

Tallinna Ülikool
Digitehnoloogiaste Instituut

ÜLEVAADE ETHERNET LIIDSEGA HELIKAARTIDEST

Seminaritöö

Autor: Are Kangus
Juhendaja: Meelis Karp

Tallinn 2016

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev seminaritöö on minu töö tulemus ja seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....

(kuupäev)

.....

(autor)

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
Võõrkeelsete lühendite loetelu.....	5
1. Ethernet liidesega helikaartide tööpõhimõtted.....	6
1.1 Põhilised komponendid.....	6
1.2 Heliülekanne kasutades TCP protokollid.....	7
1.2.1 Eelis USB liidesega seadmete ees.....	9
2. Hetkel saadaval olevad seadmed	10
2.1 Focusrite RedNet seeria	10
2.2.1 RedNet seadmed	11
2.2.2 Ethernet kommutaatoriga ühendamine	12
2.2 MOTU AVB Ethernet liidesega seadmed.....	13
3. Võrdlus muud tüüpi liidestega seadmetega	15
3.1 Spetsifikatsioonide tabel	15
3.2 Võrdlus USB liidesega seadmetega	16
3.3 Võrdlus Firewire liidesega seadmetega	18
Kokkuvõte.....	19
Allikad.....	20
Lisad.....	22
Lisa 1 Ethernet liidesega helikaartide tehnilised spetsifikatsioonid	22
Lisa 2 Firewire liidesega helikaartide tehnilised spetsifikatsioonid	23
Lisa 3 USB liidesega helikaartide tehnilised spetsifikatsioonid	24
Lisa 4 Andmemahutude ja diskreetimissageduste tabel	25

Sissejuhatus

Kuulmine on inimese üks meeltest, mis aitab meil paremini mõista ning interpreteerida sündmuseid ja nähtuseid ning elades maailmas, kus meid ümbritsevad helid peaaegu kõikjal, on meil ka vajadus neid jäädvustada või andmekanaleid pidi teistele kättesaadavaks teha. Esimene helilaine ülekande toimus alles 19. sajandi lõpul ning täna, pea 150 aastat hiljem on tänu tehnoloogia arengule selline protsess igapäevane nähtus nagu näiteks mobiiltelefonis suhtlemine, digitaalsel kujul muusika kuulamine jms. Selleks, et see inimestele võimaldada, on meil vaja kasutusele võtta spetsiaalne riistvara, mis tegeleks helide edasikandmisega.

Autor on motiveeritud kirjutama seminaritöö teemal “Ülevaade Ethernet liidesega helikaartidest” kasvava isikliku huvi ning puuduva eestikeelse info tõttu. Lisaks on ta kolmeaastase turunduskogemusega helitehnika valdkonnas ning seetõttu omab head ülevaadet hetkel turul figureerivatest seadmetest ja nende tehnilisest võimekusest. Käesolevas töös on autor koostanud põgusa ülevaate nimetatud tehnoloogia funktsionaalsusest, tööpõhimõtetest ning võrdluse seni kasutusel olnud riistvaraga.

Seminaritööd kirjutades on toetunud põhiliselt hetkel turul olevate konkreetsete seadmete dokumentatsioonile ning artiklitele nende tööpõhimõtete kohta. Käesolevas töös otsitakse vastuseid järgnevatele probleemidele:

- Miks on kasulik kasutada heliülekanne jaoks just Ethernet liidest?
- Kuidas täpselt töötavad Ethernet liidesega helikaardid?
- Mis on nende eelised teiste samalaadsete seadmete ees?
- Millised seadmed on praegusel hetkel kättesaadavad tarbijale?

Võõrkeelsete lühendite loetelu

TCP - *Transmission Control Protocol* ehk Edastusohje protokoll

ADC - *Analog-digital Converter* ehk Analoog-digitaalmuundur

DAC - *Digital-analog Converter* ehk Digitaal-analoogmuundur

SNR - *Signal to noise ratio* ehk Signaali-müra suhe

QoS - *Quality of Service* ehk Teenusekvaliteet

DSCP - *Differential Services Code Point* ehk Prioritiseerimismeetod

PTP - *Precision Time Protocol* ehk Täpse aja protokoll

AVB - *Audio video bridging* ehk Heli-video sildumine

SRP - *Stream Reservation Protocol* ehk Voo reserveerimise protokoll

DAW - *Digital Audio Workstation* ehk Digitaal-audio töötlustarkvara

MADI - *Multichannel Audio Digital Interface* ehk Mitme kanali heli digitaalne liides

1. Ethernet liidesega helikaartide tööpõhimõtted

Järgnevas peatükis on kirjeldatud helikaartide põhilisi komponente ja nende rolli ning samuti ka seletatakse lühidalt, kuidas toimub heliülekanne Ethernet liidesega seadmetes kasutades TCP protokollid.

1.1 Põhilised komponendid

Põhisteks riistvaralisteks komponentideks Ethernet liidesega helikaartidel on:

- **Analoog-digitaalmuundur** - peaaegu kõik andmed reaalses elus on analoog signaalid. Selleks, et meil oleks võimalik manipuleerida helisignaali läbi digitaalse seadme, vajame me muundurit, mis muudaks analoogheli protsessorile loetavateks ja töödeldavateks andmeteks. ADC iseloomustamiseks kasutatakse selliseid parameetreid nagu diskreetimissagedus, mis määrab sageduse mõõtmise ulatuse hertsides (Hz) ning kvantimistäpsus, millega kirjeldatakse bittide arvu muunduris. Mida suurem on kvantimistäpsus, seda vähem ignoreeritakse analoogsignaali kumerusi (University of California, kuupäev puudub).
- **Digitaal-analoogmuundur** - vastupidiselt ADC-le, on DAC ülesanne muuta digitaalne bitijada inimene poolt aksepteerivaks signaaliks ning antud juhul on selleks heli. Selleks, et digitaalne heli oleks esitatav kuulajale, on ta vaja muuta analoogsignaali valjuhääldis. Selle komponendi tööpõhimõtte sisuliselt seisneb fikseeritud kahendarvu ehk heli digitaalsel kujul muundamist pingeks. DAC on leitav pea kõikides tehnikaseadmetes, mis kasutavaks toimimiseks mingitki protsessorit ning mille üks ülesannetest on esitada tagasi häält nagu näiteks mobiiltelefon, MP3-mängija, televiisor jms (Maxim Integrated, kuupäev puudub).
- **Sisendpistikud** - lihtsamates arvutitesse integreeritud helikaartidel võib tavaliselt leida 3,50mm pistikuga mikrofoni sisendi. Välistel helikaartidel on tihti sisendeid rohkem, olenevalt nende kasutusala. Kui tegemist on salvestuskaardiga, võib olla sisendite arv suurem. Hobikorras salvestajatele on suunatud 1 - 4 sisendiga ning professionaalsed helisalvestuseks on mõeldud 8 kuni 32 sisendiga helikaardid. Pistikute tüübid selliste seadmete puhul on tihti 6,50mm, XLR või RCA. Eraldi veel eristatakse analoogsisendeid, mis viitavad balanseerimata ühendustele. Kõrgema hinnaklassi seadmetel võib leida ka TOSLINK sisendi salvestusradade arvu suurendamiseks teise seadme abil.

- **Väljundpistikud** - arvuti emaplaadile integreeritud helikaartides on üldjuhul üks või kaks 3,5mm kõrvaklapiväljundit või eraldi väljundid 5.1 helisüsteemi jaoks. Helisalvestuskaartidel on nende asemel tihti 6,5mm või RCA peamine väljund (*Monitor out*) ning lisaks ka balanseerimata väljundid sõltuvalt helikaardi sisendite arvust. Jällegi võib leida kallimate seadmete puhul TOSLINK väljundi.
- **Eelvõimendi** - selle komponendi tööpõhimõte seisneb nõrga sisendsignaali võimendamises enne, kui seade hakkab seda manipuleerima. Tihti on mikrofonidel ning elektrilistel muusikainstrumentidel helikaardi jaoks töötlemiseks liiga nõrk signaal ning eelvõimendi peab kergitama selle amplituudi. Helikaartide hinnad on otseses sõltuvuses eelvõimendi kvaliteedist.
- **Mikrokontroller Ethernet liidesega** - kuni praeguseni olid mikrokontrollerid USB liidesega märksa odavamad, kui Ethernet liidesega, kuid tänapäeval on võimalik kasutada võrdlemisi madala hinnaga kontrollereid, mis toetavad täielikult andmeedastust 100Mb/s (Toledo, 2011).

1.2 Heliülekanne kasutades TCP protokoll

TCP sobib hästi heliülekanne jaoks, kuna selle protokoll ülesandeks on seada IP kihi poolt vastuvõetud paketid korrektsesse järjekorda. Paketid, mida ei tuvastata esialgu, saadetakse uuesti kuni nad jõuavad õigesse kohta. Vältimaks *bandwidth*'i raiskamist pakettide peale, mida saaja ei saa aksepteerida puhvrisuuruse limitatsioonide tõttu, teavitab saaja sellest, kui palju andmeid on ta suuteline korruga vastu võtma. Seda suurust nimetatakse aknaks (*window*) (Kristoff, 2000).

Helikaardi puhul eraldab mikrokontroller puhvri siseneva heli jaoks ning selle suurus määratakse aknaks. Kuna sissetulevad paketid täidavad puhvri, muutub aken väiksemaks ja kui mikrokontroller kasutab puhvris olevaid andmeid DAC-le saatmiseks, siis suureneb akneb. Selline strateegia töötab teoorias väga edukalt, kuid kahjuks tuleb ka ette olukordi, kus lähevad paketid kaduma ning see võib põhjustada katkendliku heli helikaardi väljundist. Probleem selle puhul ei seisne selles, et meie poolt tarbitav tarkvara (operatsioonisüsteem, helikaardi driver) oleks defektiga või TCP protokoll ei sobiks sellise tegevuse jaoks. Antud situatsioonis põhjustab sellise olukorra asjaolu, et TCP protokoll algoritmi on keerukas, kuid tänapäeval kasutuses olevat suure mälumahuga kiired arvutid tulevad sellega kergelt toime, aga mikrokontroller seevastu ei pruugi alati saada sellise ülesandega edukalt hakkama (Toledo, 2011).

Vältimaks taolisi probleeme, oleks vaja kasutusele võtta pisut lihtsam strateegia, mis ei kutsuks esile TCP keerukaid algoritme. Üks lahendus oleks selline, kus mikrokontroller kasutaks suurt puhvrit siseneva heli jaoks jaoks, kuid avab akna vaid ühe paketi jaoks korraga. Kui paketi on kätte saadud, kopeeritakse selle sisu heli puhvrise. Tüüpiline mikrokontroller kontrollib iga ajavahemiku tagant (näiteks 1 millisekund) puhvri olekut ning kui see peaks olema täis, avab ta akna, et saatja saaks saata järgmise paketi. Sellise strateegia puhul on praktikas kaks võimalikku tulemust. Ühel juhul kui puhver on peaaegu tühi, ehk teisisõnu saatja ei saanud andmeid, tuvastab mikrokontroller koheselt paketi ning avab akna. Teisel juhul kui puhver on peaaegu täis, saab mikrokontroller kätte paketi ning teavitab sellest, kuid hoiab akna kinni ning kontrollib kindla ajavahemiku tagant olekut kuniks on piisavalt ruumi uue paketi jaoks, mille järel avatakse uuesti aken ning saatja saab saata uue paketi. Selline strateegia välistab keerukad algoritmid TCP protokollis (Toledo, 2011).

1.2.1 Eelis USB liidesega seadmete ees

Kasutades Ethernet liidesega helikaarti, suhtleb seade otse tarbitava tarkvaraga läbimata operatsioonisüsteemi heli alamüsteemi kasutades TCP protokoll. USB liidese puhul toimub andmeedastus läbi seadme draiveri ning samamoodi ka muidugi Ethernet liidesega helikaardi puhul, kuid erinevus seisneb selles, et võrguseadmete jaoks vajalikud juhtprogrammid on juba integreeritud kõikidesse operatsioonisüsteemidesse ning käituvad väga sarnaselt. Tänu sellele on kergem arendada tarkvara Ethernet liidesega seadmete jaoks (Toledo, 2011).

2. Hetkel saadaval olevad seadmed

Mõtted Etherneti kasutuselevõttust helisalvestus valdkonnas on mõlkunud riistvara loojate peas juba aastaid, kuid turul olevate odavate USB liidesega helikaartidega oli raske võistelda. Pärast Gigabit Etherneti laialdast kasutuselevõttu on hakatud kasutama Cat 5 kaableid spordistaadionitel ning lennujaamades heli edastamiseks kümnete meetrite kaugusele ning 2013 aastal asuti looma ka esimesi kõrgkvaliteetseid helikaarte salvestuse otstarbeks. Kuna tegemist on võrdlemisi uue lahendusega, on praegusel hetkel turul saadaval vaid käputäis erinevaid seadmeid, mida on kirjeldatud selles peatükis.

2.1 Focusrite RedNet seeria

RedNet on üks esimesi Ethernet liidesega helikaartide seeriaid massitarbes ning autor on otsustanud fookuseerida uurimustöö nende seadmetele, kuna tal on kaheaastane kogemus teiste sama tootja seadmete kasutamisega amatöör helistuudios. Hetkel on saadaval kokku 14 seadet RedNet seerias, mis on suunatud erinevatele kasutusvaldkondadele nagu näiteks amatöör ning ka professionaalsed helisalvestus stuudiod. Tänu vähesele viivitusele seadmetes, on neid ka kasutusele võetud kontsertide helindamisel, et saavutada maksimaalselt stuudiokvaliteedile lähedane tulemus. Samuti reklaamib Focusrite RedNet sarja seadmeid ka õppeasutustesse, mis on fookuseeritud helindusele. Autor näeb RedNet seeria riistvara kõige suurema eelisena mugavust paigutada seadmed vastavalt vajadusele tänu Cat 5 kaabli omadustele.

Lisa 1 tabelis on kirjeldatud tehnilised näitajad RedNet 1, RedNet 2 ning RedNet 4 kohta eesmärgiga saada aimus nende potentsiaalse jõuekuse kohta. Autor otsustas võrdluseks valida need seadmed, kuna need on hinnaklassi poolest võrreldavad riistvaraga, mis on valitud peatükis 3 analüüsimiseks. Võttes arvesse konkreetseid näitajaid sisendite ning väljundite müra kohta, võib järeldada, et tegemist on võrdlemisi kvaliteetsete eelvõimenditega. Diskreetimissagedused kõikide seadmete puhul ulatuvad kuni 192000 Hz, mis on tänapäeva kvaliteedistandarditele igati vastavad.

2.2.1 RedNet seadmed

- **RedNet PCIe Card** – Ehkki RedNet seeria seadmed töötavad kõik ka arvuti emaplaadile integreeritud 1Gbit/s võrgukaartidega, on loonud Focusrite eraldi võrgukaardi RedNet jaoks. RedNet PCIe Card garanteerib maksimaalse võimekuse RedNet süsteemile ning võimaldab kasutada maksimaalselt 128 sisendit ja väljundit viivitusega, mis on väiksem kui 3 millisekundit.
- **RedNet 1** - Focusrite Ethernet liidesega riistvarast kõige taskukohasem on RedNet 1, millega saab reaajas korruga salvestada kuni kaheksa kanalit helisignaali. See helikaart on suunatud minimaalsete nõudmistega helistuudiotesse või muudesse asutustesse, kus ei ole tähtis suur sisendite arv.
- **RedNet 2** - RedNet 2 on tehniliste spetsifikatsioonide poolest võrdväärne RedNet 1 seadema, kuid võimaldab kasutada topelt koguses sisendeid. See helikaart on suunatud keskmise sisendite arvu vajadusega helistuudiotesse, kuid mitte kontsertsaalidesse, kus üldiselt on kasutusel 32 või rohkemate kanalitega mikserpuldid.
- **RedNet 3** - RedNet 3 võimaldab kasutajal helikaartide võrku kaasata seadmeid, millel puudub Ethernet liides, kasutades optilisi sisendeid ja väljundeid. Näiteks kui tarbija on otsustanud paigaldada RedNet võrgu ning soovib lisaks kasutusele võtta ka enda vana helikaarti või eelvõimendi, siis ADAT laienduste olemasolu korral on võimalik võrku kaasata kuni 32 lisa sisendit ning väljundit.
- **RedNet 4** - RedNet 4 on mõeldud kasutamiseks pelgalt mikrofoni eelvõimendina, lisades olemasolevale helikaartide võrgule veel lisaks 8 kõrgkvaliteetset sisendit.
- **RedNet 5** - RedNet 5 eesmärk on võimaldada tarbijal kasutada RedNet võrku Pro Tools HDX süsteemis. Pro Tools on Maci kasutajate seas populaarne DAW, mis toodab ka enda riistvara. Kasutades RedNet 5 seadet, on võimalik võtta kasutusele Pro Tools keskkonnas kuni 6 RedNet seadet ning maksimaalselt 192 kanalit.
- **RedNet 6** – RedNet 6 võimaldab kasutajal kaasata RedNet süsteemi MADI protokolliga kasutatavaid seadmeid. MADI on peamiselt kasutusel professionaalses helitehnikas nagu näiteks audiokonsoolides ja ka helikaartides. RedNet 6 toetab kuni 64 helikanalit läbi nii koaksiaal kui ka optilise MADI liidese.

Kuna seminaritöö on fokusseeritud helikaartidel, jäävad peatükis pikemalt kirjeldamata RedNet seeria kõrvaklapivõimendi AM2 ning D16 AES, MP8R, D16R, HD32R, D64R ja A16R, mis on pigem suunatud elava heli esitamiseks.

2.2.2 Ethernet kommutaatoriga ühendamine

Kui on soov kasutada mitut RedNet sarja helikaarti üheaegselt, on tarvis võrku kaasata kommutaator. Erinevalt teistest Ethernet liidesega helisüsteemidest, saab RedNet riistvara kasutada standardsete Ethernet seadmetega. Laiendades audiovõrku kommutaatori abil, tuleb arvestada, et minimaalsed nõuded Ethernet kommutaatorile on järgmised (Focusrite, kuupäev puudub):

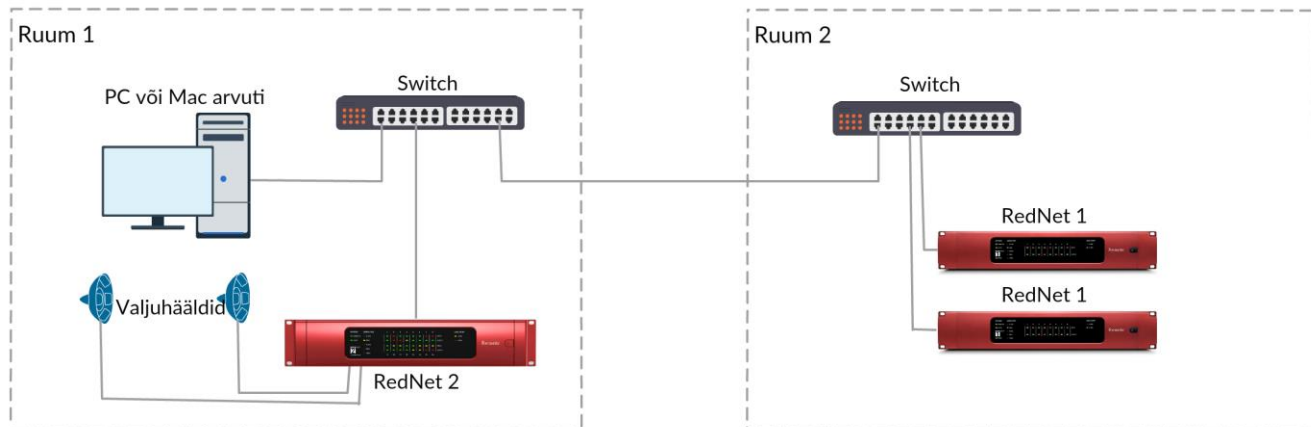
- Gigabitine ühendus (1000 Mbps)
- Asünkroonne ühenduvus
- Teenusekvaliteet (QoS) vähemalt nelja prioriteetsustasemega
- Diffserv (DSCP) QoS range prioriteediga
- Soovituslikult integreeritud toiteploki

Selleks, et üles seada kommutaator, peaks DSCP väärtused andma vastavalt järgmisele tabelile:

DSCP väärtus	Prioriteet	Kasutus
CS7	Kõrge	Ajakriitilised PTP sündmused
EF	Keskmine	Heli ja PTP
CS1	Madal	Reserveeritud
BestEffort	Puudub	Muu liiklus

Tabel 1 DSCP väärtused

Järgnev joonis demonstreerib ühte võimalikku võrku, mida saaks saaks RedNet seadmetega luua:



Joonis 1 RedNet võrk

2.2 MOTU AVB Ethernet liidesega seadmed

Focusrite RedNet seeriaga võistleb Ethernet tehnoloogiaga helikaartide turul MOTU AVB sarja seadmed. Erinevalt RedNet riistvarast, mida saab ühendada tavalisse Ethernet võrku, kasutavad AVB seadmed spetsiaalselt heli ning video jaoks arendatud IEEE 802.1BA standardit. Sellise lahenduse eelisteks peetakse (Kreifeldt, 2009):

- **Parem sünkroniseerimine** - Kõik AVB seadmed on sünkroniseeritud kasutades PTP protokollit. Edukaks töötamiseks on tarvis, et koos andmevooga oleks kaasatud ka esitamise aeg (*presentation time*). Kõik seadmed võrgus saavad sel juhul sünkroniseerida oma esitamise ajad andmevoo pakettides. Eelis selle lahenduse juures seisneb selles, et kui kaks seadet peaks välja saatma sama voogu, on taasesitus nendes lukustatud täpselt samale ajale, ehkki võivad seadmed olla teineteisest füüsiliselt kaugel. Selline lahendus on kasutusel ka RedNet seadmetes.
- **Väikesem viivitus** - Võttes kasutusele võrgus AVB seadmed, on kõige halvem teekonna läbimise aeg (*worst case travel time*) teada kogu võrgus. Selle tulemusena on tarvis vähest puhverdamist väikese viivitusega.

- **Puuduvad struktuurilised nõuded** - Praegused suured võrgud, mis tegelevad heli ülekandmisega võivad olla tavakasutajale ülesseadmiseks liiga keerulised. AVB võrgus on kasutusel SRP protokoll, mis võimaldab lõpp-punkti rakendusel (antud juhul DAW) teostada marsruutimist. Kuna üldiselt on DAW tarkvaras lihtne konfigureerida sisendeid ja väljundeid, puudub võrgu üles seadmisel vajadus IT spetsialisti järgi.

Ehkki MOTU helikaardid endid on hinnaklassi poolest odavamad võrreldes RedNet riistvaraga, osutub tarbijale aga kulukaks kasutusele võtta MOTU AVB Ethernet seadmed. 2016 aasta veebruari seisuga ulatub ühe AVB kommutaatori hind kasutajale ligi 300€ ning suurtes võrkudes, kus on kasutusel suur arv seadmeid, võib üksinda võrguseadmete peale tarbijal kuluda tuhandeid eurosid. RedNet võrgu loomiseks vajalike nõuetega kommutaatorite hinnad algavad suurusjärgust 200€. Lisas 3 on ka välja toodud ühe MOTU AVB tehnoloogiat kasutava seadme tehnilised spetsifikatsioonid.

3. Võrdlus muud tüüpi liidestega seadmetega

Selles peatükis on välja toodud konkreetsete seadmete kvaliteedi võrdlus vastavalt spetsifikatsioonidele eesmärgiga tõestada, et Ethernet liideselega helikaardid on võrreldavad seni kasutusel olnud kõrgklassi audiouriistvaraga. Kuna turul on hetkel kõige enam saadaval USB ning Firewire liideselega helikaardid, otsustas autor jätta võrdlusest kõrvale PCI Express ning Thunderbolt audio riistvara. Ethernet liideselega helikaardiks on valitud Focusrite RedNet seeria tooted. Veendumaks, et tegemist on ausa võrdlusega, on valitud analüüsimiseks sarnases hinnaklassis olevad seadmed.

3.1 Spetsifikatsioonide tabel

Lisades 1,2 ja 3 on tabelid, kus on välja toodud vastavalt liidese tüübile seadmete jõudlust iseloomustavad parameetrid. Töö autor peab tähtsaks välja tuua infot sisendite kvaliteedi kohta, diskreetimissagedused ning müra iseloomustavad suurused. On teada, et inimese kuulmislävi on 20Hz kuni 20 000Hz, seega on oluline, et helikaardi sisend võimaldaks salvestada helisid selles vahemikus. Diskreetimissagedus iseloomustab signaali diskreetide arvu sekundis. Mida suuremal diskreetimissagedusel on heli salvestatud, seda puhtamalt kõlab ta järelkuulamisel. Lisas nr 4 on ka kirjeldatud erinevatel diskreetimissagedustel andmemahud. Järgnevas tabelis on välja toodud üldlevinud standardid ja nende kasutusala (Self, 2012).

Sagedus	Kasutusala
44100 Hz	Enamus audioseadmed, sealhulgas CD-mängijad, mikserpuldid, kompressorid jms
48000 Hz	Televisioon ning DVD heliradadel.
96000 Hz	Põhiliselt DVD, HD-DVD ning Blue-ray heliradadel.
192000 Hz	Põhiliselt DVD, HD-DVD ning Blue-ray heliradadel.

Tabel 2 Diskreetimissagedused

Peale selle on autor tabelites välja toonud signaali-müra suhte, mis iseloomustab oodatava ja müra signaali võimsust suhtena destibellides. Mida suurem on SNR, seda parema kvaliteediga salvestusega on tegu (Johnson, 2016). See suurus üldiselt tuuakse välja kallima hinnaklassi helikaartidel, mis on suunatud professionaalseks salvestuseks. Lisaks sellele on võrdluses ka tähtis arvestada ülekostust ehk signaali leket teistesse kanalitesse. See näitaja ei mängi suurt rolli modernsetes stereo helisüsteemides, küll aga võib ta osutada suureks probleemiks mitmerealisel salvestusel, kus salvestatav heliallikas võib olla väga erinev.

Kuna tegemist on võrdlemisi kallite seadmetega, on autor pidanud vajalikuks ka üles märkida 2016 aasta veebruari seisu jaemüügihinnad, sest professionaalsetes stuudiotēs on tihti kasutusel helikaarte rohkem kui üks. Soetades mitu seadet, võib olla komplekti hinnavahe tuhandetes eurodes.

3.2 Võrdlus USB liidesega seadmetega

Võrdlemiseks on valitud kolm seadet: MOTU Stage-B16, Antelope Orion 32 ja Apogee Symphony. Kuivõrd on tihti USB liidesega helikaarte rohkem suunatud amatöör toonmeistritele ning kodukasutajale, on turul leida hinnaklassi ning jõudluse poolest professionaalse riistvaraga võrreldavaid seadmeid.

- Vaadeldes konkreetseid parameetreid, võib järeldada, et USB liidesega seadmetel on rohkem sisendeid, kuid kuna antud riistvara tootjad ei ole avalikustanud müra iseloomustavaid parameetreid, ei ole võimalik eelvõimendite kvaliteeti võrrelda toetudes spetsifikatsioonidele.
- Suureks plussiks võrdlusel RedNet Ethernet helikaartidega peab töö koostaja Orion 32 ja Symphony laiendatavust kasutades TOSLINK ühendust. Tänu sellele on võimalik kasutusele võtta maksimaalselt 48 salvestusrada kasutades Orion 32 seadet. Tihti saavutatakse selline sisendite hulk kasutades mitut sama seeria helikaarti paralleelselt, kuid tarbijale osutub selline lahendus kulukamaks, kuna mikrofoni eelvõimendite hinnaklass on märksa madalam helikaartide omast.

- Autorile pakub nende seadmete seast kõige enam huvi MOTU Stage-B16. Seda seadet on võimalik kasutada nii helikaardina kui ka laval magistraalkaablina. Lisaks sellele on võimalik omavahel AVB Ethernet kommutaatori abil ühendada mitu sama seeria seadet. Kuna helikaardina töötades kasutab ta USB 2.0 liidest, otsustas autor Stage-B16 liigitada USB liidesega seadmete alla. Samuti on nimetatud riistvara hinna poolest leebem võrreldes RedNet seeria helikaartidega.
- USB liidesega helikaardid kasutavad vananevat USB 2.0 porti ning selle põhiliseks limitatsiooniks võib pidada andmeedastuskiirust, milleks on ideaaltingimustes 480 Mbit/s, kuid reaalselt võimaldaks kuni 280 Mbit/s (Compaq et al., 2000). Sellest tulenevalt näiteks salvestades reaaliajast korraga mitu rida 24 bitist heli 96000 Hz diskreetimissageduse juures, võib esineda heli tagasimängimisel selgesti arusaadav viivitus, mis professionaalses helistuudios ei ole tolereeritav. Lisas nr 4 on esitatud andmeedastusmahud erinevatel diskreetimissagedustel. Focusrite RedNet seeria kõik helikaardid kasutavad 1Gbit/s kiirusega Ethernet ühendust, mis käsitleb probleemideta mitmerealist salvestust ka isegi 192000 Hz diskreetimissageduse juures. Ehkki USB 3.0 liidese potentsiaalne andmeedastuskiirus on kordades suurem, ei ole see 2016 aasta seisuga kujunenud standardiks helikaartide valdkonnas.
- Soetades USB liidesega helikaart, tuleb seadme paigaldamisel meeles pidada, et kasutades tavapäraselt passiivset USB 2.0 kaablit, on selle pikkus limiteeritud kuni 5 meetrit. Suur eelis on siinkohal Ethernet liidesega seadmetel, kuna teatavasti on võimalik Cat 5 standardiga Ethernet kaablit paigaldada kümneid meetreid ilma, et tekiks signaali edastusel selgesti tajutav viivitus.

3.3 Võrdlus Firewire liidesega seadmetega

Selle võrdluse jaoks on valitud järgmised helikaardid: Universal Audio Apollo Quad Firewire, Metric Halo LIO-8 ning RME Fireface UFX. Selles hinnaklassis riistvaral ei erine sisendite hulk märgatavalt võrreldes RedNet seadmetega, kuid tähelepanu vääriavad sisenditel salvestatav sagedusvahemik, mis LIO-8 ja Fireface UFX puhul on maksimaalselt üle 60000Hz.

- Signaali-müra suhe sisenditel nii Firewire- kui ka Ethernet liidesega seadmetel on vähemalt 110 dB, mille põhjal võib järeldada, et tegemist on väga kvaliteetsete eelvõimenditega. Eelis Apollo Quad Firewire ja Fireface UFX helikaartidel RedNet seeria riistvara ees on jällegi laiendatavus kasutades optilisi sisendeid ja väljundeid.
- Tihti professionaalseks helisalvestuseks eelistatakse Firewire liidesega helikaarte võrreldes USB liidesega seadmetega. Põhjus seisneb Firewire andmeedastuskiiruses, mis on Firewire 800 puhul 800 Mbit/s. Selline kiirus võimaldab kasutada ilma selgelt tajutava viivitusega arvukalt sisendeid reaajas paralleelselt ning neid ka viivitusega tagasi esitada. Võrreldes sama näitajat Ethernet liidesega riistvaraga, võib pidada Etherneti eeliseks 1Gbit/s ühendust selles valdkonnas.
- Fireface UFX võimaldab ka kasutada helikaarti integreeritud DSP efekte. Professionaalses helistuudios tuleb see kasuks just salvestamisel, kui näiteks on tarvis rakendada mõnele kanalile kõrg- või madalpääsfilter konkreetse sageduse juurest. Peale selle saab lisaks manipuleerida sissetulevat signaali reaajas kompressori, kaja ning paljude muude efektidega. Selline võimalus puudub nimetatud RedNet seadmetel.
- Jällegi seisneb Ethernet liidesega helikaartide eeliseks seadmete paigutamise mugavus. Sarnaselt USB liidesega riistvarale, jäävad samuti ka Firewire kaablite pikkused mõne meetri piiresse ning teeb keeruliseks suure helikaartide võrgu ehitamise.

Kokkuvõte

Seminaritöö eesmärgiks oli informeerida audioriistvara entusiaste Ethernet liidesega helikaartide tööpõhimõtetest ning võimalikest kasutusalaadest ja eelistest varem kasutusel olnud tehnoloogiate ees. Tulemuse saavutamiseks analüüsiti Ethernet liidesega helikaartide tööpõhimõtet, võrreldi tehnilisi spetsifikatsioone USB ning Firewire liidesega riistvaraga ning kirjeldati hetkel tarbijale saadaval olevaid seadmeid. Seminaritöös fookusseeriti Focusrite RedNet seeria helikaartidele.

Autori hinnangul võib väita, et nimetatud riistvara on oma tehniliste näitajate ja kvaliteedi poolest võrreldavad professionaalseks tööks loodud USB või Firewire liidestega seadmetega. Kõige suuremaks eeliseks Ethernet liidesega seadmetel võib pidada omadust luua suur võrgustik erinevatest seadmetest. Kuna riistvara kasutab Cat 5 standardiga kaableid teineteisega suhtlemiseks, on võimalik seadmeid paigutada täpselt kasutaja vajaduste järgi. Seadmed ühendatakse kiirese 1 Gbit/s võrku ning sel viisil saab temaga kasutusele võtta suure arvu sisendeid ja väljundeid ka kõrgete diskreetimissageduste juures.

Võttes arvesse Ethernet liidesega helikaartide hinnaklassi ning omadusi, võib järeldada, et kõige rohkem kasu seadmete kasutuselevõtust saavad suured asutused rohkete ruumidega, kus on tarvis üle hoone läbivat võrku heli edastamiseks või salvestamiseks. Autori hinnangul oleks sobilik RedNet seadmetega üles ehitatud võrk Eestis näiteks Balti Filmi- ja Meediakoolil ning Tartu Ülikooli Viljandi Kultuuriakadeemia.

Allikad

Antelope Audio. Kuupäev puudub. *Orion³² Multi-Channel AD/DA Converter*. Loetud aadressil <http://www.antelopeaudio.com/en/products/Orion32-Multi-Channel-AD-DA-converter>

Apogee. Kuupäev puudub. *Symphony I/O Mk II Specifications*. Loetud aadressil <http://www.apogeedigital.com/products/symphony-io/specifications>

Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Philips. (2000). *Universal Serial Bus Specification*. Loetud aadressil http://sdphca.ucsd.edu/Lab_Equip_Manuals/usb_20.pdf

Focusrite. Kuupäev puudub. *RedNet 1 specifications*. Loetud aadressil <https://us.focusrite.com/ethernet-audio-interfaces/rednet-1/specifications>

Focusrite. Kuupäev puudub. *RedNet 2 specifications*. Loetud aadressil <https://us.focusrite.com/ethernet-audio-interfaces/rednet-2/specifications>

Focusrite. Kuupäev puudub. *RedNet 4 specifications*. Loetud aadressil <https://us.focusrite.com/ethernet-audio-interfaces/rednet-4/specifications>

Focusrite. Kuupäev puudub. *RedNet Ethernet Switch Requirements*. Loetud aadressil <https://global.focusrite.com/rednet-ethernet-switch-requirements>

Johnson, D. (2006). *Signal-to-noise ratio*. Loetud aadressil http://www.scholarpedia.org/article/Signal-to-noise_ratio

Kreifeldt, R. (2009). *AVB for Professional Use*. Loetud aadressil http://avnu.org/wpcontent/uploads/2014/05/AVnu-Pro__White-Paper.pdf

Kristoff, J. (2000). *The Transmission Control Protocol*. Loetud aadressil <http://condor.depaul.edu/jkristof/technotes/tcp.html>

Maxim Integrated. (2002). *ADC and DAC Glossary*. Loetud aadressil <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/641>

Metric Halo. (2012). *LIO-8 Specifications* (lk 2). Loetud aadressil <http://metrichalo.com/media/LIO8.pdf>

MOTU. Kuupäev puudub. *Stage-B16 Technical Specifications*. Loetud aadressil
<http://www.motu.com/products/avb/stage-b16/specs.html>

MOTU. Kuupäev puudub. *Using your MOTU AVB device as a Mac audio interface over AVB Ethernet*. Loetud aadressil
<http://www.motu.com/avb/using-your-motu-avb-device-as-a-macaudio-interface-over-avb-ethernet/>

RME. Kuupäev puudub. *Fireface UFX*. Loetud aadressil
http://www.rmeaudio.de/en/products/fireface_ufx.php

Self, D. (2012). *Audio Engineering Explained* (lk 200). Loetud aadressil
https://books.google.ee/books?id=WzYm1hGnCn4C&pg=PT200&lpg=PT200&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Toledo, S. (2011). *A Driverless Ethernet Sound Card*. Loetud aadressil
<http://www.tau.ac.il/~stoledo/Bib/Pubs/qex-jan-feb-2011-toledo.pdf>

Universal Audio. (2016). *Apollo FireWire Hardware Manual* (lk 26-29). Loetud aadressil
http://media.uaudio.com/support/downloads/Apollo_Hardware_Manual.pdf

University of California. Kuupäev puudub. *Analog to Digital (A/D) Converter*. Loetud aadressil
http://courses.me.berkeley.edu/ME102B/Past_Proj/f03/Proj6/TMS320LF2407A_Documents/Intro-ADC.pdf

Lisad

Lisa 1 Ethernet liidesega helikaartide tehnilised spetsifikatsioonid

Seade	RedNet 1	RedNet 2	RedNet 4
Tootja	Focusrite	Focusrite	Focusrite
Sisendid	8 analoog liinisisendit	16 analoog liinisisendit	8 analoog liinisisendit, 8 balanseeritud mikrofonisisendit ja 2 DI sisendit
Sisendpistikute tüüp	1x 25 - pistikuga emane Dsub	2x 25 - pistikuga emane Dsub	1x 25 pistikuga emane Dsub, 8x emane XLR. 2x 6,5mm Jack pistik
Sagedusvahemik	20 Hz - 20 kHz \pm 0.05 dB	20 Hz - 20 kHz \pm 0.05 dB	20 Hz – 55 kHz \pm 0.1 dB
Signaali-müra suhe	119 dB	119 dB	119 dB
Väljundid	8 analoog liiniväljundit	16 analoog liiniväljundit	puudub
Väljundpistikute tüüp	1x 25 - pistikuga emane Dsub	2x 25 - pistikuga emane Dsub	ei ole täpsustatud
Sagedusvahemik	20 Hz - 20 kHz \pm 0.15 dB	20 Hz - 20 kHz \pm 0.15 dB	ei ole täpsustatud
Signaali-müra suhe	119 dB	119 dB	119 dB
Ülekostvus (crosstalk)	Sisendist või väljundist sisendisse: <-90 dB Sisendist või väljundist väljudisse: <-100 dB	Sisendist või väljundist sisendisse: <-90 dB Sisendist või väljundist väljudisse: <-100 dB	Sisendist sisendisse: <-80 dB
Diskreetimissagedus	44.1 / 48 / 88.2 / 96 / 192 kHz	44.1 / 48 / 88.2 / 96 / 192 kHz	44.1 / 48 / 88.2 / 96 / 192 kHz
ADAT-laiendus	puudub	puudub	puudub
Hind	1990€ (Thomann.de) 1999€ (musicstore.de)	2999€ (Thomann.de) 2999€ (musicstore.de)	2299€ (Thomann.de) 2299€ (musicstore.de)

Lisa 2 Firewire liidesega helikaartide tehnilised spetsifikatsioonid

Seade	Apollo Quad Firewire	LIO-8	Fireface UFX
Tootja	Universal Audio	Metric Halo	RME
Sisendid	8 analoog liinisendit, 4 mikrofoni sisendit, 2 DI	8 analoog liinisendit	8 analoog liinisendit ja 4 mikrofoni sisendit
Sisendipistikute tüüp	4x emane XLR ja 10x 6,5mm Jack	1x 25 pistikuga Dsub	8x 6,5mm Jack, 4x balanseeritud XLR
Sagedusvahemik	ei ole täpsustatud	192 kHz diskreetimissagedusel 1,8Hz - 64,7kHz	192 kHz diskreetimissagedusel 5Hz - 66,5 kHz
Signaali-müra suhe	mikrofonisenditel 118 dB, liinisenditel 117 dB	117,9 dB	110 dB
Väljundid	8 balanseeritud analoog liiniväljundit, 2 balanseeritud monitooring väljundit ja 2 stereo kõrvaklapiväljundit	8 analoog liiniväljundit, 2 monitooring väljundit, 1 kõrvaklappide väljund	8 balanseeritud liiniväljundit ja 2 kõrvaklapiväljundit
Väljundipistikute tüüp	10x mono 6,5mm Jack ja 2x stereo 6,5mm jack	1x 25 pistikuga Dsub, 2x 6,5mm Jack, 1x tereo 6,5mm Jack	2x XLR isane, 6x mono 6,5mm Jack, 2x stereo 6,5mm Jack
Sagedusvahemik	20 Hz – 20 kHz, ±0.1 dB	ei ole täpsustatud	192kHz juures 5 Hz - 80 kHz
Signaali-müra suhe	liiniväljundites 118dB, monitooring väljundites 114 dB	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud
Ülekostvus (<i>crosstalk</i>)	ei ole täpsustatud	Sisendist sisendisse 1kHz juures -127B	ei ole täpsustatud
Diskreetimissagedus	kuni 192kHz	44,1 / 96 / 192 kHz	44,1 / 96 / 192 kHz
ADAT-laiendus	8 kanalit optilist sisendit ja väljundit	puudub	16 kanalit optilist sisendit ja väljundit
Hind	1935€ (Thomann.de)	2150€(Thomann.de) 2537€(gear4music.com)	1699€(Thomann.de) 1712€(gear4music.com)

Lisa 3 USB liideselega helikaartide tehnilised spetsifikatsioonid

Seade	Stage-B16	Orion 32	Symphony
Tootja	MOTU	Antelope Audio	Apogee Electronics
Sisendid	16 mikrofoni sisendit	32 analoog liinisisendit	8 analoog liinisisendit
Sisendpistikute tüüp	16x emane XLR	4x 25 pistikuga Dsub	1x 25 pistikuga Dsub
Sagedusvahemik	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud	44,1kHz juures 1-20000Hz ($\pm 0,5$ dB)
Signaali-müra suhe	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud
Väljundid	8x analoog liiniväljundit	32 analoog liiniväljundit	8 analoog liiniväljundit ja 1 stereo kõrvaklapiväljund
Väljundpistikute tüüp	8x isane XLR	4x 25 pistikuga Dsub	1x 25 pistikuga Dsub ja 1x 3,5mm Jack
Sagedusvahemik	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud
Signaali-müra suhe	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud
Ülekostvus (<i>crosstalk</i>)	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud	ei ole täpsustatud
Diskreetimissagedus	44.1 / 48 / 88.2 / 96 / 192 kHz	44.1 / 48 / 88.2 / 96 / 192 kHz	kuni 192 kHz
ADAT-laiendus	puudub	16 kanalit optilist sisendit ja väljundit	8 kanalit optilist sisendit ja väljundit
Hind	1798€(Thomann.de)	2869€(Thomann.de)	3333€(Thomann.de)

Lisa 4 Andmemahtude ja diskreetimissageduste tabel

Diskreetimissagedus (Hz)	Bitisügavus (Bit)	Kanalite arv	Andmemaht (Mbit/s)
44100	24	1 (mono)	1,06
44100	16	2 (stereo)	1,41
44100	24	2 (stereo)	2,12
44100	24	16	16,93
44100	24	32	33,87
44100	24	64	67,74
48000	24	1 (mono)	1,15
48000	16	2 (stereo)	1,54
48000	24	2 (stereo)	2,30
48000	24	16	18,43
48000	24	32	36,86
48000	24	64	73,73
88200	24	1 (mono)	2,12
88200	16	2 (stereo)	2,82
88200	24	2 (stereo)	4,23
88200	24	16	33,87
88200	24	32	67,74
88200	24	64	135,48
96000	24	1 (mono)	2,30
96000	16	2 (stereo)	3,07
96000	24	2 (stereo)	4,61
96000	24	16	36,86
96000	24	32	73,73
96000	24	64	147,46
192000	24	1 (mono)	4,61
192000	16	2 (stereo)	6,14
192000	24	2 (stereo)	9,22
192000	24	16	73,73
192000	24	32	147,46
192000	24	64	294,91