

Tartu Ülikool
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse instituut
Infotehnoloogia eriala

Tambet Artma

**Mindsensors arvuti kontrolleri kasutamine
koolirobootika komplektiga**

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendajad: lektor Anne Villems

Kaasjuhendaja: spetsialist Taavi Duvin

Autor:“.....“ juuni 2011
Juhendaja:“.....“ juuni 2011
Juhendaja:“.....“ juuni 2011

Lubada kaitsmisele
Professor:“.....“ juuni 2011

TARTU 2011

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Kasutajaliidesseadmete klass.....	5
1.1 Mis on liides?	5
1.2 Kasutajaliidesseadmete klassi üldtutvustus	6
1.3 Andmeedastusprotokolli komponendid	7
2. Firma Mindsensors arvuti kontrolleri	10
2.1 NXTHID arvuti kontrolleri tutvustus	10
2.2 NXTHID arvuti kontrolleri spetsifikatsioon ja tööpõhimõte	10
2.3 NXTHID kontrolleri kasutamine	14
2.3.1 NXTHID arvuti kontrolleri programmeerimine	14
2.3.2 Mindsensor NXT-G NXTHID ploki lisamine.....	15
2.3.3 LEGO MINDSTORMS NXT-G NXTHID plokk	16
2.3.4 NXTHID programmeerimine teistes keskkondades.....	19
3. Ülesanded	20
3.1 Ülesanne 1 – NXTHID arvuti kontrolleri tutvumine.....	21
3.2 Ülesanne 2 – NXT aju ja NXTHID seadme abil mängu juhtpuldi tegemine	24
3.3 Ülesanne 3 – NXT radar	27
Kokkuvõte	30
Summary.....	31
Kasutatud kirjandus	32
Lisad	34
Lisa 1. Klaviatuuri elementide koodid <i>Direct Data Mode</i> töörežiimi jaoks	34
Lisa 2. CD ülesannete lahendusfailidega.....	39

Sissejuhatus

Infotehnoloogia (IT) sektori kiire areng nii Eestis kui ka välismaal on toonud kaasa spetsialistide puuduse, mis on osaliselt tingitud ka noorte inimeste vähesest huvist reaallainete vastu. Eesti Infotehnoloogia ja Telekommunikatsiooni Liidu poolt koostatud tööjõuvajaduse uuringust selgub, et IT sektor vajab kolme aasta jooksul kokku umbes 6500 uut spetsialisti [1]. Olukorra leevendamiseks tuleb hakata rohkem tähelepanu pöörama koolinoortele ja tekitada neis huvi ja tahe õppida reaallaineid, sest inimene õpib kõige suurema innuga kui aine tundub talle põnev ja võimalusterohke. Üks mõnusamaid ja arendavamaid viise õppida on läbi mängu. Selleks annab hea võimaluse robotitega tegelemine, sest selles on omavahel kombineeritud nii teooria kui ka mängulisem praktika pool.

Sarnastele järeldustele on jõutud juba nii mõneski Eesti koolis ja tänaseks on muude ainete kõrvale tekkinud robotika suunitlusega õppeained ja huviringid. Nende eesmärgiks on arendada laste loovust, loogikat ja programmeerimisoskust. Loodud on ka programmid, mis aitavad koolidel robotikomplekte ja sinna juurde juuluvaid andureid odavamalt saada. Taoliseks projektiks on näiteks Tiigrirobot, mis on loodud Tiigrihüppe sihtasutuse poolt [2].

Robotite ehitamisel ei ole fantaasial piire, küll aga limiteerib ehitust kasutatavate osade arv ja nende funktsionaalsus. Seetõttu toodavad mitmed firmad LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga ühilduvaid seadmeid ja andureid, mis suurendavad võimaluste arvu milleks robot suuteline on. Taolisteks firmadeks on näiteks Mindsensors [3], Vernier [4], HiTechnic [5].

Antud bakalaureusetöö kirjeldab Mindsensori poolt toodetava NXTHID arvuti kontrolleri tööpõhimõtet, kasutusala ja programmeerimist. Kasutades LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplekti koos NXTHID seadmega luuakse mitmeid ülesandeid robotika kursustel kasutamiseks. Ülesanded on koostatud erineva raskusastmega, lähtudes sellest, et kõik õpilased ei ole ühesuguse teadmispagasiga ja uusi teadmisi tuleks õpetada alustades kergematest ja minnes edasi keerulisematega. Igal harjutusülesandel on kaasas ka

lahendusidee, lahendamisel tekkivad võimalikud probleemid ja üks võimalik lahendus sellele ülesandele. Kõik lahenduse failid asuvad tööga kaasas oleval CD'l (Lisa 2).

Selle bakalaureusetöö eesmärgiks on anda eestikeelne ülevaade NXTHID seadmest ja selle kasutusvõimalustest ning aidata kaasa huvi tekitamisele reaalainete vastu koolides. Bakalaureusetöö on jagatud kolmeks peatükiks.

Esimene annab ülevaate kasutajaliidesseadmete klassist, sinna klassi kuuluvate seadmete olemusest ja nende kasutusalaadest. Teises töö osas kirjeldatakse firma Mindsensori poolt toodetava arvuti kontrolleri tööpõhimõtet, LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga ühendamist ja selle programmeerimise algtõdesid. Kolmandas peatükis on komplekteeritud erineva tasemega huvitavad ülesanded ja antud ka nende lahendused.

1. Kasutajaliidesseadmete klass

Mindsensors'i arvutikontroller ühendatuna NXT roboti ajuga muudab ta roboti kasutajaliidesseadmeks, ja selle tõttu antakse käesolevas peatükis ülevaade liidese mõistest üldisemalt, kasutajaliidesseadmete klassist ja sinna kuuluvatest seadmetest. Põhirõhk ongi just nende seadmete tööpõhimõtte selgitamisel.

1.1 Mis on liides?

Liides on sõltumatute funktsionaalüksuste vaheline ühispiir, kus kehtivad koostöötingimused, mis puudutavad funktsioone, füüsilisi ühendusi, signaalivahetust jms [6]. Liideseid on kolme tüüpi: kasutajaliides, tarkvaraliides ja riistvaraliides [7]. Kasutajaliides võimaldab suhelda kasutajal arvuti operatsioonisüsteemiga. Tarkvaraliidest kasutavad rakendusprogrammid suhtluseks omavahel ja arvuti riistvaraga. Riistvaraliidest kasutavad riistvarakomponendid omavaheliseks suhtluseks ja see koosneb juhtmetest, pistikutes ja pistikupesadest.

Liidestele on esitatud teatud nõuded[6]. Esimene neist on informatsiooniline ehk funktsionaalne ühildatavus, mis tähendab seda, et süsteemi funktsionaalsete elementide vastasmõju peab olema kooskõlastatud loogiliste tingimustega. Näiteks vastavalt liidese väljuvale infole on disainitud ka liidese siini struktuur ja koosseis. Teine nõue on elektriline ühildatavus ehk elektriliste signaalide dünaamiliste ja staatiliste parameetrite kooskõla. Konstruksiooniline ühildatavus on kolmas nõue ja see ütleb, et liidese osade vahel peab olema kindel mehaaniline ja elektriline ühendus.

Edasi siirdume järgmisesse alapeatükki, mis räägib juba täpsemalt kasutajaliidesseadme klassist.

1.2 Kasutajaliidesseadmete klassi üldtutvustus

Kasutajaliidesseade (inglise keeles *Human Interface Device e. HID*) on arvutiseade, mis suhtleb otse kasutajaga ja tihti võtab ka sisendi kasutajalt [8]. Taoline seade võib samuti tagastada väljundi kasutajale. Termin HID enamasti viitab USB-HID (inglise keeles *Universal Serial Bus Human Interface Device*) spetsifikatsioonile [9]. HID klassi peamine loomise põhjus oli personaalarvutiga (inglise keeles *Personal Computer e. PC*) ühendatavate sisendseadmete keeruline installeerimine. Vaja oli ühtset süsteemi, mis seda lihtsustaks ja asendaks liiga kitsalt defineeritud andmeedastusprotkollid. Näiteks enne HID leiutamist toetas standardse arvutihiire andmeedastus ainult X ja Y telje andmeid ja binaarset sisendit kuni kahelt nupult.

Kasutajaliidesseadmeid võib kasutada paljude erinevate rakenduste jaoks. Näiteks klaviatuuriga saab juhtida arvutimängu ja samas ka kirjutada bakalaureusetööd tekstiredaktoris. Liidesseadmeid on väga erinevaid, näiteks andmekogumisseadmed, testimise instrumendid, andmelugered, riistvara kontrollivad seadmed ja üldkasutatavad seadmed nagu klaviatuur, hiir, juhtkangid (Joonis 1) jne.



Joonis 1. Juhtkangid ja juhtpuldid[10].

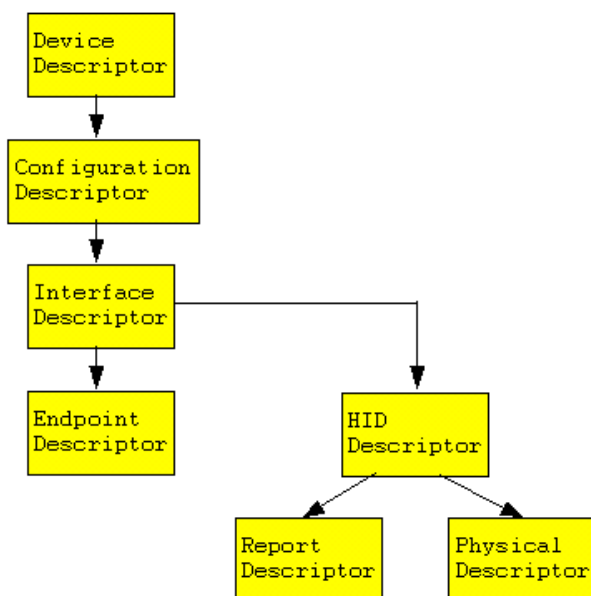
Kusjuures peaaegu kõiki seadmeid, mis juba praegu ei kuulu veel mõnda eksisteerivasse USB klassi, ja milles on lubatud 64,000 bitti sekundis (inglise keeles *bits per second e. Bps*) andmeedastuskiirus, on võimalik teha paremaks, kiiremaks ja intelligentsemaks

USB-HID tüüpi seadmeks, mis ei vaja kunagi spetsiaalset seadme draiverit installeerimiseks. HID klassi idee seisnebki eraldi draiverite vältimises ja protokollide loomises, mis on täielikult iseennast kirjeldav. Protokoll sisestatakse andmevoogu, mis käib arvuti ja USB-HID klassi seadme vahel.

Järgmisena kirjeldataksegi andmeedastusprotokollide komponente.

1.3 Andmeedastusprotokollide komponendid

HID protokoll koosneb informatsiooni või signaalide allikana toimivast arvutist ehk „peremehest“ (inglise keeles *host*) ja HID klassi kuuluvast seadmest [8]. Seade suhtleb otse kasutajaga. Permees suhtleb seadmega ja võtab sellelt vastu sisendi andmetega, mis kirjeldavad kasutajad teinud antud HID seadmega. Andmeväljund liigub peremees seadmeni ja sealt edasi kasutajale. Seadmete rakendamine on tänu HID protokollile lihtne. Seadmed defineerivad oma andmepakette ja seejärel esitavad peremehele HID kirjeldaja (inglise keeles *descriptor*) ehk operatsioonisüsteemi poolt programmile eraldatud ühte või mitut objekti kirjeldava andmestruktuuri. Taoline kirjeldaja näitab ära kui mitut paketti seade toetab, samuti sisaldab infot andmepakettide suuruste ja iga paketi sisalduva baidi ja biti tähenduse kohta. HID kirjeldaja on üks paljudest kirjeldavatest andmestruktuuridest, mida kasutatakse erinevate andmete transportimiseks mööda andmeedastus liini (Joonis 2).



Joonis 2. HID seadme erinevad kirjeldajad [11].

Joonisel 2. Olevate mõistete kirjeldus [12]:

- Seadme kirjeldaja (inglise keeles *Device Descriptor*) esitab tervet seadet ja sisaldab endas informatsiooni nagu näiteks on seda seadme väljalaske number.
- Konfiguratsiooni kirjeldaja (inglise keeles *Configuration Descriptor*), mis sisaldab informatsiooni seadme täpsema sätestatuse kohta.
- Liidese kirjeldaja (inglise keeles *Interface Descriptor*) näitab täpsemalt, mida see seade teeb.
- Lõpp-punkti kirjeldaja (inglise keeles *Endpoint Descriptor*) näitab millist lõpp-punkti kirjeldatakse.
- Raporti kirjeldaja (inglise keeles *Report Descriptor*) määrab ära protokollid ja HID seadmega tehtavate tegevuste tähenduse. Näiteks kui sidendiks on nupp, siis väljundiks on mingi tule põlema panemine sellel seadmel.
- Füüsiline kirjeldaja (inglise keeles *Physical Descriptor*) identifitseerib milline inimese kehaosa aktiveerib mingi nupu, rulliku vmt. Näiteks vasak hiirenupp aktiveeritakse parema käe nimetisõrmega. Füüsilised kirjeldajad on valikulised.

Näide HID kirjeldaja tööst on, et hiir koos Windowsi mänguga „Minesweeper“ saab öelda peremehele kas hiire vasak nupp on üleval või all, asend salvestatakse kolmandasse bitti mis asub omakorda neljandas baidis andmepaketis number seitse. Näide ise on suvaliste biti, baidi ja andmepakettide numbritega aga üldiseloostab andmete liikumist peremees arvuti ja HID seadme vahel. Tüüpiliselt salvestatakse HID kirjeldaja mälu kiipi kuhu salvestatakse käsud ja andmed, mis säilivad alaliselt (inglise keeles *Random Access Memory e. ROM*).

Peremees arvuti on eeldatavalt palju keerulisem üksus kui HID seade, millega toimub andmevahetus[8]. Põhjuseks on vajadus sõeluda ehk jagada koostisosadeks HID kirjeldaja enne seda kui seade saab hakata suhtlema peremehega. Sõelumine on keerukas protsess aga just selle tõttu on võimalik HID seadmete kiire areng tänapäeval.

Antud peatükis kirjeldati kasutajaliidese seadmete klassi olemust, sinna kuuluvate seadmete kasutusvõimalusi ja tööpõhimõtet. Järgnev peatükk kirjeldab juba täpsemalt käesoleva

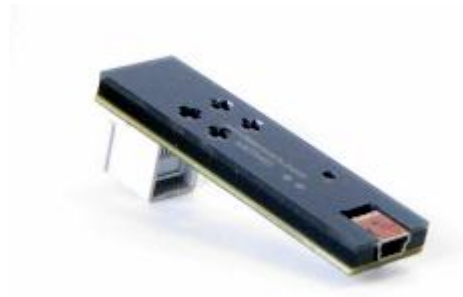
teema põhiprobleemi, firma Mindsensors poolt toodetud LEGO MINDSTORMS NXT robotikomplektiga arvuti kontrolleriit.

2. Firma Mindsensors arvuti kontrolleri

Järgnevalt tutvustatakse käesolevas töös kasutatava firma Mindsensors poolt toodetava NXTHID seadme tööpõhimõtet.

2.1 NXTHID arvuti kontrolleri tutvustus

Antud bakalaureusetöös kirjeldatav NXTHID seade (Joonis 3) on toodetud Ameerika Ühendriikides firma Mindsensors poolt. Informatsioon seadme kohta on võetud ettevõtte kodulehelt [13]. Lisaks NXTHID seadmete tootmisele on Mindsensori toodete valikus veel palju erinevaid andureid, multipleksereid, akuaatoreid, servosid jne. Arvuti kontrolleri NXTHID koos LEGO MINDSTORMS NXT robotiga saab kasutada mitmete eriotstarbeliste HID seadmete loomiseks. Võimalusi erinevaid kasutajaliidesseadmeid teha on täpselt nii palju kui on sellega tegeleval inimesel ideid. Kontrolleri ühendamise NXT'ga ja arvutiga on lihtne ja ühtlasi ka käesoleva töö järgmistes peatükkides seletatud.



Joonis 3. NXTHID Arvuti kontrolleri [14].

Kirjeldasime lühidalt NXTHID arvuti kontrolleri, järgnevalt uurime tema täpsemat spetsifikatsiooni ja tööpõhimõtet.

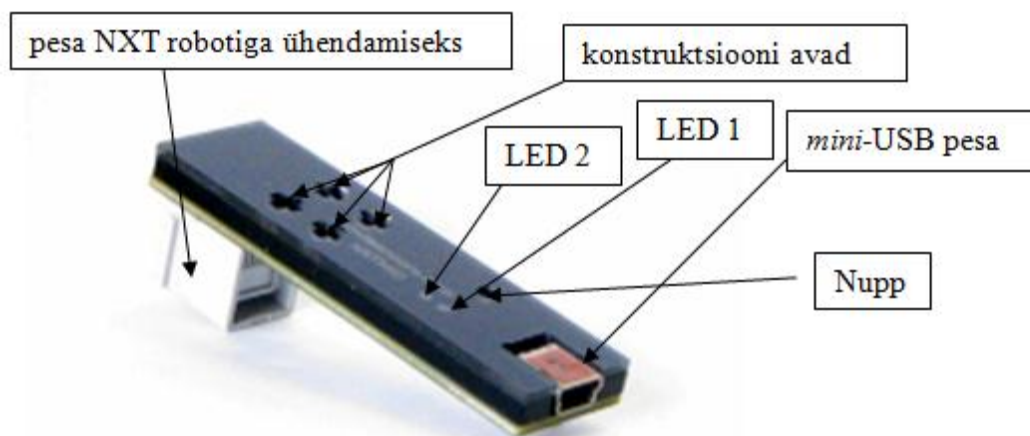
2.2 NXTHID arvuti kontrolleri spetsifikatsioon ja tööpõhimõte

Kontroller on pikkusega 67 mm ja laiusega 18 mm, selle peal asub kaks pooljuhti, mis läbiva voolu toimel valgust kiirgavad (inglise keeles *Light-emitting diode* e. LED) [7].

Seadmel on üks RJ-12 pesa LEGO MINDSTORMS NXT robotiga kaabli kaudu ühendamiseks ja *mini-B* USB (Joonis 4) pesa arvutiga ühendamiseks [15, 16]. NXTHID'1 on ka neli konstruktsiooni ava, millega saab ühendada seda NXT roboti külge ning nupp, mis on abiks püsivara muutmisel (Joonis 5).



Joonis 4. *Mini-B* USB pistik, mis käib seadme vastavasse pesasse [16].



Joonis 5. NXTHID ehitus.

LED tulede eesmärk on anda informatsiooni ehk näidata, mis seisundis NXTHID parajasti on. Erinevad seisundid on toodud tabelis 1 [16].

LED'id	Tähendus
LED 1 ja LED 2 kiire vahelduv vilkumine	Seade on ühendatud ja töötab korrektselt
LED 2 põleb stabiilselt	Seadmel on olemas toide aga ei toimu andmevahetust (tõenäoliselt ei ole ühendatud arvutiga)
LED 2 vilgub kiirelt	Andmeid transporditakse
LED 1 vilgub aeglaselt	Seade on algaadimises (inglise keeles <i>Bootload</i>)
Mõlemad LED'id vilguvad korraga kiirelt	USB ühendus on häiritud

Tabel 1. LED'ide tähendused.

Seade saab voolu kas USB kaudu või siis NXT'ist. Kui on olemas ühendus USB'ga, siis võetakse vool sealt, vastaseljuhul, USB ühenduse puudumisel, saadakse vajalik vool NXT'lt (Joonis 6). Keskmine voolutarve on 25mA.



Joonis 6. Arvuti kontrolleri ühendatuna arvuti ja NXT robotiga.

Andmevahetus, mis käib NXT roboti aju ja NXTTHID seadme vahel läbi I²C siini (inglise keeles *Inter-Integrated Circuit*), mis on kahe-suunaline kahe-sooneline järjestiksiin ja mida kasutatakse integraalskeemidevahelise ühenduslülina. Andmete edastus toimub teatud operatsioonide kaudu, millega juhitakse arvuti kontrolleri. NXTTHID kontrolleri juhtimiseks laetakse registritesse sobilikud väärtused ja seejärel antakse välja saatmise käsklus, saatmaks andmed peremeesarvutile. Pärast käsu täitmist andmeregistrid nullitakse. Kui on vaja saata samad andmed uuesti, siis peab need ka taakord registritesse kirjutama. Järgnevad tabelid kirjeldavad toetatavaid käsklusi (Tabel 2) ja I²C registre kasutamist NXTTHID poolt (Tabel 4). Tabelis 2 on antud käsklused nii Ameerika Informatsioonivahetuse Standardkoodis (inglise keeles *American Standard Code for Information Interchange* e. ASCII) kui ka kuueasteiskümnendkoodis (Hex)[7]. ASCII on standardne 7-bitine kooditabel inglise tähestiku ja teiste klaviatuuril esinevate sümbolite esitamiseks[7].

Käsklused		Tegevus
ASCII	Hex	
T	0x54	Saadab andmed arvutile.

A	0x41	ASCII String Mode ehk režiim, milles töötades võib seade edastada väljastatavad võtmeid arvutile. Korruga saab saata ühe võtme ja mitte väljastatavad võtmed ei ole toetatud selles sättes.
D	0x44	<i>Direct Keyboard Data</i> ehk režiim, milles seade võib edastada mitte väljastatavad võtmed arvutile. Korruga saab saata ühe võtme (vaata Lisa 1.) koos tema modifitseerijaga (vaata Tabel 3.) ja ühtlasi väljastatavate võtmete saatmine selles sättes on lubatud.

Tabel 2. Toetatavad käsklused [16].

Tühi	0x00
Vasak Ctrl nupp	0x01
Vasak Shift nupp	0x02
Vasak Alt nupp	0x04
Vasak GUI	0x08
Parem Ctrl nupp	0x10
Parem Shift nupp	0x20
Parem Alt nupp	0x40
Parem GUI	0x80

Tabel 3. Toetatud võtme modifitseerijad [16].

Register	Lugemine	Kirjutamine	Mis sätet kasutatakse
0x00-0x07	Tarkvara versioon – v1.01	-	
0x08-0x0f	Seadme müüja Mindsensors'i ID – mndsnsrs	-	
0x10-0x17	Seadme ID - NXTHID	-	
0x41	-	Käsklus	
0x42	-	Modifitseerija	D
0x43	-	Klaviatuuri andmed	D, A

Tabel 4. I²C registrite kasutamine NXTHID poolt [16].

Selles punktis uuriti kontrolleri spetsifikatsiooni ja selle andmevahetuse põhimõtteid, järgnevalt selgitame kuidas seda seadet on võimalik kasutada.

2.3 NXTHID kontrolleri kasutamine

LEGO MINDSTORMS NXT robot ja NXTHID omavahel ühendatuna on võimas tööriist, millega on võimalik tekitada erinevaid HID seadmeid, alates tavalistest mängupultidest ja lõpetades keeruliste spetsiaalset ülesannet täitvate liideseadmetega. Kontrolleri saab edukalt kasutada näiteks juhtkangi tegemiseks, millega saab arvuti peal erinevaid mänge mängida.

2.3.1 NXTHID arvuti kontrolleri programmeerimine

Käesoleva bakalaureusetöö raames kasutatava firma Mindsensors poolt toodetud kontrolleri programmeerimiseks kasutatakse LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvara. NXT-G on graafiline programmeerimiskeskond. See graafiline keskkond sarnaneb oma töö poolest firma National Instruments LabView tarkvaraga selle poolest, et programmeerimiseks kasutatakse ikoone ja juhtmeid. Just oma suhteliselt lihtsa programmeerimiskeskonna poolest on NXT-G sobilik robotite programmeerimise õpetamiseks ka noorematele õpilastele. Probleem aga tekib siis kui kasutaja soovib kombineerida mingi muu firma poolt toodetavat seadet NXT robotiga. Lahendusena sellele probleemile on erinevad tootjad teinud oma lisaplokid, mida on võimalik NXT-G programmi importida.

Firma Mindsensors tooteid on võimalik programmeerida veel teistes programmeerimiskeskondades. Näiteks koodipõhises keskkonnas RobotC.

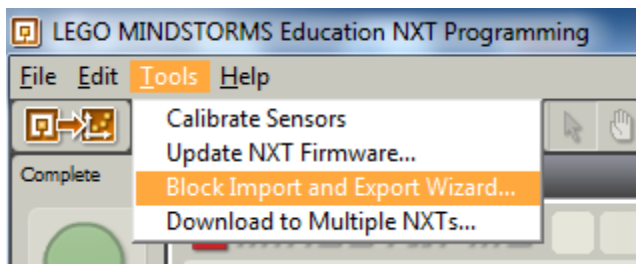
Järgmise sammuna selgitatakse kuidas on võimalik lisada NXTHID plokki NXT-G programmeerimiskeskonda.

2.3.2 Mindsensor NXT-G NXTHID ploki lisamine

Selles peatükis seletatakse lahti kuidas lisada NXTHID plokki NXT-G programmeerimiskekkonda.

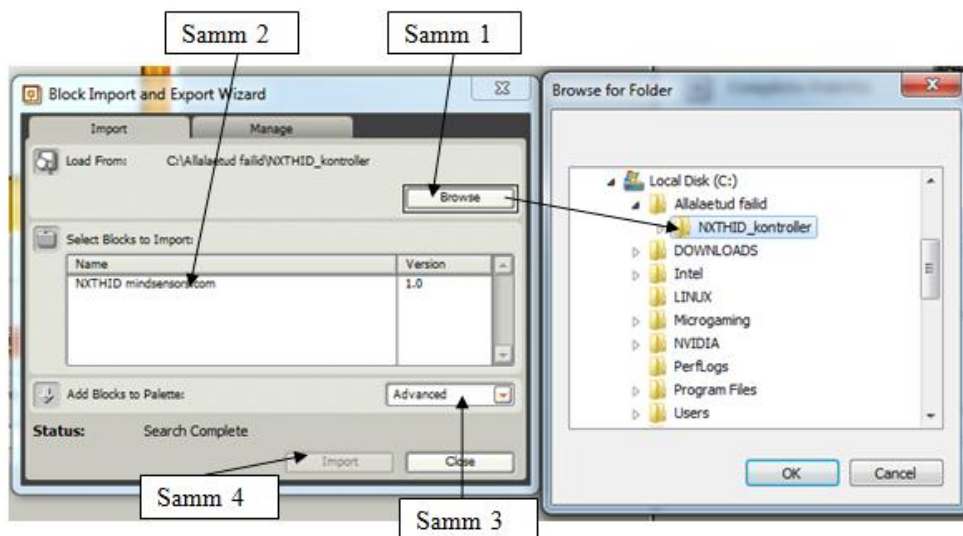
Kõigepealt tuleb minna firma Mindsensors koduleheküljele ja alla laadida vajalik lisaplokk [17]. Kui lisaplokk alla laetud tuleb teha järgmised sammud:

- Pakkida lahti alla laaditud NXTHID.zip fail vabalt valitud asukohta. Näiteks C:\Allalaetud failid\NXTHID_kontroller
- Käivitada LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvara.
- Valida menüüribalt „Tools“ ja seejärel „Block Import and Export Wizard...“ (Joonis 7).



Joonis 7. Menüüriba.

- Kasutajale ilmub dialoogiaken, kust esimese sammuna tuleb valida „Browse“ (Joonis 8).

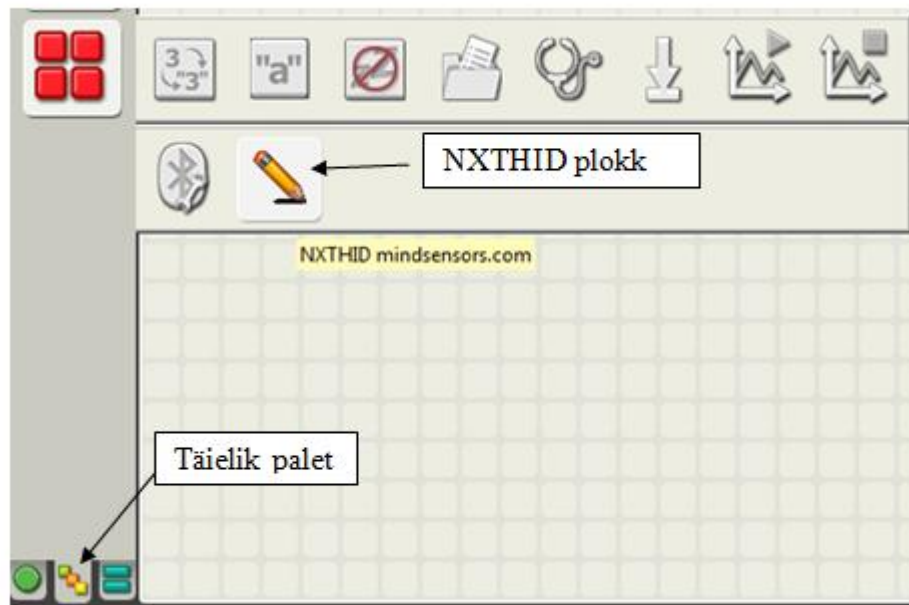


Joonis 8. Ploki impordi ja ekspordi dialoogiaken.

- Teise sammuna tuleb valida nimekirjast NXTHID mindsensors.com plokk.

- Kolmandana on võimalik valida mis alajaotuse alla soovite selle ploki lisada. Alajaotused asuvad „*Complete palette*“ paleti all.
- Viimase sammuna, kui kõik on õnnestunud ja nupp „*Import*“ muutub aktiivseks, tuleb sellele vajutada.

Lisatud NXTHID plokk on nüüd kättesaadav valides täieliku paleti ja seal navigeerides valitud alamjaotusesse (Joonis 9).



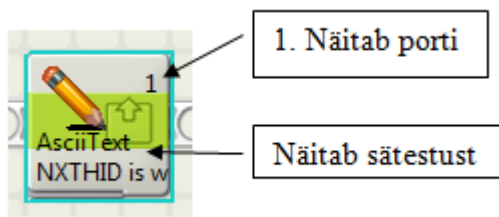
Joonis 9. NXTHID ploki leidmine täielikust paletist.

Selles alapeatükis kirjeldasime kuidas lisada NXTHID plokki NXT-G programmeerimiskeskonda. Järgnevalt näidatakse kuidas seda plokki kasutada roboti programmeerimisel, et see kontrolleri tööd juhiks.

2.3.3 LEGO MINDSTORMS NXT-G NXTHID plokk

NXTHID plokk on spetsiaalne abivahend NXTHID arvuti kontrolleri programmeerimiseks NXT-G keskkonnas. Kui plokk on lisatud, siis on võimalik see leida täieliku paleti alt ja valides vastava alajaotuse kuhu kasutaja selle lisas.

Järgmise sammuna on võimalik programmeerijal sisestada plokk oma NXT-G töölauale, et seda saaks rakendada NXTHID ja NXT roboti omavaheliseks tööks (Joonis 10).

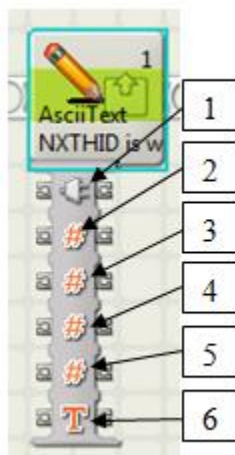


Joonis 10. NXTTHID plokk lisatud töölauale.

Kui plokk on lisatud, siis on sellel näha järgmisi komponente (Joonis 10):

1. Näitab mis porti on ühendatud NXTTHID kontrolleri.
2. Näitab ära kumba sätestust plokk kasutab, kas ASCII teksti või klaviatuuri sisestusi.

Ploki alaosas asub väike hüpikmenüü, kust pääseb ligi väljunditele, mis sellest plokkist on võimalik saada. Samuti näeb sellest menüüst ära mis sisendeid on võimalik sellele plokkile anda (Joonis 11).



Joonis 11. NXTTHID plokk avatud atribuutide nimekirjaga.

Joonisel 11. kujutatud menüü sisendid ja väljundid on erinevate eesmärkidega, mis on järgnevalt kirjeldatud:

1. Pordi number, kuhu on kontrolleri ühendatud.
2. Seadme aadress, mis näitab ära kontrolleri aadressi I²C siinil.
3. Saatmise töörežiim, mis väljastab kas edastatakse ASCII koodis teksti või mitte väljastatavaid võtmeid.
4. Võtme modifitseerija määrab ära kas ja mis modifitseerijat kasutatakse võtme väljastamisel.

5. Määrab võtme väärtuse.
6. Kuuenda pistikuga saab määrata mis teksti väljastatakse ASCII koodis.

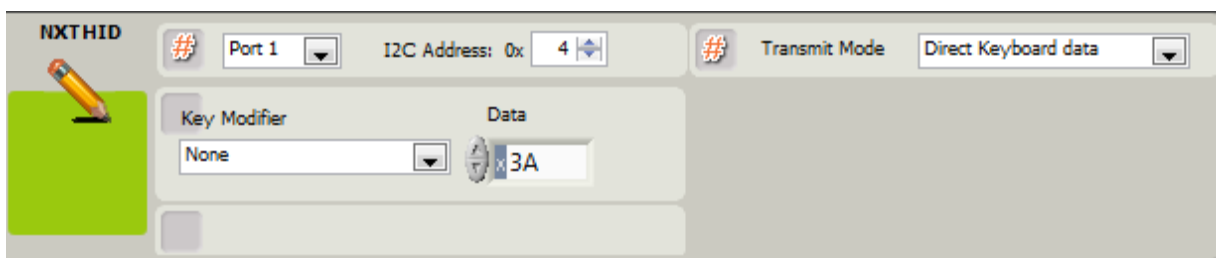
Järgmisena selgitatakse selle ploki omadustepaneeli, mis asub programmeerimiskeskonna all vasakus nurgas ja on nähtav kui kontrolleri plokk on parajasti valitud. Selle paneeli abil on võimalik muuta erinevaid seadme parameetreid, mida ka järgnevalt joonis 12 ja joonis 13 abil selgitame.



Joonis 12. Omadustepaneel kui „Transmit Mode“ on valitud „Ascii Text data.“

Kui „Transmit Mode“ on valitud „Ascii Text data“, siis on omadustepaneelil järgnevad parameetrid:

1. „Port“ abil määratakse, mis roboti pordis NXT arvuti kontrolleri töötab.
2. „I²C Address“iga“ määratakse seadme aadress, seda ei tohiks muuta kui ei ole just eelnevalt seadme aadressi muudetud.
3. „Text Data“ on tekstikast kuhu kirjutatakse andmed mida soovitakse arvutile väljundina ette kirjutada.
4. „Transmit Mode“ on saatmisrežiim, milles NXTTHID seade töötab.



Joonis 13. Omadustepaneel kui „Transmit Mode“ on valitud „Direct Keyboard data.“

Omadustepaneelil tekivad kaks uut välja kui „Transmit Mode“ on valitud „Ascii Text data“:

1. „*Key Modifier*“ ehk võtme modifitseerija, mis annab lisaks võtmele juurde lisaparametri, millega seda muudetakse. Näiteks kui tahetakse saada väiksest „a“ tähest suurt „A“ tähte tuleb lisada „*Left Shift Key*“ võtme modifitseerijaks.
2. „*Data*“ on mingi andmesõne, mis väljundatakse arvutile.

Antud alapeatükis uuriti kuidas lisada ja kasutada kontrolleri NXT-G plokki. Järgnevalt uuritakse teisi programmeerimiskeskondi, milles on võimalik programmeerida NXT robotid kasutama NXTHID seadet.

2.3.4 NXTHID programmeerimine teistes keskkondades

LabVIEW

LabVIEW on sarnane LEGO MINDSTORMS NXT-G graafilise keskkonnaga, kus programmeerimiseks kasutatakse ikoonide lohistamist. Suurim erinevus, mis on ühtlasi ka eelis, on selle võimekus anda tagasisidet reaajas [18]. Lisainfo on saadaval firma kodulehel [19].

RobotC

RobotC ei ole erinevalt LabVIEW'st ja LEGO MINDSTORMS NXT-G'st graafiline programmeerimiskeskond ja programmeerimine toimub käskluste kirjutamises tekstina. Tema kasutajaliides sarnaneb väljanägemiselt näiteks Visual Basic 2005'ga. RobotC eeliseks, võrreles NXT-G'ga on suuremate funktsioonide kirjutamise võimalus [20]. Lisainfo on saadaval firma kodulehel [21].

Antud peatükis tutvustati käesolevas töös kasutatava kontrolleri tööpõhimõtet. Järgmisena koostatakse erineva raskusastmega põnevaid ülesandeid.

3. Ülesanded

Käesolevas peatükis on loodud erineva raskusastmega ülesanded, mis kombineerivad omavaheliseks tööks LEGO MINDSTORMS NXT robotit, firma Mindsensors NXTHID arvuti kontrollerit ja mitmeid erinevaid andureid, mis on mõeldud robotiga koos töötamiseks. Ülesannete tasemed on jaotatud kolme kategooriasse: kerge, keskmine ja raske. Erinevate raskusastmetega ülesanded on valitud nii, et huvi lahenduseni jõuda oleks nii algajatel kui ka edasijõudnutel programmeerijatel. Kõik ülesanded on koostatud LEGO MINDSTORMS NXT v2.0 programmeerimiskeskonda.

Kõik ülesanded koosnevad alljärgnevatest punktidest:

- Tase – näitab mis tasemel peaks õpilane olema ülesande lahendamiseks.
- Eesmärk – selgitab milliseid teadmisi ja kogemusi õpilane omandab lahendamise käigus.
- Ülesande täitmiseks vajalikud töövahendid – vajalikud vahendid ülesande lahendamiseks.
- Ülesande püstitus – kirjeldab ülesande probleemi, millele õpilane hakkab lahendusi otsima.
- Lahenduse idee – esialgne idee ülesande alustamiseks.
- Üks võimalik lahendus – detailne kirjeldus kuidas ülesannet on võimalik lahendada. NXT-G keskkonnas lahendatud ülesannete lahenduse failid asuvad bakalaureusetööga kaasas oleval CD plaadil.
- Tekkida võivad probleemid ja nende lahendamine – võimalikud komistuskivid ülesande lahendamisel ja probleemi lahendused. Võib sisaldada ka üldisi soovitusi.
- Idee ülesande edasiarendamiseks – mõeldud õpilastele, kes saavad teistest varem ülesandega valmis ja soovivad proovida midagi keerulisemat.

Kuna robotid on ehitatud antud bakalaureusetöö autori poolt ja autor leiab, et antud ülesannete puhul ei ole oluline mitte roboti väljanägemine vaid funktsionaalsus, siis ehitamise juhiseid ei ole kaasatud. Küll aga on valikuliselt lisatud pildid robotitest läbi autori nägemuse.

3.1 Ülesanne 1 – NXTHID arvuti kontrolleringa tutvumine

Tase: kerge

Eesmärk: Ülesandeks on tutvuda firma Mindsensors NXTHID seadmega ja selle NXT-G'le mõeldud plokiga. Üldisem eesmärk on aru saada HID-tüüpi seadme olemusest.

Ülesande täitmiseks vajalikud töövahendid:

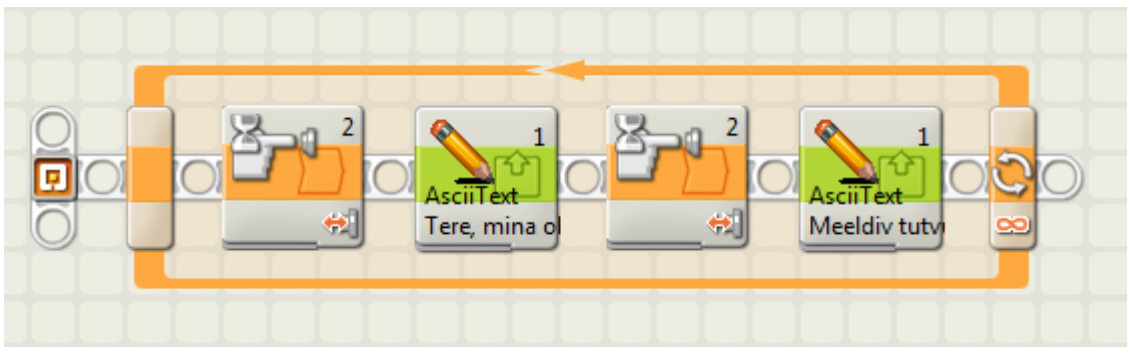
- Mindsensors NXTHID seade ja *USB* ühenduskaabel, mille ühes otsas on isane *mini-B* otsik ja teises otsas isane *standard-A* otsik
- NXT juhtplokk koos arvutiga ühendamiseks mõeldud USB kaabliga
- Arvuti
- NXT puutesensor
- RJ-12 kaableid seadmete ühendamiseks juhtploki külge
- Mõned LEGO jupid puuteanduri ja arvutikontrolleri ühendamiseks juhtploki külge

Ülesande püstitus: LEGO robot Karli on kaua istunud oma karbis ja igatsenud suhelda sinuga läbi arvutiekraani. Nüüd leidis ta endale abimehed: NXTHID seadme, mis abivalmilt on nõus tema mõtteid sinu kuvarile kuvama ja NXT puutesensori, mis lubab alandlikul robotil sinuga suhelda vaid siis kui sa teda puuteandurit vajutades julgustad.

Lahenduse idee: Lugeda puutesensorit ja kui toimub vajutus, siis väljastada soovitud tekst NXTHID kontrolleri ploki kaudu ekraanil avatud ja aktiivseks tehtud tekstiredaktoris (näiteks „Notepad“).

Üks võimalik lahendus: Esiteks tuleks ühendada kontrolleri RJ-12 kaabli abil LEGO MINDSTORMS NXT juhtploki külge (ühendamiseks kasuta porte 1-4). Seejärel ühenda sarnaselt kontrolleri puutesensor roboti juhtploki külge. Siis kasutades vastavat, *mini-B* ja *standard-A* otsikutega, USB kaablit ühendada NXTHID seade arvuti külge. Kui kõige eelnevaga on hakkama saadud, ühendada roboti juhtplokk arvuti külge, kasutades selleks komplektis kaasasolevat USB kaablit. Kui kõik seni kirjeldatud tegevused on korrektselt tehtud, siis operatsioonisüsteem Windows 7 peaks automaatselt tegema tarkvarapaigalduse. Järgnevalt tuleb käivitada graafiline programmeerimiskeskond LEGO MINDSTORMS Education v2.0 ja kontrollida kas on lisatud plokk Mindsensors NXTHID kontrolleri jaoks. Seejärel võib asuda programmeerimise kallale.

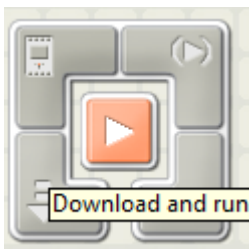
Valmis programm võiks olla analoogne joonisel 14 kujutatuga.



Joonis 14. Ülesande nr 1 üks võimalik lahendus.

Lahendusfail: Esimene_YL.rbt [Lisa 2].

Programmi käivitamiseks robotil, tuleb see roboti juhtploki laadida ja käivitada. Selleks on kiireim moodus vajutades „Download and run“ nuppu (Joonis 15).



Joonis 15. Programmi laadimine ja käivitamine robotil.

Tekkida võivad probleemid ja nende lahendamine: Tähelepanu tuleks pöörata, et kontrolleri ja puutesensor oleks ühendatud õigesse NXT pesasse.

Idee ülesande edasiarendamiseks: Proovida ka „*Direct Keyboard Data*“ töörežiimi, kasutades Lisas 1 toodud kooditabelit sümbolite defineerimiseks.

3.2 Ülesanne 2 – NXT aju ja NXTHID seadme abil mängu juhtpuldi tegemine

Tase: keskmine

Eesmärk: Ülesandeks on tutvuda erinevate klaviatuuriväljundite väljastamise võimalusega NXT robotilt arvutile ja ühtlasi ka mitme tsükliga programmide koostamise õppimine.

Ülesande täitmiseks vajalikud töövahendid:

- Mindsensors NXTHID seade ja *USB* ühenduskaabel, mille ühes otsas on isane *mini-B* otsik ja teises otsas isane *standard-A* otsik
- NXT juhtplokk koos arvutiga ühendamiseks mõeldud USB kaabliga
- Arvuti
- Kahte NXT puutesensorit
- Ühte interaktiivset servomootorit
- RJ-12 kaableid seadmete ühendamiseks juhtploki külge
- LEGO juppe puuteandurite, servomootori ja arvutikontrolleri ühendamiseks juhtploki külge

Ülesande püstitus: Ats on alati tahtnud mängida arvutis Tetrise juhtkangi abil. Ta sai jõuludeks NXT robotikomplekti ja NXTHID kontrolleri. Aita tal jõuda lahenduseni ja konstrueeri ühe servomootori ja kahe puutesensoriga juhtkang, mis suudaks veebileheküljel <http://www.freetetris.org/game.php> asuvat Tetrise mängida.

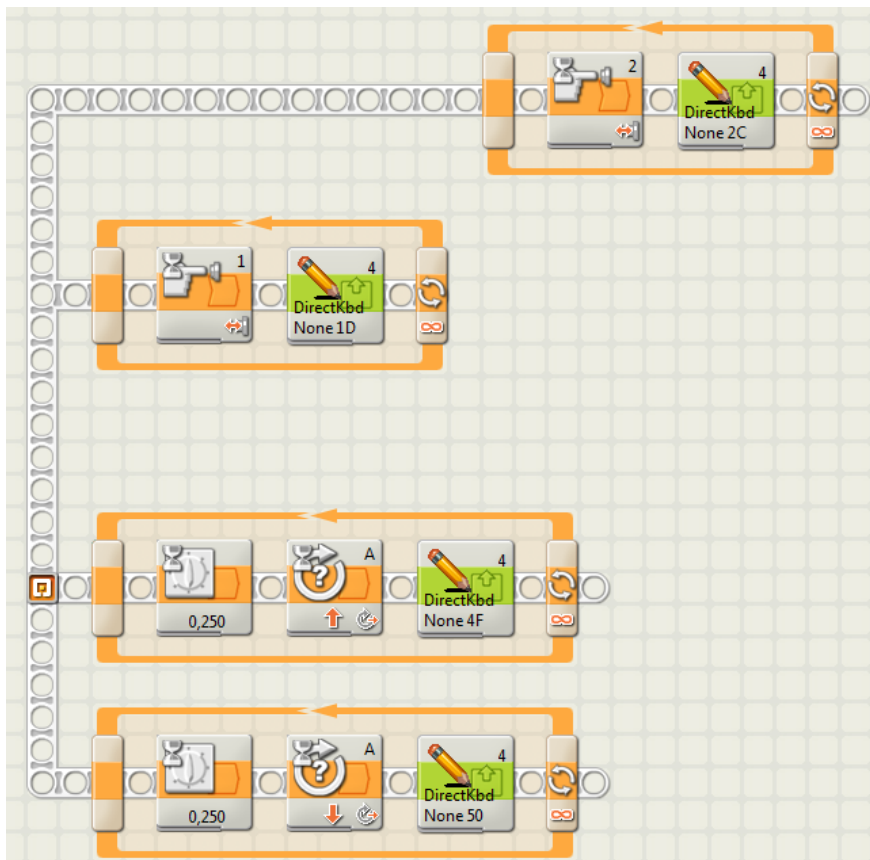
Lahenduse idee: Servomootorit paremale kallutades imiteerib see klaviatuuri paremale osutatavat nooleklahvi ja vasakule kallutades vasakut nooleklahvi. Üks puutesensor töötab seda vajutades Tetrise klotsi keerajana ja üks puutesensor on kiiresti klotsi allalaskja.

Üks võimalik lahendus: Ülesande lahendamiseks tuleks esmalt konstrueerida sarnane robot joonise 16 peal kujutatavaga.



Joonis 16. Konstrueeritud juhtpult.

Seejärel programmeerida joonisel 17 kujutatuga sarnane programm.



Joonis 17. Ülesande nr 2 üks võimalik lahendus.

Lahendusfail: Teine_YL.rbt [Lisa 2].

Tekkida võivad probleemid ja nende lahendamine: Antud ülesande puhul peab olema lahendajal piisav inseneritaip, konstrueerimaks selline juhtkang, mis oleks selle kasutajale ka käepärane.

Idee ülesande edasiarendamiseks: Kuna tänapäeva juhtkangid on kaheteljelised, siis võiks proovida ehitada ka kahe servomootoriga varianti ja lisada erinevaid funktsioone ühele puutesensorile, näiteks kui sensor on alumises asendis, siis antakse arvutisse üks väljund ja kui toimub vajutus, siis antakse teine.

3.3 Ülesanne 3 – NXT radar

Tase: Raske

Eesmärk: Õpetada keerukamaid võimalusi, mida pakub NXT kontrolleri.

Ülesande täitmiseks vajalikud töövahendid:

- Mindsensors NXTHID seade ja *USB* ühenduskaabel, mille ühes otsas on isane *mini-B* otsik ja teises otsas isane *standard-A* otsik
- NXT juhtplokk koos arvutiga ühendamiseks mõeldud USB kaabliga
- Arvuti
- NXT puutesensor
- NXT kaugussensor
- Ühte interaktiivset servomootorit
- RJ-12 kaableid seadmete ühendamiseks juhtploki külge
- Kaks LED lampi
- LEGO juppe puuteandurite, servomootori ja arvutikontrolleri ühendamiseks juhtploki külge

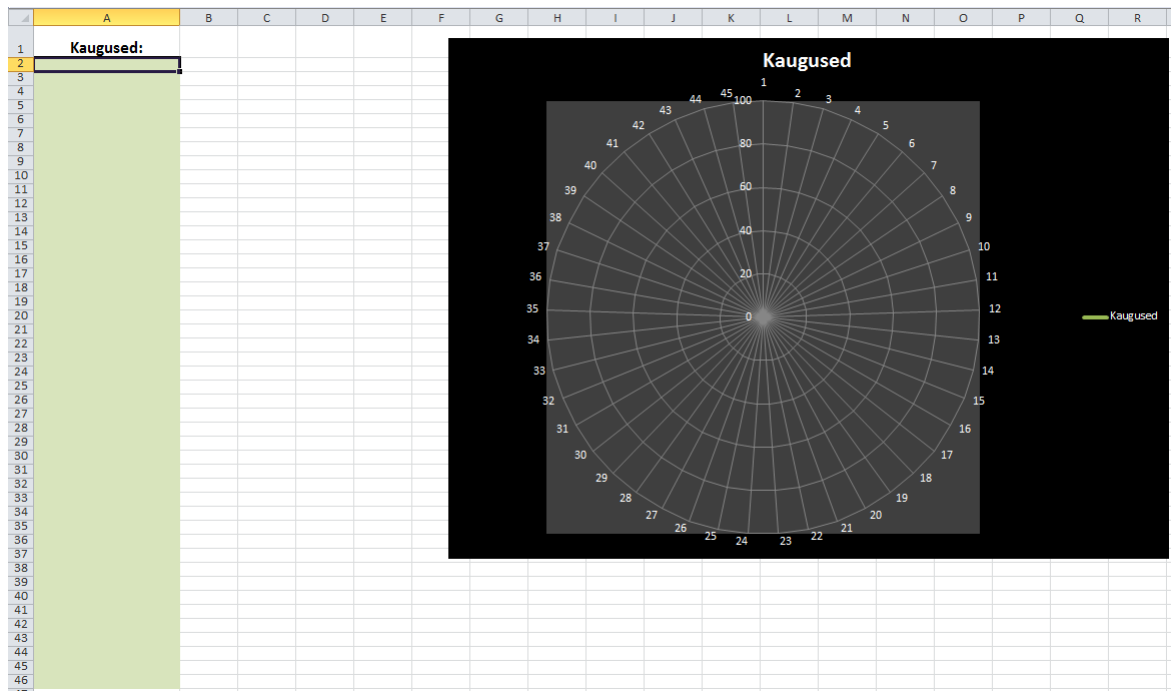
Ülesande püstitus: Väljas oli suur torm ja selle tõttu on majast elekter kadunud ning kõik on pime. Juku soovib teada oma asukohta pimedas ruumis. Selleks tuleb talle appi LEGO robot ja Exceli programm RADAR (Lisa 2), mis näitab iga 8 kraadi tagant mõõdetud kaugust graafikul. Juku annab märku mõõtmiste alustamisest ja lõpetamisest, vajutades puutesensorit. Mõõta saab 360° ulatuses (45 mõõtmist kokku). Kui toimub mõõtmine põleb punane LED lamp ja kui mõõtmist ei toimu, siis roheline LED lamp.

Lahenduse idee: Ehitada robot kus on servomootori küljes kaugussensor. Kasutada tuleb Lisas 2 viidatud Exceli programmi RADAR.xlsx.

Üks võimalik lahendus: Esiteks ehitada joonisel 18 näidatud robotiga sarnane robot. Seejärel koostada NXT-G's vastavalt ülesande tingimustele programm, mis väljastaks Exceli programmile tulemusi (vaata Lahendusfail: Kolmas_YL.rbt [Lisa 2]). RADAR.xlsx programmile tuleb anda kaugusi ette kastidesse A2-A46 (Joonis 19).

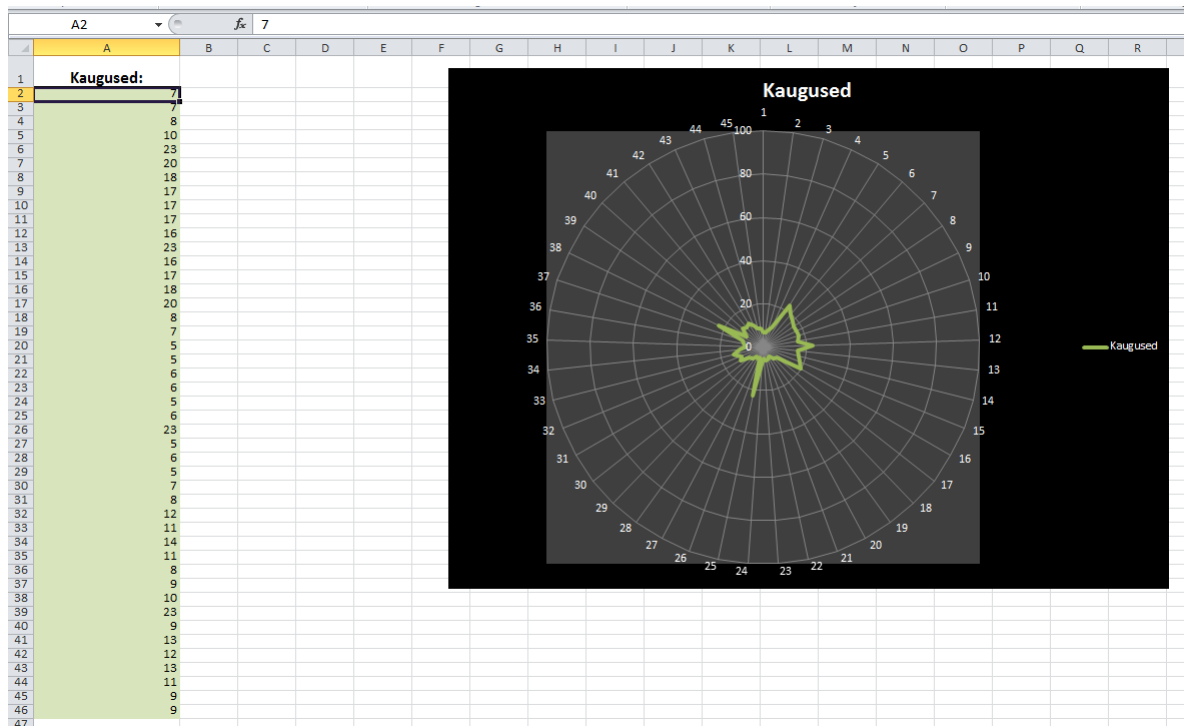


Joonis 18. Üks võimalik radari konstruktsioon.



Joonis 19. RADAR.xlsx programm enne roboti tööd.

Kui ülesanne on õnnestunud, siis peaks lahendaja nägema sarnast pilti nagu joonisel 20 on kujutatud.



Joonis 20. RADAR.xlsx programm peale roboti tööd.

Tekkida võivad probleemid ja nende lahendamine: Kaugussensor peab saama vabalt liikuda ja soovitavalt asetsema võimalikult kõrgel. Tähelepanu tuleks pöörata ka juhtmete asetsemisele, et need ei jääks mõõtmise ajal kaugussensorile ette. Kaugussensori maksimaalne mõõtekaugus on 255 mm, seega ei tohi ruum olla väga suur. Oluline on ka see, et kursori asetsemine mõõtmiste alguses RADAR.xlsx programmis A2 kastis.

Kokkuvõte

Kui töö autor veel algklassides käis, siis huvitasid teda just sellised ained, kus õpetajad olid loomingulised ja õpetasid nii-öelda läbi mängu. Miks mitte rakendada sama meetodit ka vanematele õpilastele ja tekitada neis huvi reaalinete vastu. Huvi tekitamisele aitab suurepäraselt kaasa robotikakursuste ja huviringide loomine, mis baseeruvad LEGO MINDSTORMS NXT robotitel. Kahjuks ei sisalda NXT baaskomplektid alati kõike vajalikku erinevate reaalinete õpetamiseks (näiteks füüsikas tuulekiiruse mõõtmine, jõu mõõtmine jne.). Selleks, et pakkuda suuremat mitmekesisust on mitmed firmad, sealhulgas ka Mindsensors, hakanud tootma erinevaid andureid, multipleksereid ja kontrollereid. Üheks taoliseks lisaseadmeks on NXTHID kontrolleri.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli tutvuda ja kirjeldada firma Mindsensors poolt toodetava arvuti kontrolleri NXTHID ja luua selle kontrolleri tutvustamiseks erineva raskusastmega ülesandeid. Antud materjal on edaspidi Kooliroboti projekti raames õppematerjaliks koolides.

Bakalaureusetöö esimeses peatükis kirjeldatati üldisemalt liidest ja kasutajaliidesseadmeid. Seejärel teises peatükis anti ülevaade NXTHID kontrolleri ja selle kasutamisest NXT robotikomplektiga. Kolmas peatükk sisaldas kolme erineva raskusastmega ülesannet, mis olid koostatud nii, et need võimaldaksid seadme järk-järgulist õppimist.

Kõik eesmärgid, mis antud lõputööd kirjutama hakates seati, said täidetud. Töö autor õppis tundma kasutajaliidesseadmete klassi, firma Mindsensors kontrolleri, NXT robotit, erinevaid baaskomplekti andureid ja NXT-G programmeerimiskeskonda. Huvitavaks muutis selle bakalaureusetöö kirjutamise teadmine, et antud materjale on võimalik ka realselt NXT robotitel põhinevas õppetöös kasutada.

Mindsensors computer controller for LEGO NXT

Bachelor Thesis

Tambet Artma

Summary

Subjects that focus on IT and physics are not very popular in schools, but there is constant need for specialists who are willing to work in information technology sector. That is why it is important to make these subjects more interesting to learn. For example using NXT robot kits in studies.

The main goal of this bachelor thesis is to study Mindsensors NXTHID computer controller and create educational material for the use of this controller in courses that base on LEGO MINDSTORMS NXT robot kits. All the material is in Estonian.

The material will be a part of „Koolirobot“ project that started in 2007. Thesis follows certain structure. The first chapter introduces human interface devices in general. The second chapter is about working principles of NXTHID controller and gives an overview of its usage with NXT robot. The second chapter also explains how to program NXTHID using NXT-G programming software. The third chapter contains of three exercises with various difficulties from easy to advanced. Possible solutions are also offered for these exercises. All the solution files are on the CD that is included with this bachelor thesis. The first and the second exercise have a hint for making the exercise more challenging.

Kasutatud kirjandus

1. Postimees „IT sektor vajab tuhandeid uusi töötajaid“
<http://www.e24.ee/?id=442920> (Viimati vaadatud 21.05.2011)
2. Tiigrihüppe SA „Tiigri Projekt“ <http://www.tiigrihype.ee/?op=body&id=169>
(Viimati vaadatud 12.03.2011)
3. Mindsensors <http://www.mindsensors.com/> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
4. Vernier <http://www.vernier.com/nxt/> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
5. HiTechnic <http://www.hitechnic.com/> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
6. Loengu slaidid aines „Automatiseerimistehnika ja arvjuhtsüsteemid“ Õppejõud:
Valdur Veski, Tallinn 2003
<http://www.vk.edu.ee/uliopilastele/Materials/RDER/Automatiseerimistehnika%20ja%20arvjuhtimissusteemid/Liides.ppt> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
7. E-teatmik <http://vallaste.ee/> (Viimati vaadatud 20.05.2011)
8. Wikipedia „Human interface device“
http://en.wikipedia.org/wiki/Human_interface_device (Viimati vaadatud 12.03.2011)
9. A Closer Look at HID Class Autor Dr. Bob Miller
http://www.tracesystemsinc.com/USB_Tutorials_web/USB/B1_USB_Classes/Books/A3_A_Closer_Look_at_HID_Class/sbook2.htm (Viimati vaadatud 12.03.2011)
10. ProAudioStar „HID vs. MIDI: What’s the difference?“
<http://www.proaudiostar.com/hid-vs-midi-whats-the-difference> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
11. Sun Developers Network „Using the USB Generic Driver (Ugen) to Access USB Peripherals on Solaris Systems“
http://developers.sun.com/solaris/developer/support/driver/images/hid_device.gif
12. Beyond Logic „USB Descriptors“
<http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb5.shtml#DeviceDescriptors> (Viimati vaadatud 20.05.2011)

13. Mindsensors.com „NXT Based Human Interface Device“
http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=119 (Viimati vaadatud 12.03.2011)
14. Mindsensors.com „NXT Based Human Interface Device“
http://www.mindsensors.com/images/pagemaster/NXTHID_w250_1.png (Viimati vaadatud 12.03.2011)
15. Wikipedia „Universal Serial Bus“
http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus (Viimati vaadatud 20.05.2011)
16. NXTHID-User-Guide-English
http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS_Document_op=downloadFile&JAS_File_id=677 (Viimati vaadatud 12.03.2011)
17. Mindsensors.com „NXT-G Blocks“
http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS_DocumentManager_op=categories&category=12&MMN_position=31:31 (Viimati vaadatud 12.03.2011)
18. Wikipedia „LabVIEW“ <http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
19. National Instruments „LabVIEW“ <http://www.ni.com/labview/> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
20. Wikipedia „Robotc“ <http://en.wikipedia.org/wiki/Robotc> (Viimati vaadatud 12.03.2011)
21. ROBOTC.NET <http://www.robotc.net/> (Viimati vaadatud 12.03.2011)

Lisad

Lisa 1. Klaviatuuri elementide koodid *Direct Data Mode*

töörežiimi jaoks

Tabelis on väljatoodud klaviatuuri väljundite kuju kuuteistkümnendkoodis.

Võtme nimi	Võtme väärtus kuuteistkümnendkoodis
System Power	81
System Sleep	82
System Wake	83
No Event	00
Overrun Error	01
POST Fail	02
ErrorUndefined	03
a A	04
b B	05
c C	06
d D	07
e E	08
f F	09
g G	0A
h H	0B
i I	0C
j J	0D
k K	0E
l L	0F
m M	10
n N	11
o O	12
p P	13
q Q	14
r R	15
s S	16
t T	17
u U	18
v V	19
w W	1A
x X	1B
y Y	1C
z Z	1D
1 !	1E
2 @	1F
3 #	20

4 \$	21
5 %	22
6 ^	23
7 &	24
8 *	25
9 (26
0)	27
Return	28
Escape	29
Backspace	2A
Tab	2B
Space	2C
- _	2D
= +	2E
[{	2F
] }	30
\	31
Europe 1	32
; :	33
' "	34
` ~	35
, <	36
. >	37
/ ?	38
Caps Lock	39
F1	3A
F2	3B
F3	3C
F4	3D
F5	3E
F6	3F
F7	40
F8	41
F9	42
F10	43
F11	44
F12	45
Print Screen	46
Scroll Lock	47
Break (Ctrl-Pause)	48
Pause	48
Insert	49
Home	4A
Page Up	4B
Delete	4C
End	4D
Page Down	4E

Right Arrow	4F
Left Arrow	50
Down Arrow	51
Up Arrow	52
Num Lock	53
Keypad /	54
Keypad *	55
Keypad -	56
Keypad +	57
Keypad Enter	58
Keypad 1 End	59
Keypad 2 Down	5A
Keypad 3 PageDn	5B
Keypad 4 Left	5C
Keypad 5	5D
Keypad 6 Right	5E
Keypad 7 Home	5F
Keypad 8 Up	60
Keypad 9 PageUp	61
Keypad 0 Insert	62
Keypad Delete	63
Europe 2	64
App	65
Keyboard Power	66
Keypad =	67
F13	68
F14	69
F15	6A
F16	6B
F17	6C
F18	6D
F19	6E
F20	6F
F21	70
F22	71
F23	72
F24	73
Keyboard Execute	74
Keyboard Help	75
Keyboard Menu	76
Keyboard Select	77
Keyboard Stop	78
Keyboard Again	79
Keyboard Undo	7A
Keyboard Cut	7B
Keyboard Copy	7C
Keyboard Paste	7D

Keyboard Find	7E
Keyboard Mute	7F
Keyboard Volume Up	80
Keyboard Volume Dn	81
Keyboard Locking Caps Lock	82
Keyboard Locking Num Lock	83
Keyboard Locking Scroll Lock	84
Keypad , (Brazilian Keypad .)	85
Keyboard Equal	86
Sign Keyboard Int'l 1 ろ (Ro)	87
Keyboard Int'l 2 かたかな ひらがな ローマ字 (Katakana/Hiragana)	88
Keyboard Int'l 2 □ (Yen)	89
Keyboard Int'l 4 前候補 変換 (次候補) 全候補 (Henkan)	8A
Keyboard Int'l 5 無変換 (Muhankan)	8B
Keyboard Int'l 6 (PC9800 Keypad ,)	8C
Keyboard Int'l 7	8D
Keyboard Int'l 8	8E
Keyboard Int'l 9	8F
Keyboard Lang 1 한/영 (Hanguel/English)	90
Keyboard Lang 2 한자 (Hanja)	91
Keyboard Lang 3 かたかな (Katakana)	92
Keyboard Lang 4 ひらがな (Hiragana)	93
Keyboard Lang 5 半角/全角 (Zenkaku/Hankaku)	94

Keyboard Lang 6	95
Keyboard Lang 7	96
Keyboard Lang 8	97
Keyboard Lang 9	98
Keyboard Alternate Erase	99
Keyboard SysReq/Attention	9A
Keyboard Cancel	9B
Keyboard Clear	9C
Keyboard Prior	9D
Keyboard Return	9E
Keyboard Separator	9F
Keyboard Out	A0
Keyboard Oper	A1
Keyboard Clear/Again	A2
Keyboard CrSel/Props	A3
Keyboard ExSel	A4
RESERVED	A5-DF
Left Control	E0
Left Shift	E1
Left Alt	E2
Left GUI	E3
Right Control	E4
Right Shift	E5
Right Alt	E6
Right GUI	E7

Lisa 2. CD ülesannete lahendusfailidega

Tabelis on toodud käesoleva tööga kaasasoleval CD-l asuvad ülesannete lahendusfailid.

Faili nimi	Kirjeldus
Esimene_YL.rbt	Ülesande 1. lahendus
Teine_YL.rbt	Ülesande 2. lahendus
Kolmas_YL.rbt	Ülesande 3. lahendus
RADAR.xlsx	Ülesandes 3. kasutatav EXCELI programm

Kaasasolev CD, mis sisaldab eelnevas tabelis olevaid faile, asub töö tagakaane küljes.