

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Infotehnoloogia teaduskond

Tarkvarateaduste instituut

Villem Johan Vatter 155548IAPB

**RAKENDUS IOS PLATVORMILE
BLUETOOTH ÜHENDUSEGA KITARRI
EFEKTIPEDAALI JUHTIMISEKS**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Jüri Bogatkin

Elektroonikamagister

Tallinn 2018

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Villem Johan Vatter

21.05.2018

Annotatsioon

Selle bakalaureusetöö eesmärgiks on luua mobiilirakendus iOS operatsioonisüsteemile, millega on võimalik juhtida Noise Machine Weapon of Mass Distortion efektipedaali. Töö tulemus võiks pakkuda huvi paljudele muusikutele, kes antud pedaali kasutada soovivad.

Töös analüüsitakse esmalt sarnaseid lahendusi ja tehakse kindlaks mobiilirakenduse nõuded. Seejärel kirjeldatakse arendatava rakenduse arhitektuuri, kasutatud tehnoloogiaid ja rakenduse arendust.

Töö tulemuseks on reaalselt töötav mobiilirakendus, mis võimaldab läbi Bluetooth tehnoloogia suhelda Noise Machine Weapon of Mass Distortion efektipedaaliga. Rakenduses on võimalik kontrollida reaalajas efektipedaali parameetreid ja salvestada seadme mällu eelseadistusi ning neid taaslaadida.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 33 leheküljel, 5 peatükki, 17 joonist.

Abstract

An iOS application for controlling a guitar effects unit over Bluetooth connection

The purpose of this thesis is to create a mobile application for the iOS operating system, which would allow the control of Noise Machine Weapon of Mass Distortion effects unit. The result of the work could be of interest to many musicians who want to use this effects pedal.

This thesis firstly analyzes similar solutions and through this process identifies requirements and features for the mobile application. It then describes the application's architecture, the technologies used and the development of the application.

The result of this thesis is a working mobile application, that enables to connect to a Noise Machine Weapon of Mass Distortion effects unit via Bluetooth technology. The application allows users to control the parameters of the effects unit in real time. It is also possible to save new presets on the mobile device and reload them.

The thesis is in Estonian and contains 33 pages of text, 5 chapters, 17 figures.

Lühendite ja mõistete sõnastik

ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i> Analoog-digitaalmuundur teeb analoogsignaalist digitaalsignaali [1].
AIRD	<i>Augmented Impulse Response Dynamics</i> Tehnoloogia, mis annab BOSS GT-1000 multiefektiprotsessoritele tõetruu ja meeldiva kõla [2].
ATT	<i>Attribute Protocol</i> Andmete protokoll, mida kasutatakse teenuste, karakteristikute ja nendega seotud andmete hoiustamiseks [3].
BLE	Bluetooth Low Energy Personaalvõrgu tehnoloogia, mis on väga hea andmete saatmiseks kulutatud energia suhtega [4, pp. 169-170].
Bluetooth	1998. aastal Ericssoni, Inteli, Nokia ja Toshiba koostöös välja arendatud mobiilside spetsifikatsioon, mis kirjeldab kuidas erinevad seadmed saavad lihtsal viisil andmeid vahetada lühikese vahemaa pealt [1].
CDCM	<i>Comprehensive Dynamic Circuit Modeling</i> Tehnoloogia, mis annab Hotone Audio XTOMP Detail efektipedaalile realistlikuma ja naturaalsema helipildi [5].
GAP	<i>Generic Access Profile</i> Juurdepääsu profiil, mida kasutavad kõik Bluetooth tehnoloogial töötavad seadmed [3].
GATT	<i>Generic Attribute Profile</i> Protokoll, mis defineerib, kuidas kaks BLE seadet omavahel andmeid vahetavad.
<i>Preset</i>	Eelseadistus ehk antud töös pedaali parameetrite hetkeseis.
SDK	<i>Standard Development Kit</i> Programmipakett, mis võimaldab programmeerijal mingile konkreetsele platvormile rakendusi luua.
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> Sünkroonne järjestikülekanne protokoll, mida kasutatakse seadmete vaheliseks suhtluseks peamiselt sardsüsteemides [6].

Sisukord

1 Sissejuhatus	9
1.1 Taust ja probleem.....	9
1.2 Ülesande püstitus	9
1.3 Metoodika.....	10
1.4 Ülevaade tööst.....	10
2 Analüüs	11
2.1 Olemasolevate lahenduste analüüs ja võrdlus	11
2.1.1 Zoom MS-100BT	11
2.1.2 Aalberg Audio.....	13
2.1.3 Hotone Audio XTOMP Detail	14
2.1.4 BOSS GT-1000	15
2.2 Rakenduse nõuded	17
2.2.1 Rakenduse funktsionaalsed nõuded.....	17
2.2.2 Rakenduse mittefunktsionaalsed nõuded.....	17
3 Arendus	18
3.1 Rakenduse tehnoloogiline ülevaade.....	18
3.1.1 Bluetooth ja Bluetooth Low Energy.....	18
3.1.2 Generic Access Profile	19
3.1.3 Generic Attribute Profile	20
3.1.4 iOS.....	20
3.1.5 Core Bluetooth	21
3.1.6 UserDefaults.....	21
3.2 Noise Machine Weapon of Mass Distrotion pedaali arhitektuur.....	22
3.3 Rakenduse kirjeldus	24
3.3.1 Põhivaade.....	24
3.3.2 Preseti salvestamine ning taaslaadimine.....	25
3.3.3 Pedaaliga suhtlemine	27
4 Testimine.....	29
5 Rakenduse võimalikud edasiarendused	30

6 Kokkuvõte	31
Kasutatud kirjandus	32

Jooniste loetelu

Joonis 1. Zoom MS-100BT	12
Joonis 2. StompShare mobiilirakendus.....	12
Joonis 3. Aalberg Audio AERO AE-1 kontrolleri ja pedaalid	13
Joonis 4. Hotone Audio XTOMP Detail pedaal.....	14
Joonis 5. Hotone Audio XTOMP mobiilirakendus	15
Joonis 6. BOSS GT-1000 pedaal.....	16
Joonis 7. BOSS Tone Studio mobiilirakendus	16
Joonis 8. Kesk- ja välisseadmete vaheline topoloogia.....	19
Joonis 9. Välisseadme Core Bluetooth struktuur	21
Joonis 10. PresetObject objekti andmestruktuur	22
Joonis 11. Noise Machine WMD Distortion pedaal.....	22
Joonis 12. HM-10 Bluetooth moodul	23
Joonis 13. Noise Machine WMD pedaali riistvara arhitektuur.....	24
Joonis 14. Põhivaade.....	25
Joonis 15. Salvestamise vaade.....	26
Joonis 16. <i>Preset</i> 'ide valiku vaade.....	26
Joonis 17. Rakenduse loogika vooskeemina	28

1 Sissejuhatus

Kitarristid ja muusikud, kes musitseerivad elektrooniliste instrumentidega, kasutavad väga tihti helipildi manipuleerimiseks efektipedaale. Efektipedaalid on seadmed, mis ühenduvad instrumendi ning võimendi vahele ja võimaldavad helisignaali erinevatel viisidel muuta.

1.1 Taust ja probleem

Tänapäeval on turul väga palju erinevaid efektipedaale ning neid jaotatakse kahte põhilisse klassi: analoog- ja digitaalefektid. Tänapäevani on muusikute poolt eelistatumad siiski analoogefektipedaalid, sest heli ei muundata ümber digitaalsignaalsiks ja see püsib pidevana kogu signaalitee jooksul. Ei toimu heli emuleerimist ning võib kindel olla, et kõik heli komponendid ja nüansid säilivad. See aspekt tagab laval ja studios tõesuuna ja loomulikuma kõlapildi. Antud kontekstis võib võrdluseks tuua vinüül- ja CD-plaadi, kus vinüülplaadil olev helivagu kannab endas tõelist analoogheli, kuid CD-plaadil olev fail on tegelikult digitaalse helisignaali rekonstruktsioon mitte tegelik heli.

Kitarri efektipedaale kasutatakse helisignaali manipuleerimiseks. Üldiselt on kitarristil pedaale rohkem kui üks ning analoogefektide puhul on ta sunnitud kõikide pedaalide nuppe ja potentsiomeetreid käsitsi paika keerama, et saavutada soovitud kõlapilt. Olles saavutanud otsitud saundi, ei ole muusikul võimalik heli defineerivaid parameetreid kuidagi analoog efektipedaali puhul salvestada, sest tihti puudub selleks vajalik mälu ja mugav kasutajaliides. Leidlikud kitarristid on lahendanud probleemi erinevate pedaalide seadistuste paberile joonistamise või pildistamise abil. Küll aga ei ole see mugav ning jätkusuutlik lahendus. Samuti ei võimalda selline lähenemine kiiret ja täpset helipildi manipuleerimist vastavalt eelseadistustele kontsertolukorras.

1.2 Ülesande püstitus

Lõputöö eesmärk on luua iOS operatsioonisüsteemil töötav mobiilirakendus, mis suhtleb

Bluetooth'i teel Noise Machine Weapon of Mass Distortion kitarrilise efektipedaaliga. Rakenduses oleks võimalik salvestada pedaali eelseadistusi ehk *preset*'e ning muuta reaalsajas pedaali erinevaid parameetreid. Seda oleks võimalik kasutada ka nõ. efektipedaalide kaugjuhtimispuldina näiteks helirezissööri poolt. Sellist lahendust analoog tüüpi efektipedaalide maailmas veel ei eksisteeri, kus on ühendatud analoog signaaliahel koos digitaalse Bluetooth liidesega, tänu millele saab muuta hea kõlapildiga efektid kasutajasõbralikumaks.

Rakendus on plaanis luua Swift keeles, kasutades XCode integreeritud arenduskeskkonda. Koodi testitakse telefonil iPhone 6, millele on installeeritud iOS 11.1.2 operatsioonisüsteem. Bluetooth ühendust testitakse koos ettevõtte Noise Machine poolt loodud efektipedaaliga.

1.3 Metoodika

Eesmärkideni jõudmiseks analüüsitakse esmalt teisi turul leiduvaid sarnaseid lahendusi, mille põhjal otsustatakse, mis on rakenduse puhul oluline.

Rakenduse realiseerimiseks kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid ja vahendeid, mille hulka kuuluvad iOS, Swift, XCode, Bluetooth Low Energy jm.

Tulemuste kontrollimiseks kasutatakse manuaalset testimist.

1.4 Ülevaade tööst

Töö koosneb viiest osast. Töö esimeses osas analüüsitakse erinevaid kitarrilise efektipedaale, millel on Bluetooth'iga ühendamise võimalus. Analüüsi osas esitatakse ka rakenduse nõuded.

Töö teises osas kirjeldatakse rakenduse arendust. Tutvustatakse rakenduse arenduse käigus kasutatud tehnoloogiaid ning Noise Machine Weapon of Mass Distortion efektipedaali arhitektuuri.

Kolmandas osas testitakse rakendust ning neljandas tuuakse välja mobiilirakenduse võimalikud edasiarendused.

2 Analüüs

Lõputöö eesmärgiks on arendada mobiilirakendus, millega on võimalik juhtida Noise Machine Weapon of Mass Distortion kitarride efektipedaali. Turul on praeguseks hetkeks palju erinevaid efektipedaale ning seepärast otsustas autor selles peatükis võrrelda juba olemasolevaid ning võimalikult sarnaseid lahendusi ja teha nende kohta põhjalik analüüs. Analüüsi käigus saab teha järeldusi, millised peaks olema rakenduse funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded ning mida peaks pidama rakenduse arendamise käigus oluliseks.

2.1 Olemasolevate lahenduste analüüs ja võrdlus

Autor uuris erinevate muusikaga seotud tehnoloogiaettevõtete tootevalikut ning valis nende seast välja lõputööga võimalikult sarnased tooted. Põhiliseks kriteeriumiks oli see, et müüdav toode oleks kitarride efektipedaal või efektiprotsessor ning seda oleks kindlasti võimalik juhtida mobiilirakenduse kaudu.

Uurimise käigus tehti kindlaks, et turul ei eksisteeri veel ühelgi ettevõttel sellist lahendust, mis hõlmaks analoog signaaliahelat koos Bluetooth liidesega. Sellega seoses tehti järeldus, et arendataval rakendusel võiks kindlasti olla turgu muusikute seas, kes hindavad puhast ja hea kõlapildiga analoogheli ning sooviksid seda manipuleerida läbi oma nutitelefoniga.

Edaspidi kirjeldas ja analüüsis autor efektipedaale, mis on võimalikult sarnased lõputöö käigus arendatavale lahendusele.

2.1.1 Zoom MS-100BT

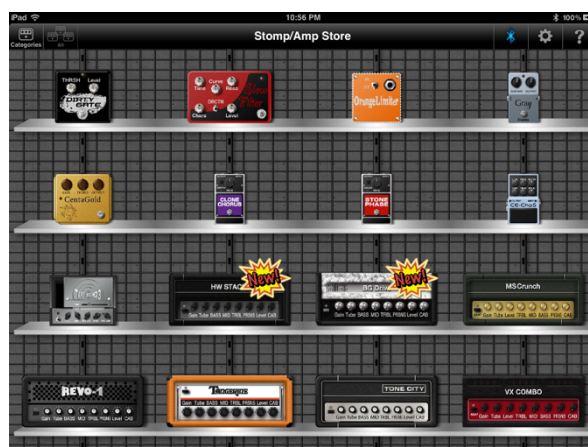
Zoom on muusikatehnoloogia firma, mis asutati aastal 1983 Tokyo linnas Jaapanis. Zoom'i tootevalikust leiab erinevaid heli lindistamise seadmeid, efektipedaale,

efektiprotsessoreid, trummimasinaid ning sãmplereid. Muusikamaailmas on Zoom vãga hinnatud firma ning nende kodulehelt võib leida üle 50 erineva toote [7].

Zoom MS-100BT (vt. Joonis 1) on maailmas esimesena turule tulnud kitarrri efektipedaal, mida on võimalik juhtida Bluetooth'i kaudu. Zoom on arendanud pedaaliga suhtlemise tarbeks mobiilirakenduse nimega StompShare (vt. Joonis 2) ning selle kaudu on võimalik saata pedaalile erinevaid efektiprogramme. Kõll aga tähendab see seda, et pedaal ise on digitaalne efekti protsessor ning heli manipuleerimine toimub digitaalselt. MS-100BT analoog-digitaalmuunduri sagedus on 44,1 kHz 24-bitise resolutsiooniga, mis sarnaneb tavalise CD-plaadi helikvaliteedile.



Joonis 1. Zoom MS-100BT [23]



Joonis 2. StompShare mobiilirakendus [24]

StompShare mobiilirakendusest (vt. Joonis 2) on võimalik soetada väga palju erinevaid programme, mis jäljendavad modernseid ja klassikalisi analoog efekte ning võimendeid. Sisuliselt on StompShare'i rakenduse puhul tegemist veebipoega. Bluetooth ühendus võimaldab ka lihtsalt ja kiirelt läbi StompShare'i uuendada pedaali püsivara [8].

2.1.2 Aalberg Audio

Aalberg Audio sai alguse aastal 2010, kui üks Aalberg Audio kaasasutajatest, Rune Aalberg Alstad, otsustas Norra Teadus ja Tehnikaülikoolis õppides oma magistritöö raames arendada kaugjuhitava efektipedaali. Esimese tootega tuli Aalberg Audio turule aastal 2014. 30 novembril 2017 teatas Aalberg Audio AS pankrotist ning seda firmat enam ei eksisteeri. Küll aga oli nende tootevalikus neli efektipedaali ja juhtmevaba kontrolleri (vt. Joonis 3), mis on autori lõputöö käigus arendatava lahendusega suhteliselt sarnane kombinatsioon [9], [10].



Joonis 3. Aalberg Audio AERO AE-1 kontrolleri ja pedaalid [25]

Aalberg Audio puhul on pedaalide kaugjuhtimine lahendatud nende enda poolt valmistatud kontrolleri abil. Kontrolleri AERO AE-1 (vt. Joonis 3) suhtleb pedaalidega läbi Bluetooth'i ning võimaldab korraka kontrollida kuni kaheksat pedaali. Kontrolleri miinus on aga see, et sellel ei ole ekraani ning maksimaalselt on sellega võimalik salvestada kuni kolm eelseadistust, mis täispika kontserdi mastaabis on siiski ebapiisav eelseadistuste kogus [11].

Aalberg Audio pedaalide puhul on jällegi tegemist digitaalsete efektiprotsessoritega. Püsivara uuendamiseks oli arendatud Aalberg Update mobiilirakendus iOS operatsioonisüsteemile ning neil oli plaanis turule tuua ka funktsionaalse ja kena disainiga mobiilirakendus pedaalide juhtimiseks, kuid selleni kunagi ei jõutud [12].

2.1.3 Hotone Audio XTOMP Detail

Hotone Audio XTOMP Detail pedaal on analüüsitavaatest pedaalidest välimusest ilmselt kõige sarnasem lõputöös kasutatud pedaaliga. XTOMP Detail pedaalil on kuus keeratavat potentsiomeetrit ning üks vajutatav nupp. Disaini poolest on XTOMP väga elegantne ja minimalistlik (vt. Joonis 4).

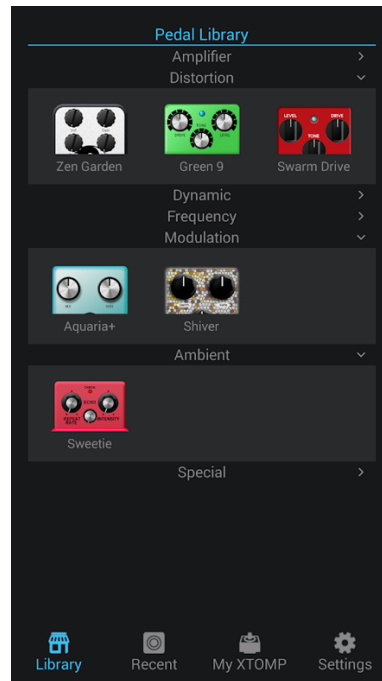


Joonis 4. Hotone Audio XTOMP Detail pedaal [26]

Hotone Audio on erinev teistest sarnastest toodetest, sest kasutab *Comprehensive Dynamic Circuit Modeling* ehk CDCM tehnoloogiat, mis on nende enda poolt välja töötatud. Tavalistes digitaalefektides on jäljendatud elektriskeeme digitaalse mudelina, kuid see mudel kirjeldab elektriskeemi vaid nii-öelda staatilises olekus ja pedaalist välja tulev heli ei kõla päris samamoodi, kui analoog elektriskeemist läbi minev helilaine. CDCM võimaldab erinevaid sisse tulevaid signaale töödelda dünaamiliselt, tänu millele saab pedaalil kasutada keerulisemaid efektide modelleerimise algoritme, mille tulemusena saab pedaalist välja realistlikuma ja naturaalsema helipildi [5].

Hotone Audio XTOMP DETAIL simuleerib sarnaselt Zoom MS-100BT pedaalile erinevaid klassikalisi ja modernseid analoog efekte. Rakendused pedaaliga suhtlemiseks

on loodud nii Windows, macOS, iOS kui ka Android operatsioonisüsteemidele (vt. Joonis 5) ning rakendustest on võimalik soetada üle 300 erineva efekti. Andmete vahetus pedaali ning mobiilirakenduse vahel töötab läbi Bluetooth'i, kuid Windows ja macOS rakenduste vahel läbi USB. Läbi USB sisendi on võimalik uuendada ka pedaali püsivara [5].



Joonis 5. Hotone Audio XTOMP mobiilirakendus [13]

2.1.4 BOSS GT-1000

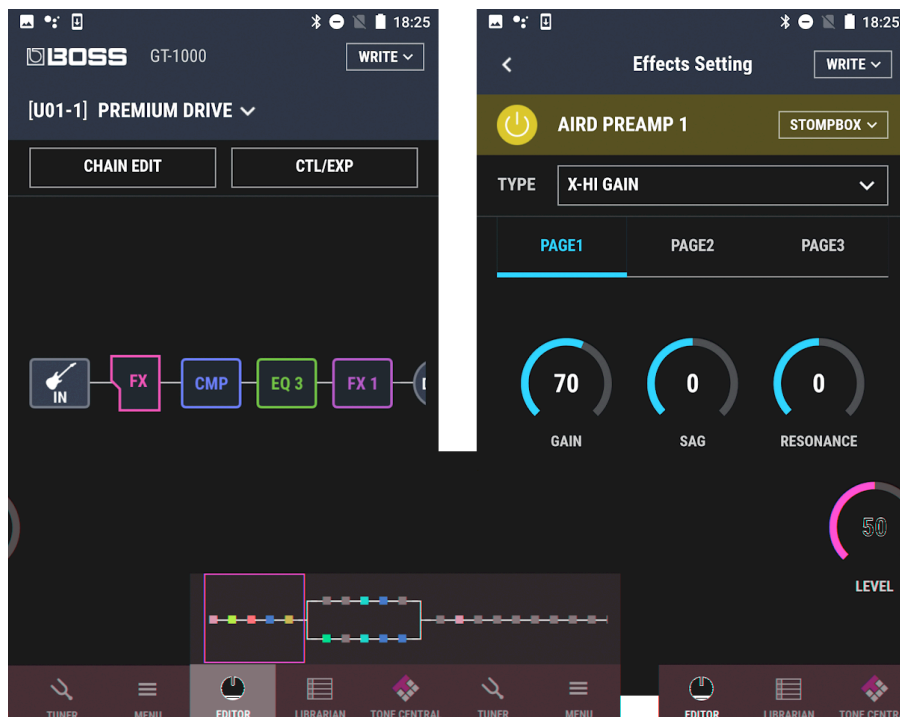
BOSS GT-1000 (vt. Joonis 6) on hetkel üks kõige populaarsemaid kitarrif efekti protsessoreid muusika tehnoloogia turul. Teistest analüüsitud pedaalidest eristab teda see, et GT-1000 on multieffektiprotsessor. See tähendab seda, et ta on võimeline simuleerima korraga mitut erinevat efekti ning võimendit. See annab muusikule palju lisafunktsionaalsusi ning tegelikult piisabki ainult sellest ühest pedaalist, et täita kõik muusiku vajadused ja saada väga komplitseeritud helipilt [2].



Joonis 6. BOSS GT-1000 pedaali [27]

GT-1000 kasutab *Augmented Impulse Response Dynamics* ehk AIRD tehnoloogiat, millega on võimalik väga tõetruult modelleerida erinevate klassikaliste kitarrivõimendite helipilti. Pedaali analoog-digitaalmuunduri sagedus on 96 kHz 32-bitise resolutsiooniga, mis tähendab efektiprotsessorite maailmas väga kõrget kvaliteeti [2].

BOSS GT-1000 on varustatud ka Bluetooth'i mooduliga ning seda on võimalik juhtida läbi BOSS Tone Studio mobiilirakenduse. Mobiilirakendus on arendatud nii iOS kui ka Android platvormile. Rakendusest on võimalik vahetada efekte, muuta efektide järjestusi ning reaalselt manipuleerida erinevate efektide parameetreid (vt. Joonis 7) [2].



Joonis 7. BOSS Tone Studio mobiilirakendus [28]

Reaalajas efekti parameetrite muutmine on lahendatud potentsiomeetreid imiteerivate kasutajaliidese elementidena (vt. Joonis 7). See pole kuigi kasutajasõbralik, sest piisab väikesest valesst liigutusest ning efekti parameetri väärtus võib maksimaalsest minimaalseni või vastupidi väga kiiresti hüpata.

2.2 Rakenduse nõuded

Selles peatükis kirjeldatakse arendatava rakenduse nõudeid. Nõuded on jaotatud kaheks: funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed. Funktsionaalsed nõuded kirjeldavad rakenduse käitumist kasutaja või süsteemist pärinevatele sisenditele. Mittefunktsionaalsed nõuded on olulised rakenduse arhitektuuri juures ning hõlmavad endast käideldavust, kasutatavust, jõudlust ja toetatavust [14].

2.2.1 Rakenduse funktsionaalsed nõuded

Rakenduse funktsionaalsed nõuded on järgmised:

1. Pedaal ning rakendus peavad suutma omavahel andmeid saata ja vastu võtta.
2. Rakendust käivitades toimub telefoni ning pedaali märkamatu ühendumine läbi Bluetooth tehnoloogia.
3. Kui rakendus on ühendunud pedaaliga, siis on võimalik rakendusest pedaali erinevaid parameetreid reaalajas muuta.
4. Kasutaja saab salvestada pedaali parameetrite hetkeseisu ehk *preset*'i koos kasutaja poolt kirja pandud nimega telefoni mällu.
5. Kui kasutaja sulgeb rakenduse, jäävad *preset*'id telefoni mälusse alles.
6. Kasutaja saab telefoni mälust taaslaadida eelnevalt salvestatud *preset*'e.
7. Kasutaja saab kustutada salvestatud *preset*'e.

2.2.2 Rakenduse mittefunktsionaalsed nõuded

Rakenduse mittefunktsionaalsed nõuded on järgmised:

1. Kasutajaliides peab olema lihtsasti kasutatav ning intuitiivne.
2. Kasutajaliideses peab olema näha *preset*'i nimetus ning parameetrite hetkeseis.
3. Rakenduse liides on ingliskeelne.
4. Rakenduse kood on ingliskeelne.
5. Rakendus peab töötama iOS operatsioonisüsteemil.

3 Arendus

Lõputöö käigus valmis Bluetooth tehnoloogiat kasutav mobiilirakendus. Selles peatükis tutvustab autor rakenduse tehnilist teostust ning selle arenduses kasutatud vahendeid, tehnoloogiat ja nende kasutust.

3.1 Rakenduse tehnoloogiline ülevaade

Arendatud rakendus on iOS operatsioonisüsteemipõhine ja on kirjutatud Swift keeles ning XCode keskkonnas. Samuti kasutas autor Bluetooth suhtluse realiseerimiseks Apple'i poolt arendatud Core Bluetooth raamistikku.

3.1.1 Bluetooth ja Bluetooth Low Energy

Bluetooth on 1998. aastal Ericssoni, Inteli, Nokia ja Toshiba koostöös välja arendatud mobiilside spetsifikatsioon, mis kirjeldab kuidas erinevad seadmed saavad lihtsal viisil andmeid vahetada lühikese vahemaa pealt [1]. Bluetooth põhineb raadioside standardil IEEE 802.15.1 ja töötab WiFi-ga samas sagedusalas ehk 2.4 GHz. Bluetooth võimaldab kuni 3 Mbit/s andmeedastuskiirust ning ka krüpteeritud andmevahetust. Antud tehnoloogia kasutab ka sagedushüpitamist, mis võimaldab sellel töötada ka tugevate raadiohäiretega piirkondades [4, pp. 167-168].

Bluetooth Low Energy ehk BLE tehnoloogia on disainitud eelkõige väga madala energia tarbivusega ning juhtmevaba suhtluse realiseerimise eesmärgil. BLE töötab sarnaselt tavalisele Bluetooth'ile sagedusel 2.4 GHz ning ta on võimeline edastama andmeid üle 40 kanali. See annab tarkvara- ning riistvaraarendajatele väga palju uusi võimalusi ning paindlikkust, sest energia tarbivuse poolest on BLE tehnoloogia oluliselt parema andmete saatmiseks kulutatud energia suhtega [4, pp. 169-170].

BLE on ka väga oluline nutistu ehk teisisõnu asjade interneti arengu jaoks. Nutistu on kiiresti arenev valdkond, mille eesmärk on ühendada tehnoloogia ja internet füüsiliste objektidega, mis pole traditsiooniliselt võrku ühendatud. Nutistu võrgus on seadmed internetiga ühendatud ning nad suudavad omavahel informatsiooni jagada ning teatud ülesandeid täita. Kõige kiiremini areneb asjade internet just kodumasinatate sektoris, kus

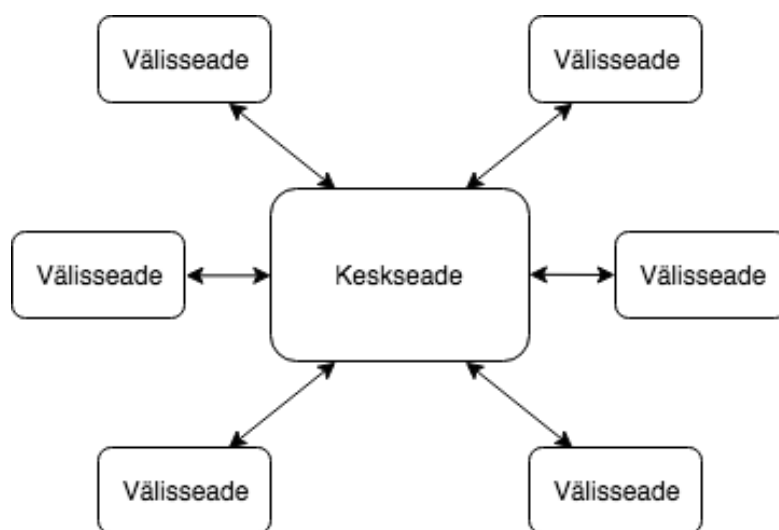
ühendatakse internetti külmkapid, pesumasinad, ahjud, telekad jne. BLE-d võib nimetada selle valdkonna alustalaks [15, p. 232].

3.1.2 Generic Access Profile

Generic Access Profile ehk GAP on juurdepääsu profiil [1], mida kasutavad kõik Bluetooth tehnoloogial töötavad seadmed. BLE tehnoloogiat kasutava seadme puhul määrab ja kirjeldab GAP seadme füüsilist kihti, andmelülikihti, erinevaid protokolle ja turvalisust. Need erinevad kihid moodustavad kokku Bluetooth seadme baasnõudmised. Ühtlasi kirjeldab GAP seadme leitavust, ühendumist ning valideerimist. GAP on see, mis teeb seadme välismaailmale nähtavaks ning määrab ära, kuidas seadmed omavahel suhtlevad [4, pp. 252-253], [3].

BLE puhul defineerib GAP erinevatele seadmetele erinevad rollid, milleks on *broadcaster*, *observer*, *peripheral* ja *central*. Üks seade võib olla ka mitmes erinevas rollis, kuid mitte üheaegselt [3]. Antud töös on olulisteks rollideks *central* ning *peripheral*.

Peripheral ehk välisseade [1] on antud töö kontekstis efektipedaal ning *central* ehk keskseade [1] on antud töö kontekstis nutitelefon või tahvelarvuti, mis ühendub efektipedaaliga. Välisseade on võimeline ühenduma keskseadmega ning nad on suutelised omavahel andmeid saatma (vt. Joonis 8) [13].



Joonis 8. Kesk- ja välisseadmete vaheline topoloogia

Kui ühendust kesk- ja välisseadme vahel pole veel saavutatud, saadab välisseade välismaailmale reklaampakette, et anda keskseadmetele teada oma olemasolust. Keskseade on üldiselt suurema arvutusvõimsusega ning ta on võimeline ühenduma ühel ajahetkel mitme välisseadmega. Välisseade on võimeline ühenduma korraga vaid ühe keskseadmega (vt. Joonis 8) [3].

3.1.3 Generic Attribute Profile

Generic Attribute Profile ehk GATT defineerib kuidas kaks BLE seadet omavahel andmeid vahetavad. Andmete saatmiseks on GATT-i poolt defineeritud kõrgema taseme objektid, milleks on profiilid, teenused ja karakteristikud. Karakteristik on mingi andmete väärtus, mida keskseade ja välisseade omavahel saadavad. Teenus on kogum omavahel seotud karakteristikutest ning profiil on kogum omavahel seotud teenustest. GATT kasutab ka andmete protokoll *Attribute Protocol* ehk ATT, mida kasutatakse teenuste, karakteristikute ja nendega seotud andmete hoiustamiseks [4, pp. 253-256], [3].

Kui kahe seadme vahel on GAP-i kaudu ühendus loodud, siis lõppeb reklaampakettide saatmine ja seejärel on võimalik kasutada GATT-i teenuseid ning karakteristikuid, et seadmete vahel andmeid saata. Ühenduse loomine on kusjuures ka see, mis võimaldab seadmete vahel kahesuunalist andmete vahetamist [3].

3.1.4 iOS

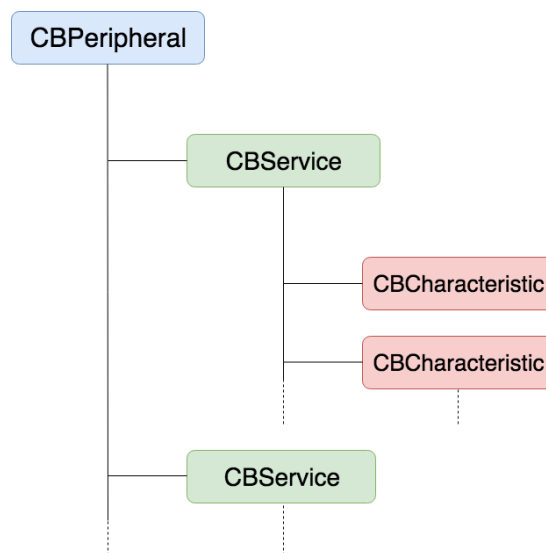
iOS on operatsioonisüsteem, mis töötab eksklusiivselt iPhone nutitelefonidel, iPod multimeediamängijatel ning iPad tahvelarvutitel. iOS on hetkel maailmas populaarsuselt teine nutitelefoni operatsioonisüsteem. 2017. aasta teises kvartalis olid kõikidest maailmas müüdüd nutitelefonidest 12,1% iPhone telefonid [16]. Ennustatakse, et iOS'il töötavaid rakendusi on aastaks 2020 kokku umbes 5 miljonit [17].

Rakenduste arendamine iOS operatsioonisüsteemile toimub XCode arenduskeskkonnas. Arendamiseks on vajalik ka iOS'i *Standard Development Kit* ehk SDK, mis võimaldab programmeerijal luua rakendusi iOS platvormile. XCode on arendatud samuti Apple'i poolt ning see võimaldab teha rakendusi kõikidele Apple'i seadmetele. Kasutades XCode'i ja iOS'i SDK-d on võimalik arendada rakendusi Swift ning Objective-C keeltes. Tasub ka ära märkida, et XCode töötab vaid macOS'i operatsioonisüsteemil.

3.1.5 Core Bluetooth

Core Bluetooth raamistik on Apple'i poolt arendatud raamistik, mis võimaldab iOS ja macOS rakendustel suhelda seadmetega, millel on olemas BLE funktsionaalsus. Antud raamistik on BLE protokollide abstraktsioon ning teeb tänu sellele Bluetooth rakenduste arendamise oluliselt lihtsamaks [18]. See raamistik on üks põhilisi elemente arendatud rakenduse toimimisel.

Core Bluetooth'is on väga elegantselt ära defineeritud eelnevalt mainitud GATT kõrgema taseme objektid ehk profiilid, teenused ja karakteristikud. Välisseadme poolt saadetakse info on üles ehitatud puuna, kus välisseadme profiili CBPeripheral'i teenused on CBService objektid ning nende sees on karakteristikud ehk CBCharacteristic objektid [18]. Joonis 9 kirjeldab Core Bluetoothiga töötava välisseadme, teenuste ning karakteristikute omavahelist seost.



Joonis 9. Välisseadme Core Bluetooth struktuur

3.1.6 UserDefaults

Andmete salvestamiseks on iOS operatsioonisüsteemil Defaults andmebaas, kuhu on võimalik salvestada võti-väärtus paaridena andmeid. UserDefaults klass on programmeeritud liides mille kaudu saab suhelda Defaults andmebaasiga. Defaults andmebaas on mugav lahendus kasutaja poolt valitud seadete salvestamiseks, et pärast rakenduse sulgemist jääks kasutaja valikud ning sisestatud informatsioon alles [19]. Lõputöö käigus arendatava rakenduse kontekstis on UserDefaults sobiv lahendus, sest

andmete salvestamiseks on vaid üks massiiv PresetObject objektidest, mis hoiab endas infot erinevate *preset*'ide kohta (vt. Joonis 10).

<u>PresetObject</u>
dateAdded: Date
name: String
volume: Int
presence: Int
bass: Int
mid: Int
treble: Int
gain: Int

Joonis 10. PresetObject objekti andmestruktuur

3.2 Noise Machine Weapon of Mass Distortion pedaali arhitektuur

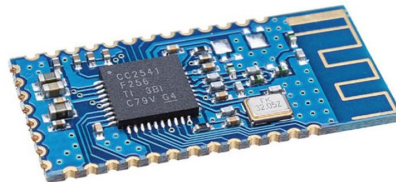
Noise Machine Weapon of Mass Distortion efektipedaal ehk NM WMD pedaal on ettevõtte Noise Machine poolt arendatud kitarrifektipedaal. Pedaalil on kuus potentsiomeetrit, üks läbilaskelüliti, üks USB-B sisend ning kaks 6,3mm pulkpistiku pesa, millest üks on sisend ja teine väljund (vt. Joonis 11). Pedaalil on ka üks sinine valgusdiood, mis inditseerib läbilaskelüliti olekut.



Joonis 11. Noise Machine WMD Distortion pedaal

Bluetooth ühenduse võimaldab pedaalil sees olev HM-10 Bluetooth 4.0 BLE moodul, mis põhineb Texas Instruments'i CC2540 või CC2541 integraalskeemil (vt. Joonis 12) [20].

HM-10 on tänapäeval väga laialdast kasutust leidev Bluetooth moodul põhiliselt selle pärast, et sinna on sisse ehitatud universaalne asünkroontransiiver, mis juhib kesk- ja välisseadmeid ühendavat jadaliidest, tänu millele on seda suhteliselt lihtne ühendada erinevate mikrokontrolleritega [21].



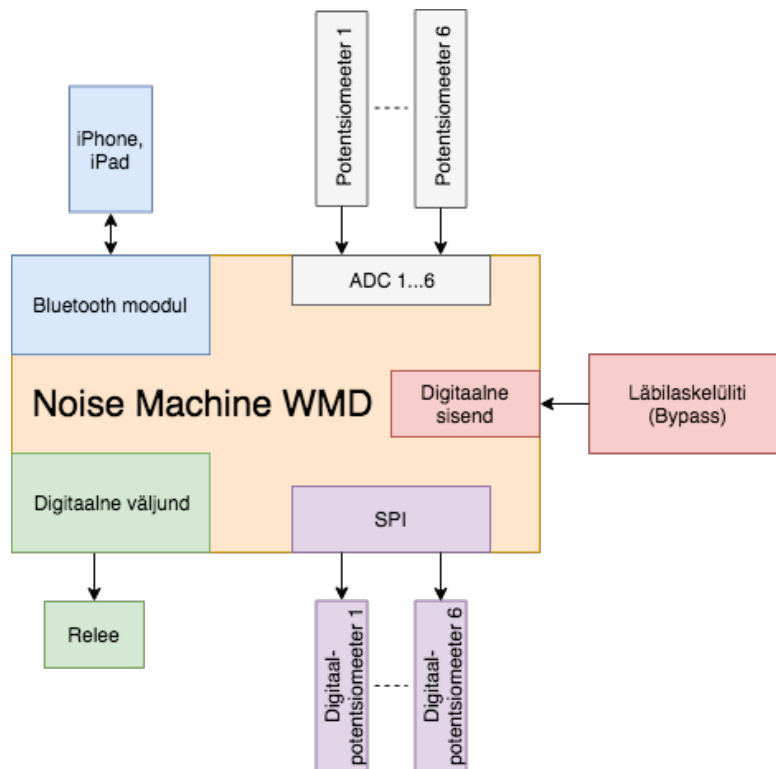
Joonis 12. HM-10 Bluetooth moodul [29]

NM WMD pedaali läbilaskelüliti (vt. Joonis 13) on ühendatud mikrokontrolleri digitaalsesse sisendisse ning sellega juhitakse elektroonilist releed. Relee võimaldab analoogskeemi lühistada ning läbi selle muuta pedaalist väljuvat heli. Kui skeem ei ole lühistatud, siis tuleb pedaalist välja analoogskeemi poolt muudetud heli, mida on võimalik potentsiomeetritega manipuleerida. Kui skeem on lühistatud, siis helisignaal läbi efekti kujundava analoogskeemi ei lähe ning pedaalist väljub muutmata helisignaal.

Analoog-digitaalmuunduri ehk ADC külge on ühendatud potentsiomeetrid (vt. Joonis 13). Potentsiomeetrid on ühendatud nii, et analoog-digitaalmuundur mõõdab pinget vastavalt potentsiomeetrite asendile. Pinge omakorda muundatakse analoog-digitaalmuunduri abil numbriliseks väärtuseks. NM WMD pedaali puhul on ADC resolutsioon 10 bitti ehk 2^{10} , seega on sealt võimalik lugeda väärtuseid 0 kuni 1023.

Pedaali sisse on ehitatud ka digitaalsed potentsiomeetrid, mida kontrollitakse läbi SPI (Serial Peripheral Interface) ehk sünkroonse järjestikülekanne protokoll (vt. Joonis 13). SPI kaudu suhtlemine on üles ehitatud ülem-alluv suhtena. Ülemus ehk mikrokontroller juhib alluvat ehk antud juhul digitaalseid potentsiomeetreid [1], [6]. Kui pedaali kontrollitakse Bluetooth'i kaudu, siis kasutab pedaal digitaalseid potentsiomeetreid, kuid

reaalsete potentsiomeetrite puudutamisel hakkab pedaal lugema reaalse potentsiomeetrite väärtusi.



Joonis 13. Noise Machine WMD pedali riistvara arhitektuur

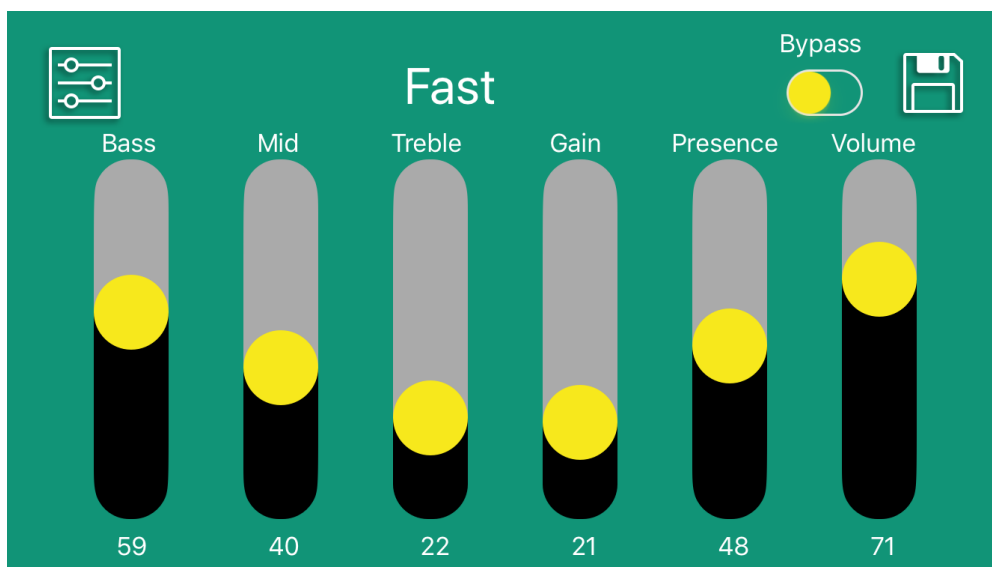
3.3 Rakenduse kirjeldus

Töö autor arendas lõputöö käigus iOS operatsioonisüsteemipõhise rakenduse, millega on võimalik kontrollida Noise Machine Weapon of Mass Distortion efektipedaali. Rakenduse kasutajateks on muusikud, kes mängivad elektrilisi instrumente, mida on võimalik ühendada heli manipuleerivate pedaalidega. Põhilisteks kasutajateks on ilmselt elektrikitarrimängijad.

3.3.1 Põhivaade

Rakenduse kasutajaliides on tehtud võimalikult lihtsaks ning iseenesestmõistetavaks, jäljendades teisi sarnaseid mobiilirakendusi. Seda põhjusel, et kasutaja ei satuks rakenduse avamisel segadusse ning tekiks ka äratundmine. Küll aga lähtus töö autor sarnaste mobiilirakenduste analüüsist ja muutis seeläbi kasutajaliidese kasutajasõbralikumaks ning veakindlamaks.

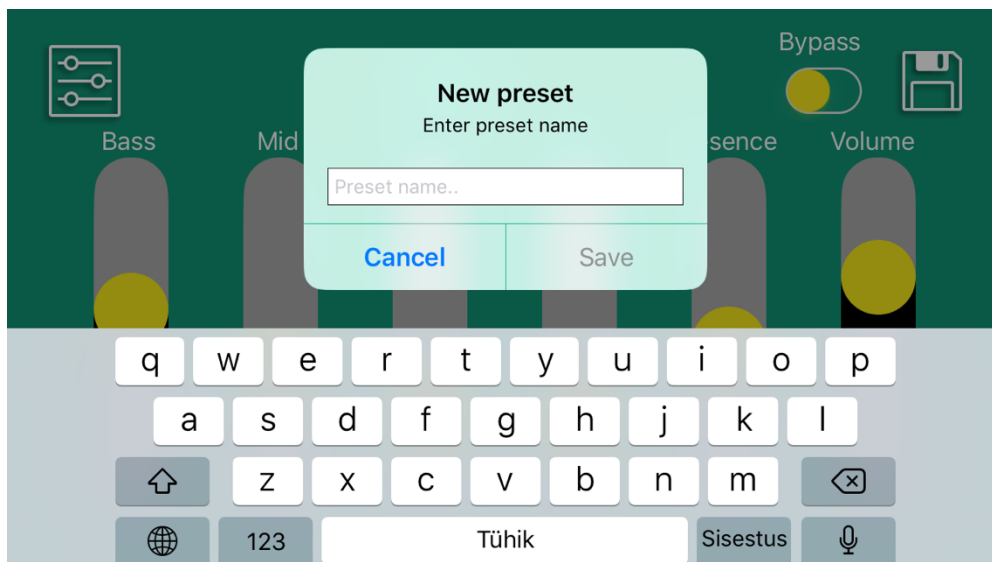
Sarnaste rakenduste analüüsi käigus (vt. peatükk 2.1.4) tehti järeldus, et visuaalsed potentsiomeetrid ei ole kuigi kasutajasõbralik lahendus, sest piisab väikesest vales liigutusest ning efekti parameetri väärtus võib maksimaalsest minimaalseni või vastupidi väga kiiresti hüpata. Sellest lähtudes otsustas autor potentsiomeetrid kasutajaliideses realiseerida liuguritena, sest see välistab tahtmatute vigade tegemise. Peale liugurite on põhivaates ka *preset*'i salvestamise nupp, eelnevalt salvestatud *preset*'ide menüü avamise nupp ning lüliti, mis kontrollib analoogskeemi lühistavat releed (vt. Joonis 14).



Joonis 14. Põhivaade

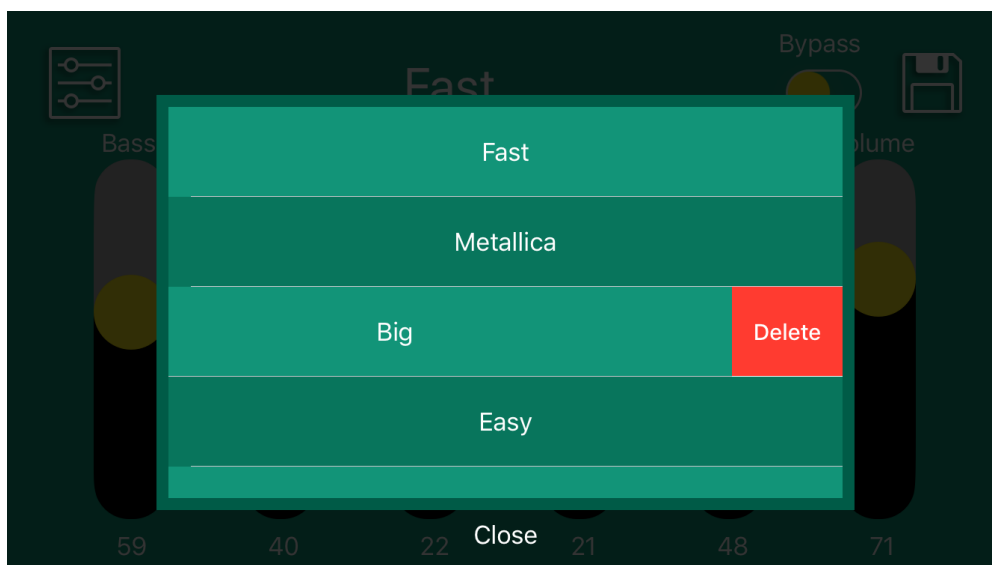
3.3.2 Preseti salvestamine ning taaslaadimine

Preset'i salvestamiseks on rakenduses loodud eraldi nupp, mida kujutab disketi ikoon (vt. Joonis 14). Vajutades disketile avaneb hüpinkaken, kuhu on võimalik kirjutada uue *preset*'i nimetus (vt. Joonis 15). Lõpliku salvestamise nupp aktiveerub vaid siis, kui tekstiväljale on kirjutatud vähemalt üks tähemärk, et vältida nimetuseta *preset*'ide lisamist. *Preset* salvestatakse liugurite hetkeväärtuseid sisaldava objektina `UserDefaults`'is olevasse massiivi.



Joonis 15. Salvestamise vaade

Preset'i taaslaadimiseks on rakenduses loodud eraldi nupp, mida kujutab menüü ikoon (vt. Joonis 14). Menüü ikoonile vajutades avaneb hüpikaken, kus on võimalik näha eelnevalt salvestatud *preset*'e (vt. Joonis 16). *Preset*'id kuvatakse vertikaalselt keritava tabelina ning ajalisel järjestuses, alustades kõige uuemast. Libistades lahtrit vasakule, avaneb võimalus *preset*'i kustutada. Selline kustutamise meetod on iOS operatsioonisüsteemil väga levinud ning seega peaks olema lõppkasutaja jaoks intuiitiivne lahendus.



Joonis 16. *Preset*'ide valiku vaade

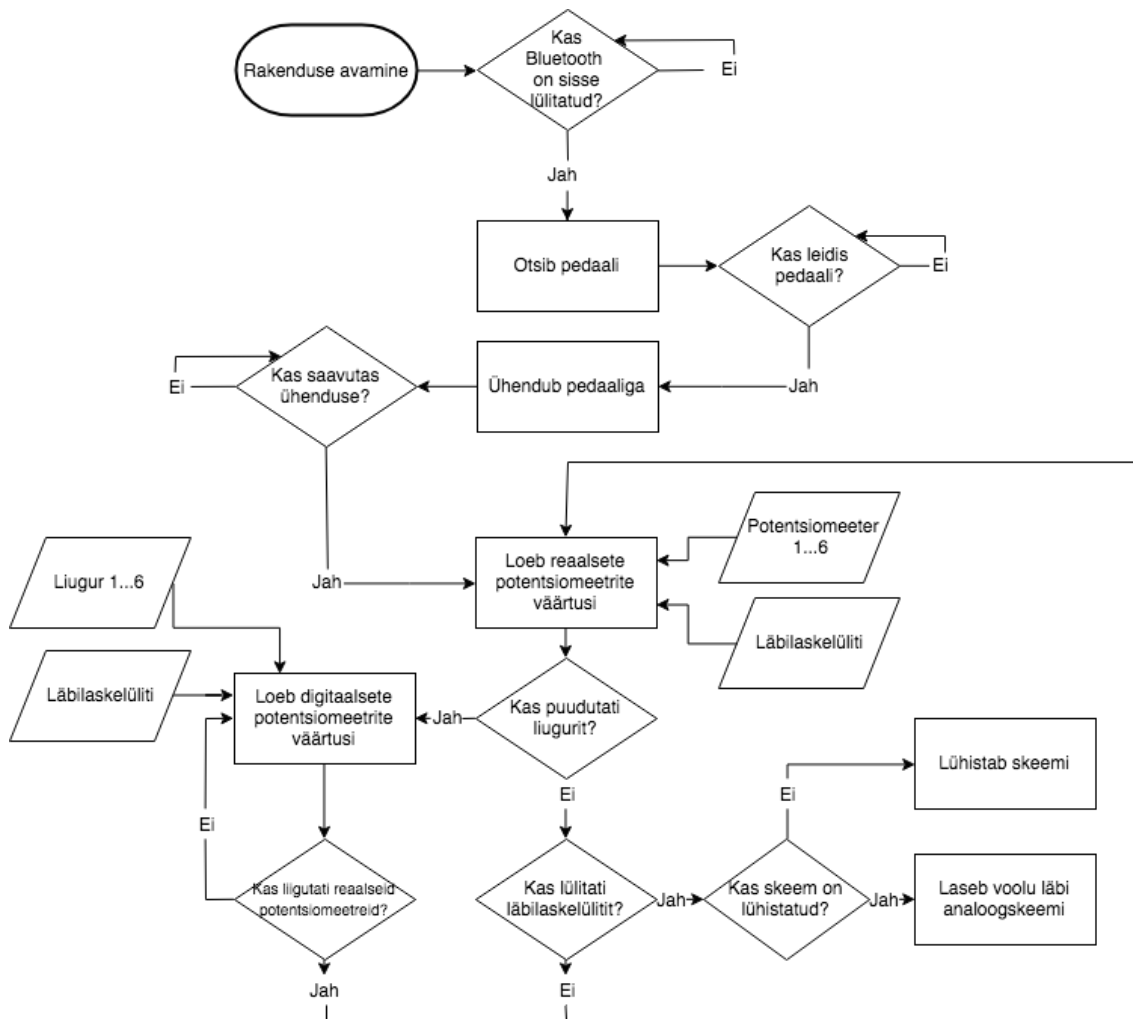
3.3.3 Pedaaliga suhtlemine

Mobiilirakendus suhtleb pedaaliga läbi Bluetooth'i. Selle jaoks on pedaali koodis kindlaks määratud andmeside protokoll, kus on defineeritud pedaali käitumine erinevatele keskseadmelt tulevatele signaalidele.

Liuguri esmakordsel liigutamisel saadab mobiilirakendus pedaalile ühe baidi infot, mis vahetab reaalsete potentsiomeetrite väärtuste lugemise rakenduses olevate liugurite väärtuste lugemise vastu. Seejärel saadetakse pedaalile kaks baidi infot. Esimene bait indikeerib ühte konkreetset pedaalil olevat digitaalset potentsiomeetrit ning teine bait liuguri hetkelist väärtust. Vastavalt liuguri väärtusele, muudetakse ka pedaali digitaalse potentsiomeetri väärtust. Väärtus võib olla igal digitaalsel potentsiomeetril vahemikus 0-100 ning iga liugur on seotud ühe potentsiomeetriga.

Kasutajaliideses olev lüliti kontrollib analoogskeemi lühistavat releed. Relee juhtimiseks saadab rakendus pedaalile ühe baidi infot vastavalt sellele, kas soovitakse releed sisse või välja lülitada.

Joonis 17 on näidatud vooskeemina, kuidas on üles ehitatud rakenduse loogika pedaaliga ühendamisel ning suhtlemisel.



Joonis 17. Rakenduse loogika vooskeemina

4 Testimine

Lõputöö tulemuste hindamiseks pidas autor vajalikuks testida rakenduse toimimist vähemalt viie testkasutajaga. Seda nimelt selle pärast, et viie inimesega rakenduse testimisel on võimalik leida peaaegu sama palju kasutatavusega seotud probleeme kui rohkemate testkasutajatega [22]. Testimise eesmärgiks oli rakenduses olevate kasutatavusega seotud probleemide leidmine kuna rakenduse sisulist toimimist testiti juba arenduse käigus manuaalselt.

Testkasutajateks olid erinevad muusikud ja muusikahuvilised inimesed vanuses 15-50, kes külastasid muusikapoodi. Testkasutajale anti ülesandeks avada rakendus ning seejärel proovida läbi kõik rakenduse funktsionaalsused.

Testiti rakenduse kolme põhilist funktsiooni:

- Heli manipuleerimine läbi rakenduses olevate liugurite.
- *Preset*'i salvestamine.
- *Preset*'i taaslaadmine.

Kuna testkasutajad olid kõik varasemalt kitarri efektipedaalidega tuttavad, siis rakenduse esmakordsel testimisel ei tekkinud kellelgi probleemi selle kasutamisega. Testkasutajate sõnul tundus rakenduse elementide asetus loogiline ning ei tekitanud segadust.

Rakendust testinud kasutajad omasid küll erinevaid arvamusi rakenduse visuaalse disaini osas. Kolmele testkasutajale meeldis kasutajaliidese värvivalik, kuid kaks testkasutajat arvasid, et värvilahendus võiks teistsugune olla. Kuna inimeste eelistused on erinevad, siis on see täiesti mõisteta ning seetõttu ei hakanud autor rakenduse värvilahendust muutma.

Testide tulemusena rakenduse kasutajaliideses midagi muutma ei hakatud, sest testkasutajatelt saadud tagasisidest ei osatud välja tuua ühtegi suurt probleemi.

5 Rakenduse võimalikud edasiarendused

Lõputöö käigus valminud rakendus on vaid prototüüp efektipedaali kontrollivast mobiilirakendusest ning seetõttu on autoril hulganisti ideid, milliseid funktsionaalsusi võiks rakendusele juurde arendada.

Esimene ning ilmselt kõige olulisem edasiarendus võiks olla pedaali reaalse potentsiomeetrite väärtuste kuvamine rakenduses. Autoril oli küll esialgu see plaanis, kuid piiranguks sai efektipedaalil olev riistvara kood. Nimelt tuleks sellise funktsionaalsuse jaoks muuta pedaalil olevat koodi nii, et see saadaks välja infot potentsiomeetrite keeramise kohta.

Kuna ettevõtte Noise Machine plaanib tulevikus veel teha mitmesuguseid erinevaid Bluetooth funktsionaalsusega efektipedaale, siis tuleks kindlasti muuta rakendust nii, et see oleks võimeline suhtlema mitme pedaaliga korraga. Kasutajal peaks olema võimalik ise määrata seda, millise pedaali millist parameetrit mingi konkreetne liugur kontrollib. Ühtlasi tuleks modulariseerida *preset*'ide salvestamist nii, et see toimiks mitme pedaaliga.

Kolmandana võiks rakendusega kindlasti seotud olla mõni pilveteenus, kuhu on võimalik läbi mobiilirakenduse kasutaja registreerida. Kasutaja tegemine võimaldaks salvestada *preset*'id kasutajapõhiselt pilveteenusesse. See tähendaks seda, et telefoni vahetamisel või rakenduse kasutamisel teises nutimasinas, oleks võimalik kõik *preset*'id kiirelt ja lihtsalt teise telefoni laadida. See annaks kasutajatele ka kindlustunde, et kui nende telefoniga peaks midagi juhtuma, siis antud rakenduse mõistes midagi kaduma ei lähe. Ühtlasi annaks pilve salvestamine muusikutele võimaluse *preset*'e omavahel jagada.

6 Kokkuvõte

Töö põhieesmärk oli luua mobiilirakendus Noise Machine Weapon of Mass Distortion kitarride efektipedaali juhtimiseks. Loodud prototüüp rakendus võimaldab muusikutel efektipedaali reaalajas kontrollida ning salvestada pedaali *preset*'e nutimasinasse. Rakendus teeb muusikute elu mugavamaks, sest nad ei pea enam eelseadistusi üles joonistama ning efektipedaali on võimalik kontrollida ka helirežissööri poolt.

Töö esimeses osas analüüsiti sarnaseid lahendusi ning pandi paika rakenduse nõuded. Nendele teadmistele tuginedes töötati välja tehniline lahendus ja arendati prototüüp rakendus.

Töö koostamisel sai autor Bluetooth tehnoloogia ning riistvaraga seotud rakenduste arendamise kohta väga palju uusi teadmisi ning õppis neid rakendama. Konkreetsemaid teadmisi omandas Bluetooth'i spetsifikatsiooni, iOS rakenduse arendamise ning riistvaraga suhtlemise eripärade kohta. Lisaks õppis autor kasutama XCode keskkonda ja Swift programmeerimiskeelt.

Kõik planeeritud funktsionaalsused rakendusele said implementeeritud. Töö tulemuseks on reaalne ja kasutatav tarkvara, mida on võimalik edasi arendada ja uute funktsionaalsustega täiendada.

Kasutatud kirjandus

- [1] H. Vallaste, "e-teatmik," [Online]. Available: www.vallaste.ee. [Accessed 10 04 2018].
- [2] Roland Corporation, [Online]. Available: <https://www.boss.info/us/products/gt-1000/>. [Accessed 20 04 2018].
- [3] K. Townsend, "Introduction to Bluetooth Low Energy," Adafruit, [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy?view=all>. [Accessed 10 04 2018].
- [4] Bluetooth SIG, "Bluetooth specification version 5.0," 2016. [Online]. Available: www.bluetooth.com. [Accessed 20 04 2018].
- [5] Hotone Audio, [Online]. Available: <http://xtomp.com/2015/12/16/xtomp-detail/>. [Accessed 20 04 2018].
- [6] Circuit Basics, "Basics of the SPI Communication Protocol," [Online]. Available: <http://www.circuitbasics.com/basics-of-the-spi-communication-protocol/>. [Accessed 01 05 2014].
- [7] Zoom North America, [Online]. Available: <https://www.zoom-na.com/>. [Accessed 01 05 2018].
- [8] Zoom Corporation, [Online]. Available: <https://www.zoom-na.com/products/guitar-bass-effects/multistomp/zoom-ms-100bt-multistomp-guitar-pedal-bluetooth>. [Accessed 20 04 2018].
- [9] Aalberg Audio, [Online]. Available: <http://aalbergaudio.com/about/about-us/>. [Accessed 20 04 2018].
- [10] R. A. Alstad. [Online]. Available: <http://aalbergaudio.com/>. [Accessed 20 04 2018].
- [11] Aalberg Audio, [Online]. Available: <http://aalbergaudio.com/products/aero/>. [Accessed 20 04 2018].
- [12] Aalberg Audio, [Online]. Available: <http://aalbergaudio.com/remote-app/>. [Accessed 20 04 2018].
- [13] "Hotone Audio Xtomp application," [Online]. Available: <https://lh3.googleusercontent.com/EG2ULkYAxpU9xfF8G-XDGkgQyhXGZ8g1mZGSn4-sbRnDaGA6h5xu9KQM0-Bd2n5oBUg=w1920-h957>. [Accessed 03 05 2018].
- [14] P. Potter, "Süsteemi nõuete esiletoomine ja analüüs," [Online]. Available: <http://maurus.ttu.ee/sts/wp-content/uploads/2011/10/S%C3%BCsteemi-n%C3%B5uete-esiletoomine-ja-anal%C3%BC%C3%BCs.pdf>. [Accessed 10 03 2018].
- [15] M. Siekkinen, M. Hiienkari, J. K. Nurminen and J. Nieminen, "How Low Energy is Bluetooth Low Energy? Comparative Measurements with ZigBee/802.15.4," in *WCNC 2012*, Paris, 2012.
- [16] Statista, "Global mobile OS market share in sales to end users from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2017," [Online]. Available:

- <https://www.statista.com/statistics/266136/global-market-share-held-by-smartphone-operating-systems/> . [Accessed 22 04 2018].
- [17] S. Perez, "App Store to reach 5 million apps by 2020, with games leading the way," Techcrunch, [Online]. Available: <https://techcrunch.com/2016/08/10/app-store-to-reach-5-million-apps-by-2020-with-games-leading-the-way/>. [Accessed 22 04 2018].
- [18] Apple Inc, "Core Bluetooth Programming Guide," [Online]. Available: https://developer.apple.com/library/content/documentation/NetworkingInternetWeb/Conceptual/CoreBluetooth_concepts/AboutCoreBluetooth/Introduction.html. [Accessed 15 02 2018].
- [19] Apple Inc, "UserDefaults," [Online]. Available: <https://developer.apple.com/documentation/foundation/userdefaults#overview>. [Accessed 15 02 2018].
- [20] T. Karydis, "Bluetooth Interfacing with HM-10," [Online]. Available: <http://fab.cba.mit.edu/classes/863.15/doc/tutorials/programming/bluetooth.html> . [Accessed 15 02 2018].
- [21] M. Currey, "HM-10 Bluetooth 4 BLE Modules," 05 01 2017. [Online]. Available: <http://www.martyncurrey.com/hm-10-bluetooth-4ble-modules/>. [Accessed 15 02 2018].
- [22] J. Nielsen, "How Many Test Users in a Usability Study?," 04 06 2012. [Online]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/how-many-test-users/>. [Accessed 10 05 2018].
- [23] "Zoom MS-100BT," [Online]. Available: <http://www.soundaffectspremier.com/images/products/zoom/1368709466-75943800.jpg>. [Accessed 10 05 2018].
- [24] "StompShare application," [Online]. Available: <http://www.harmonycentral.com/forum/filedata/fetch?id=31080114&d=1394142883>. [Accessed 10 05 2018].
- [25] "Aalberg Audio all products," [Online]. Available: https://www.gitarrebass.de/wp-content/uploads/2016/10/AALBERG_AUDIO_All_Products.jpg. [Accessed 03 05 2018].
- [26] "Hotone XTOMP," [Online]. Available: https://www.rock-gear.de/out/pictures/master/product/1/hotone_xtomp_01.jpg. [Accessed 03 05 2018].
- [27] "BOSS GT-1000 pedal," [Online]. Available: <http://static.keymusic.com/products/263151/XL/boss-gt-1000.jpg>. [Accessed 03 05 2018].
- [28] "BTS for GT-1000," [Online]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.co.roland.boss_gt_1000_editor. [Accessed 03 05 2018].
- [29] "HM-10," [Online]. Available: https://www.evakw.com/1085-thickbox_default/hm-10-cc2541-cc2540-ble-40-bluetooth-uart-transceiver-module-central.jpg. [Accessed 03 05 2018].