирача и демултиплексера између више функционалности. Ово значи да захтев за доделу ресурса не тражи искључиво слободне ресурсе већ проверава да ли је могуће искористити и дељени ресурс. Дељење ресурса између две или више функционалности је могуће уколико све функционалности користе исту фреквенцију.

У оквиру овог модела мења се начин рачунања броја слободних ресурса који могу бити дељени (фреквенцијских одабирача и демултиплексера) и овај број постаје једнак укупном броју датих ресурса на платформи умањеном за број фреквенција које се користе у једном или више захтева. Рачунање у случају фреквенцијских одабирача се врши по следећој формули:

$$OS(i) = o - \sum_{j=1}^f \begin{cases} 1, & O_{f_{j(i-1)}} > 0 \\ 0, & O_{f_{j(i-1)}} = 0 \end{cases}$$

Број слободних демултиплексера се рачуна на аналоган начин.

Захтеви поред итерације добијају додатни параметер, фреквенцију.



## Прилог 1: Пример доделе ресурса

### Итерација 1:

Почетно стање:

Број слободних фреквенцијских одабирача:  $OS(1) = 3$

Број слободних демултиплексера:  $DS(1) = 8$

Број слободних декдоера:  $AVS(1) = 3$

Активне функционалности након претходне итерације:  $AF(0) = \{ \}$

Обрада захтева:

Захтев за инсталацију (фреквенција -1 означава да дељење ресурса није могуће):

$$Zi(1, -1) = (O(1, -1) + D(1, -1)) // 2 = (1 + 1) // 2 = 1$$

Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$$O_{-1} = 1$$

$$D_{-1} = 1$$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача и демултиплексера, инсталација је додата у активне функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 2:

Почетно стање:

$OS(2) = o - 1 = 3 - 1 = 2$  //Укупан број умањен за фреквенцијски одабирач на фреквенцији -1

$DS(2) = d - 1 = 8 - 1 = 7$  //Укупан број умањен за демултиплексер на фреквенцији -1

$$AVS(2) = 3$$

$$AF(1) = \{инсталација\}$$

Обрада захтева:

Захтев за заустављање инсталације:  $SZi(2, -1) = (SO(2, -1) + SD(2, -1)) // 2 = (1 + 1) // 2 = 1$

Промене ресурса заузетих за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$$O_{-1} = 0$$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$$D_{-1} = 0$$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су ослобођене по једна инстанца фреквенцијског одабирача и демултиплексера, инсталација је избачена из низа активних функционалности и више не постоје коришћене фреквенције, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 3:

#### Почетно стање:

$$OS(3) = o = 3 \text{ // нема коришћених ресурса ни на једној фреквенцији}$$

$$DS(3) = d = 8 \text{ // нема коришћених ресурса ни на једној фреквенцији}$$

$$AVS(3) = 3$$

$$AF(2) = \{ \}$$

#### Обрада захтева:

#### Захтев за гледање уживо на фреквенцији $f_2$ :

$$Zgu(3, f_2) = (O(3, f_2) + D(3, f_2) + AV(3, f_2)) / 3 = (1 + 1 + 1) / 3 = 1$$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$$O_{f_2} = 1 \text{ // једна функционалност користи фреквенцијски одабирач на фреквенцији } f_2$$

$$D_{f_2} = 1 \text{ // једна функционалност користи демултиплексер на фреквенцији } f_2$$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача на фреквенцији  $f_2$ , демултиплексера на фреквенцији  $f_2$  и декодера, гледање уживо је додато у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 4:

#### Почетно стање:

$$OS(4) = o - 1 = 3 - 1 = 2 \text{ // Користи се фреквенцијски одабирач на фреквенцији } f_2 \text{ због тога је у формули } -1$$

$$DS(4) = d - 1 = 8 - 1 = 7 \text{ // Користи се демултиплексер на фреквенцији } f_2 \text{ због тога је у формули } -1$$

$$AVS(4) = AVS(0) - Zgu(3) = 3 - 1 = 2$$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$AF(3) = \{\text{гледање уживо}(f_2)\}$  // Активна функционалност је гледање уживо на фреквенцији  $f_2$

**Обрада захтева:**

**Захтев за припрему брзе промене канала на фреквенцији  $f_2$ :**

$$Zbpk(4, f_2) = (O(4, f_2) + D(4, f_2) + AV(4, f_2)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

Пошто се већ користе по један демултиплексер и фреквенцијски одабирач на фреквенцији  $f_2$  долази до дељења ресурса и исти ресурс се додељује и новој функционалности

**Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:**

$O_{f_2} = 2$  // 2 функционалности (гледање уживо и брза промена канала) користе фрекв. одабирач на  $f_2$

$D_{f_2} = 2$  // 2 функционалности (гледање уживо и брза промена канала) користе демултиплексер на  $f_2$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, дошло је до дељења фреквенцијског одабирача и демултиплексера јер се користи иста фреквенција  $f_2$ , и додатно је заузета једна инстанца декодера, брза промена канала на фреквенцији  $f_2$  је додата у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

**Итерација 5:**

**Почетно стање:**

$OS(5) = o - 1 = 3 - 1 = 2$  // Користи се фреквенцијски одабирач на фреквенцији  $f_2$  због тога је у формули -1

$DS(5) = d - 1 = 8 - 1 = 7$  // Користи се демултиплексер на фреквенцији  $f_2$  због тога је у формули -1

$$AVS(5) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) = 3 - 1 - 1 = 1$$

$AF(4) = \{\text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2)\}$  // Активне функционалности су гледање уживо и брза промена канала на фреквенцији  $f_2$

**Обрада захтева:**

**Захтев за припрему брзе промене канала на фреквенцији  $f_3$ :**

$$Zbpk(5, f_3) = (O(5, f_3) + D(5, f_3) + AV(5, f_3)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

**Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:**

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$O_{f_2} = 2, O_{f_3} = 1$  // 2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$  и једна користи други фрекв. одабирач на  $f_3$

$D_{f_2} = 2, D_{f_3} = 1$  // 2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$  и једна користи други демултиплексер на  $f_3$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и декодера, брза промена канала на фреквенцији  $f_3$  је додата у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 6:

#### Почетно стање:

$OS(6) = o - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 = 1$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_3$ , због тога је у формули два пута -1

$DS(6) = d - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 = 6$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_3$ , због тога је у формули два пута -1

$AVS(6) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$

$AF(5) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{брза промена канала}(f_3) \}$  // Активне функционалности су гледање уживо и брза промена канала на фреквенцији  $f_2$  и брза промена канала на фреквенцији  $f_3$

#### Обрада захтева:

#### Захтев за снимање а фреквенцији $f_5$ :

$Zs(6, f_5) = (O(6, f_5) + D(6, f_5) + M(6, f_5)) / 3 = (1 + 1 + 1) / 3 = 1$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$O_{f_2} = 2, O_{f_3} = 1, O_{f_5} = 1$  // 2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$ , 1 користи други фрекв. одабирач на  $f_3$  и 1 користи трећи на  $f_5$

$D_{f_2} = 2, D_{f_3} = 1, D_{f_5} = 1$  // 2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$ , 1 користи други демултиплексер на  $f_3$  и 1 користи трећи на  $f_5$

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и меморије, снимање на фреквенцији  $f_5$  је додато у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 7:

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

### Почетно стање:

$OS(7) = o - 1 - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2, f_3$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$DS(7) = d - 1 - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 - 1 = 5$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2, f_3$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$AVS(7) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$

$AF(6) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{брза промена канала}(f_3), \text{снимање}(f_5) \}$  // Активне функционалности су гледање уживо и брза промена канала на фреквенцији  $f_2$ , брза промена канала на фреквенцији  $f_3$  и снимање на фреквенцији  $f_5$

### Обрада захтева:

#### Захтев за снимање на фреквенцији $f_4$ :

$Zs(7, f_4) = (O(7, f_4) + D(7, f_4) + M(7, f_4))/3 = (0 + 1 + 1)/3 = 0$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$O_{f_2} = 2, O_{f_3} = 1, O_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$ , 1 користи други фрекв. одабирач на  $f_3$  и 1 користи трећи на  $f_5$

$D_{f_2} = 2, D_{f_3} = 1, D_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$ , 1 користи други демултиплексер на  $f_3$  и 1 користи трећи на  $f_5$

**Резултат:** Захтев је одбијен услед недовољног броја фреквенцијских одабирача, сви делови модела остају непромењени.

### Итерација 8:

#### Почетно стање:

$OS(8) = o - 1 - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2, f_3$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$DS(8) = d - 1 - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 - 1 = 5$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2, f_3$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$AVS(8) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$

$AF(7) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{брза промена канала}(f_3), \text{снимање}(f_5) \}$  // Активне функционалности су гледање уживо и брза промена канала на фреквенцији  $f_2$ , брза промена канала на фреквенцији  $f_3$  и снимање на фреквенцији  $f_5$

#### Обрада захтева:

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

**Захтев за заустављање снимања на фреквенцији  $f_5$ :**

$$SZs(8, f_5) = (SO(8, f_5) + SD(8, f_5) + SM(8, f_5)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

**Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:**

$O_{f_2} = 2, O_{f_3} = 1$  // 2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$  и једна користи други фрекв. одабирач на  $f_3$ , снимање је заустављено те је фрекв. одабирач са  $f_5$  ослобођен

$D_{f_2} = 2, D_{f_3} = 1$  // 2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$  и једна користи други демултиплексер на  $f_3$ , снимање је заустављено те је демултиплексер са  $f_5$  ослобођен

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, ослобођени су фреквенцијски одабирач и демултиплексер на  $f_5$ , као и меморија. Снимање је избачено из активних функционалности и  $f_5$  из коришћених фреквенција, а остали делови модела остају непромењени.

**Завршно стање:**

$OS(9) = o - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 = 1$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_3$ , због тога је у формули два пута -1

$DS(9) = d - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 = 5$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_3$ , због тога је у формули два пута -1

$$AVS(9) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$$

$AF(8) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{брза промена канала}(f_3) \}$  // Активне функционалности су гледање уживо и брза промена канала на фреквенцији  $f_2$  и брза промена канала на фреквенцији  $f_3$

Након обраде свих 8 захтева у оквиру Модела 2 резултат је 7 успешно извршених захтева (5 покретања функционалности и 2 заустављања) и 1 одбијен захтев (покретање снимања) услед недовољног броја фреквенцијских одабирача. Дељењем ресурса је делимично превазиђен проблем претходног модела са недовољним бројем фрекв. одабирача, те је покренута једна функционалност више него у претходном моделу, што је омогућило и заустављање дате функционалности, те није било одбијених захтева при заустављању. Завршно стање модела је да су активне 3 функционалности за које су заузета 2 фреквенцијска одабирача, 2 демултиплексера и 3 декодера.

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

### Модел 3 – модел са дељењем ресурса и приоритетима

У овом моделу новина је увођење приоритета ресурса и приоритизованог преузимања ресурса. Ово значи да у ситуацији када не постоји погодан ресурс за дељење ни слободан ресурс, уколико је приоритет новог захтева већи од приоритета захтева за који се ресурс тренутно користи, долази до приоритизованог преузимања ресурса, активни захтев се зауставља, и нови захтев може бити одобрен. Из тог разлога у запису стања овог модела у свакој итерацији додаје се и праћење приоритета активних ресурса. Приоритети се чувају у низу за сваки ресурс, јер у случају дељеног ресурса може бити додељено више приоритета истом ресурсу, док се у проверама користи максимална вредност из датог низа приоритета. Увођење приоритета мења и функцију за захтеве где се уводи трећи параметер, који означава приоритет захтева.

Промене у низу приоритета неког ресурса се рачунају по следећој формули:

$$ResP_i = \{ResP_{i-1}\} \cup \{p_1 * ZRes(i, f_i, p_1)\} \setminus \{p_2 * SRes(i, f_i)\}$$

Односно претходном скупу приоритета се придружује нови приоритет успешно извршеног захтева за ресурсима преко операције унија скупова, док се у случају успешног захтева за ослобађање ресурса дати приоритет избацује из скупа операцијом разлика скупова. Унија и разлика скупова имају ефекта само уколико је захтев успешно извршен, јер у случају одбијеног захтева вредност приоритета захтева се множи са 0 која представља резултат обраде захтева, те на тај начин губи утицај на скуп приоритета ресурса, јер је 0 мања од свих валидних вредности приоритета.

#### Итерација 1:

Почетно стање:

Број слободних фреквенцијских одабирача:  $OS(1) = 3$

Број слободних демултиплексера:  $DS(1) = 8$

Број слободних декдоера:  $AVS(1) = 3$

Активне функционалности након претходне итерације:  $AF(0) = \{\}$

Обрада захтева:

Захтев за инсталацију са фреквенцијом -1 и приоритетом 6:

$$Zi(1, -1, 6) = (O(1, -1, 6) + D(1, -1, 6)) // 2 = (1 + 1) // 2 = 1$$

Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$$O_{-1} = 1$$

$$D_{-1} = 1$$

Промене у приоритетима активних ресурса:

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$O_1P_1 = \{\} \cup \{6 * Zi(1)\} = \{6\}$  // Унијом празног скупа као претходног стања и скупа са елементом 6 добија се резултујући скуп приоритета ресурса са једним елементом са вредношћу 6

$D_1P_1 = \{\} \cup \{6 * Zi(1)\} = \{6\}$  // Унијом празног скупа као претходног стања и скупа са елементом 6 добија се резултујући скуп приоритета ресурса са једним елементом са вредношћу 6

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача и демултиплексера, инсталација је додата у активне функционалности, приоритет 6 је додељен заузетим ресурсима, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 2:

#### Почетно стање:

$OS(2) = o - 1 = 3 - 1 = 2$  //Укупан број умањен за фреквенцијски одабирач на фреквенцији -1

$DS(2) = d - 1 = 8 - 1 = 7$  //Укупан број умањен за демултиплексер на фреквенцији -1

$AVS(2) = 3$

$AF(1) = \{\text{инсталација}\}$

#### Обрада захтева:

**Захтев за заустављање инсталације:**  $SZi(2, -1) = (SO(2, -1) + SD(2, -1))/2 = (1 + 1)/2 = 1$

#### Промене ресурса заузетих за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$O_{-1} = 0$

$D_{-1} = 0$

#### Промене у приоритетима ресурса:

$O_1P_2 = \{6\} \setminus \{6 * SZi(2)\} = \{\}$  // Разликом претходног стања и скупа са елементом 6 долази се до празног скупа што представља ново стање приоритета ресурса. Пошто ресурс више није активан, нема приоритет.

$D_1P_2 = \{6\} \setminus \{6 * SZi(2)\} = \{\}$  // Разликом претходног стања и скупа са елементом 6 долази се до празног скупа што представља ново стање приоритета ресурса. Пошто ресурс више није активан, нема приоритет.

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су ослобођене по једна инстанца фреквенцијског одабирача и демултиплексера, инсталација је избачена из низа



## Прилог 1: Пример доделе ресурса

активних функционалности и више не постоје коришћене фреквенције, ослобођени ресурси више немају приоритет, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 3:

#### Почетно стање:

$OS(3) = o = 3$  // нема коришћених ресурса ни на једној фреквенцији

$DS(3) = d = 8$  // нема коришћених ресурса ни на једној фреквенцији

$AVS(3) = 3$

$AF(2) = \{ \}$

#### Обрада захтева:

#### Захтев за гледање уживо на фреквенцији $f_2$ са приоритетом 5:

$Zgu(3, f_2, 5) = (O(3, f_2, 5) + D(3, f_2, 5) + AV(3, f_2, 5))/3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$O_{f_2} = 1$  // једна функционалност користи фреквенцијски одабирач на фреквенцији  $f_2$

$D_{f_2} = 1$  // једна функционалност користи демултиплексер на фреквенцији  $f_2$

#### Промене у приоритетима активних ресурса:

$O_1P_3 = \{ \} \cup \{ 5 * Zgu(3, f_2, 5) \} = \{ 5 \}$  // Приоритет заузетог ресурса постаје 5, једнак приоритету испуњеног захтева

$D_1P_3 = \{ \} \cup \{ 5 * Zgu(3, f_2, 5) \} = \{ 5 \}$  // Приоритет заузетог ресурса постаје 5, једнак приоритету испуњеног захтева

$AV_1P_3 = \{ \} \cup \{ 5 * Zgu(3, f_2, 5) \} = \{ 5 \}$  // Приоритет заузетог ресурса постаје 5, једнак приоритету испуњеног захтева

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача на фреквенцији  $f_2$ , демултиплексера на фреквенцији  $f_2$  и декодера, гледање уживо је додато у низ активних функционалности, и вредност 5 је додата у низ приоритета свих заузетих ресурса у овој итерацији, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 4:

#### Почетно стање:

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$OS(4) = o - 1 = 3 - 1 = 2$  // Користи се фреквенцијски одабирач на фреквенцији  $f_2$  због тога је у формули -1

$DS(4) = d - 1 = 8 - 1 = 7$  // Користи се демултиплексер на фреквенцији  $f_2$  због тога је у формули -1

$AVS(4) = AVS(0) - Zgu(3) = 3 - 1 = 2$

$AF(3) = \{\text{гледање уживо}(f_2)\}$

### Обрада захтева:

**Захтев за припрему брзе промене канала на фреквенцији  $f_2$  са приоритетом 2:**

$Zbpk(4, f_2, 2) = (O(4, f_2, 2) + D(4, f_2, 2) + AV(4, f_2, 2)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$

**Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:**

$O_{f_2} = 2$  // 2 функционалности (гледање уживо и брза промена канала) користе фрекв. одабирач на  $f_2$

$D_{f_2} = 2$  // 2 функционалности (гледање уживо и брза промена канала) користе демултиплексер на  $f_2$

**Промене у приоритетима активних ресурса:**

$O_1P_4 = \{5\} \cup \{2 * Zbpk(4, f_2, 2)\} = \{5, 2\}$  // Дељени ресурс има два приорета у скупу

$D_1P_4 = \{5\} \cup \{2 * Zbpk(4, f_2, 2)\} = \{5, 2\}$  // Дељени ресурс има два приорета у скупу

$AV_2P_4 = \{\} \cup \{2 * Zbpk(4, f_2, 2)\} = \{2\}$  // Ново-заузети декодер добија приоритет 2

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, дошло је до дељења фреквенцијског одабирача и демултиплексера јер се користи иста фреквенција  $f_2$ , њиховим скуповима приоритета је додат нови елемент 2, и додатно је заузета једна инстанца декодера којој је такође додељен приоритет 2, брза промена канала је додата у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 5:

**Почетно стање:**

$OS(5) = o - 1 = 3 - 1 = 2$  // Користи се фреквенцијски одабирач на фреквенцији  $f_2$  због тога је у формули -1

$DS(5) = d - 1 = 8 - 1 = 7$  // Користи се демултиплексер на фреквенцији  $f_2$  због тога је у формули -1

$AVS(5) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) = 3 - 1 - 1 = 1$

$AF(4) = \{\text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2)\}$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

### Обрада захтева:

#### Захтев за припрему брзе промене канала на фреквенцији $f_3$ са приоритетом 2:

$$Zbpk(5, f_3, 2) = (O(5, f_3, 2) + D(5, f_3, 2) + AV(5, f_3, 2)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$O_{f_2} = 2, O_{f_3} = 1 // 2$  функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$  и једна користи други фрекв. одабирач на  $f_3$

$D_{f_2} = 2, D_{f_3} = 1 // 2$  функционалности користе демултиплексер на  $f_2$  и једна користи други демултиплексер на  $f_3$

#### Промене у приоритетима активних ресурса:

$O_2P_5 = \{ \} \cup \{ 2 * Zbpk(5, f_3, 2) \} = \{ 2 \} //$  Нови фрекв. одабирач који до сада није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 2

$D_2P_5 = \{ \} \cup \{ 2 * Zbpk(5, f_3, 2) \} = \{ 2 \} //$  Нови демултиплексер који до сада није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 2

$AV_3P_5 = \{ \} \cup \{ 2 * Zbpk(5, f_3, 2) \} = \{ 2 \} //$  Нови декодер који до сада није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 2

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и декодера, свим заузетим ресурсима је додељен приоритет 2, брза промена канала на фреквенцији  $f_3$  је додата у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 6:

#### Почетно стање:

$OS(6) = o - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 = 1 //$  Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_3$ , због тога је у формули два пута -1

$DS(6) = d - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 = 6 //$  Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_3$ , због тога је у формули два пута -1

$$AVS(6) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$$

$$AF(5) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{брза промена канала}(f_3) \}$$

### Обрада захтева:

#### Захтев за снимање на фреквенцији $f_5$ са приоритетом 4:

$$Zs(6, f_5, 4) = (O(6, f_5, 4) + D(6, f_5, 4) + M(6, f_5, 4)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$O_{f_2} = 2, O_{f_3} = 1, O_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$ , 1 користи други фрекв. одабирач на  $f_3$  и 1 користи трећи на  $f_5$

$D_{f_2} = 2, D_{f_3} = 1, D_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$ , 1 користи други демултиплексер на  $f_3$  и 1 користи трећи на  $f_5$

**Промене у приоритетима активних ресурса:**  
 $O_3P_6 = \{ \} \cup \{ 4 * Zs(6, f_5, 4) \} = \{ 4 \}$  // Нови фрекв. одабирач који до сада није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 4  
 $D_3P_6 = \{ \} \cup \{ 4 * Zs(6, f_5, 4) \} = \{ 4 \}$  // Нови демултиплексер који до сада није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 4

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему су заузете по једна инстанца фреквенцијског одабирача, демултиплексера и меморије, додељен им је приоритет 4, снимање на фреквенцији  $f_5$  је додато у низ активних функционалности, а остали делови модела остају непромењени.

### Итерација 7:

#### Почетно стање:

$OS(7) = o - 1 - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2, f_3$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$DS(7) = d - 1 - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 - 1 = 5$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2, f_3$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$AVS(7) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$

$AF(6) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{брза промена канала}(f_3), \text{снимање}(f_5) \}$

#### Обрада захтева:

#### Захтев за снимање на фреквенцији $f_4$ са приоритетом 4:

$Zs(7, f_4, 4) = (O(7, f_4, 4) + D(7, f_4, 4) + M(7, f_4, 4)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$

//Додела фрекв. одабирача изазива преузимање ресурса јер је приоритет снимања већи од приоритета брзе промене канала која тренутно заузима фрекв. одабирач

#### Међукорак обраде захтева изазван преузимањем ресурса:

#### Заустављање брзе промене канала на $f_3$ :

$SZbpk(7, f_3) = (SO(7, f_3) + SD(7, f_3) + SAV(7, f_3)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

**Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама након међукорака:**

$O_{f_2} = 2, O_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$  и 1 користи други на  $f_5$

$D_{f_2} = 2, D_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$  и 1 користи други демултиплексер на  $f_5$

**Промене у приоритетима ресурса након међукорака:**

$O_2P_7 = \{2\} \setminus \{2 * SZbpk(7, f_3)\} = \{ \}$  //Фрекв. одабирач који се користио за брзу промену канала на  $f_3$  привремено губи приоритет јер је функционалност стопирана и доступан је за доделу новој функционалности  
 $D_2P_7 = \{2\} \cup \{2 * SZbpk(7, f_3)\} = \{ \}$  //Демултиплексер који се користио за брзу промену канала на  $f_3$  привремено губи приоритет јер је функционалност стопирана и доступан је за доделу новој функционалности  
 $AV_3P_7 = \{2\} \cup \{2 * SZbpk(7, f_3)\} = \{ \}$  // Декодер који се користио за брзу промену канала на  $f_3$  губи приоритет јер је функционалност стопирана

**Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:**

$O_{f_2} = 2, O_{f_4} = 1, O_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$ , 1 користи други фрекв. одабирач на  $f_4$  и 1 користи трећи на  $f_5$

$D_{f_2} = 2, D_{f_4} = 1, D_{f_5} = 1$  //2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$ , 1 користи други демултиплексер на  $f_4$  и 1 користи трећи на  $f_5$

**Промене у приоритетима активних ресурса:**

$O_2P_7 = \{ \} \cup \{4 * Zs(7, f_4, 4)\} = \{4\}$  // Преузети фрекв. одабирач који након међукорака није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 4  
 $D_2P_7 = \{ \} \cup \{4 * Zs(7, f_4, 4)\} = \{4\}$  // Преузети демултиплексер који након међукорака није имао приоритет јер није био активан добија приоритет 4

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, при чему је дошло до приоритизованог преузимања ресурса. Фрекв. одабирач и демултиплексер који су били коришћени за брзу промену канала на  $f_3$  су преузети за снимање на  $f_4$  и приоритет им је промењен на 4. Декодер који се користио за брзу промену канала на  $f_3$  је постао слободан ресурс и нема додељен приоритет. Брза промена канала на  $f_3$  је избачена, а снимање на фреквенцији  $f_4$  је додато у низ активних функционалности. Остали делови модела остају непромењени.

**Итерација 8:**

**Почетно стање:**

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$OS(8) = o - 1 - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 - 1 = 0$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2, f_4$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$DS(8) = d - 1 - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 - 1 = 5$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2, f_4$  и  $f_5$ , због тога је у формули три пута -1

$AVS(8) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) + SZbpk(7) = 3 - 1 - 1 - 1 + 1 = 1$

$AF(7) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{снимање}(f_4), \text{снимање}(f_5) \}$

### Обрада захтева:

#### Захтев за заустављање снимања на фреквенцији $f_5$ :

$SZs(8, f_5) = (SO(8, f_5) + SD(8, f_5) + SM(8, f_5)) // 3 = (1 + 1 + 1) // 3 = 1$

#### Ресурси заузети за функционалности на одређеним фреквенцијама:

$O_{f_2} = 2, O_{f_4} = 1$  // 2 функционалности користе фрекв. одабирач на  $f_2$  и једна користи други фрекв. одабирач на  $f_4$ , снимање је заустављено те је фрекв. одабирач са  $f_5$  ослобођен

$D_{f_2} = 2, D_{f_4} = 1$  // 2 функционалности користе демултиплексер на  $f_2$  и једна користи други демултиплексер на  $f_4$ , снимање је заустављено те је демултиплексер са  $f_5$  ослобођен

#### Промене у приоритетима ресурса:

$O_3P_7 = \{4\} \setminus \{4 * SZs(6, f_5)\} = \{ \}$  // Фрекв. одабирач је ослобођен па више нема приоритет 4 који је имао док је снимање било активно

$D_3P_7 = \{4\} \setminus \{4 * SZs(6, f_5)\} = \{ \}$  // Демултиплексер је ослобођен па више нема приоритет 4 који је имао док је снимање било активно

**Резултат:** Захтев је успешно извршен, ослобођени су фреквенцијски одабирач и демултиплексер на  $f_5$ , као и меморија. Снимање је избачено из активних функционалности и  $f_5$  из коришћених фреквенција, елемент 4 је избачен из низа приоритета ресурса коришћених за снимање које је заустављено, а остали делови модела остају непромењени.

### Завршно стање:

$OS(9) = o - 1 - 1 = 3 - 1 - 1 = 1$  // Користе се фрекв. одабирачи на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_4$ , због тога је у формули два пута -1

$DS(9) = d - 1 - 1 = 8 - 1 - 1 = 5$  // Користе се демултиплексери на фреквенцијама  $f_2$  и  $f_4$ , због тога је у формули два пута -1

$AVS(9) = AVS(0) - Zgu(3) - Zbpk(4) - Zbpk(5) + SZbpk(7) = 3 - 1 - 1 - 1 + 1 = 1$

## Прилог 1: Пример доделе ресурса

$AF(8) = \{ \text{гледање уживо}(f_2), \text{брза промена канала}(f_2), \text{снимање}(f_4) \}$  // Активне функционалности су гледање уживо и брза промена канала на фреквенцији  $f_2$  и снимање на фреквенцији  $f_4$ .

### Приоритети активних ресурса:

$$O_1P_8 = \{2, 5\}$$

$$O_2P_8 = \{4\}$$

$$D_1P_8 = \{2, 5\}$$

$$D_2P_8 = \{4\}$$

$$AV_1P_8 = \{5\}$$

$$AV_2P_8 = \{2\}$$

Након обраде свих 8 захтева у оквиру Модела 3 резултат је 8 успешно извршених захтева (5 покретања функционалности и 2 заустављања), уз једно приоритизовано преузимање ресурса. Завршно стање модела је да су активне 3 функционалности за које су заузета 2 фреквенцијска одабирача, 2 демултиплексера и 2 декодера, од којих сви имају додељене одговарајуће приоритете. Дељени ресурси имају по два елемента у низу приоритета, док остали ресурси који се користе само за једну функционалност имају низ приоритета са по једним елементом.

*Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.*

## План третмана података

<b>Назив пројекта/истраживања</b>
Прилог решењу брзе промене канала дигиталног ТВ пријемника
<b>Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање</b>
а) Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду б) Институт РТ-РК, Нови Сад
<b>Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање</b>
Истраживање се реализује у оквиру израде докторске дисертације на студијском програму Рачунарство и аутоматика.
<b>1. Опис података</b>
1.1 Врста студије <i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> <b>Докторска дисертација</b> _____ _____ _____
1.2 Врсте података <b>а) квантитативни</b>



**б) квалитативни**

1.3. Начин прикупљања података

- а) анкете, упитници, тестови
- б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
- в) генотипови: навести врсту \_\_\_\_\_
- г) административни подаци: навести врсту \_\_\_\_\_
- д) узорци ткива: навести врсту \_\_\_\_\_
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту \_\_\_\_\_
- е) текст, навести врсту \_\_\_\_\_
- ж) мапа, навести врсту \_\_\_\_\_
- з) остало: описати **Рачунарски експеримент и симулације** \_\_\_\_\_

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека \_\_\_\_\_
- б) SPSS фајл, датотека \_\_\_\_\_
- в) PDF фајл, датотека \_\_\_\_\_
- д) Текст фајл, датотека \_\_\_\_\_
- е) JPG фајл, датотека \_\_\_\_\_
- ф) Остало, датотека \_\_\_\_\_

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли **Велик број** \_\_\_\_\_
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) **Велик број** \_\_\_\_\_

1.3.3. Поновљена мерења

а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак између поновљених мера је \_\_\_\_\_
- б) варијабле које се више пута мере односе се на \_\_\_\_\_
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као \_\_\_\_\_

Напомене: \_\_\_\_\_

*Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?*

*а) Да*

*б) Не*

*Ако је одговор не, образложити \_\_\_\_\_*

\_\_\_\_\_

## 2. Прикупљање података

### 2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

#### 2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- а) експеримент, навести тип Рачунарске симулације \_\_\_\_\_
- б) корелационо истраживање, навести тип \_\_\_\_\_
- ц) анализа текста, навести тип Анализа доступне литературе \_\_\_\_\_
- д) остало, навести шта \_\_\_\_\_

#### 2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

\_\_\_\_\_

---

## 2.2 Квалитет података и стандарди

### 2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? \_\_\_\_\_
- б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не
- в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података
- 

### 2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

**Квалитет података је контролисан поређењем експерименталних и теоријских**

**Података**

---

### 2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

**Контрола уноса података је изведена на основу експертског**

**Знања**

---

## 3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у **Репозиторијуму докторских дисертација на**

**Универзитету у Новом Саду.**

3.1.2. URL адреса \_\_\_\_\_

3.1.3. DOI \_\_\_\_\_

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до \_\_\_\_\_

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог \_\_\_\_\_

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

---

---

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? **Стандард који примењује**

**Репозиторијум докторских дисертација Универзитета у Новом Саду** \_\_\_\_\_

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

---

---

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

---

---

---

---

### 3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? \_\_\_\_\_

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? **Да** **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? **Да** **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

**Да** **Не**

Образложити

---

---

## 4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

### 4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити \_\_\_\_\_ података \_\_\_\_\_ о \_\_\_\_\_ личности ([https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_zastiti\\_podataka\\_o\\_licnosti.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html)) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? **Да** **Не**

Ако је одговор **Да**, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

---

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
  - б) Подаци су анонимизирани
  - ц) Остало, навести шта
- 
- 

## 5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

**а) јавно доступни**

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

---

---

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

---

---

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

**Ауторство - некомерцијално** \_\_\_\_\_

## 6. Улоге и одговорност

*6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података*

**Немања Фимић, [fimicn@gmail.com](mailto:fimicn@gmail.com)** \_\_\_\_\_

*6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима*

**Немања Фимић, [fimicn@gmail.com](mailto:fimicn@gmail.com)** \_\_\_\_\_

*6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима*

**Немања Фимић, [fimicn@gmail.com](mailto:fimicn@gmail.com)** \_\_\_\_\_