

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse instituut
Infotehnoloogia õppekava

Ranno Käomägi

LEGO Mindstorms EV3 ja NXT ristkasutus

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: Anne Villemis

Kaasjuhendaja: Taavi Duvin

Tartu, 2014

LEGO Mindstorms EV3 ja NXT ristkasutus

Lühikokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on luua Kooliroboti projektiga seoses läbiviidava õpetajakoolituse tarvis eestikeelne õppematerjal. Töö on abistavaks ja suunavaks materjaliks LEGO Mindstorms robotikakomplektide ostmisel. Töö koosneb kolmest peatükist, millest esimeses tutvustatakse LEGO ettevõtet ning LEGO Mindstorms robotikomplekte. Teises peatükis tuuakse välja LEGO Mindstorms versioonide NXT ja EV3 komponentide omavaheline ühilduvus. Kolmandas peatükis tuuakse välja põnevamad seisukohad intervjuust robotikaringide juhendaja Taavi Duviniga.

Märksõnad: LEGO, LEGO Mindstorms, NXT, EV3, ristkasutus.

LEGO Mindstorms EV3 and NXT cross-usage

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to create Estonian learning materials, that are used for educating school robotics instructors. The material is about cross-usage of two latest LEGO Mindstorms robotics kits, that are called NXT and EV3. The material consists of three parts. The first chapter talks about the history of the LEGO Group and about the LEGO Mindstorms robotics kits. In the second part the author describes the compatibility of LEGO Mindstorms NXT and EV3 robotics kit components. The third chapter consists of interesting ideas that are taken from an interview with robotics instructor Taavi Duvin.

Keywords: LEGO, LEGO Mindstorms, NXT, EV3, cross-usage.

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. LEGO ülevaade.....	5
1.1 LEGO Group.....	5
1.2 LEGO Education.....	6
1.3 LEGO Mindstorms.....	7
1.4 LEGO Mindstorms NXT komplekt.....	8
1.5 Lego Mindstorms EV3 komplekt.....	10
1.6 Lego Mindstorms komplektid Eesti koolides.....	12
1.7 FLL - FIRST LEGO League Eesti.....	13
2. LEGO Mindstorms NXT ja EV3 võrdlus.....	14
2.1 NXT ja EV3 ajud.....	14
2.2 NXT ja EV3 mootorid ning andurid.....	17
2.3 NXT ja EV3 ehitusklotsid.....	20
2.4 NXT ja EV3 akud ja laadijad.....	20
2.5 NXT ja EV3 tarkvara.....	22
2.6 EV3 daisy-chain.....	22
3. Intervjuu ja eksperimendid.....	23
3.1 Intervjuu koolirobootika juhendajaga.....	23
3.2 Eksperimendid.....	29
Kokkuvõte.....	31
Kasutatud kirjandus.....	32

Sissejuhatus

Aastal 2007 käivitati Eestis “Kooliroboti projekt”, mille eestvedajaks on MTÜ Robotika [1]. Liikumise eesmärgiks on äratada õpilastes huvi reaalinete, infotehnoloogia ja inseneriteaduste vastu. Projekti raames viiakse koolides läbi robotikateemalisi õpetajakoolitusi ning jagatakse õppematerjale.

Kuigi tänaseks on valminud nii mõnigi LEGO Mindstorms robotitega seotud õppematerjal ning juhend, on neist ikka veel puudus. Uue LEGO Mindstorms versiooni väljatulekuga suurenes õppematerjalide pöud veelgi - LEGO Mindstorms EV3 on nii värske toode, et selle kohta on koostatud vaid mõni üksik eestikeelne materjal. Enamus Tartu Ülikooli Arvutiteaduse instituudi bakalaureusetöid, mis käsitlevad LEGO Mindstorms komplekte, kohaldatakse õpetajakoolituse tarvis.

Käesoleva lõputöö valmides saavad seda kasutada erinevad õppeastused just nimelt Kooliroboti projekti raames. Töö on abiks otsustamisel, et millist versiooni eelistada ja soetada, nüüd kus turul on juba kaks väga head mudelit.

Töö on jaotatud kolmeks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade LEGO ettevõtte kohta ning tutvustatakse LEGO Mindstorms tooteid. Lisaks räägitakse LEGO Mindstorms komplektidest Eesti koolides ning Eestis korraldatavast LEGO robotite võistlusest FIRST LEGO League Eesti. Bakalaureusetöö teises peatükis võrreldakse kaht ettevõtte LEGO Mindstorms poolt välja antud robotikakomplekti LEGO Mindstorms NXT ning LEGO Mindstorms EV3. Välja tuuakse NXT andurite ühilduvus EV3 komplektiga ning vastupidi. Tuuakse välja ka akude ja laadijate omavaheline ühilduvus. Lisaks räägitakse robotite programmeerimiseks mõeldud tarkvarade ühilduvusest. Käesoleva töö kolmandas peatükis tuuakse välja peamised tähelepanekud intervjuust, mis viidi läbi robotikaringide juhendaja Taavi Duviniga. Tähelepanekuid kontrollitakse ning kommenteeritakse. Lisaks tuuakse kolmandas peatükis välja kahe eksperimendi tulemused.

1. LEGO ülevaade

1.1 LEGO Group

LEGO Group on erafirma, mis on loodud aastal 1932. Selle asutajaks oli Kirk Kristiansen, kelle perekond ka tänasel päeval firmat juhib. LEGO Groupi peakontor asub Taanis, Billundi linnas, kuid ettevõttel on harusid ning tütarettevõtteid peaaegu 30 riigis [2]. LEGO logost on aegade jooksul avalikkuse ette jõudnud vähemalt 12 varianti (vt Joonis 1), neist viimane (praegune) on kasutusel olnud alates aastast 1998.



Joonis 1. LEGO logod läbi aastate [3]

LEGO Groupi põhiliseks huviks on laste loovuse arendamine läbi õppimise ja mängimise. Nimi LEGO on üle maailma tuntuks saanud suuresti tänu LEGO klotsidele (vt Joonis 2), millest koosnevad enamik poodides müüdavad LEGO komplektid.



Joonis 2. LEGO klots [4]

LEGO tootevalikus on erinevad mänguasjad ja õppematerjalid ning neid pakutakse enam kui 130 riigis. Ettevõtte on maailma mastaabis suuruselt kolmas mänguasjade tootja [5] ning kokku on firma palgal umbes 11 000 töötajat [6].

1.2 LEGO Education

LEGO Groupi üheks tütarettevõtteks on LEGO Education, mis on loodud umbes 30 aastat tagasi. Ettevõtte tegutsemise aja jooksul on tehtud palju koostööd õpetajate ja õppespetsialistidega. Selle tulemusena on välja töötatud mitmeid klassiruumi-lahendusi, mis aitavad õpilastel fantaasiat ellu viia ning teevad seejuures õppimise lõbusaks. Ettevõttes on rohkem kui 180 töötajat [7].

LEGO Educationi huvide haare on üsna suur - käsitletakse väga paljusid valdkondasid: füüsika, matemaatika, inseneritehnika, arvutiteadus, humanitaarsuund jpm. LEGO Education on loonud väga palju tööriistu ja vahendeid, mis hõlbustavad ja lõbustavad nimetatud õppekavade tegevust ja toimimist. Ettevõtte visioon näeb pikemas perspektiivis ette, et õpilaste mõtlemine oleks järjest rohkem loovam ning süstematiseeritum [7].

1.3 LEGO Mindstorms

LEGO Mindstorms on LEGO Educationi poolt loodud kaubamärk, mille all turustatakse erinevaid LEGO-robotite loomise komplekte. Komplekti kuuluvad nii LEGO detailid (klotsid), millega on võimalik ehitada meelepärane robot, kui ka programmeeritav aju (inglise keeles *brick*) (vt Joonis 3).



Joonis 3. LEGO Mindstorms esimese versiooni, RCX, programmeeritav aju [8]

Lisaks on LEGO Mindstorms komplektides erinevad andurid, millega on võimalik mõõta välismaailma parameetreid. Levinuimateks anduriteks on puute-, ultraheli- (kaugus-), valgus- ning heliandur. Erinevad kolmandad osapooled on samuti panustanud väga palju LEGO Mindstorms arengule, luues ise andureid, mida spetsiifilistel juhtudel vaja võib minna, näiteks GPS andur ning vedeliku hõgususe taseme andur. Täpsemalt saab eelnimetatud kahe anduri kohta lugeda 2014. aasta Janar Selli [9] ning Rauno Paali [10] bakalaureusetöödest.

Programmeeritavate robotikomplektide versioone on aegade jooksul välja antud kolm.

Esimene robotikomplekt RCX tuli ametlikult välja aastal 1998. Selle mudeli üheks erinevuseks võrreldes järgmistega on infrapuna ühendusliides arvuti ning roboti põhiploki ehk aju vahel.

Uuematel mudelitel asendati see ühendus universaal-jadasiiniga (USB-liides). RCX komplekti kuulub kaks servomootorit, kaks puuteandurit ning üks valgusandur [11]. Kõiki andureid on võimalik ühendada tavaliste LEGO mänguklotside külge. Järgnevatel NXT versioonidel on kaasas juba omad, LEGO Technic sarja kuuluvad ehitusklotsid. RCX kujunes LEGO Mindstorms enimmüüdud tooteks. Alates aastast 1998 on antud komplekti toodetud üle miljoni ühiku [12].

Järjekorras teine mudel, NXT, anti välja aastal 2006, millele tehti aastal 2009 mudeluuendus ning selle nimeks sai NXT 2.0. See mudel sisaldab võrreldes eelmise, RCX-ga, juba märkimisväärselt rohkem osasid - kokku 619 tükki. Detailide hulgas on 3 servomootorit, erinevad andurid (ultraheli-, heli-, puute- ja valgusandur), ühenduskaablid aju ja andurite ühendamiseks, USB ühenduskaabel ning NXT programmeeritav põhiplokk (inglise keeles *NXT Intelligent Brick*). Üle sinihamba (inglise keeles *Bluetooth*) ühenduse on võimalik NXT robotit juhtida läbi nutiseadmete [13].

Aastal 2013 tehti ametlikult teatavaks uus robotite ehitamise komplekti mudel "EV3". Tegemist on järjekorras kolmanda versiooniga. Lego Mindstorms nimetab ise seda "kolmanda generatsiooni" tooteks. Lühend EV3 tuleneb sõnast "*evolution*" ning märgib evolutsiooni, mis on toimunud võrreldes eelmise "NXT" mudeliga. EV3 komplektis on üle 550 osa, mille seas on sarnaselt eelmistele komplektidele ehitusklotsid, servomootorid, andurid ning EV3 programmeeritav aju. Ka seda aju on võimalik juhtida läbi nutiseadmete üle sinihamba-ühenduse [14].

Eesti koolides on olemas juba enam kui 100 komplekti NXT roboteid ning nende kohta on palju eestikeelseid materjale. Pärast EV3 mudeli turuletulekut on õpetajatel kindlasti tekkinud dilemma, et kumba versiooni eelistada. Seetõttu keskendungi antud bakalaureusetöö raames kahele kronoloogiliselt hilisemale mudelile NXT ning EV3.

1.4 LEGO Mindstorms NXT komplekt

Lego Mindstorms NXT 2.0 komplekti (vt Joonis 4) kuulub lisaks klotsidele, ühendusdetailidele, hammasratastele ning muudele pisiosadele ka omajagu elektroonikat (vt Tabel 1). Komplektiga

töötamiseks on vaja aju programmeerimistarkvara. Tarkvarale on vaja litsentsi, kui on soov seda mitmesse arvutisse installeerida.



Joonis 4. LEGO Mindstorms NXT 2.0 komplekt [15]

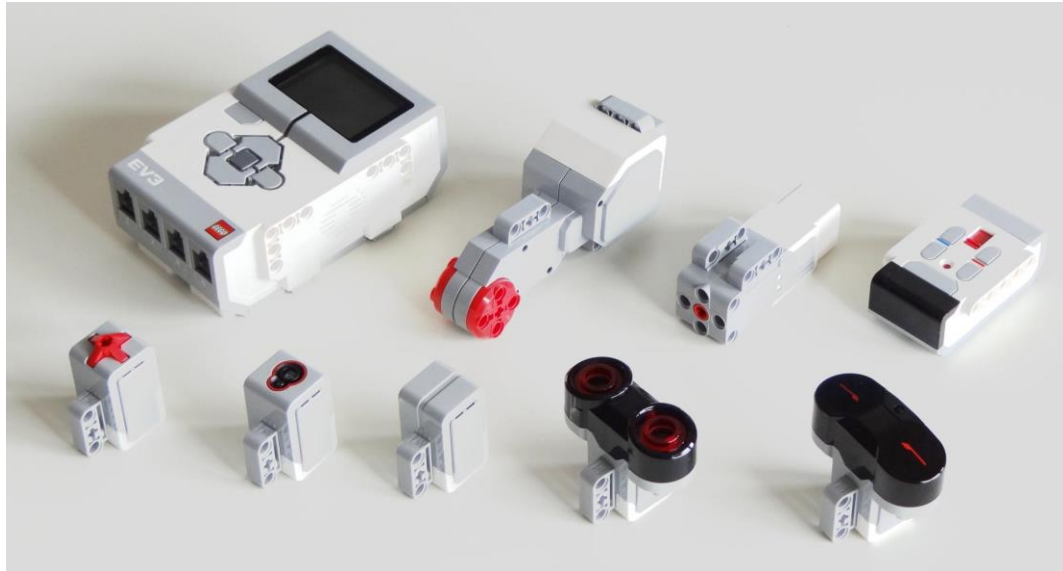
Tabel 1. LEGO Mindstorms NXT 2.0 komplekti elektroonikakomponentide nimekiri [16]

arv komplektis	DETAIL
1	programmeeritav aju
3	servomootor
1	värviandur
2	puuteandur
1	ultraheliandur (kaugusandur)
1	aku
7	aju ja andurite ühenduskaabel
1	aju ja arvuti vaheline USB kaabel

Kokku on LEGO Mindstorms NXT 2.0 komplektis 619 detaili.

1.5 Lego Mindstorms EV3 komplekt

Lego Mindstorms EV3 komplekt (joonisel 5 on näha roboti juhtplokk ning kõik EV3 andurid ja mootorid, mida komplektidest leida võib) sisaldab lisaks elektroonikale (vt Tabel 2) samuti suurel hulgal klotse, ühendusdetalle, hammasrattaid ning muid pisidetaile. Ka EV3 komplektiga töötamiseks on vaja aju programmeerimise tarkvara. Sellele tarkvarale on vaja litsentsi, kui on soov seda mitmesse arvutisse installeerida.



Joonis 5. LEGO Mindstorms EV3 roboti juhtplokk ning kõik komplektides sisalduvad andurid ja mootorid [17]

Tabel 2. LEGO Mindstorms EV3 komplekti elektroonikakomponentide nimekiri [18]

arv komplektis	DETAIL
1	programmeeritav aju
2	servomootor
1	kiire reageerimisajaga mootor
1	värviandur
1	güroskoopandur (sisaldub ainult hariduslikus komplektis (inglise keeles <i>Education set</i>))
2	puuteandur
1	ultraheliandur (kaugusandur)
1	infrapuna kaugusandur koos puldiga (sisaldub ainult kodukasutaja komplektis (inglise keeles <i>Home set</i>))
1	aku
7	aju ja andurite ühenduskaablid
1	aju ja arvuti vaheline USB kaabel

Kokku on LEGO Mindstorms EV3 *Education* komplektis 541 detaili.

1.6 Lego Mindstorms komplektid Eesti koolides

Eestis tegutseb koolirobootika populariseerimise eesmärgil ühendus nimega Kooliroboti projekt.

Selle projekti eestvedajateks on üheksa hakkajat inimest [19], kuid projektiga rohkem või vähem seotud inimesi on palju - populariseerijateks võib lugeda kõiki õpetajaid ning tuutoreid, kes koolides robootikaringe läbi viivad.

Kooliroboti projektil on kodulehekülj [20], kuhu on üles pandud õppematerjale, ülesandeid ning viiteid rahvusvahelistele materjalidele.

Praeguseks on antud projektiga aktiivselt seotud 81 kooli [21], küll aga on teada, et LEGO Mindstorms robotikomplekte kasutatakse suuremal või vähemal määral tervelt 150 Eesti koolis.

Kooliroboti projekti eestvedamisel oli koolidel võimalik robotikomplektide ostmiseks taotleda toetust Tiigrihüppe projektist: 50 protsenti komplektide maksumusest tasus kool ning teise poole summast Tiigrihüppe Sihtasutus. Täna on Tiigrihüppe projekti asemel toetust võimalik taotleda HITSAst.

Eesti koolides kasutatakse LEGO Mindstorms komplekte üldiselt vaid spetsiaalsetes huviringides ning valik- ja vabaainetes, mis keskenduvadki robotite ehitamisele ja programmeerimisele.

1.7 FLL - FIRST LEGO League Eesti

Kooliõpilaste motiveerimiseks korraldatakse igal aastal üritust FIRST LEGO League Eesti [23]. Üritusest osavõtmiseks tuleb kokku panna meeskond, kuhu kuulub 2-10 liiget vanuses 9-16 aastat. Võistlus on jagatud kaheks. Esimeses osas tuleb etteteatatud teemavaldkonnast valida reaalsest elust probleem ning sellele võimalikult innovatiivne lahendus leida. Lahendus võib olla (aga ei pea olema) realiseeritud LEGO Mindstorms komplektidest ehitatud robotite abiga. Teises osas tuleb ehitada robot, mis suudab võimalikult edukalt läbida võimalikult palju FLLi korraldajate poolt etteantud missioone. Lisaks hinnatakse meeskonnatööd ja roboti disaini. Robotite ehitamiseks on meeskondadel aega vähemalt kaheksa nädalat. Võistlusega tahetakse arendada noorte loovust ning meeskonnatöö oskust. Lisaks peaks FLLst osavõtmine suurendama õpilaste huvi reaal- ning loodusteaduste vastu.

Käesolevas peatükis käsitleti LEGO Grupi ajalugu, uuriti LEGO Mindstorms kolme robotigeneratsiooni RCX, NXT ja EV3 ning toodi välja kahe viimase generatsiooni robotikomplektide komponentide nimekiri. Lisaks räägiti LEGO Mindstorms komplektide olemasolust Eesti koolides ning robootikavõistlusest FIRST LEGO League Eesti.

Järgmises peatükis võrreldakse LEGO Mindstorms NXT ja EV3 komplektides leiduvaid detaile ning uuritakse NXT ja EV3 ajude ja andurite omavahelist sobivust.

2. LEGO Mindstorms NXT ja EV3 võrdlus

2.1 NXT ja EV3 ajud

EV3 mudelil on võrreldes NXT mudeliga nii mõnigi oluline uuendus nii riistvara kui ka tarkvara poolel. Programmeeritav aju on saanud väga suure tähelepanu osaliseks - paremaks on muudetud pea kõiki näitajaid. Tabelis 3 esitatakse kõrvuti välja NXT ja EV3 ajude (vt Joonis 6) peamised parameetrid.



Joonis 6. LEGO Mindstorms NXT ja EV3 ajud.

Tabel 3. LEGO Mindstorms NXT ja EV3 ajude parameetrite võrdlus [23]

	NXT	EV3
Protsessor	ARM7 48MHz	ARM9 300MHz
Mälu	250kB (0.256MB) Flash 64kB (0.064MB) RAM	16MB Flash 64MB RAM
Suurus akuga (pikkus x laius x kõrgus)	111mm x 72mm x 48mm	111mm x 71mm x 51mm
Operatsioonisüsteem	Kinnise lähtekoodiga	Linux'i põhine
Sensorite pordid	4tk analoog digitaal: 9600 bit/s (IIC)	4tk analoog digitaal: kuni 460.8 Kbit/s (UART)
Mootorite pordid	3	4
USB suhtlus	12 Mbit/s	480 Mbit/s
USB liides	pole	Daisy-chain (3 taset) WiFi pulk USB andmekandja
SD kaardi tugi	pole	Micro SD kaardi lugeja (kuni 32GB)
Nutiseadmete tugi	Android	Apple iOS Android
Kasutajaliides	4 nuppu	6 taustvalgustusega nuppu
Ekraan	Monokroom LCD 100x64 pikslit	Monokroom LCD 178x128 pikslit
Suhtlus	Bluetooth v2.0 USB 2.0 (standard B port)	Bluetooth v2.1 + EDR USB 2.0 (mini USB port) USB 1.1 (daisy-chain jaoks)

Tabelit kokku võttes võib öelda, et suurimad muutused EV3 ajul võrreldes NXT ajuga on järgnevad: võimsam protsessor, neli mootori porti kolme asemel, micro SD kaardi lugeja, USB port väliste seadmete jaoks ning Linux'il põhinev operatsioonisüsteem. Vähemtähtsate uuenduste seas on näiteks pisut suurem ekraan, rohkem nuppe ning lisatud iOS nutiseadmetega juhtimise tugi.

Micro SD kaardi tuge võib kasutada selleks, et lisada EV3 ajule rohkem andmete salvestusruumi. USB porti saab kasutada näiteks WiFi toe lisamiseks või selleks, et ühendada omavahel kuni neli EV3 aju - sellisel moel on võimalik ühe robotiga kontrollida kuni 16 mootorit ja 16 andurit.

Seespidiselt on suureks edusammuks vabavaralisel Linux'il põhinev operatsioonisüsteem. Sisuliselt tähendab see, et robot on nagu tavaline arvuti (sarnaneb miniarvutiga Raspberry Pi). See võimaldab USB pordi abil lisada erinevaid liideseid, näiteks WiFi toe lisamiseks läheb vaja USB WiFi adapterit (vt Joonis 7). Liideste võimalusi on väga palju, roboti jaoks kasulikimate hulgas on näiteks USB klaviatuur (lisa-sisendi tekitamiseks) ning USB veebikaamera (automaatseks objektide tuvastamiseks).



Joonis 7. LEGO Mindstorms EV3 aju, mille küljes on USB WiFi adapter [24]

Kuigi selliseid liideseid võiks nimetada lõputult, pole siiski nende kasutamine nii lihtne - riistvaraliselt on küll kõik vajalikud eeldused täidetud, kuid programmitarkvara poole peal võib tulla ette takistus. Nimelt, kui kasutaja soovib aju programmeerida LEGO enda programmeerimistarkvaraga (graafilise liideseaga programmeerimissüsteem), siis tuleb veenduda, et ka seal on olemas vastava riistvarakomponendi lohistamisplakk. Näiteks USB klaviatuuri

kasutamiseks peab olema loodud vastav lohistatav plokk, mis on tehtud USB sisendist tähemärkide lugemiseks.

2.2 NXT ja EV3 mootorid ning andurid

Kõik kaabelühendused aju ning andurite ja mootorite vahel on jäetud samaks. See tähendab, et nii NXT kui EV3 juhtmed on vahetatavad. Sellest võib järeldada, et füüsiliselt on võimalik kõiki NXT ja EV3 andureid ning mootoreid omavahel versiooniti vahetada. Kas need ka tööle hakkavad, sellest käesolev peatükk räägibki.

LEGO Mindstorms EV3 mootorid ning andurid on ehituselt üsna NXT mootorite ja andurite sarnased. Detailide disaini on veidi uuendatud, et need sobituks paremini erinevate Technic seeria klotsidega. Lisaks on muudetud komponentide värvi, et need EV3 puna-must-valge värvigammaga kokku läheks. Tabelis 4 on kõrvuti NXT ja EV3 komplektides olevate ajude, akude, originaalmootorite ja -andurite arv.

Tabel 4. LEGO Mindstorms NXT ja EV3 komplektides olevate detailide hulga võrdlus [16],
[18]

	NXT	EV3
Intelligentne aju	1tk	1tk
Taaslaetav aku	1tk (ainult <i>Education</i> komplektis)	1tk (ainult <i>Education</i> komplektis)
Servomootor	3tk	2tk
Väike mootor	-	1tk
Puuteandur	2tk 2.0 ja <i>Education</i> komplektis 1tk 1.0 komplektis	1tk <i>Home</i> komplektis 2tk <i>Education</i> komplektis
Valgusandur	1tk (ainult 1.0 ja <i>Education</i> komplektis)	-
Värviandur	1tk (ainult 2.0 komplektis)	1tk
Heliandur	1tk (ainult 1.0 ja <i>Education</i> komplektis)	-
Ultraheliandur	1tk	1tk (ainult <i>Education</i> komplektis)
Infrapuna kaugusandur koos puldiga	-	1tk (ainult <i>Home</i> komplektis)
Güroskoopandur	-	1tk (ainult <i>Education</i> komplektis)

Nii NXT kui ka EV3 komplektidesse kuuluvad tavalised servomootorid, mida on NXT komplektis kolm, EV3 komplektis aga kaks. EV3 komplekti on lisatud mõõtmetelt väiksem mootor, mida kasutatakse roboti ehitamisel eelkõige juhul, kui ruumisäästlikus on oluline argument. NXT 1.0 ja *Education* komplektis on valgusandur; värviandur on olemas ainult NXT 2.0 komplektis. Nii NXT 2.0 ja *Education* kui ka EV3 *Education* komplektis on kaks puuteandurit, NXT 1.0 ja EV3 *Home* komplektis on puuteandureid ainult 1. NXT komplektides olnud heliandurit EV3 komplektides pole. Küll aga on *Education* komplekti alles jäetud

ultraheliandur. Täiesti uuteks anduriteks EV3 komplektis on infrapuna kaugusandur (ainult *Home* komplektis) ning güroskoopandur (ainult *Education* komplektis).

Kaablite pordid aju ja andurite ning mootorite vahel on samad - kasutatakse ühendusi, mis on väga sarnased tavalisele lauatelefoni ühendusele. Tegemist on RJ11 standardiga [13] (vt Joonis 8).



Joonis 8. RJ11 standardühendus [25]

Turvalisuse põhjustel ei saanud LEGO kasutada RJ11 standardit üks ühele, kasutusele võeti RJ11 variant, kus kinnitusklops on nihutatud veidi paremale (vt Joonis 9).



Joonis 9. Paremale nihutatud kinnitusklopsuga RJ11 standardühendus [26]

Ristkasutuse koha pealt on kõige olulisem teada, millised NXT andurid ning mootorid EV3 ajuga töötavad ning vastupidi: millised EV3 andurid ja mootorid NXT ajuga töötavad.

Kõiki NXT originaalandureid ning -mootoreid saab kasutada uue, EV3 versiooniga [27]. Need ühendatakse kaabli abil EV3 aju külge ning programmeerimisel kasutatakse nende jaoks EV3

komponentide lohistusplokke. Üksiku erandina ei pruugi EV3 aju ära tunda väga vana NXT puuteandurit, mis on pärit esimestest NXT komplektidest. Tegemist on riistvaralise erinevusega, mida on võimalik jootekolviga jootes parandada.

Ka NXT mitteoriginaalandurid (kolmandate firmade toodetud NXT-ga ühilduvad andurid) töötavad EV3 ajuga, kuid siinkohal tuleb taas jälgida seda, kas andurite tootjad on programmeerimistarkvara jaoks lohistatavad plokid valmis programmeerinud.

EV3 andureid pole võimalik NXT komplektiga kasutada. Küll aga tunneb NXT aju edukalt ära EV3 mootorid (nii tavalised servomootorid kui ka kiire reageerimisega mootori) ning neid saab NXT programmides kasutada kui NXT mootoreid.

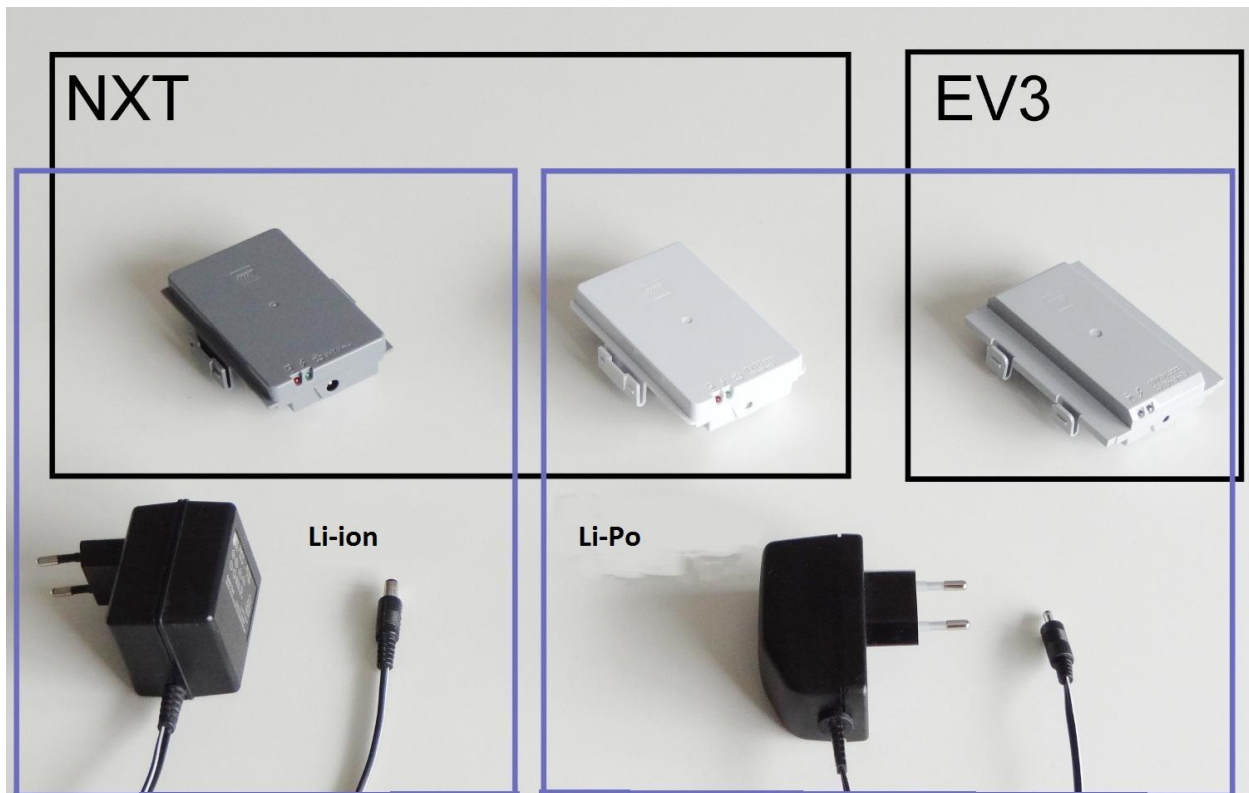
Käesolevat punkti kokku võttes võib öelda, et peaaegu kõik NXT andurid ja mootorid sobivad kasutamiseks uue, EV3 ajuga. Küll aga pole võimalik EV3 andureid NXT ajuga kasutada.

2.3 NXT ja EV3 ehitusklotsid

LEGO Mindstorms EV3 ja NXT komplektides on kasutusel LEGO Technic seeria ehitusklotsid, seega on need omavahel kasutatavad [27]. Lisaks võib kasutusele võtta muid LEGO Technic seeriasse kuuluvaid ehitusklotse, näiteks tavalisi mängupoodides müüdavad LEGO ehituskomplektides olevaid klotse.

2.4 NXT ja EV3 akud ja laadijad

Nii LEGO Mindstorms EV3 kui ka NXT aju käivitamiseks kasutatakse tavaliselt taaslaetavat originaal-akupakki. Paraku on EV3 ning NXT akupakkide kuju ja kinnitus erinev, seega pole võimalik neid omavahel vahetada (vt Joonis 10).



Joonis 10. LEGO Mindstorms NXT esimese ja teise põlvkonna ning EV3 akupakkide ja laadijate ühilduvus [28]

NXT komplekti jaoks on välja antud kahte tüüpi akupakke. NXT esimese põlvkonna aku on liitium-ioon tehnoloogial põhinev. Aku on halli värvi. Selle akupaki laadimiseks läheb vaja spetsiaalset laadijat, mis järgmistele LEGO Mindstorms seeria akudele ei sobi. NXT teise põlvkonna aku kasutab juba liitium-polümeer tehnoloogiat ning on halli varjundiga valget värvi. EV3 akupakk on helehalli värvi ning kasutab samuti liitium-polümeer tehnoloogiat. Seetõttu saab teise põlvkonna NXT akupaki laadijat kasutada ka EV3 akupaki laadimiseks ning vastupidi.

Akupakkide asemel võib kasutada ka kuut AA-tüüpi patareid. Paraku on patareide kasutamine tülikas ning kulukas - kasutajad on märganud, et kui NXT ajuga võis patareide peal nii mõnegi praktikumi läbi viia, siis EV3 energiatarbimine on oluliselt suurem ning seetõttu tühjenevad patareid oluliselt kiiremini. Tõenäoliselt on selle peamiseks põhjuseks Linux operatsioonisüsteem ning kiirem ja enam energiat nõudev protsessor. 2014 aasta Marjo Toomiku bakalaureuse lõputööst [29] võib lugeda, et kui kasutada arvutiga ühendamisel USB asemel WiFi

adapterit, siis tõuseb energiakulu märgatavalt. Sellest võib järeldada, et EV3 USB porti ühendatavate seadmete energiakulu võib akupaki või patarei väga kiiresti tühjendada.

2.5 NXT ja EV3 tarkvara

LEGO Mindstorms EV3 programmeerimisel kasutatakse erinevat tarkvaraversiooni, kui NXT programmeerimisel. EV3 programmeerimiseks kasutatava tarkvara nimetus on EV3-G ning NXT programmeerimistarkvara nimetus on NXT-G. Kuigi EV3-G on täiesti uus tarkvara, on seal väga palju tuttavaid elemente NXT-G programmeerimistarkvarast. Nii EV3 kui NXT programmeerimistarkvara on graafilise kasutajaliidesega: programmeerimiseks lohistatakse hiirega vajaminevaid plokkide.

EV3 programmeerimistarkvaraga on võimalik koostada programme NXT jaoks.

2.6 EV3 daisy-chain

LEGO Mindstorms EV3 versioonis tutvustatakse uut võimalust, millele on antud koodnimi *daisy-chain* [30]. See lisa võimaldab ühendada USB kaabliga kuni neli LEGO Mindstorms EV3 aju, mis omakorda tekitab võimaluse kasutada kuni 16 väljundporti (mootoripordid) ning kuni 16 sisendporti (anduripordid). Neid kõiki porte saab *daisy-chaini* kasutades kontrollida ühe *master* ajuga. *Daisy-chaini* kasutamiseks tuleb ajud ühendada USB portide kaudu. *Master* aju USB pordist läheb kaabel esimese *slave* aju mini-USB auku. Selle *slave* aju USB pordist läheb kaabel järgmise *slave* aju mini-USB auku ja nii edasi, kuni vajaminev portide arv on olemas.

Käesolevas peatükis võrreldi LEGO Mindstorms NXT ja EV3 komplektides leiduvaid detaile ning uuriti NXT ja EV3 ajude ja andurite omavahelist sobivust. Võrreldi NXT ja EV3 programmeerimiseks mõeldud tarkvara. Toodi välja EV3 aju võimalused, mida NXT ajuga teha ei saanud. Järgnevas peatükis tuuakse välja põnevamad tähelepanekud intervjuust, mis teostati robotika huviringide juhendaja Taavi Duviniga. Neid tähelepanekuid kommenteeritakse ning selgitatakse. Lisaks tuuakse välja kahe eksperimendi tulemused.

3. Intervjuu ja eksperimendid

3.1 Intervjuu koolirobootika juhendajaga

Kuna käesolev lõputöö annab hädavajalikku infot peamiselt õpetajatele, kes NXT ja/või EV3 komplektidega töötavad, on siinkohal mõistlik läbi viia intervjuu ühe robootika juhendajaga, kes nii LEGO Mindstorms NXT kui ka EV3 komplekte reaalselt õpilaste peal katsedada on saanud.

Töö autor valis subjektiks juhendaja Taavi Duvini. Taavi on Tartu Ülikooli robootikaspetsialist, kes omab informaatikaõpetaja magistrikraadi, 6-aastast kogemust robootikaringide juhendajana ning 4-aastast töökogemust arvutiõpetajana ja kooli IT-spetsialistina.

Küsitlemine leidis aset 30.04.2014. Tegemist oli osaliselt struktureeritud intervjuuga - töö autoril olid mõned üldised küsimused, millele ta vastust soovis ning lisaks tahtis töö autor kuulda Taavi arvamusi ning tähelepanekuid teemal NXT versus EV3. Taavil paluti rääkida NXT ja EV3 plussidest ja miinustest, tema isiklikest eelistustest ning tema õpilaste (kaks esimest kooliastet) arvamustest.

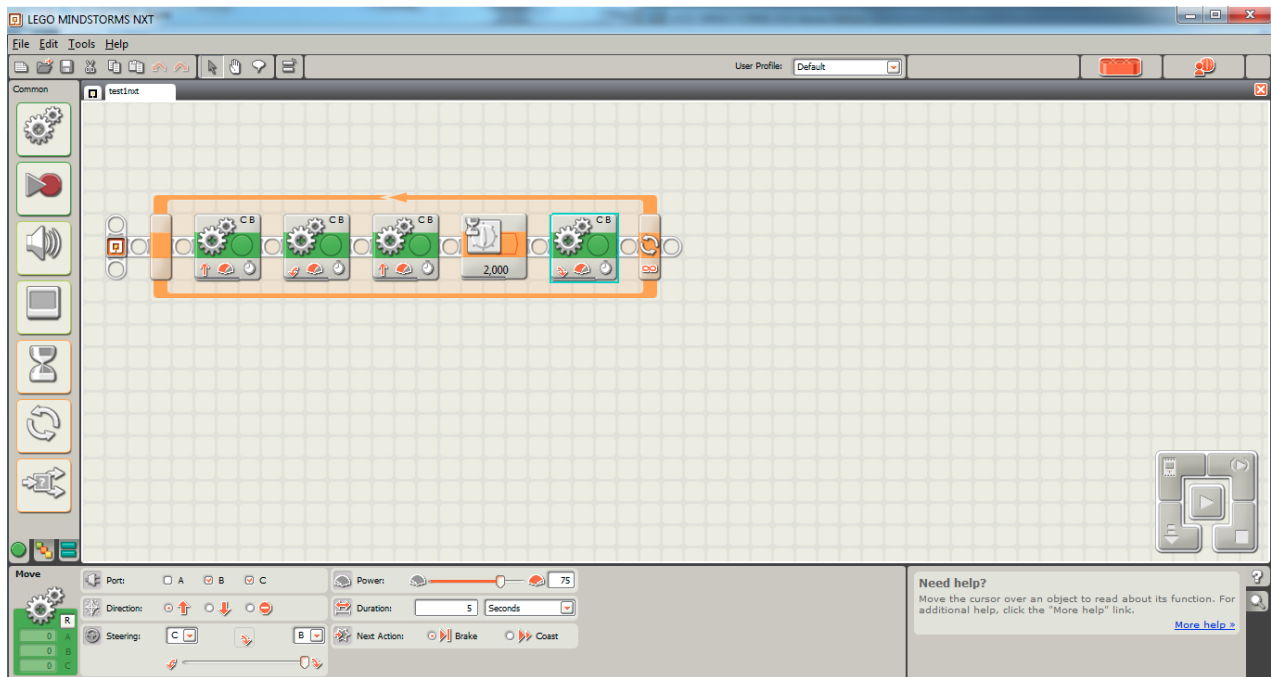
Järgnevalt esitatakse olulised seisukohad, mis intervjuust Taaviga välja tulid. Töö autor lisab seisukohtadele hinnangu ja kommentaari.

1. NXT programmeerimiseks mõeldud tarkvara on lihtsam kasutada, kui EV3 tarkvara.

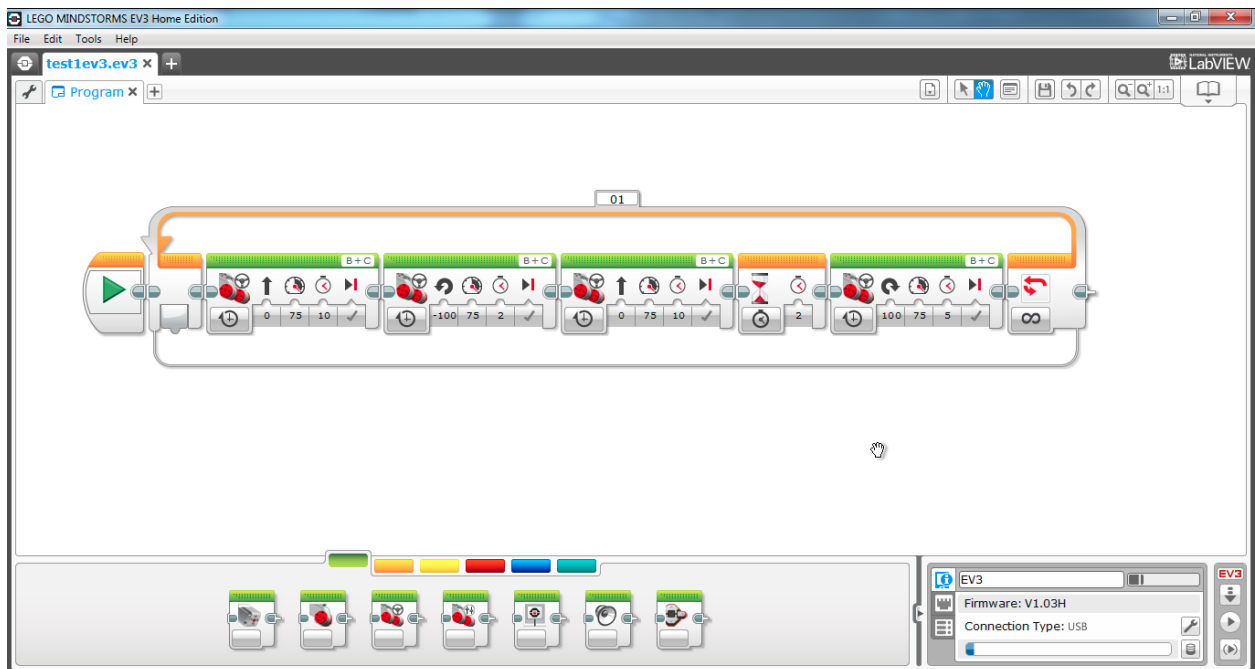
NXT ja EV3 programmeerimistarkvarasid NXT-G ja EV3-G kõrvutades on kohe esmapilgul näha, et EV3-G kasutajaliideses on oluliselt vähem teksti, kui NXT-G kasutajaliideses. NXT programmeerimistarkvaras on kasutatud oluliselt suuremaid ja üksteisest eristuvamaid ikoone, mis teevad vajalike lohistatavate plokkide leidmise kiiremaks. Küll aga on EV3 programmeerimistarkvaras üks oluline uus lisa - programmi töölaua suurendusastet on võimalik muuta. See annab parema ja mugavama võimaluse koostatud programmist ülevaade saada.

Joonisel 11 on näha NXT programmeerimistarkvaras NXT-G koostatud programm, mis paneb roboti lõputus tsükis tegema järgmisi liigutusi: sõida 10 sekundit otse; keera kaks sekundit

vasakule; sõida kümme sekundit otse; oota kaks sekundit; keera viis sekundit paremale. Joonisel 12 on näha sisult identne programm, mis on koostatud EV3 programmeerimise tarkvaras.



Joonis 11. Näidisprogramm, mis on koostatud NXT programmeerimise tarkvaras NXT-G.



Joonis 12. Näidisprogramm, mis on koostatud EV3 programmeerimise tarkvaras EV3-G.

2. NXT püsivara on lihtsam kui EV3 püsivara.

NXT ja EV3 kasutajaliideseid (vt Joonis 13) uurides on näha, kuidas EV3 ekraanipildile on korraga kuvatud oluliselt rohkem informatsiooni, kui NXT ekraanipildilt näha võib. Kuna NXT aju on riistvaraliselt vähemvõimekas, siis on ka tema menüü ülesehitus oluliselt lihtsam ning algajale kasutajale hoomatavam.



Joonis 13. LEGO Mindstorms NXT ja EV3 ajude ekraanipildid

3. NXT ekraanil on pikslid selgemalt eristatavad - see annab võimalustele lastele selgitada mõistet piksel.

Kuna EV3 ekraanil on võrreldes NXT ekraaniga peaaegu neli korda rohkem piksleid (EV3 178x128 pikslit versus NXT 100x64 pikslit [23]), on sinna võimalik peaaegu kaks korda rohkem infot mahutada. Menüüde ning andmekogude kuvamisel ongi seda teed mindud, kuid paraku

võib see õpilastes rohkem segadust tekitada, eriti kui tegemist on algklasside õpilaste või isegi noorematega.

4. NXT aju käivitub märgatavalt kiiremini, kui EV3 aju. Kui õpilased tunnis kogemata või meelega EV3 ajule restardi teevad, võtab see tunnist meeletu aja. Lisaks võivad mõned pisemad õpilased kärsituks muutuda.

Seda väidet kontrolliti järgmise katsega: võeti aega, kui palju kulub NXT ja EV3 käima- ja kinnipanekuks. Käivitamisel alustati ajavõttu nupuvajutusel ning lõpetati hetkel, mil seade oli kasutusvalmis. Seadme sulgemisel käivitati ajamõõtja samuti nupuvajutusel ning aja mõõtmine peatati hetkel, mil ekraan kustus. Mõõtmise tulemused olid järgnevad:

- NXT käivitusaeg: 4 sekundit
- NXT sulgemisaeg: 0 sekundit (ekraan kustub silmapilkselt)

- EV3 käivitusaeg: 32 sekundit
- EV3 sulgemisaeg: 43 sekundit

Ülaltoodud numbritest võib järeldada, et tõepoolest oleks 45 või 45+45 minutilisest koolitunnist raisatud aeg märkimisväärselt suur, kui EV3 aju tuleks koolitunni jooksul paar-kolm korda taaskäivitada. Samuti kulub EV3 käivitamisele ning sulgemisele oluliselt rohkem akuenergiat, kui NXT puhul.

5. NXT jaoks on eestikeelseid juhendmaterjale oluliselt rohkem

Kuna NXT on turul olnud juba mitmeid aastaid, on selle versiooni jaoks koostatud väga palju eestikeelseid juhendmaterjale. Küll aga on üsna kindel, et EV3 materjale hakkab iga aastaga järjest rohkem välja tulema, sest Tartu Ülikooli bakalaureusetöödest on siiani kaitstud igal aastal vähemalt viis tööd, mis on seotud LEGO Mindstorms robotitega. Kuna peaaegu kõikidest sellistest lõputöödest koostatakse õpetajakoolituse jaoks juhendmaterjalid, siis võib loota, et lähiaastatel kasvab EV3 materjalide osakaal oluliselt.

6. EV3 komplekt on üleüldiselt võimekam, see tähendab et edasijõudnul ei tule arenemisel niipea piir ette.

EV3 komplektis on rohkemate võimalustega LEGO klotsid, mis lubavad teha kinnitusi, mida NXT komplektiga teha ei saanud ja millest kasutajad puudust tundsid. Taavi arvas, et üldiselt on kõikide juppide osas uuendus paremuse poole toimunud, võibolla hakatakse ainult mõnda üksikut asja taga igatsema. Näiteks NXT komplektis olid kummiroomikud, mis tagasid väga hea pinnasega haakuvuse, EV3 komplektis on need tehtud oluliselt halvema haakuvusega materjalist - plastikust.

EV3 tarkvara on võimekam, sellega on võimalik keerukamaid ülesandeid lahendada. Ka EV3 riistvara on oluliselt paremate näitajatega - muuhulgas on suurendatud protsessori töökiirust, mälu mahtu, ekraani resolutsiooni, portide arvu ning USB liidese kiirust.

7. EV3 tarkvara kodukasutaja versioon on Internetist tasuta kättesaadav, NXT oma mitte

EV3 tarkvara kodukasutaja versiooni saab tasuta alla laadida LEGO Mindstorms kodulehelt [31].

NXT tarkvara tuleb installeerida CD plaadilt, mis NXT komplektiga kaasa tuleb.

8. EV3 robotil on väga palju uuendusi ja lisasid millest on lapsed NXT puhul puudust tundnud, näiteks on EV3 ajal rohkem mälu, 4 mootoriporti 3 asemel, WiFi võimalus.

EV3 aju on märkimisväärselt võimekam, kui NXT aju. Näiteks on mälumahtu oluliselt suurendatud - NXT välismälu suurus on 0.256MB, aga EV3 välismälu suurus on 16MB [23]. Neljas mootoriport on suuremates projektides tihti hädavajalik. WiFi adapterit kasutades on võimalik programmide laadimine ajusse juhtmevabaks muuta.

9. EV3 vanuse alampiiri on tõstetud, seda põhjusega

LEGO Mindstorms NXT karbi peal on kirjas vanusegrupp 8+, seevastu EV3 karbi peal on kirjas 10-21. Kuna EV3 komplektis on palju uusi detaile ja võimalusi (näiteks güroskoopandur ning *daisy-chain* võimalus), siis on selle komplektiga tegelemisel vaja rohkem baastadmisi ning - oskusi, kui NXT komplekti puhul. Seetõttu on vanusepiiri tõstmine põhjendatud.

10. EV3 baaskomplekt + lisakomplekt on kokkuvõttes parem kui kodukasutaja komplekt, sest seal on detaile rohkem

Võrduseks toon välja 10.05.2014 seisuga RoboMiku kodulehel oleva veebipoe [32] NXT ja EV3 hinnad:

- NXT baaskomplekt 275€
 - NXT lisakomplekt 90.88€
 - EDU NXT tarkvara 82.62€
 - NXT klassilitsents 275.40€
-
- EV3 baaskomplekt 350€
 - EV3 kodukasutaja komplekt 455€
 - EV3 lisakomplekt 97.49€
 - EV3 tarkvara 91.80€
 - EV3 klassilitsents 367.20€

Nagu hindadest näha, siis EV3 baaskomplekt + lisakomplekt maksab kokku 447.49€. Võrreldes seda kodukasutaja komplekti hinnaga 445€ võib öelda, et hind on peaaegu sama. Küll aga annab baaskomplekt + lisakomplekt oluliselt rohkem detaile ning on seega mõistlikum ost.

11. RCX -> NXT oli revolutsioon, aga nagu EV3 tähendusest välja tuleb, siis NXT -> EV3 lihtsalt evolutsioon

LEGO Mindstorms esimese mudeli RCX üleminek teisele mudelile NXT oli väga suur hüpe - oluliselt muudeti nii tarkvaralist poolt kui ka riistvaralisi näitajaid ja võimalusi. Võib öelda, et toimus revolutsiooniline muutus. Küll aga ei saa nii öelda NXT -> EV3 ülemineku kohta, sest EV3 versioon on sisuliselt rohkete uuendustega NXT. Ka EV3 lühend tuleneb sõnast *evolution* ehk evolutsioon.

Taavi võttis oma juttu kokku lausega, milles mainis, et tema arvates on algajale noorele kasutajale sobivam komplekt NXT. Edasijõudnud, kes tunnevad, et NXT komplektist jääb väheks, võiksid hakata tegelema EV3 komplektiga, milles on arenemiseks oluliselt rohkem võimalusi.

Käesoleva bakalaureusetöö autori arvamus ühtib täielikult Taavi arvamusega.

3.2 Eksperimendid

Intervjuud analüüsidest tekkis töö autoril paar küsimust, millele vastamiseks tuli läbi viia eksperimendid.

Lisaks roboti aju käivitusajale võib olla ka palju muid robotiga seotud tegevusi, mis tunni aega kasutult kulutada võivad. Üheks selliseks aega kulutavaks tegevuseks võib olla näiteks valmistehtud programmi laadimine ajusse.

Eelpoolmainitud ajakulu testimiseks mõõtis töö autor aega, mis kulub programmeerimistarkvaras valmistatud programmi kompileerimisele ning seadmesse kopeerimisele. Programmina kasutas töö autor tema enda koostatud näidisprogrammi, mis on näha ka joonistel 11 ja 12. Mõõtmise tulemused:

- NXT näidisprogrammi kompileerimise ja seadmesse laadimise aeg: 2.5 sekundit
- EV3 näidisprogrammi kompileerimise ja seadmesse laadimise aeg: 0.5 sekundit

Mõõtmistulemustest võib näha, et EV3 aju jaoks programmi kompileerimine ja seadmesse laadimine võtab viis korda vähem aega, kui NXT puhul. Kuna kompileerimise ja laadimise aeg on võrreldes käivitusajaga suhteliselt väike, ei ole see oluline tunni ajakulu mõjutav tegur.

Teiseks tekkis töö autoril küsimus - EV3 mahutab küll rohkem andmeid, kui NXT, kuid kas need numbrid ikka on võrreldavad? Kui mälu maht on teatud arv kordi suurem, aga ka üks programm võtab kordades rohkem mälu, siis pole aju andmesalvestusmaht nii lihtsasti võrreldav.

Eelpoolmainitu kontrollimiseks tegi töö autor katse, kus ta kompileeris ja laadis programmifaili nii NXT kui ka EV3 ajusse. Sisu poolest kasutati samu programme nii NXT kui EV3 jaoks (programmide sisu on näha joonistel 11 ja 12). Salvestatud programmifaili suurust mõõdeti arvutis ning kompileeritud programmifaili suurust seadme ajus. Saadi järgnevad tulemused:

- NXT programmi suurus arvutis 464KB (kilobaiti), kompileerituna NXT ajus 2.8KB (kilobaiti)
- EV3 programmi suurus arvutis 3.81KB (kilobaiti), kompileerituna EV3 ajus 852B (baiti)

Mõõtmistulemustest võib järeldada, et EV3 mahutab märkimisväärselt rohkem andmeid ning samad andmed võtavad vähem ruumi kui NXT puhul.

Eksperimendidest võib järeldada, et võrreldes NXT ajuga on EV3 ajul lühendatud programmide pealelaadimiseks kuluvat aega ning oluliselt vähendatud mälu mahtu, mida vajab üks programm nii arvutis talletamiseks kui ka kompileerituna roboti ajus hoidmiseks.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli luua Kooliroboti projekti õpetajakoolituse tarvis eestikeelne õppematerjal LEGO Mindstorms NXT ja EV3 ristkasutuse kohta. Töö on abiks otsustamisel, et millist LEGO Mindstorms versiooni eelistada ja soetada, nüüd kus turul on juba kaks väga head mudelit.

Töö on üles ehitatud sarnaselt teiste bakalaureusetöödega, mis on kirjutatud LEGO Mindstorms robotitega seotud teemadel. Töö on jaotatud kolmeks peatükiks. Esimeses peatükis anti ülevaade LEGO ettevõtte ja LEGO Groupi kohta ning tutvustati LEGO Mindstorms RCX, NXT ja EV3 roboteid. Räägiti Kooliroboti projektist ning võistlusest FIRST LEGO League Eesti. Bakalaureusetöö teises peatükis võrreldi LEGO Mindstorms NXT ning LEGO Mindstorms EV3 komplektide detailide arvu ning detailide parameetreid. Toodi välja NXT andurite ühilduvus EV3 komplektiga ning EV3 andurite mitteühilduvus NXT ajuga. Räägiti ka akude ja laadijate omavahelisest ühilduvusest. Käesoleva töö kolmandas peatükis toodi välja tähtsamad ideed, mis tulid välja intervjuust robotikaringide juhendaja Taavi Duviniga. Lisaks kirjeldati kolmandas peatükis kaht eksperimenti.

Käesoleva bakalaureusetöö kirjutamise käigus sai autor juurde teadmisi ja kogemusi seoses LEGO Mindstorms NXT ja EV3 robotikomplektidega. Lisaks sai autor koostada robotiprogramme tarkvarades NXT-G ning EV3-G. Muuhulgas sai töö autor ka lisamotivatsiooni hakata ehk ühel päeval robotika juhendajaks.

- http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_EV3 - viimati vaadatud 14.05.2014
15. Wikimedia. LEGO Mindstorms kit. [WWW] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lego_Mindstorms_kit.jpg - viimati vaadatud 14.05.2014
16. Robot Club. NXT 1.0, 2.0, and Education Inventory Comparison. [WWW] http://static.robotclub.ab.ca/pages/nxt/InventoryComparison/nxt_1_vs_2_vs_edu.html - viimati vaadatud 14.05.2014
17. Robotsquare. EV3 family. [WWW] <http://robotsquare.com/wp-content/uploads/2013/07/ev3family2.jpg> - viimati vaadatud 14.05.2014
18. Intorobotics. 8 Major Differences Between Mindstorms EV3 Education and Home Edition. [WWW] <http://www.intorobotics.com/8-major-differences-between-mindstorms-ev3-education-and-home-edition/> - viimati vaadatud 14.05.2014
19. Kooliroboti projekt. Inimesed. [WWW] <http://www.robootika.ee/lego/projekt/index.php/projektist/inimesed/> - viimati vaadatud 14.05.2014
20. Kooliroboti projekt. [WWW] http://www.robootika.ee/index.php/Kooliroboti_projekt - viimati vaadatud 14.05.2014
21. Kooliroboti projekt. Liitunud koolid. [WWW] <http://www.robootika.ee/lego/projekt/index.php/projektist/liitunud-koolid/> - viimati vaadatud 14.05.2014
22. Innovatsioonikeskus. First LEGO League võistlus. [WWW] <http://www.innovatsioonikeskus.ee/et/first-lego-league-voistlus> - viimati vaadatud 14.05.2014
23. Botbench. Comparing the NXT and EV3 bricks. [WWW] <http://botbench.com/blog/2013/01/08/comparing-the-nxt-and-ev3-bricks/> - viimati vaadatud 14.05.2014
24. WiFi adapter. [WWW] <http://robotsquare.com/wp-content/uploads/2013/07/wifi.jpg> - viimati vaadatud 14.05.2014
25. RJ11 connector. [WWW] http://img.tomshardware.com/us/2005/11/23/pc_interfaces_101/rj11.jpg - viimati vaadatud 14.05.2014

26. Shifted RJ11. [WWW] <http://www.philohome.com/nxtplug/plug1.jpg> - viimati vaadatud 14.05.2014
27. Robot Square. EV3 and NXT: Difference and Compatibility. [WWW] <http://robotsquare.com/2013/07/16/ev3-nxt-compatibility/> - viimati vaadatud 14.05.2014
28. Robot Square. NXT EV3 batteries. [WWW] <http://robotsquare.com/wp-content/uploads/2013/07/nxtev3batteries.jpg> - viimati vaadatud 14.05.2014
29. Marjo Toomik. LEGO Mindstorms EV3 WiFi kasutamine. (2014) Peatükk “3.2 Energia tarbimine EV3 WiFi kasutamisel”
30. LEGO. FAQ. [WWW] <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/support/faq> - viimati vaadatud 14.05.2014
31. LEGO. EV3-G software download. [WWW] <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/downloads/software/ddsoftwaredownload/download-software/> - viimati vaadatud 14.05.2014
32. RoboMiku veebipood. [WWW] http://www.robomiku.ee/pood/category.php?id_category=8 - viimati vaadatud 14.05.2014

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Ranno Käomägi** (sünnikuupäev: 03.12.1992),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “LEGO Mindstorms EV3 ja NXT riskasutus”, mille juhendajad on Anne Villems ja Taavi Duvin,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **14.05.2014**