



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА**



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
НОВИ САД**

Депарتمان за рачунарство и аутоматику

Одсек за рачунарску технику и рачунарске комуникације

ЗАВРШНИ (BACHELOR) РАД

Кандидат: Стефан Курћан

Број индекса: РА201/2019

Тема рада: Једно решење издвајања аудио података из DAB+ радио тока

Ментор рада: Проф. др Илија Башичевић

Нови Сад, јул, 2023



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

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:		
Идентификациони број, ИБР:		
Тип документације, ТД:	Монографска документација	
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал	
Врста рада, ВР:	Завршни (Bachelor) рад	
Аутор, АУ:	Стефан Курћан	
Ментор, МН:	Проф. др Илија Башичевић	
Наслов рада, НР:	Једно решење издвајања аудио података из DAB+ радио тока	
Језик публикације, ЈП:	Српски / латиница	
Језик извода, ЈИ:	Српски	
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија	
Уже географско подручје, УГП:	Војводина	
Година, ГО:	2023	
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт	
Место и адреса, МА:	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6	
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страница/цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/28/27/5/13/0/0	
Научна област, НО:	Електротехника и рачунарство	
Научна дисциплина, НД:	Рачунарска техника	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Дигитални радио, DAB, DAB+	
УДК		
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад	
Важна напомена, ВН:		
Извод, ИЗ:	У оквиру рада проширен је демултиплексер за издвајање аудио података DAB стандардног радио тока са могућношћу издвајања аудио података DAB+ стандардног радио тока. Решење је у облику динамичке библиотеке. Циљна платформа је <i>дигитални ТВ пријемник</i> фирме „ <i>Voynques Telecom</i> “ модела „ <i>Bytel Brooklyn</i> “.	
Датум прихватања теме, ДП:		
Датум одбране, ДО:	13.7.2023.	
Чланови комисије, КО:	Председник: Проф. др Небојша Пјевалица	
	Члан: Ванр. проф. др Иван Каштелан	Потпис ментора
	Члан, ментор: Проф. др Илија Башичевић	



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Bachelor Thesis
Author, AU :	Stefan Kurčan
Mentor, MN :	Prof. dr Ilija Bašičević
Title, TI :	An implementation of audio data extraction from a DAB+ standard radio stream
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2023
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/28/27/5/13/0/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, S/KW :	Digital radio, DAB, DAB+
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	This paper covers the extension of an implementation of audio data extraction from a DAB standard radio stream to include support for DAB+ standard radio streams. The solution is implemented in the form of a dynamic library. The target platform is a Bouygues Telecom Bytel Brooklyn TV set-top box.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	13.7.2023.
Defended Board, DB :	President: Prof. Dr. Nebojša Pjevalica
	Member: Assoc. Prof. Dr. Ivan Kaštelan
	Member, Mentor: Prof. Dr. Ilija Bašičević
	Menthor's sign

Захвалност

Захваљујем се свом ментору Башичевић Илији и техничком ментору Ћирић Александру на стручној помоћи и подршци приликом израде овог рада.

Такође се захваљујем својој породици и пријатељима на сталној подршци коју су ми пружали током студирања.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



САДРЖАЈ

1.	Увод	1
2.	Теоријске основе.....	2
2.1	Радио	2
2.2	Хронологија радија	3
2.2.1	Још ранија историја, телеграфија	5
2.3	Разлике <i>DAB</i> у односу на <i>FM</i>	6
2.4	Структура <i>DAB</i> ансамбла	7
2.4.1	Структура <i>FIB</i> поља	8
2.4.2	Структура <i>FIG</i> поља.....	9
2.5	Андроид платформа.....	10
2.5.1	Слојевита структура Андроида	12
2.5.2	Нека проширења Андроида у односу на Линукс	13
2.5.3	Неки делови Андроида	14
3.	Концепт решења	15
3.1	Опис циљне платформе	15
4.	Програмско решење	17
4.1	Функције	17
4.1.1	Функција <i>DABDecodeFIC</i>	17
4.1.2	Функција <i>DABExtractAudio</i>	18
4.1.3	Функција <i>DABMakeOutputStream</i>	18
4.1.4	Функција <i>DABSetOutputStream</i>	18
5.	Резултати	20
5.1	Тестне апликације	20

5.1.1	Тестирање на Линуксу	20
5.1.2	Тестирање на Андроиду.....	21
5.1.3	Помоћна тестна апликација, аудио плејер	21
5.2	Тестирани случајеви	22
6.	Закључак.....	25
7.	Литература.....	26

СПИСАК СЛИКА

Слика 2.1 – Спектар радио таласа	2
Слика 2.2 – Распрострањеност <i>DAB(+)</i> радија у Европи.....	3
Слика 2.3 – Маркони са својим прекоокеанским радиом (лево), <i>Regency TR-1</i> – први комерцијални транзисторски радио (средина), <i>DAB-C10</i> – преносни <i>DAB/DAB+</i> радио (десно)	5
Слика 2.4 – Чапеов телеграф	6
Слика 2.5 – Структура оквира	8
Слика 2.6 – Структура <i>FIB</i> поља	8
Слика 2.7 – Структура <i>FIG</i> поља типа 0.....	9
Слика 2.8 – Структура <i>FIG</i> поља типа 1.....	10
Слика 2.9 – Андроид логотипи кроз године.....	11
Слика 2.10 – Слојевита структура оперативног система Андроид.....	12
Слика 2.11 – Структура Андроида из перспективе комуникационих спрега	13
Слика 2.12 – <i>Out of memory killer</i>	14
Слика 5.1 – Андроид апликација за тестирање.....	21

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 2.1 – Хронологија радија	4
Табела 2.2 – Типови <i>FIG</i> -а	9
Табела 5.1 – Табела испитаних случајева.....	22
Табела 5.2 – Сервиси у „PRODUCT-STREAM-01_V1.2.eti“ [4].....	23
Табела 5.3 – Сервиси у „PRODUCT-STREAM-02_V1.2.eti“ [4].....	24

СКРАЋЕНИЦЕ

DAB – Digital Audio Broadcasting, Стандард за емитовање дигиталних радио сервиса

FM broadcasting – Frequency modulation broadcasting, Техника фреквентне модулације и емитовања аналогног радија

AM – Amplitude modulation, Техника амплитудне модулације аналогног радија

ECC – Error correction coding, Код за исправљање грешака

OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing, Метода модулације дигиталног сигнала

MP2 – MPEG-1 ili MPEG-2 Audio Layer II, Формат компресије звука са губицима развијен за потребе *DAB* радија

AAC – Advanced Audio Coding, Формат компресије звука са губицима

HE-AAC v2 – High Efficiency Advanced Audio Coding version 2, Формат компресије звука са губицима

EPG – Electronic program guide, Електронски водич кроз програм

HTML – HyperText Markup Language, Језик за описивање веб страница

JNI – Java native interface, Спрега између Јава и Ц/Ц++ (енг. *native*) дела Андроид апликације

HD – High definition, Високог квалитета

GPS – Global positioning system, Глобални сателитски систем за навигацију заснован на радио таласима

OS – оперативни систем

RS coding – Reed-Solomon coding, Рид-соломон код за отклањање грешака

STB – Set-top box, Уређај за пријем дигиталног ТВ и радио сигнала

1. Увод

У овом раду је из програма *DABlin* издвојен процес екстракције аудио података стандардног *DAB+* радио тока, по стандарду којег дефинишу организације *WorldDAB* и *ETSI*. Улазни ток је дат у облику *eti* мултиплекса. У случају екстракције излаз је у облику *aac* аудио фајла. У случају декодовања *FIC*-а излаз су контролни подаци мултиплекса у текстуалном облику. Укратко је предочена историја радија. Описан је начин употребе библиотеке, а дат је и поглед у рад библиотеке, испод слоја апстракције намењеног кориснику.

Полазну тачку у раду представља демултиплексер за издвајање аудио података *DAB* стандардног радио тока развијен на Институту за рачунарску технику и рачунарске комуникације.

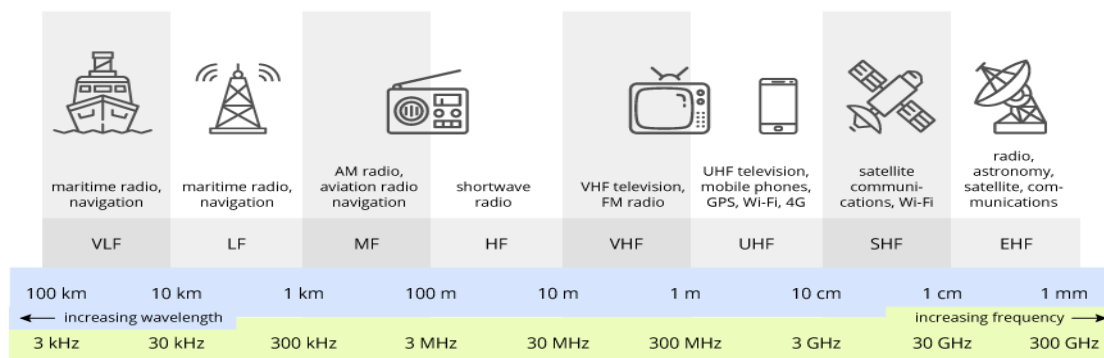
Рад се састоји из 7 поглавља. У другом поглављу су дате теоријске основе о дигиталном радију, његовој разлици у односу на аналогни, поглед на историју радија и основе оперативног система Андроид. У трећем поглављу је представљен концепт решења. Четврто поглавље описује главне функције реализоване програмске библиотеке. У петом поглављу су изнети резултати рада и описани су начини верификације исправности реализованог модула. Шесто поглавље даје закључак рада, док седмо поглавље даје приказ литературе коришћене приликом израде рада.

2. Теоријске основе

У овом поглављу представљене су могућности, предности и структура мултиплекса *DAB/DAB+* радија, као и хронологија открића радио таласа, аналогног, а затим и дигиталног радија.

2.1 Радио

Радио је назив за бежични пренос и детекцију комуникационих сигнала радио таласа. Радио таласи су електромагнетни таласи фреквенције између 3 kHz и 3000 GHz. Преносе се праволинијски, у свим правцима, кроз хомогену средину (ваздух, вакуум).



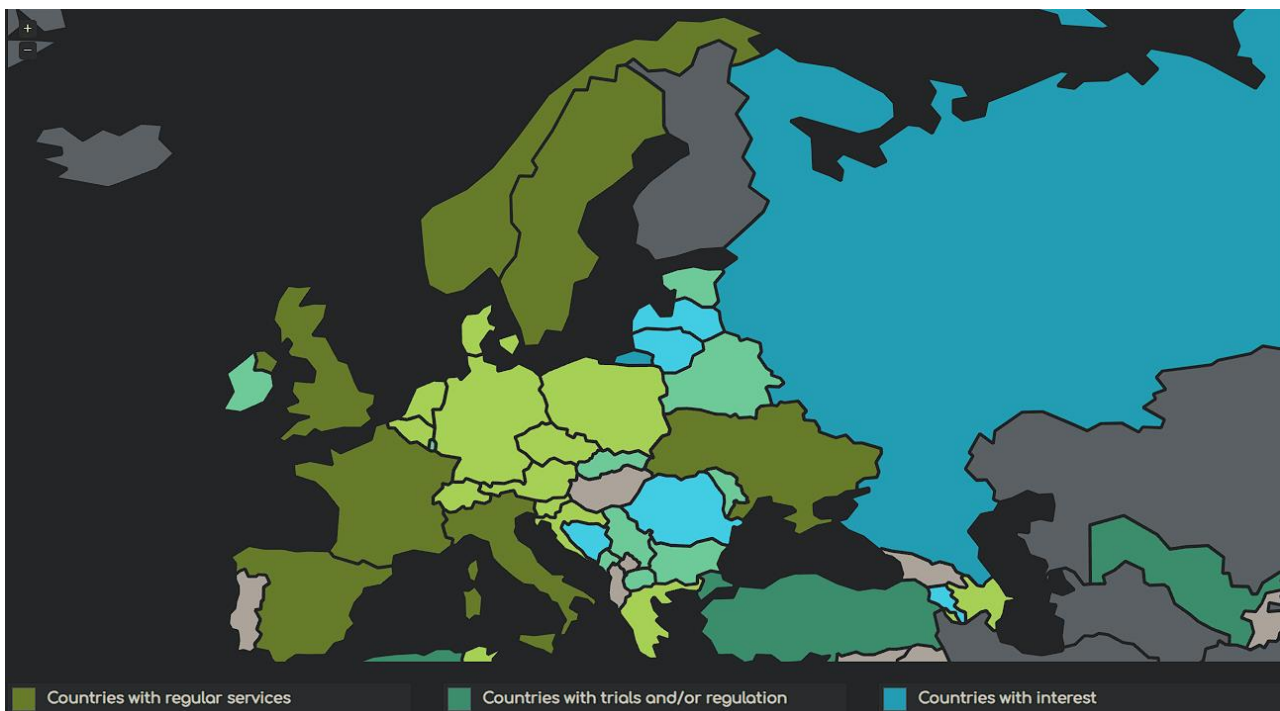
Слика 2.1 – Спектар радио таласа

Радио може имати различите примене: пренос аудио и видео садржаја, комуникација, навигација (*GPS*), бежично (даљинско) управљање, детекција објеката, грејање (микроталаси се налазе у опсегу 300 MHz – 300 GHz), медицина (микроталасна томографија).

Подела радио спектра је регулисана законом. Организација *ITU (International telecommunication union)* је одговорна за писање међународних стандарда. Различите државе ипак понекад направе различиту расподелу спектра. *DAB* радио се типично преноси у два опсега: *Band III* (174–240 MHz) и *L band* (1452–1492 MHz).

Војска Сједињених Америчких Држава је резервисала *L band* у потпуности унутар својих граница. Канада је, због близине и велике границе са САД, пристала да ограничи употребу тог опсега на земаљски пренос. Због тога *DAB* радио није заживео ни у једној од те две државе. Уместо тога, стандард је постао *HD radio*, који дели опсег са *FM* и *AM* радиом.

За разлику од Канаде и САД, у Европи не постоји таква забрана и *DAB(+)* радио је у великој мери прихваћен као доминантан стандард дигиталног радија.



Слика 2.2 – Распрострањеност *DAB(+)* радија у Европи

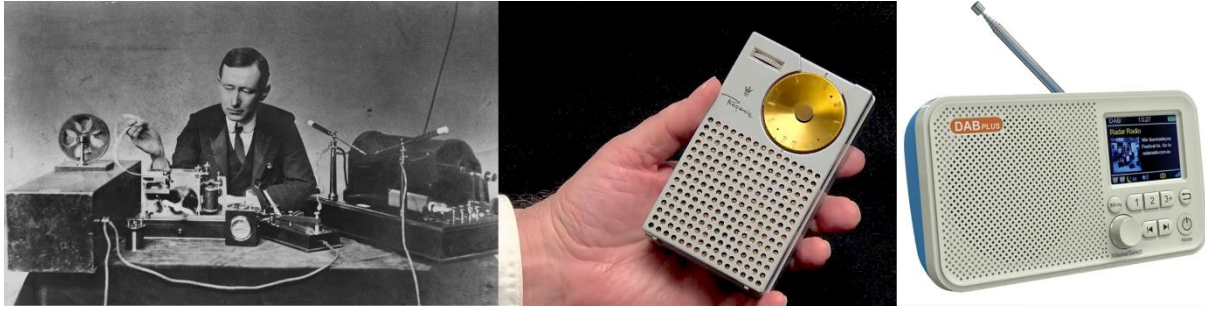
2.2 Хронологија радија

На основу Херцових открића, постављене су једначине из којих је теоретски следило да употребљив домет радија не може прећи пола миље. Маркони је први успео да достигне домет од пола миље, а убрзо затим и две миље. Неколико година касније, Маркони је успео да пренесе радио сигнал од Уједињеног Краљевства до Канаде.

Џејмс Максвел	Предвидео постојање радио таласа (у склопу Максвелових једначина)	1864 (1873)
Дејвид Е. Хјуз	Бежично пренео Морзеову азбуку	1878
Хајнрих Херц	Осмотрио постојање радио таласа	1886
Ѓуљелмо Маркони	Развио први радио систем за пренос Морзеве азбуке на веће удаљености	1895
Никола Тесла	Развио и објаснио начин за производњу радио фреквенција	1897
	Почетак комерцијалне употребе радија	1900
Ѓ. Маркони	Први прекоокеански радио пренос	1901
Реџиналд Фесенден и Ли де Форест	Амплитудна модулација (AM)	1920-е
	Вакуумска цев, триодни појачивач, генератор, детектор	1920-е
	Први пренос слике радио таласима	1920-е
Едвин Армстронг	Фреквентна модулација (FM)	1933
<i>Regency</i>	Први џепни транзистор радио	1954
	Комерцијални пренос видеа у боји	1963
<i>TELSTAR</i>	Први радио сателит лансиран	1963
<i>US DoD</i>	Лансиран први <i>GPS</i> сателит	1978
<i>US Army, DARPA</i>	Софтверски радио	1990-е
<i>EUREKA</i>	Финализован <i>DAB</i> радио стандард	1993
<i>WorldDAB</i>	Објављен <i>DAB+</i> радио стандард	2006

Табела 2.1 – Хронологија радија

Захваљујући Марконијевом радију, 1909. године 1200 људи је спашено при поморском судару. На броду је било много утицајних људи. Већ следеће године донесен је закон да сваки прекоокеански брод мора имати радио. Титаник је потонуо 1912. године, али захваљујући радију спашено је 700 људи.



Слика 2.3 – Маркони са својим прекоокеанским радиом (лево), *Regency TR-1* – први комерцијални транзисторски радио (средина), *DAB-C10* – преносни *DAB/DAB+* радио (десно)

Већ касних 1890-их, Рециналд Фесенден почео је рад на развоју одашиљача који би слали континуални талас уместо дотадашњих дискретних пулсева. Тиме је постигнута већа ефикасност преноса и омогућен пренос аудио садржаја (говора и музике) уместо дотадашњег Морзеовог кода. За Бадње вече 1906. године, бродовима је послат први радио аудио пренос. Фесенден је свирао „О Holy Night“ на виолини, а потом прочитао пасус из Библије.

Фесендова открића су омогућила развој Амплитудне и фреквентне модулације. *AM* и *FM* додатно побољшавају ефикасност аналогног радио преноса. Касније, изумом вакуумских цеви и триоде радио опрема је побољшана. Изумом транзистора, радио пријемници су смањени до те мере да је *Sony*-јев *TR-55* могао да стане у џеп.

1987. лансирани су први *GPS* сателити, који су данас целом свету бесплатно доступни за навигацију. Упркос томе, многе државе праве и користе сопствене сателитске навигационе системе.

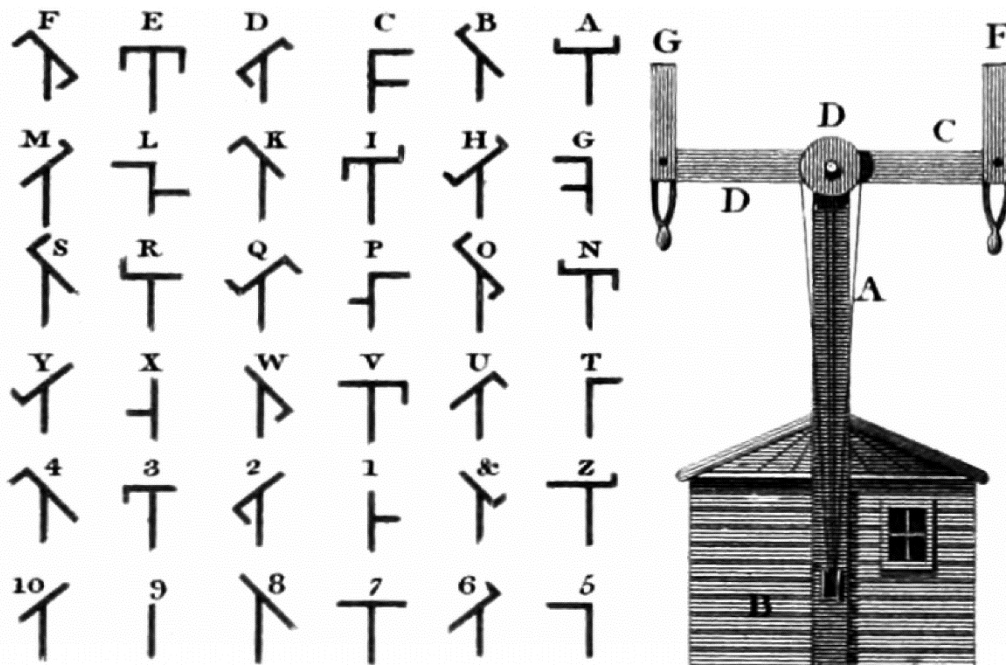
1980-их година креће рад на стандардима дигиталног радија, а од 2000-их почиње комерцијална употреба дигиталног радија. Неслагање у избору глобалног стандарда је довело до широке употребе четири главна стандарда дигиталног радија: *DAB/DAB+* и *DRM* у Европи, *ISDB-T* у Јапану, *HD Radio* у САД и Арапском свету. Првим трима су додељени нови фреквенцијски опсези за дигитални радио, док се *HD Radio* преноси унутар *AM* и *FM* опсега.

2.2.1 Још ранија историја, телеграфија

Радио је само једна врста бежичног телеграфа. Неки од примера примитивних телеграфских метода су: сигналне ватре, бубњеви, заставе. Ипак, овим методама могао се практично преносити само ограничен скуп предефинисаних порука, а домет им је био

ограничен. Први успешан пример правог телеграфског система је 1790-их изумео Клод Чапе, који је у језик увео речи телеграф и семафор.

Чапеов телеграфски систем је чинио низ кула, размакнутих 5-15 километара. На врхунцу, опслуживао је већину великих градова Француске, као и Венецију, Мајнц и Амстердам. Три црне пречке биле би позициониране тако да представљају различите симболе. Постојало је 6 контролних и 92 обична симбола. Сваку реч су чинила два узастопна симбола. Први представља страну кодне књиге, други редни број речи на тој страни. Дакле било је могуће пренети 8464 различите речи. Кодне књиге су имали само оператери важних торњева. Остали оператери су само имитирали симболе које приме, и пазили да оператери следећег торња у низу не погреше симбол. Симболе суседних торњева посматрали су фиксираним телескопима.



Слика 2.4 – Чапеов телеграф

2.3 Разлике *DAB* у односу на *FM*

Корисно је напоменути да се неке од разлика односе на разлику између дигиталног и аналогног радија у општем случају, а не нужно конкретно на разлику *DAB* и *FM* радија.

DAB радио постиже ефикаснију употребу спектра користећи дигиталне методе компресије аудио садржаја и модулације. Модулација је постигнута *OFDM* техником. Аудио кодек који *DAB* користи је *MP2*, док *DAB+* користи *HE-AAC v2* аудио кодек, који је приближно три пута ефикаснији.

FM преноси се шаљу преносним медијумом као раздвојени канали, сваки са сопственом централном фреквенцијом на коју се пријемни мрежни спрежни модул

штима. Појединачни емитери користе сопствене одашиљаче да преносе свој радио садржај на додељеној централној фреквенцији.

Пренос *DAB* радио токова је организован другачије. Емитери плаћају компанију посредника (енг. *Multiplex manager*) за одређени део доступног капацитета или битске брзине (енг. *bitrate*). Посредник затим пакује радио токове више емитера у један мултиплекс, тј. ансамбл (енгл. *DAB ensemble*) и емитује их заједно. Ансамбл има фиксну укупну битску брзину, која зависи од нивоа *ECC*, док се унутар ансамбла битска брзина дели по потреби. Станице које емитују музику високе резолуције захтевају већу битску брзину него оне које емитују разговорни садржај.

Одашиљачи за дигитални радио су скупљи за инсталацију и употребу него појединачни аналогни одашиљачи. Исплативост дигиталних одашиљача долази до изражаја тек када се пореди укупна цена постављања и употребе више (6-10 *DAB*, 10-18 *DAB+*) *FM* одашиљача у поређењу са ценом постављања само једног *DAB* одашиљача. Једна последица тога је да у ређе насељеним местима понекад није исплативо користити дигитални радио уместо аналогног.

Дигитални радио мора да поседује *ECC*. Код *DAB* радија, у питању је конволуциони код, док се код *DAB+* радија употребљава другачији конволуциони код, заједно са спољашњим *Reed-Solomon* кодом. Последице избора *ECC* су домет и тзв. „дигитална литица“. *DAB* радио има нешто краћи домет квалитетног преноса од *DAB+*, а изван истог полако опада квалитет звука удаљавањем од извора. *DAB+*, с друге стране ће са веће удаљености примати квалитетан сигнал, али како дође до границе домета, квалитет веома брзо опада и звук се брзо потпуно губи - „стрмија дигитална литица“.

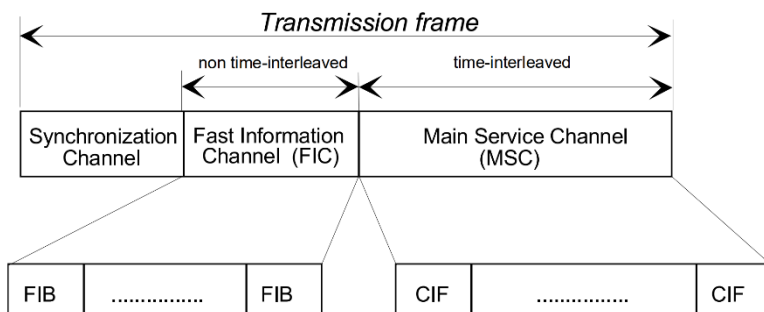
DAB радио може носити различите сервисе унутар ансамбла, не само звук: *EPG*, *HTML* странице, слике, презентације, видео, као и различите сирове податке.

2.4 Структура *DAB* ансамбла

DAB ансамбл се преноси оквирима (енг. *Transmission frame*). Оквир се састоји од три канала: синхронизациони (*SYNC*), брзи информациони (*FIC*), главни сервисни (*MSC*), а представља 96 милисекунди садржаја.

FIC (*Fast information channel*) служи да пренесе контролне информације о мултиплексу. Састоји се од блокова (*FIB – Fast information block*), који се састоје од група (*FIG – Fast information group*).

MSC (Main service channel) је део тока који садржи сервисне компоненте, пре свега – аудио податке. Представља секвенцу *CIF*-ова. *CIF (Common interleaved frame)* је поље за податке. Величине је тачно 55296 бита, и представља 24 милисекунде сервисних компоненти целог мултиплекса.

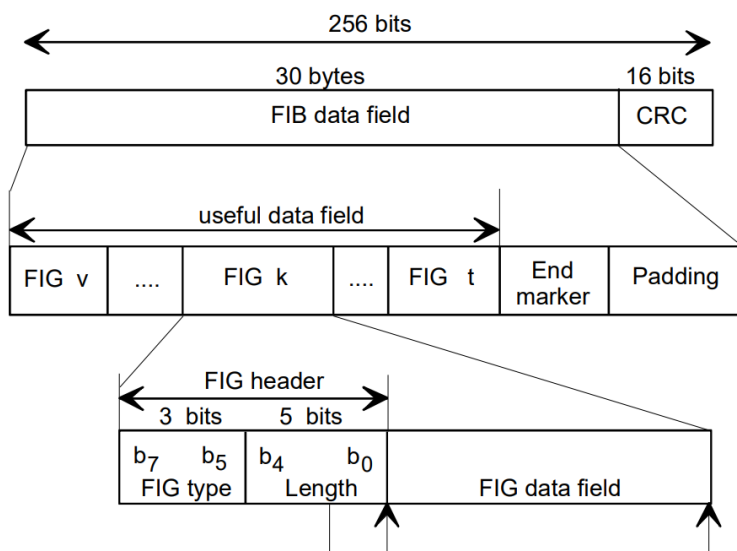


Слика 2.5 – Структура оквира

2.4.1 Структура *FIB* поља

FIB се састоји од два поља: *FIB data field* и *CRC*.

FIB data поље се дели на: део корисних података, означивач краја (енг. *end marker*) и допуну (енг. *padding*). Уколико део корисних података заузима: 30 бајта – нема означивача и допуне, 29 бајта – постоји означивач, нема допуне, 28 или мање бајта – постоје оба. Уколико не постоји корисних података – на самом почетку *FIB*-а биће означивач краја, а све до краја биће испуњено допуном. Допуна је низ нула. Означивач краја је специјалан *FIG* типа 7 чије заглавље је „111 11111“, а нема садржај. Корисне податке чини низ *FIG*-ова.



Слика 2.6 – Структура *FIB* поља

2.4.2 Структура *FIG* поља

FIG се састоји од заглавља и података. Заглавље чине два поља: тип и дужина.

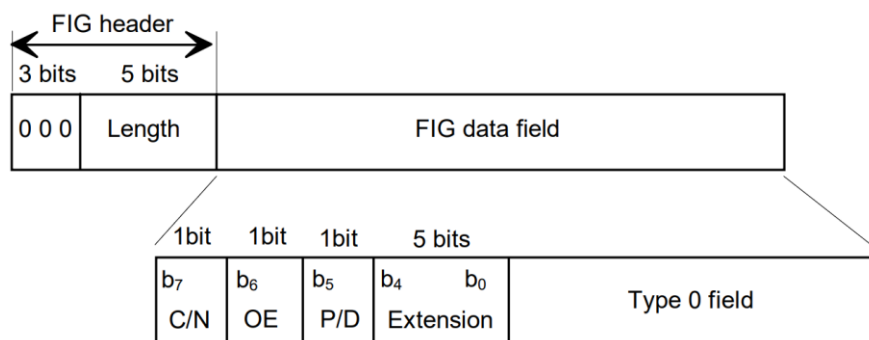
Ред. бр. <i>FIG</i> -а	Тип <i>FIG</i> -а	Примена <i>FIG</i>
0	000	<i>MCI</i> , део <i>SI</i>
1	001	Ознаке
2	010	Ознаке
3	011	Резервисано
4	100	Резервисано
5	101	Резервисано
6	110	Условни приступ
7	111	Резервисано (осим *)

Табела 2.2 – Типови *FIG*-а

* Када је *FIG* тип „111”, а након њега следи „11111”, то је ознака за крај *FIB*-а (енг. *end marker*).

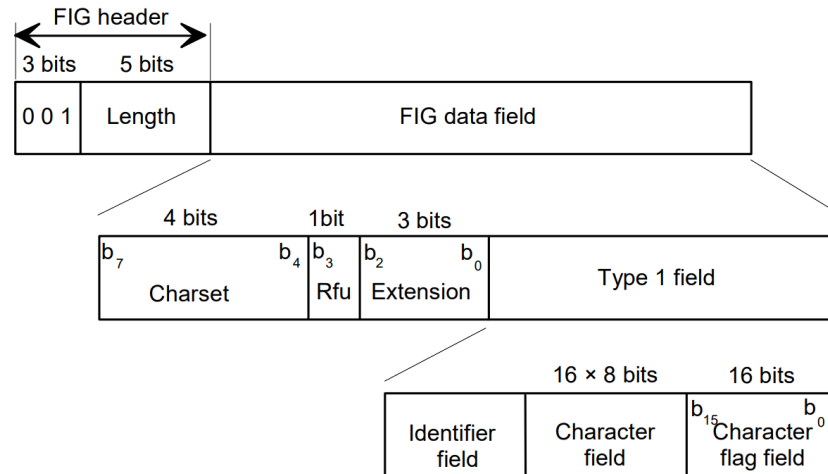
Контролни подаци који се односе на читав ансамбл спадају у *FIG* тип 0. То су пре свега *MCI* (енг. *Multiplex configuration information*) и *SI* (енг. *Service information*). Контролни подаци појединачних подканала спадају у *FIG* типове 1 и 2. Такође постоји *FIG* тип 6 који преноси информације условног приступа (енг. *Conditional Access*). У овом решењу имплементирана је подршка само за типове 0 и 1.

Значење поља *FIG* типа 0 зависи од тога да ли се преноси *MCI* или *SI*.



Слика 2.7 – Структура *FIG* поља типа 0

FIG типа 1 служи за преношење лабела за екран.



Слика 2.8 – Структура *FIG* поља типа 1

FIG типа 2 преноси проширене лабеле дужине до 16 карактера (или 32 бајта) користећи или карактере енковане *UTF-8* или *UCS-2* кодним распоредом.

FIG типови 3-6 су резервисани за будућу употребу (**).

FIG типа 6, као што је већ поменуто, преноси информације условног приступа.

FIG типа 7 је резервисан за будућу употребу, осим у случају означивача краја.

(**) **rfu** – reserved for future use, Резервисан за будућу употребу

rfa – reserved for future addition, Резервисан за будући додатак

Бити поља *rfu* *FIG*-ова су постављени на нулу. *rfa* *FIG*, уколико примљен, сме бити игнорисан. *rfu* *FIG*, уколико примљен, мора бити обрађен. Уколико је неки од бита *rfu* *FIG*-а различит од нуле, то је знак да је додата нова могућност у *DAB* стандард.

2.5 Андроид платформа

Језгро Андроида је у основи прилагођена верзија језгра (енг. kernel) Линукса, иако се не сматра дистрибуцијом Линукса. Основни део оперативног система је бесплатан и отвореног кода, док су неке надоградње власничке. Структуриран је слојевито и уводи неколико нивоа апстракције.

Проширења језгру која уводи Андроид су: *Binder*, *ashmem*, *pmem*, *logger*, *wakelocks*, *out of memort handling (lowmemorykiller, Viking killer)*, *alarm timers*, *POSIX alarm timers*, *paranoid network security*... Сврха ових проширења је, пре свега, уштеда енергије.

Основни, отворени део оперативног система Андроида се зове *Android Open Source Project (AOSP)*. Најпопуларнију власничку (енг. *proprietary*) надградњу *AOSP*-а развија Гугл. У употреби је у преко седамдесет процената *AOSP* уређаја и нема неки посебан

назив, већ је само насловљен „Андроид“. Иако су назив Андроид и логотип Андроида (општепознати зелени робот) Гуглов заштитни знак (енг. *trademark*), прихваћени су као општи назив за *AOSP* у свакодневном говору.



Слика 2.9 – Андроид логотипи кроз године

Андроид је најшире коришћен ОС за мобилне телефону на свету. По подацима компаније Гугл из 2022. године, Андроид има преко три милијарде активних корисника. По подацима компаније *Business of Apps* три четвртине свих паметних телефона на свету ради на Андроиду, а преко милион и петсто хиљада Андроид паметних телефона је продато 2022. године. Највећи произвођачи Андроид паметних телефона су Самсунг (*Samsung*), Шаоми (*Xiaomi*) и Опо (*Oppo*).

2.5.1 Слојевита структура Андроида



Слика 2.10 – Слојевита структура оперативног система Андроид

Гледајући одозго:

1. Апликативни слој чине крајње корисничке апликације, писане у програмским језицима Јава и Котлин. *JNI* спрегом могу бити повезане са системским (енг. *native*) слојем.
2. Окружење за развој апликација (на слици *Java API Framework*) садржи библиотеке и системске апликације писане у Јави.
3. Извршно радно окружење (*Android runtime*) садржи одређене системске библиотеке и Јава виртуелну машину (некада је у употреби био *Dalvik*, а сада је *ART*). *ART* омогућава да се Јава бајткод преводи у системске Ц/Ц++ инструкције и изврши у радном окружењу уређаја.
4. Системске библиотеке се налазе на истом слоју као и извршно радно окружење. Вишим слојевима нуде подршку за: исцртавање графике,

декодовање видеа, енкрипцију, базе података, прегледање интернета...
Писане су у Ц/Ц++.

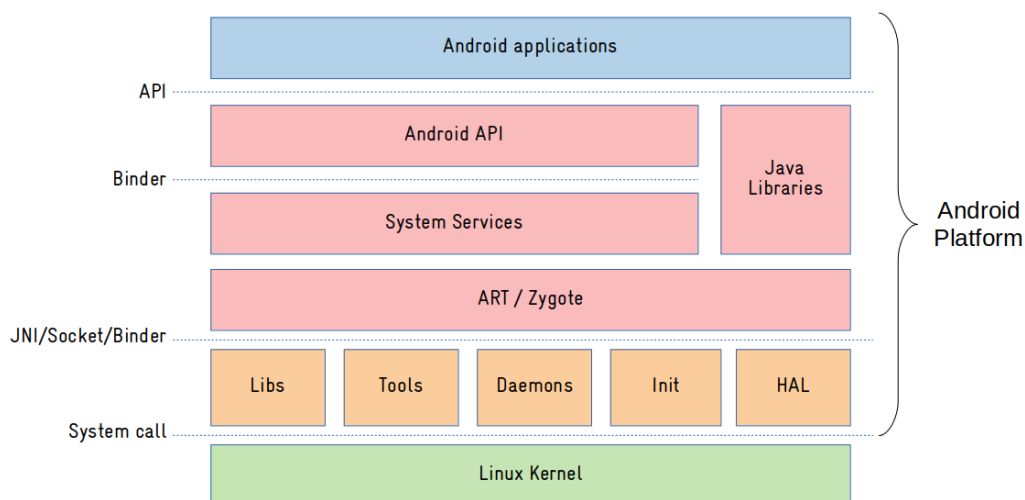
5. Слој за апстракцију хардвера (*HAL*) вишим слојевима пружа једноставну и конзистентну апстракцију функционалности модула језгра.
6. Модификовано Линукс језгро рукује хардвером.

2.5.2 Нека проширења Андроида у односу на Линукс

Наравно, потребно је драјверски подржати сваки различит процесор, поготово пошто је Андроид намењен мобилним уређајима који најчешће користе *ARM* процесоре.

У овом поглављу набројано је неколико најважнијих проширења и измена које разликују Андроид од Линукса.

- **Binder** је систем за међупроцесну комуникацију (енг. *IPC – inter-process communication*) и даљински позив процедуре (енг. *RPC – remote procedure call*),



Слика 2.11 – Структура Андроида из перспективе комуникационих спрега

- **ashmem** подсистем (енг. *Android shared memory*), додељивач дељене меморије. Оптимизован за уређаје мањег меморијског капацитета,

- **logger** – брз механизам за праћење и бележење догађаја. Налази се унутар језгра али прати и системске компоненте и апликације. *Logcat* се ослања на овај модул,

- **paranoid networking** - механизам који ограничава дозволу прављења одређених типова утичница (енг. *socket*) на основу групе процеса којој процес припада,

- **wakelocks** – механизам уштеде батерије. Подразумевано стање Андроид уређаја је успаван и увек ће тежити да пређе у то стање. Да уређај не би отишао у успавано стање (*idle* или *suspend*), потребно је поставити и држати одговарајућу заставу тј. браву,

• *outofmemorykiller* (*Viking killer, low memory killer*) – управљач меморијом који у условима ниске меморије прекида извршавање најдавније коришћеног процеса.

```
[79598.27592?] Out of memory: Kill process 3988? (postdrop) score 0 or sacrifice child
```

Слика 2.12 – *Out of memory killer*

2.5.3 Неки делови Андроида

У овој секцији је укратко објашњено неколико значајних делова Андроида или делова процеса развијања апликације за Андроид.

• *JNI* (*Java Native Interface*) служи као посредник између Јава бајткода и Ц/Ц++ системског (нативног, енг. *native*) кода. Дозвољава позивање Ц/Ц++ функција из Јава кода, али и обрнуто. Омогућава да се на једноставан начин постојећи Ц/Ц++ код (нпр. библиотека) укључи у Андроид пројекат.

За разлику од Јаве, Ц/Ц++ код није независан од платформе. *JNI* се често користи или за повећање ефикасности кључних делова кода или зарад употребе функција оперативног система и сличних операција ниског нивоа. Због тога, *JNI* део апликације мора да се прилагођава свакој подржаној платформи.

Сам оперативни систем Андроид долази са многим системским апликацијама (набројане горе [2.5.1], у опису одговарајућег слоја).

• *Android Manifest* је *XML* фајл који садржи основне информације о апликацији. Наводи: програмске компоненте, права приступа тј. дозволе, хардверске (нпр. неки специфичан сензор) и софтверске захтеве, декларише минималан и циљни (енг. *target*) ниво *API*-ја...

• *Gradle* је алат за аутоматизацију превођења и повезивања програма писаног у више језика.

• *Android NDK* (*Native development kit*) је скуп алата за развој програма који дозвољава да делови Андроид апликације буду написани нативним језиком (Ц/Ц++). Олакшава развој апликације тиме што дозвољава употребу библиотека писаних нативним језиком.

• *Android SDK* (*Software development kit*) је скуп алата за развој софтвера. Укључује алат за уклањање грешака, библиотеке, емулатор, документацију, примере кода и упутства.

• *apk* (*Android package*) је формат фајла. Фајлови *apk* формата су подразумевани начин дистрибуције и инсталације апликација на Андроиду.

3. Концепт решења

Применом овог решења на постојећи демултиплексер за издвајање аудио података DAB стандардног радио тока се додаје подршка за *DAB+* демултиплексирање. Улазни фајл *eti* формата може истовремено да садржи подканале и *DAB* и *DAB+* типа.

Планирано је да коначно решење буде у облику дељене библиотеке. У циљу олакшања употребе библиотеке, потребно је што је више могуће поједноставити позивање функција исте. Корисник не мора знати *како* ради библиотека, довољно је да зна *шта* ради.

Дељена библиотека ће се покретати у склопу програма на Андроид платформи. Потребно је реализовати апликацију која ће показати да дељена библиотека заиста функционише на Андроиду.

Библиотека има две главне функције: декодовање *FIC*-а и издвајање аудио садржаја одабраног канала из мултиплекса.

3.1 Опис циљне платформе

За развој дељене библиотеке коришћено је *Visual Studio Code* развојно окружење.

За демонстрацију решења на Андроид платформи коришћено је *Android Studio* интегрисано развојно окружење. Решења су током развоја тестирана на емулятору унутар истог. Циљна платформа је Андроид оперативни систем, на *Bytel Brooklyn* дигиталном ТВ пријемнику (Android API level 28).

Bytel Brooklyn дигитални ТВ пријемник, између осталог, има *HDMI* и *ethernet* портове. То омогућава једноставну употребу монитора, *ADB*-а (*Android Debug Bridge*), као и алата за отклањање грешака који долази уз *Android Studio*. Такође има *USB* портове,

који омогућују унос текста преко тастатуре, што додатно убрзава процес тестирања апликације.

4. Програмско решење

У овом поглављу дат је опис функција библиотеке.

4.1 Функције

Корисник библиотеке има четири функције на располагању: *DABDecodeFIC*, *DABExtractAudio*, *DABMakeOutputStream* и *DABSetOutputStream*. Прве две имплементирају функционалност библиотеке, док друге две служе да олакшају отклањање грешака при употреби библиотеке.

4.1.1 Функција *DABDecodeFIC*

```
void DABDecodeFIC(std::string filename_input)
```

Садржај ове функције је преузет из демултиплексера за издвајање аудио података *DAB* стандардног радио тока. Прилагођена је тако да су конструкција објекта класе *FICDecoder*, позив њене *FrameRead* методе, као и ослобађање меморије заузете објектом обухваћени у једну функцију. Оваквом апстракцијом корисник је поштеђен упознавања са класама и методама *FIC* декодера.

1. Прочита први оквир ансамбла,
2. Провери поклапање примљених и очекиваних синхронизационих симбола,
3. Провери *CRC* сваког *FIB*-а,
4. Прочита контролне податке ансамбла, као и појединачних подканала,
5. Испише на *output_stream* контролне податке које нађе у *FIC*-у. На пример: језик, редни број подканала...

4.1.2 Функција `DABExtractAudio`

```
void DABExtractAudio(int selected_scid, std::string
filename_input, std::string filename_output, bool dabplus)
```

Део садржаја ове функције који се односи на *DAB* је преузет из демултиплексера за издавање аудио података *DAB* стандардног радио тока. Део који се односи на *DAB+* је додат по узору на *DABLin*. Конструкција објекта класе *FICDecoder*, позив њене *FrameRead* методе, као и ослобађање меморије заузете објектом су обухваћени у једну функцију. Заједно са функцијом *DABDecodeFIC*, обезбеђена је јасна и једноставна корисничка спрега.

1. Провери поклапање примљених и очекиваних синхронизационих симбола,
2. Чита *MSC* и из њега издаваја аудио садржај само изабраног подканала,
3. У случају *DAB* тока, записује издвојени аудио садржај у задату излазну датотеку и нема даље обраде. У случају *DAB+* поред аудио садржаја, издвојен је и *RS* код и потребна је даља обрада,
4. *DAB+* оквир даље иде у функцију која одједном обрађује по пет оквира који заједно чине један супероквир. Да би се напунио један супероквир, потребно је позвати ову функцију пет пута. Када се супероквир напуни, шаље се на обраду,
5. Декодује се *RS* код на нивоу супероквира.
6. Провери се синхронизација супероквира,
7. Провери се формат супероквира,
8. Провери се *CRC* сваке аудио јединице (*AU – audio unit*).
9. Уколико је тачан *CRC*, аудио садржај се записује у задати излазни фајл.

4.1.3 Функција `DABMakeOutputStream`

```
void DABMakeOutputStream(const char* os_name)
```

Направи нову датотеку назива *os_name*, и позове *DABSetOutputStream* над њом.

4.1.4 Функција `DABSetOutputStream`

```
void DABSetOutputStream(FILE* os)
```

Постави глобални (на нивоу читаве библиотеке) *FILE* output_stream* на задату датотеку. Овај показивач подразумевано показује на *stderr*. Уколико корисник библиотеке жели да

преусмери исписе нпр. на *stdout*, или чак у неку обичну датотеку за евиденцију (енг. *log file*), може то да уради позивом ове функције.

5. Резултати

Током развоја библиотеке, тестирање је вршено на *Ubuntu* дистрибуцији оперативног система Линукс. Након тога, тестирање је вршено на емулираним Андроид окружењима различитих нивоа Андроид *API*-ја, тј. на различитим верзијама оперативног система Андроид. На емулатору су тестирани *API Level*: 33, 30, 29, 28. Коначно тестирање је вршено на *Bytel Brooklyn* дигиталном ТВ пријемнику (*API level* 28).

За тестирање као улаз су кориштени улазни фајлови познатог садржаја. Организација *ETSI* произвођачима *DAB* пријемника обезбеђује *eti* датотеке и пропратне табеле које описују садржај ансамбла садржаног у тој датотеци. Исправност функције *DABDecodeFIC* је потврђена читањем програмског исписа и поређењем са подацима из дате табеле. Исправност излаза функције *DABExtractAudio* је потврђена слушањем излазног фајла и поређењем са очекиваним.

5.1 Тестне апликације

Пошто је решење у облику дељене библиотеке, није могуће тестирати га самостално. На Линуксу, тестирање је вршено употребом *main.cpp* и *testmain.cpp*. На Андроиду, за тестирање је направљена *DABRadio* апликација.

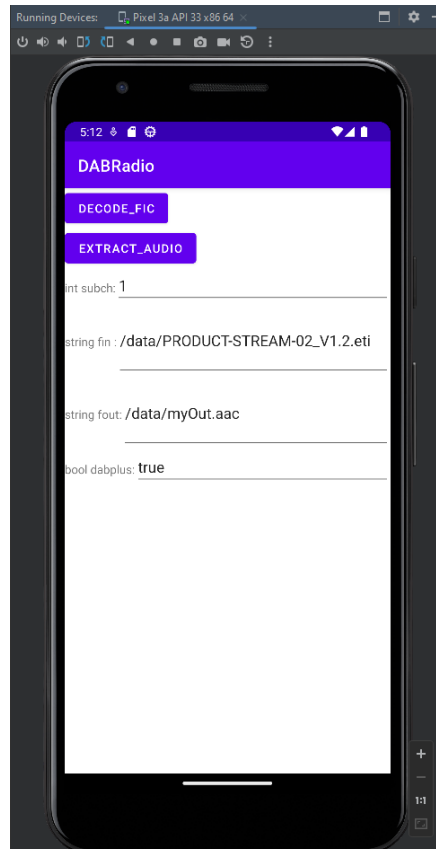
5.1.1 Тестирање на Линуксу

main.cpp је преузет из демултиплексера за издвајање аудио података *DAB* стандардног радио тока и прилагођен за потребе решења. Представља пример самосталне конзолне *DAB* радио апликације.

testmain.cpp се састоји од свега неколико линија кода, са фиксираним аргументима позива функција *DAB* радио библиотеке. Представља упрошћени пример употребе библиотеке у склопу већег пројекта.

5.1.2 Тестирање на Андроиду

Кориснички интерфејс *DABRadio* апликације се састоји од 2 дугмета (*Button*), 4 поља за унос текста (*EditText*) и 4 текстуална поља (*TextView*).



Слика 5.1 – Андроид апликација за тестирање

Корисник у поља за унос текста уноси аргументе позива жељене функције, а затим кликне на одговарајуће дугме. Кликом на дугме, позива се одговарајућа функција са задатим аргументима.

5.1.3 Помоћна тестна апликација, аудио плејер

Не може било који аудио плејер да пусти излазну датотеку добијену употребом *DABRadio* библиотеке. Програм *VLC* може, али у случају да није присутан на рачунару, направљена је додатна тестна апликација за Линукс.

Једноставан аудио плејер реализован је помоћу *libav* (*ffmpeg*) скупа библиотека и *SDL2* библиотеке. Позива се из терминала са називом улазног фајла као јединим

аргументом. Нема контроле осим прекидања. Када дође до краја аудио фајла, плејер сам прекида извршавање.

Употребом неколико нити, плејер декодује оквири, ставља и повлачи их из реда чекања (енг. *queue*), и реагује на догађаје (енг. *events*). За синхронизацију нити користи *SDL*-ову имплементацију брва међусобне искључивости (енг. *mutex*) и условних променљивих (енг. *condition variables*). Када се ред чекања испразни и остане празан 600 милисекунди, плејер то схавата као крај аудио фајла и прекида извршавање.

FFmpeg тј. *libav* рукује подацима о формату и кодеку улазног фајла.

5.2 Тестирани случајеви

Да би табела била прегледнија улазима (колона „улаз“) су додељени краћи називи:

- PRODUCT-STREAM-01_V1.2.eti = 01
- PRODUCT-STREAM-02_V1.2.eti = 02

платформа	параметри			успео	напомена
	улаз	<i>dabp</i>	<i>subch</i>		
Андроид <i>API 28</i>	02	<i>true</i>	1	да	емулатор, апликација [5.1.2]
Андроид <i>API 29</i>	02	<i>true</i>	1	да	емулатор, апликација [5.1.2]
Андроид <i>API 30</i>	02	<i>true</i>	1	да	емулатор, апликација [5.1.2]
Андроид <i>API 33</i>	02	<i>true</i>	1	да	емулатор, апликација [5.1.2]
Андроид <i>API 28</i>	02	<i>true</i>	1	да	<i>Bytel Brooklyn STB</i> , апликација [5.1.2]
Линукс	01	<i>true</i>	4	да	main.cpp [5.1.1], библиотека
Линукс	01	<i>true</i>	3	не	main.cpp [5.1.1], библиотека, очекивано је да не успе тест *
Линукс	02	<i>true</i>	1	да	main.cpp [5.1.1], библиотека
Линукс	02	<i>true</i>	1	да	testmain.cpp [5.1.1], библиотека
Линукс	02	<i>false</i>	1	не	main.cpp [5.1.1], библиотека, очекивано је да не успе тест **

Табела 5.1 – Табела испитаних случајева

(*) Постављена је *DAB+* заставица (*dabp*), а у датом улазном мултиплексу на том каналу (*subch*) се налази *DAB* ток.

(**) Није постављена *DAB+* заставица, а у датом улазном мултиплексу на том каналу се налази *DAB+* ток.

Service label SId	Bit rate / codec Protection	Audio Content	Dynamic label
Sine+ C000	128k AAC EEP-3A	1kHz tone -3 dBFS mono image	AAC 128 kbps 1 kHz tone for sensitivity testing
OOI Music C001	128k MP2 UEP-3	Royalty free music (see note) 0 dBFS stereo image	Product test for dynamic label in ETSI TS 103 461, clause 8.3.5 -- Dynamic label is displayed correctly
AABBCCDDEEFFGG HH C002	128k MP2 UEP-3	1,5 kHz tone	MP2 128 kbps 1.5 kHz tone
##&&@@[]() C003	96k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 96 kbps 2 kHz tone
0011223344556677 C004	96k AAC EEP-3A	3 kHz tone	AAC 96 kbps 3 kHz tone
8899++--**//==°° C005	96k AAC EEP-3A	4 kHz tone	AAC 96 kbps 4 kHz tone
hhggffeeddccbbaa C006	64k AAC EEP-3A	5 kHz tone	AAC 64 kbps 5 kHz tone
€€££\$\$_©%<>> C007	64k AAC EEP-3A	6 kHz tone	AAC 64 kbps 6 kHz tone
ï¿¿"»"»'««?!?! C008	64k AAC EEP-3A	7 kHz tone	AAC 64 kbps 7 kHz tone
ï¿¿...,:;?!? C009	64k AAC EEP-3A	8 kHz tone	AAC 64 kbps 8 kHz tone
NOTE: The music file is AKMusic AK033-"Good Time Grooves - Jazz n Funk", track 11 "newyorkskyline".			

Табела 5.2 – Сервиси у „PRODUCT-STREAM-01_V1.2.eti" [4]

Service label SID	Bit rate / codec Protection	Audio Content	Dynamic label
ĂĜĬJKLMNĂĜĬJKLMN D001	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ĄĘĮŲĄĘĮŲOPQROPQR D002	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
ĀĒĪŪSTVLĀĒĪŪSTVL D003	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ÁÉÍÓÚÁÉÍÓÚCLNCLN D004	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
ÀĔÏÒUWXYZÀĔÏÒUWXYZ D005	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ĀĒĪŪZÆĒĀĒĪŪZÆĒ D006	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
ÄËÏÖŸYÐŌÄËÏÖŸYÐŌ D007	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ÃÕÑŖSYZUÃÕÑŖSYZU D008	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
ÅŮÇĜKĻŅŞÅŮÇĜKĻŅŞ D009	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ĚĈĎŖŠŤŽĚĈĎŖŠŤŽ D010	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
ĚĪĈĜŽĚĪĈĜŽĎĤĤĎĤĤ D011	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ŁȘȚĽȘȚŎŮŰŴPŎŮŰŴP D012	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
nmlkjiġānmlkjiġā D013	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
rqpouięarqpouięa D014	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
ʅʋtsūēāʅʋtsūēā D015	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
ńłćńłćúóíéáúóíéá D016	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
yxwùdìèàyxwùdìèà D017	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
œæzûôîêâœæzûôîêâ D018	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
øŋÿüöïëäøŋÿüöïëä D019	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
uzýśŕñôãuzýśŕñôã D020	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
şŋłġğçûâşŋłġğçûâ D021	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
žťšřnd'čěžťšřnd'čě D022	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone
łhdłhdźgćiéźgćié D023	48k AAC EEP-3A	2 kHz tone	AAC 48 kbps 2 kHz tone
þÿđüóþÿđüóťšł'ťšł' D024	48k AAC EEP-3A	1 kHz tone	AAC 48 kbps 1 kHz tone

Табела 5.3 – Сервиси у „PRODUCT-STREAM-02_V1.2.eti" [4]

6. Закључак

У овом раду библиотека за издвајање аудио података *DAB* стандардног радио тока проширена је функционалношћу издвајања аудио података *DAB+* стандардног радио тока. Како би то било постигнуто било је потребно научити о *DAB(+)* радију, читати документацију стандарда, анализирати постојећи код библиотеке и неких постојећих решења *DAB(+)* плејера.

Један од захтева је било тестирање библиотеке на Андроид платформи. За постизање тога било је потребно упознати се са развојем за *JNI (Java native interface)*, основама компајлирања за циљну платформу Андроид, али и са навигацијом кроз многе слојеве апстракције који су у сржи развоја за Андроид платформу.

За потребе тестирања потребан је аудио плејер који подржава аудио формат фајла који се добија екстракцијом. Могуће је пустити *VLC* плејером, или направити сопствени плејер. Уз ово решење приложен је једноставан пример аудио плејера заснован на *SDL2* и *libav* (грана *ffmpeg*) скупу библиотека. *SDL* служи за само пуштање звука, док *libav* библиотеке рукују кодеком и осталим контролним подацима.

Ово решење би се могло проширити подршком за пренос радија уживо, а затим тестирати реалним (енг. *real-world*) тестирањем са правим радио преносом. Могла би се додати подршка за информативни садржај који поред звука може бити садржан у *.eti* мултиплексу (презентације, насловне слике, итд.).

7. Литература

- [1] **ETSI** (2017), „ETSI EN 300 401 - Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers” [На мрежи]. Доступно: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300401/02.01.01_60/en_300401v020101p.pdf. [Приступљено: 14.6.2023.]
- [2] **ETSI** (2017), „ETSI TS 102 563 - Digital Audio Broadcasting (DAB); DAB+ audio coding (MPEG HE-AACv2)” [На мрежи]. Доступно: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102500_102599/102563/02.01.01_60/ts_102563v020101p.pdf. [Приступљено: 14.6.2023.]
- [3] **ETSI** (2019), „ETSI TS 103 466 - Digital Audio Broadcasting (DAB); DAB audio coding (MPEG Layer II)” [На мрежи]. Доступно: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103400_103499/103466/01.02.01_60/ts_103466v010201p.pdf. [Приступљено: 14.6.2023.]
- [4] **ETSI** (2020), „ETSI TS 103 461 - Digital Audio Broadcasting (DAB); Domestic and in-vehicle digital radio receivers; Minimum requirements and Test specifications for technologies and products” [На мрежи]. Доступно: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103400_103499/103461/01.02.02_60/ts_103461v010202p.pdf. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [5] **Wikipedia**, „Digital Audio Broadcasting” [На мрежи]. Доступно: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting. [Приступљено: 14.6.2023.]
- [6] **Wikipedia**, „Reed–Solomon error correction” [На мрежи]. Доступно: https://en.wikipedia.org/wiki/Reed%E2%80%93Solomon_error_correction. [Приступљено: 14.6.2023.]

- [7] **LocalDAB**, [На мрежи]. Доступно: <https://localdab.org>. [Приступљено: 14.7.2023.]
- [8] **Opendigitalradio**, „DABlin”, [На мрежи]. Доступно: <https://github.com/Opendigitalradio/dablin>. [Приступљено: 20.6.2023.]
- [9] **Rambod Rahmani**, „FFmpeg Video Player”, [На мрежи]. Доступно: <https://github.com/rambodrahmani/ffmpeg-video-player>. [Приступљено: 20.6.2023.]
- [10] **Leandro Moreira**, „Learn FFmpeg libav the Hard Way”, [На мрежи]. Доступно: <https://github.com/leandromoreira/ffmpeg-libav-tutorial#learn-ffmpeg-libav-the-hard-way>. [Приступљено: 20.6.2023.]
- [11] **Wikipedia**, „Radio” [На мрежи]. Доступно: <https://en.wikipedia.org/wiki/Radio>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [12] **Wikipedia**, „History of radio” [На мрежи]. Доступно: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_radio. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [13] **Wikipedia**, „Timeline of radio” [На мрежи]. Доступно: https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_radio. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [14] **Wikipedia**, „Telegraphy” [На мрежи]. Доступно: <https://en.wikipedia.org/wiki/Telegraphy>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [15] **Wikipedia**, „Chapre telegraph” [На мрежи]. Доступно: https://en.wikipedia.org/wiki/Chapre_telegraph. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [16] **SDL Wiki**, [На мрежи]. Доступно: <https://wiki.libsdl.org/SDL2/FrontPage>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [17] **FFmpeg**, „Libavcodec Documentation”, [На мрежи]. Доступно: <https://ffmpeg.org/libavcodec.html>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [18] **Patrick Martin**, „Help, adb is not found!” [На мрежи]. Доступно: <https://medium.com/androiddevelopers/help-adb-is-not-found-93e9ed8a67ee>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [19] **Mikro knjiga**, „Računarski rečnik Mikro knjige”, [На мрежи]. Доступно: <https://www.mikroknjiga.rs/pub/rmk/>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [20] **Thoriya Pahalad**, „Android 11 Scoped storage permissions”, [На мрежи]. Доступно: <https://stackoverflow.com/questions/62782648/android-11-scoped-storage-permissions>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [21] **Google**, „Android documentation”, [На мрежи]. Доступно: <https://developer.android.com/docs>. [Приступљено: 21.6.2023.]
- [22] **M. Z. Bjelica, N. Teslić i V. Mihić**, „Softver u digitalnoj televiziji 1 - Osnove digitalne televizije i video kodovanja”, *FTN Izdavaštvo* 646

-
- [23] **Robert Love** (2013), „What are the major changes that Android made to the Linux kernel?", [На мрежи]. Доступно: <https://www.quora.com/What-are-the-major-changes-that-Android-made-to-the-Linux-kernel>. [Приступљено: 26.6.2023.]
- [24] **Sergio Prado**, „What differs Android from other Linux based systems?", [На мрежи]. Доступно: <https://sergioprado.blog/what-differs-android-from-other-linux-based-systems/>. [Приступљено: 26.6.2023.]
- [25] **WorldDAB**, „Countries", [На мрежи]. Доступно: <https://www.worlddab.org/countries>. [Приступљено: 26.6.2023.]
- [26] **Google** (2022), „Google I/O – Android & Google Play", [На мрежи]. Доступно: <https://io.google/2022/products/android/>. [Приступљено: 26.6.2023.]
- [27] **Business of Apps** (2023), „Android Statistics", [На мрежи]. Доступно: <https://www.businessofapps.com/data/android-statistics/>. [Приступљено: 26.6.2023.]