

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse instituut
Informaatika eriala

Kaspar Sarapuu

Digitaalandurite multiplekser

LEGO MINDSTORMS NXT-le

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: MSc Anne Villems

Kaasjuhendaja: MA Taavi Duvin

Autor:

“.....“ mai 2012

Juhendaja:

“.....“ mai 2012

Kaasjuhendaja:

“.....“ mai 2012

Lubada kaitsmisele

Professor:

“.....“ 2012

TARTU 2012

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Ülevaade multiplekseriga SPLIT-Nx-v2 seotud tehnoloogiatest	5
1.1. Multiplekserite tööpõhimõte	5
1.2. I2C protokollit tutvustus	11
2. SPLIT-Nx-v2 digitaalandurite multiplekser	14
2.1. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 lühitutvustus.....	15
2.2. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 tööpõhimõte	16
2.3. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 kasutamine	16
2.4. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 piirangud	17
2.5. SPLIT-Nx-v2 programmeerimine	18
2.5.1. I2C protokollit jaoks kohandatud püsivara.....	18
2.5.2. Toetatud andurite I2C protokollit aadressi kontrollimine ja muutmise	20
2.5.3. I2C protokollit adresseerimine anduri plokis	23
3. Programmeerimisülesandeid multiplekserile	25
3.1. Programmeerimisülesanne 1	25
3.2. Programmeerimisülesanne 2	26
Kokkuvõte	28
Kirjandus	29

Sissejuhatus

Viimastel aastatel on meedias tõstatatud probleem, et ülikoolide loodus- ja täppisteaduste ning tehnikavaldkonna erialadel on liiga vähe lõpetajaid. Sellest võib lugeda näiteks allikatest [1] ja [2]. Esmaseks põhjuseks võib pidada vähest konkurentsi mainitud erialadele sisseastumisel. Eeltoodu viitab vähesele huvile reaalinete vastu. Huvi reaalinete vastu peaks alguse saama algkoolis või isegi lasteaias ning tõusma põhikoolis ja gümnaasiumis. See tähendab, et matemaatika, füüsika ja keemia tunnid peavad olema õpilasele huvitavad ja põnevad. Paljud õpilased kindlasti nõustuvad, et hetkeolukord selline ei ole. Lapsed ei näe ainete praktilist poolt. Arvatakse, et põhikoolis (ja veel rohkem gümnaasiumis) läbitavatel reaalinetele ei ole tegeliku eluga mingit pistmist. On ainult teooriad ning numbrid ja märgid vihikus, mille vajalikkus jääb tihti tavaõppijale ebaselgeks.

Probleemi võiks aidata lahendada robotika kaasamine õppetöösse. Esiteks saavad õpilased osa reaalinetes õpitu realiseerimisest ja teiseks teevad robotid tunni põnevamaks. Roboti ehitamine aga tundub keeruline ja kulukas. Selle vastu aitab Taani mänguasjatootja LEGO, kes on välja töötanud oma kuulsatel LEGO klotsidel põhineva roboti ehitamise komplekti LEGO MINDSTORMS NXT. Roboti ehitamine ei ole nendega keeruline – LEGO klotsidest ehitamine on intuiitiivne ja lastele harjumuspärane. Samuti ei ole kulutused suured, sest roboti saab hiljem lahti võtta ja kõiki detaile uue roboti loomisel taaskasutada. Lisaks on roboti ehituskäik võimalik põhjalikult dokumenteerida, nii et igaüks saab roboti taasluua. LEGO on spetsiaalselt õppeasutustes kasutamiseks loonud komplekti LEGO MINDSTORMS Education.

Inseneriteaduse ja robotika edendamiseks Eesti koolides loodi kooliroboti projekt, mis tegeleb LEGO MINDSOTRMS NXT populariseerimisega koolides. Selleks viiakse läbi koolitusi, koostatakse emakeelseid õppematerjale, tehakse robotite esitlusi ja korraldatakse võistlusi. Käesoleva bakalaureusetöö ajendiks sai idee aidata koostada õppematerjal robotiga ühildava multiplekseri kasutamiseks.

LEGO MINDSTORMS Education komplekt on mõeldud ühe roboti ehitamiseks. Koostatava roboti eesmärk ja teostus võib väga palju varieeruda. Komplektis on üks roboti juhtplokk ehk väike arvuti, millel töötab robotit juhtiv programm, kolm mootorit, viis andurit ja hulgaliselt LEGO klotse. Võimalik on juurde osta erinevate tootjate andureid, mootoreid ja muid ühilduvaid seadmeid. Juhtplokkiga saab algselt ühendada 3 mootorit ja 4 andurit. Selleks, et ühendada juhtplokkiga rohkem kui 4 andurit on valmistatud lisaseadmed, mida nimetatakse multiplekseriteks. Antud lõputöö keskmes on firma Mindsensors poolt toodetud digitaalandurite multiplekser SPLIT-Nx-v2, mis on mõeldud kasutamiseks LEGO MINDSTORMS NXT robotitega .

Töö peaesmärk on uurida multiplekserit SPLIT-Nx-v2, selle kasutamise võimalusi ja kasutamisega seonduvaid piiranguid. Kõrvaleesmärgiks on, et tööd ning selle osi saaks kasutada eestikeelse dokumentatsioonina ja osana õppematerjalist koolis robotika õpetamisel.

Bakalaureusetöö sihtgrupp on tehnikahuviline põhikooliõpetaja, kes pärast töö lugemist peaks olema võimeline tutvustama multiplekserit SPLIT-Nx-v2 õpilastele koolitunnis või huviringis. Tööd kirjutades on silmas peetud, et sisu oleks mõistetav kõigile, kes omavad põhiteadmisi LEGO robotitest. Sellest lähtuvalt on püütud hoida tekst lihtsana ja keerulisemad terminid on lahti seletatud. Vormistamisel on eeskujuks võetud allikas [3] toodud juhised.

Töö koosneb kolmest osast. Esimeses peatükis on kirjutatud multiplekserite üldistest omadustest, tööpõhimõttest ja vajalikkusest ning tutvustatakse multipleksimist võimaldavat infoedastuse protokollit I2C. Teises peatükis vaadeldakse multiplekseri SPLIT-Nx-v2 omadusi ja selle kasutamisel tekkivaid eripärasid LEGO NXT-G programmeerimise keskkonnas. Kolmandas peatükis on toodud mõned näiteülesanded multiplekseri SPLIT-Nx-v2 kasutamiseks.

1. Ülevaade multiplekseriga SPLIT-Nx-v2 seotud tehnoloogiatest

Selle peatüki esimeses punktis räägitakse, mis on multiplekser, milleks seda kasutatakse ja antakse ülevaade erinevatest multipleksimise meetoditest. Teises punktis kirjeldatakse I2C protokoll.

1.1. Multiplekserite tööpõhimõte

Selles punktis selgitatakse multiplekseri mõistet ja antakse lühike ülevaade, kuidas multiplekserid on realiseeritud. Peatükk on kirjutatud tuginedes materjalidele [4], [5], [6].

Tänapäeva maailmas on informatsiooni liikumisel väga suur tähtsus. Kui üks seade tahab edastada informatsiooni teisele seadmele, on kõige lihtsam viis vedada kahe seadme vahele kaabel. Kui seadmeid on palju, tuleb ka kaableid palju.

Võivad tekkida järgmised probleemid:

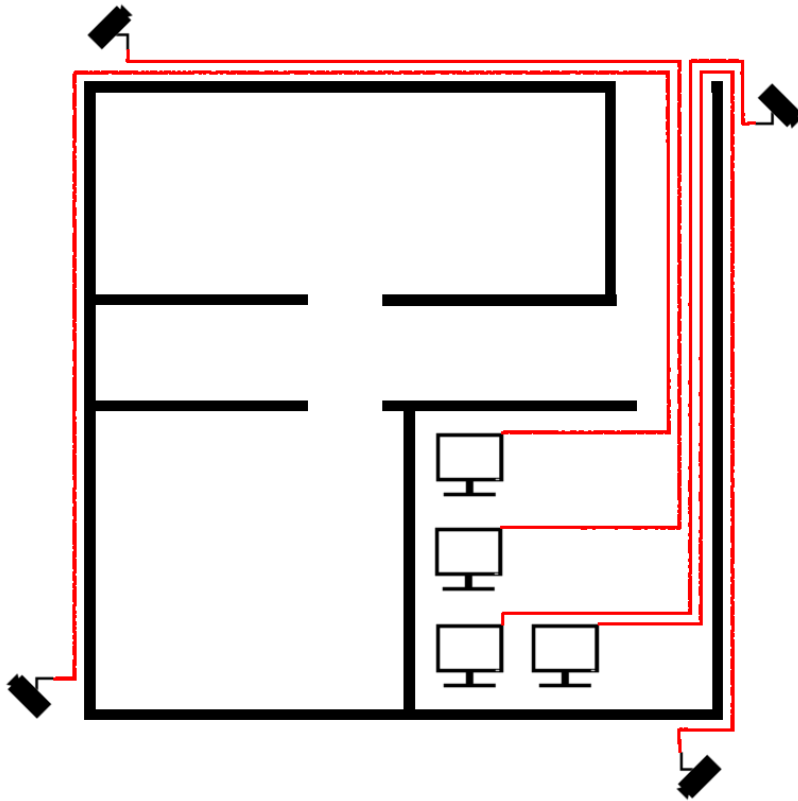
- kaablite paigaldamine on tihti töömahukas ja keeruline;
- kaablid ei pruugi ära mahtuda;
- paralleelselt jooksvad kaablid mõjutavad üksteist elektromagnetiliselt;
- liikuvale elemendile muutub suur kaablihulk takistuseks;
- kaablite kõrge hind.

Nendest probleemidest ajendatult on välja töötatud erinevaid viise, kuidas kasutada mitme kaabli asemel ühte suuremat, mille läbilaskevõime on mitme kaabli summa. Selle jaoks kasutatakse spetsiaalset seadet: multiplekserit. Reeglina tekib vajadus multiplekseri järele siis, kui andmeedastusvahendiks on kaabel, aga multipleksereid kasutatakse ka teiste andmeedastusviiside puhul.

Multiplekser on seadeldis, mis ühendab mitu sisendsignaali üheks väljundsignaaliks. Multiplekseri tööd nimetatakse multipleksimiseks. Lihtsustatult võib multipleksimise kirja panna järgnevalt. Multiplekserisse tuleb sisse mitu andmeliini. Multiplekser töötleb kõikidelt andmeliinidelt sisse tulevaid andmevooge ja liidab need üheks loogiliseks tervikuks. Üheks põimitud andmevoog saadetakse välja ühte andmeliini kaudu.

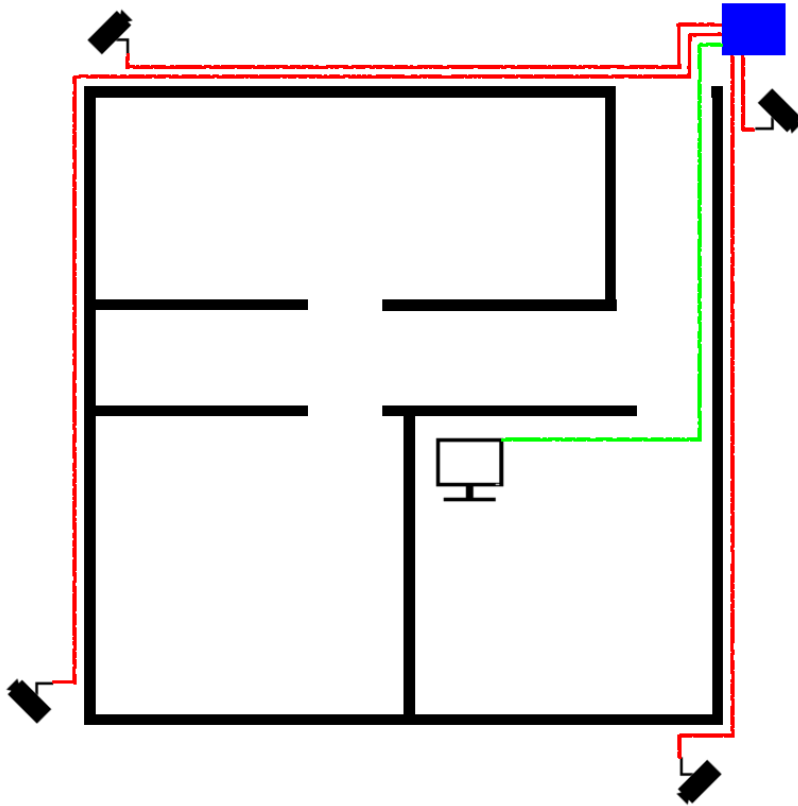
Multiplekser võib olla realiseeritud tarkvaraliselt või riistvaraliselt. Tarkvaralise lahenduse puhul on põhirõhk programmeerimisloogikal. Riistvaraline multipleksimine teostatakse selleks spetsiaalselt ehitatud seadme abil. Multipleksimise käigus võib andmete kvaliteet väheneda või andmevoogudes olla ajutisi pause, sõltuvalt kasutatavast tehnoloogiast. Paljudes olukordades on multipleksimise tulemusel tekkinud kvaliteedi vähenemine siiski märkamatu või ebaoluline. Seda väidet saab selgitada järgmise näite varal.

Vaadeldakse valvesüsteemi, mis koosneb neljast kaamerast. Selleks, et kõikide kaamerate pilti korraga jälgida, oleks vaja vedada iga kaamera juurest kaabel valveruumi ja ühendada monitoriga. Seega läheb vaja nelja pikka kaablit ja nelja monitori. Joonisel 1 on kujutatud üks võimalik kaabeldus. Kaamera pilti ei edastata pideva voona. Teatud intervalli tagant edastatakse kaamera pilt, muul ajal on liin vaba.



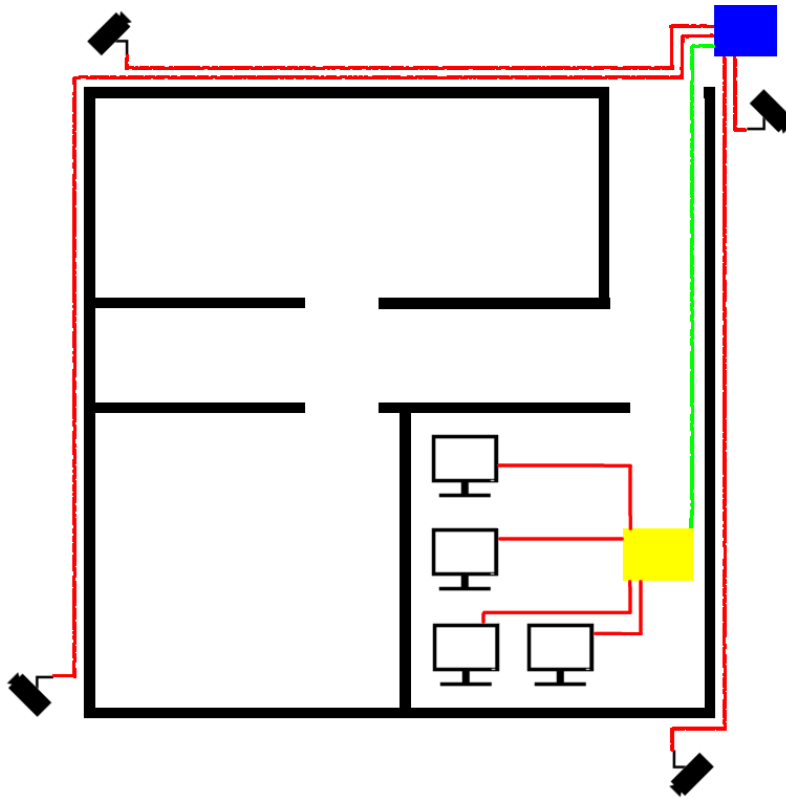
Joonis 1. Valvesüsteem ilma multiplekserita.

Multiplekseri abiga saab kasutada nelja kaamerapildi jälgimiseks ühte monitори. Kaamerate pilt võib olla monitори ekraanil kuvatud kordamööda või jagatakse ekraan neljaks ja kuvatakse kõikide kaamerate pildid korraga. Seega aitab multiplekser vähendada vajalike monitoride hulka. Multiplekseriga saab lihtsustada ka kaabeldustõid. Kui asetada multiplekser kesksesse kohta, tuleb kaameratest viia kaablid multiplekserisse ja sealt edasi valveruumi läheb ainult üks kaabel. Multipleksimise tulemusel kasutatakse liini ära efektiivsemalt - väheneb aeg, mil kaabli kaudu teavet ei edastata. Joonisel 2 on eelkirjeldatud turvasüsteem kasutades multiplekserit. Multiplekser on joonisel tähistatud sinise kastina. Rohelisega tähistatud kaablit mööda liigub kõikide kaamerate kokku liidetud signaal.



Joonis 2. Valvesüsteem multiplekseriga (sinine ristkülik).

Tavaliselt kasutatakse multiplekserit koos demultiplekseriga. Demultiplekser harutab ühest sisendist tuleva signaali lahti ja jagab selle mitme väljundi vahel nii, nagu see oli enne multipleksimist. Turvasüsteemi näitel võime turvaruumi tuleva ühe signaali demultiplekseri abiga uuesti jaotada neljaks ja kuvada pildi neljas monitoris. Selline lahendus on joonisel 3. Demultiplekser on joonisel kollane ristkülik. Siin on multiplekseri eesmärk vähendada ühendavat kaabeldust. Joonistel 2 ja 3 kujutatud süsteeme võrreldes näeme, et koos multiplekseriga võib kasutada demultiplekserit, kuid igas olukorras ei ole see vajalik.



Joonis 3. Valvesüsteem multiplekseri (sinine ristkülik) ja demultiplekseriga (kollane ristkülik).

Multipleksimist võib võrrelda ka teedevõrguga. Vaadeldes kahte linna ja neid ühendavat kiirteed. Linna sees on palju väikeseid teid ja tänavaid, aga kahte linna ühendab üks suur maantee. Autod, mis on teel teise linna, alustavad paljudelt väikestelt tänavatelt ja jõuavad lõpuks suurele kiirteele. Multiplekseri funktsiooni täidavad siin liikluskorraldusvahendid: valgusfoorid, liiklusemärgid ja parema käe reegel. Liikluses kasutatakse mitut erinevat tehnikat, selleks et suunata tänavatel sõitvad autod üheks suureks liiklusvooks.

Multiplekserid kasutavad mitmeid erinevaid tehnikaid ja tehnoloogiaid sõltuvalt lahendatava probleemi olemusest ja andmeside liigist. Multiplekseritest parema ülevaate andmiseks tutvustatakse järgmistes lõikudes põhilisi multipleksimise meetodeid.

Kõige lihtsam multipleksimise viis on **ruumijaotusega** multipleksimine (inglise keeles *space-division multiplexing*). Ruumijaotusega multipleksimise puhul eraldatakse igale signaalile oma kanal. Kaabelühenduse korral tähendab see, et iga signaali jaoks on eraldi traat ja erinevaid signaale ei edastata mööda sama traati. Näiteks olukord, kus on vaja ühendada internetiga kaks arvutit. Selleks tuleb vedada kaablid arvutitest teises ruumis asuvasse ruuterisse. Tavaliselt kasutakse selleks kahte võrgukaablit. Võrgukaabli sees on kaheksa vasktraati. Kui kiirus ei ületa 100 megabitti sekundis, kasutatakse andmete edastamiseks vaid nelja traati [7] ja ülejäänud nelja traati ei kasutata. Kui ei ole vaja suuremat kiirust kui 100 megabitti sekundis, võib ühendada kaabli mõlemasse otsa kaks pistikut. Niiviisi toimides rakendatakse ruumijaotusega multipleksimist ja võib kahe kaabli asemel kasutada ühte.

Juhtmevaba ühenduse puhul edastatakse signaal läbi mitme antenni korraga. Sellist süsteemi koos pöörd-multipleksimisega (pöörd-multipleksimine on kirjeldatud hilisemas lõigus) tarvitatakse uues traadita andmeside standardis, IEEE 802.11n Wi-Fi, mis võimaldab edastada andmeid kordades kiiremini kui sellele eelnevad standardid, mis ruumijaotusega multipleksimist ei kasuta.

Sagedusjaotusega (inglise keeles *frequency-division multiplexing*) multipleksimise korral jaotatakse kasutada olev sagedusvahemik mitmeks väiksemaks vahemikuks, kus edastatakse signaalid. Seda süsteemi kasutatakse telefoniliinides. Alajaamade vahelised kaablid on palju suurema läbilaskevõimega kui alajaama ja klienti ühendav kaabel. Samuti kasutatakse sagedusjaotusega multipleksimist kaabeltelevisiooni edastamisel. Kaabeltelevisioonis edastatakse mitmeid telekanaleid mööda ühte kaablit. Kogu kaabli poolt edastatav sagedusvahemik jagatakse mitmeks väiksemaks. Iga kanal saab endale kindlalt määratletud väikse sagedusvahemiku, mille piirides kanali signaal edastatakse. Valides puldilt kanali, valib digiboks välja just sellele kanalile määratud sagedusvahemiku ja edastab pildi telerisse.

Ajajaotusega (inglise keeles *time-division multiplexing*) multipleksimise juures jagatakse aeg taktideks. Iga takt on omakorda jagatud kõikide signaalide vahel nii, et igale signaalile on määratud lühike aeg, mil seda edastatakse. Kui intervall on piisavalt lühike ja multiplekserist väljuv sideliin piisavalt kiire, siis ei ole vahepealsed katkestused märgatavad. Näiteks olukord,

kus on vaja edastada kolm signaali ja takti pikkus on kolm sekundit. Sellisel juhul edastatakse esimest signaali esimese sekundi jooksul, teist signaali teise sekundi jooksul ja kolmandat kolmanda sekundi jooksul. Peale seda algab ring otsast peale ja neljanda sekundi jooksul edastatakse jälle esimest signaali. Teisel pool liini olev demultiplekser teab, et esimese sekundi jooksul saadetakse talle esimene signaal jne. Sellise lahenduse puhul on üks põhilisi probleeme multiplekseri ja demultiplekseri koostöö ajastamine. Reeglina kasutatakse sünkroniseerimiseks spetsiaalseid signaale. See on multiplekseri viis öelda demultiplekserile: "Ma hakkab nüüd esimest signaali edastama. Ole valmis." Sellist multipleksimise viisi kasutab GSM side. [8][9]

Selleks, et anda täielik ülevaade multiplekseritest ja multipleksimisest peab rääkima ka pöörd-multipleksimisest. Eesmärgi poolest on see multipleksimise vastand, ühe signaali edastamiseks kasutatakse mitut kaablit. Kui multipleksimise põhiprobleem seisneb selles, kuidas kasutada vähem kaableid, siis pöörd-multipleksimise eesmärk on kasutada rohkem kaableid. Selleks võib olla mitu põhjust. Kõige tähtsam põhjus on kiiruse suurenemine: läbi kahe kaabli saab edastada rohkem kui läbi ühe. Põhjuseks võib olla ka juba olemasoleva taristu ära kasutamine. Olukorras, kus kahe punkti vahel on mitu liini, on otstarbekas neid kõiki ka ära kasutada. Pöörd-multipleksimist saab rakendada ka liinide ühtlasemaks koormamiseks, vältimaks olukorda, kus ühte liini koormatakse üle, samal ajal kui teine seisab jõude.

Nüüd on avatud multiplekseri mõiste ja kirjeldatud põhilisi viise multiplekseri realiseerimiseks. Sellega lõpetatakse multiplekseri kui üldise mõiste käsitlemine. Järgmises punktis räägitakse I2C protokollist, mis võimaldab multipleksimise käesoleva töö keskmes olevas SPLIT-Nx-v2 multiplekseris.

1.2. I2C protokoll tutvustus

Käesolevas punktis selgitatakse, mis on I2C protokoll ja kuidas seda kasutatakse. Punkt põhineb I2C ametlikul spetsifikatsioonil [10].

I2C on kahe traadiga digitaalne suhtlusprotokoll aeglase kiirusega (levinud kiirus on 100 kilobitti sekundis, kuigi protokollu uuendustega on võimaldatud ka kiirused kuni 3.4 megabitti sekundis) info vahetamiseks. Protokollu lõi 1982. aastal elektroonika suurtootja Philips. Alates 1990-ndest hakkasid ka paljud teised firmad tootma seadmeid, mis olid Philipsi protokolliga täielikult ühilduvad. Alates 10. oktoobrist 2006 ei ole protokollu realiseerimiseks vaja maksta litsentsitasu. Philipsi tütarfirma Next eXPerience Semiconductors väitel on I2C saanud maailmas *de facto* standardiks.

Protokoll võimaldab ühendada omavahel mitmeid seadmeid, mis jagunevad alluvateks ja ülemateks. Kasutatakse kahte traati, mille külge kõik ühenduses olevad seadmed kinnituvad paralleelselt. Ülemaid võib olla mitu ning ülema ja alluva rollid võivad vahetuda peale stoppsignaali saatmist, kuid lihtsamates süsteemides on reeglina vaid üks püsiv ülem. Informatsiooni vahetuse algatab alati ülem. Ülemseade võib saata alluvatele käsked ja võib küsida neilt informatsiooni. Alluvad vastavad ülema päringutele, nad ei saa kunagi ise suhtlust alustada.

Ühte traati mööda liiguvad andmed mõlemas suunas. Teist traati kasutatakse taktsignaali edastamiseks. Taktsignaal on signaal, mis liigub kõrge ja madala nivoo vahel nagu kella tiksumine. Selle eesmärk on seadmetevahelise töö sünkroniseerimine [11]. Kõigil süsteemi ühendatud seadmetel on identifikaator ehk aadress.

Andmepakettide saatmisel lisatakse algusesse vastuvõtja aadress. Kuna kõik seadmed on ühendatud samade traatide külge, siis kõik signaalid jõuavad kõigini. Sõnumi alguses oleva aadressi järgi teab vastuvõtja, et signaal on mõeldud talle ja töötleb signaali. Tavaliselt kasutatakse 7-bitist adresseerimist, mis võimaldab ühendada 128 seadet. Selle töö kontekstis on tähtis mõista adresseerimist. Aadress on nagu nimi, mille järgi ülem alluvatele käsked annab. Aadress peab olema kõigil ühendatud seadmetel erinev, et alluvatel vahet teha.

Lihtsustatult on I2C protokoll kokkulepe, kuidas seadmed omavahel digitaalset infot edastavad. Selliste kokkulepete abil saavad eri tootjad valmistada seadmeid, mis omavahel

ühilduvad. Tihti ei ole kasutajal vaja tunda protokollide iseärasusi. Piisab teadmisest, et kaks seadet kasutavad sama protokollide.

2. SPLIT-Nx-v2 digitaalandurite multiplekser

See peatükk on koostatud SPLIT-Nx-v2 kasutusjuhendi [12] põhjal.

LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokil on neli porti ehk pistikupesa andurite jaoks. Seetõttu saab standardkomplektiga ühendada vaid neli andurit. Niiviisi saab ehitada suhteliselt piiratud roboti, kuigi roboti protsessor on piisavalt võimekas, et töötada rohkemate anduritega. Selle jaoks, et kasutada enam kui nelja andurit, on vaja multiplekserit. See töö tutvustab firma Mindsensors poolt toodetud digitaalandurite multiplekserit SPLIT-Nx-v2, mis on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Digitaalandurite multiplekser SPLIT-Nx-v2. [13]

LEGO MINDSTORMS NXT jaoks on loodud ka palju teisi multipleksereid. Reeglina on need tehtud ühte tüüpi andurite töö juhtimiseks. Näiteks andurite tootja Mindsensors on loonud veel NXT mootorite multiplekseri [14], mis võimaldab ühendada robotiga rohkem kui kolm mootorit, nii et kõik on individuaalselt kontrollitavad, ja puuteandurite multiplekseri [15], mis lubab ühendada ühte anduriporti kuni kolm puuteandurit, jättes ülejäänud anduripordid muude andurite jaoks vabaks. Mõlemas multiplekseris on mikrokontroller ja NXT-G keskkonnas programmeerimiseks spetsiaalne plokk. Multiplekser SPLIT-Nx-v2 ei sisalda mikrokontrollerit ja ei vaja ka eraldi plokki NXT-G keskkonnas programmeerimiseks. Samuti võimaldab ta kasutada erinevaid andureid. Nii on võimalik ehitada roboteid, mis kasutavad rohkem kui nelja erinevat andurit.

2.1. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 lühitutvustus

SPLIT-Nx-v2 küljes on neli ühesugust porti. Üks port ühendatakse NXT juhtploki ja teistesse saab ühendada kuni kolm digitaalandurit. Milline port ühendada juhtploki, ei ole tähtis. Ühendamiseks kasutatakse tavalisi NXT komplekti kuuluvaid kaableid. Iga multiplekseriga saame robotile lisada kaks andurit rohkem kui multiplekserita. Neli pistikupesa kinnituvad jäigalt ovaalsele alusele. Aluse sees on neli auku, mis on mõeldud multiplekseri kinnitamiseks roboti külge. August saab läbi lükata ristküliku ristlõikega LEGO varde ja augu ülemine pool ühildub tavalise LEGO klotsi peal oleva ringikujulise reljeefiga.

SPLIT-Nx-v2 töötab ainult anduritega, mis toetavad protokollis I2C kasutatavat adresseerimist. Kõikide ühendatud andurite I2C protokollis aadressid peavad olema erinevad. LEGO MINDSTORMS Education NXT baaskomplektis võimaldab I2C adresseerimist ainult ultraheli andur ja neid saab ühendada ainult ühe korraga (tuleneb ultraheli anduri tööpõhimõttest ja NXT-G programmeerimise keskkonna piiratusest).

Multiplekseri tootja Mindsensors toetab ametlikult järgnevaid andureid ja seadmeid:

1. LEGO ultraheli andur (ainult üks korraga);
2. magnetiline kompass (CMPS-Nx);
3. kiirendusandur (ACCL-Nx-v3);
4. RCX mootorite multiplekser (MTRMX-Nx);
5. Sony PlayStation 2 juhtpuldi liides (PSP-Nxv3);
6. infrapuna-kaugusandur (DIST-Nxv2, DIST-Nx-v3 – Long/Short/Medium);
7. servokontroller (NXTServo-v2);
8. kaamera (NXTcam-v2, NXTCam-v3);
9. PF mootori kontroller (PFMate);
10. inimese liideseseade (NXTHID);
11. joonejälgi (NXTLIneLeader);
12. voolumõõtja (NXTPowerMeter);
13. andurite komplektid kiipidega PCF8574 ja PCF8591;

14. mootorite multiplekser (NXTMMX).

Sellega on kirjeldatud antud multiplekseri omadused ja järgmises punktis avatakse selle töötamise iseloom.

2.2. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 tööpõhimõte

LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk on mõeldud kasutamiseks digitaal- ja analoogsignaali edastavate anduritega. Kõik neli seadme porti on ühesugused ja võimaldavad nii digitaal- kui analoogandurite kasutamist kõikides portides. Digitaalse signaali edastamiseks kasutatakse anduri kaablis olevast kuuest traadist kahte. Digitaalse info edastamiseks kasutatakse I2C protokoll. Juhtplokk täidab ülema rolli ja andurid on alluva rollis. [16]

SPLIT-Nx-v2 on väga lihtne multiplekser. Juhtploki poolt kasutatav I2C protokoll lubab ühendada ühe juhtme külge paralleelselt mitu digitaalandurit, aga andurite juhtmed seda ei võimalda. Antud multiplekser tekitabki sellise olukorra, kus andurid ja juhtplokk on ühendatud ühe pordi kaudu paralleelselt. Kõik signaalid, mis ühest multiplekseri pordist sisse tulevad, liiguvad välja kõikidest ülejäänud portidest. I2C protokollis kasutatava adresseerimise abil teab iga andur, milline signaal on talle mõeldud ja võtab vastu ainult talle suunatud päringu. Juhtplokk eeldab, et talle vastab õige andur.

2.3. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 kasutamine

Multiplekserit SPLIT-Nx-v2 on lihtne juhtploki ühendada. Selleks kasutatakse tavalist andurikaablit, mille üks ots ühendatakse ühte juhtploki anduriporti ja teine ots suvalisse porti multiplekseril. Ülejäänud multiplekseri portidesse saab ühendada andurid, mida soovitakse multiplekseriga kasutada. Seejuures tuleks kasutada võimalikult lühikesi kaableid, et volukadu oleks väike ja ühte juhtploki porti ühendatud andurid peavad olema erineva I2C protokolliga aadressiga.

SPLIT-Nx-v2 tööpõhimõtet arvestades järeldub, et multiplekserit saab kasutada ka mootoritega. Selleks tuleb mootorid ühendada analoogselt anduritega multiplekseri külge ja multiplekser ühte mootori porti. Kuna mootorid ei kasuta I2C protokollit, siis kaasnevad sellise kasutusega mõningad piirangud. Mootoritele, mis on ühendatud multiplekseriga, ei saa anda käsklusi individuaalselt. Kõik multiplekseriga ühendatud mootorid saavad sama käsu ja täidavad seda korraga. Kuna selliselt ühendatud mootorid jagavad ühte juhtploki porti, siis jaguneb ka nende käitamiseks vajalik vool. See tähendab, et mootoritel ei ole nii palju võimsust kui tavameetodil ühendades. Samuti ei saa multiplekseriga kasutada NXT mootoritesse integreeritud pöördeandurit.

2.4. Multiplekseri SPLIT-Nx-v2 piirangud

Kuna multiplekser on realiseeritud kasutades I2C protokollit, siis roboti korrektseks töötamiseks on tähtis, et kõigil anduritel, mis läbi multiplekseri ühte juhtploki porti ühendatud, oleks erinev I2C protokollit aadress. Vastasel juhul ei saa juhtplokk anduri poole pöörduda. Multiplekseri tootja poolt toetatavate andurite I2C protokollit aadresse saab näha ja muuta selleks ette nähtud rakendusega.

Tavaoludes on juhtploki anduri pordi digitaalliidese maksimaalne voolutarve umbes 100 milliamprit. Mitmete andurite ühendamisel tuleb jälgida, et ühendatud seadmete summeeritud voolutarve ei ületaks 100 milliamprit. Selleks, et vähendada voolukadu, peavad multiplekseri ja andurite vahelised kaablid olema võimalikult lühikesed.

Multiplekseri põhja sees on augud, mille abil saab multiplekseri LEGO ehitusklotside ja varraste abil kinnitada roboti külge. Kuna mitmekordsel varraste sisestamisel ja eemaldamisel on oht, et ajapikku need augud deformeeruvad, siis on soovitatav jätta kinnitusvardad multiplekseri eemaldamisel multiplekseri külge.

Kui soovite SPLIT-Nx-v2 multiplekseriga kasutada andurit, mis kasutab I2C protokollit, kuid pole toetatud andurite nimekirjas, peate enne veenduma, et andurile vastav NXT-G plokk võimaldab I2C protokollis kasutatavat adresseerimist.

2.5. SPLIT-Nx-v2 programmeerimine

Ametlikult toetatud programmeerimise keskkonnad SPLIT-Nx-v2 multiplekserile on NXT-G, NXC, RobotC ja LabVIEW [13]. Selles peatükis selgitatakse, kuidas programmeerida robotit, mis kasutab SPLIT-Nx-v2 multiplekserit, NXT-G programmeerimise keskkonnas.

NXT-G keskkonnas SPLIT-Nx-v2 multiplekseriga roboti programmeerimine käib põhimõtteliselt samuti kui ilma multiplekserita. Tähelepanu tuleb pöörata järgmistele asjaoludele: kõikide multiplekseriga ühendatud andurite I2C protokollit aadressid peavad olema erinevad, I2C andurite jaoks on soovituslik kasutada kohandatud püsivara, anduri programmeerimise plokk peab võimaldama I2C adresseerimist. Nendest nüanssidest räägitakse lähemalt järgnevatel punktides.

2.5.1. I2C protokollit jaoks kohandatud püsivara

Käesolev alapunkt põhineb allikal [17].

SPLIT-Nx-v2 poolt toetatavate andurite kasutamisel NXT-G (samuti ka NXC) keskkonnas on soovitatav kasutada I2C protokollit jaoks kohandatud tarkvara. Kohandatud tarkvara lisab digitaalanduritega suhtlemisel usaldusväärsust, suurendab suhtlemise kiirust umbes kümme protsenti ja võimaldab kasutada kuni kümne meetri pikkuseid kaableid (kuigi see ei ole volukao tõttu soovitatav).

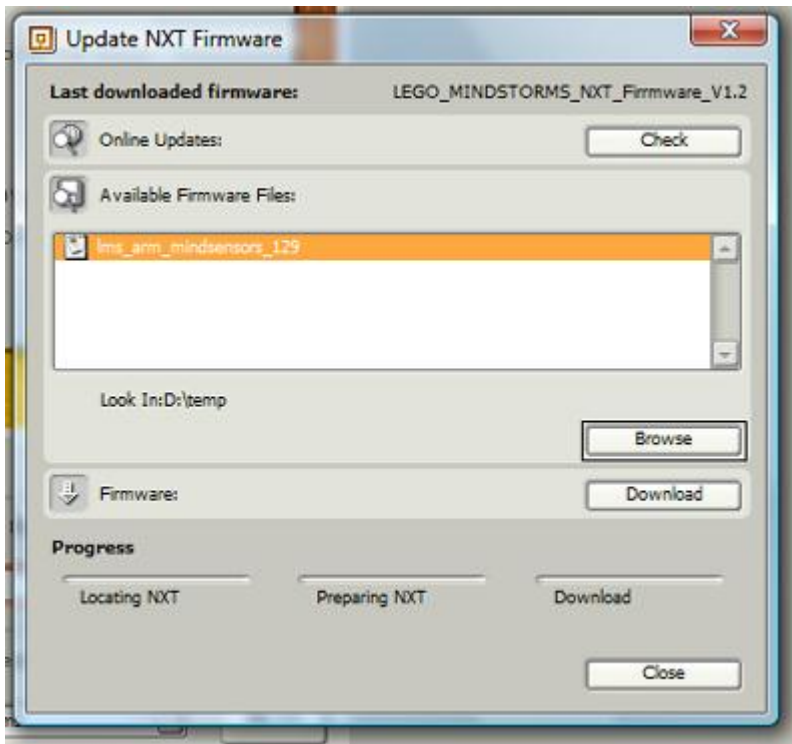
Kohandatud püsivara kasutamiseks tuleb see alla laadida firma Mindsensors kodulehelt [17]. Ühendage juhtplokk USB kaablit abil arvutiga ja lülitage juhtplokk sisse. Avage NXT-G

programmeerimise keskkond. Menüüs “Tools” tehke valik “Update NXT Firmware...” (joonis 5).



Joonis 5. Püsivara uuendamise valik NXT-G keskkonnas. [17]

Avanenud hüpikaknas vajutage “Browse” nuppu ja navigeerige arvuti failisüsteemis kausta, kuhu salvestasite allalaaditud kohandatud püsivara. Vajutage “Ok” nuppu. Selle peale ilmub tekstikasti loetelu teie valitud kaustas olevatest LEGO MINDSTORMS NXT püsivaradest. Kohandatud püsivara nimi sisaldab sõna *mindsensors*. Valige kohandatud püsivara ja paigaldamise alustamiseks vajutage nupule “Download” (joonis 6). Väljumiseks vajutage nuppu “Close”.



Joonis 6. Püsivara uuendamise hüpikaken NXT-G keskkonnas. [17]

Sellega olete kohandatud püsivara paigaldanud roboti juhtplokki ja võite kindel olla, et multiplekser toimib robotiga koos, nii nagu multiplekseri tootja seda eeldas. Järgmises alapunktis kirjeldatakse multiplekseriga kasutatavate andurite I2C protokollide aadresside vaatamist ja muutmist. Unikaalne I2C protokollide aadress on tähtis, et juhtplokk teeks vahet ühte porti ühendatud andurite vahel.

2.5.2. Toetatud andurite I2C protokollide aadresside kontrollimine ja muutmine

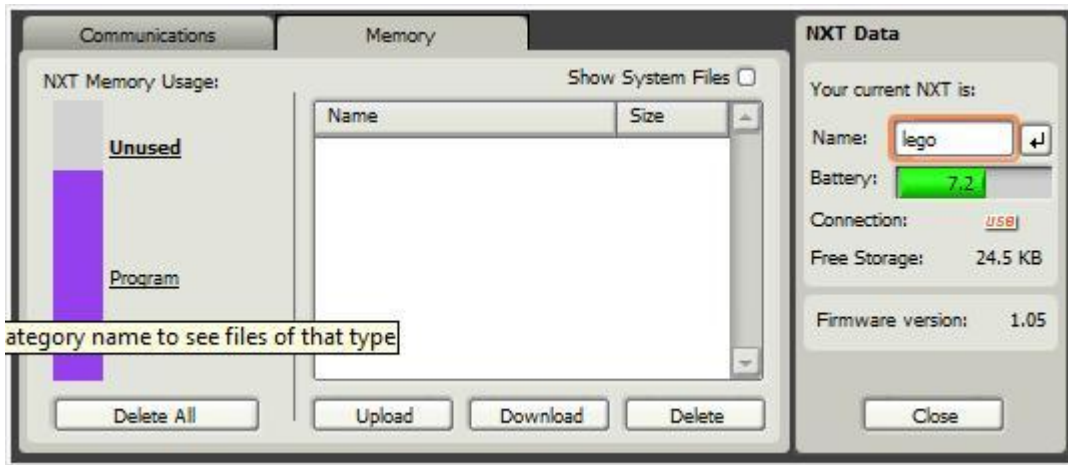
Multiplekserit SPLIT-Nx-v2 kasutades peab veenduma, et kõigil ühendatud seadmetel on erinev I2C protokollide aadress. Selleks on vaja selgeks teha, mis on iga konkreetse seadme I2C protokollide aadress. Kui mõne seadme aadress teisega kattub, siis tuleb seda muuta. Ametlikult toetatud seadmete I2C andurite muutmiseks on Mindsensors töötanud välja kaks programmi, mis tuleb viia NXT juhtploki mälu ja seal käivitada. Järgnevalt selgitatakse, kuidas seda teha allika [18] järgi.

Laadige alla programmid Explorer.rxe ja changeaddr.rxe Mindsensors kodulehelt [19]. Ühendage juhtplokk USB kaabli abil arvutiga ja lülitage juhtplokk sisse. Avage NXT-G programmeerimise keskkond. Avage suvaline programm või alustage uue programmi loomist. Leidke “NXT Window” nupp ja vajutage sellele. “NXT Window” nupp asub programmeerimisala all paremas nurgas olevas nupukogumis (joonis 7).



Joonis 7. “NXT Window” nupp NXT-G programmeerimise keskkonnas. [18]

Avanenud menüüs vajutage sakile “Memory” (joonis 8). Vajutage nupule “Download” ja navigeerige arvuti failisüsteemis alla laaditud programmi Explorer.rxe. Vajutage nupule “OK”. Vajutage uuesti nupule “Download” ja navigeerige programmi changeaddr.rxe. Vajutage nupule “OK”. Nüüd on programmid laetud NXT juhtplokki. Sulgege aken, vajutades nupule “Close”.



Joonis 8. Avatud “NXT Window” kui on kuvatud “Memory” sakk.

Järgnevalt ühendage seade, mille I2C protokolliga aadressi soovite kontrollida või muuta, juhtploki esimesse porti. Navigeerige juhtploki menüüs programmi Explorer, kui soovite aadressi kontrollida, või programmi changeaddr, kui soovite aadressi muuta. Selleks valige peamenüüs “My Files” ja seejärel “Software files”. Kui käivitatakse programmi Explorer, näete ekraani esimesel real seadme I2C protokolliga aadressi kümnendsüsteemis ja teisel real seadme I2C protokolliga aadressi kuuteistkümnendsüsteemis. Kui käivitatakse programmi changeaddr, näete esimesel real seadme praegust I2C protokolliga aadressi. Vajutage juhtploki kolmnurkseid nuppe, et määrata ühendatud seadmele uus aadress. Uut aadressi näete eelviimasel real. Kinnitamiseks vajutage oranži nuppu; katkestamiseks tumehalli. Korrake protsessi kõikide seadmetega, mida soovite multiplexseriga kasutada.

Kõikide seadmete puhul, mida saab I2C protokolliga kohaselt kasutada, ei ole aadressi muutmine võimalik. Ultraheli kaugusanduri I2C protokolliga aadressi muuta ei saa. See on alati 2. Seetõttu, kui soovite ultraheli kaugusandurit kasutada ühes pordis koos teiste seadmetega, veenduge, et teiste seadmete I2C protokolliga aadress ei oleks 2.

Järgmises alapunktis seletatakse, kuidas pöörduda määratud aadressiga seadme poole.

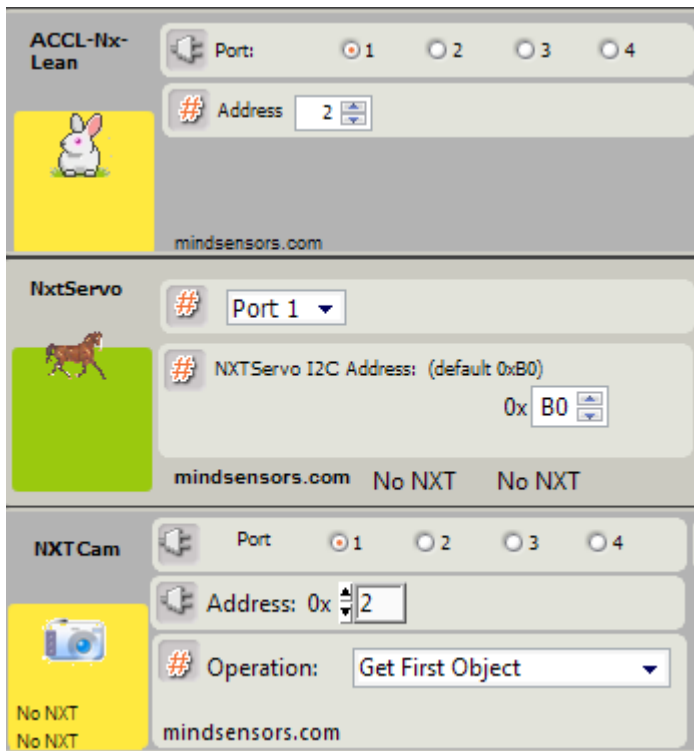
2.5.3. I2C protokollide adresseerimine anduri plokis

See alapunkt selgitab SPLIT-Nx-v2 multiplekseriga programmeerimise eripärasid keskkonnas NXT-G. Enne programmeerimise alustamist peavad andurid olema korrektselt ühendatud (kirjeldatud punktis 2.3), ühes juhtploki pordis olevatel anduritel peavad olema unikaalsed I2C protokollide aadressid (kirjeldatud alapunktis 2.5.2), soovitatav on kasutada kohandatud püsivara (kirjeldatud alapunktis 2.5.1) ja arvestada tuleks ka multiplekseri kasutamisest tulenevaid piiranguid (kirjeldatud punktis 2.4).

NXT-G keskkonnas saab programmeerida multiplekseriga töötama vaid selliseid andureid, mis võimaldavad I2C protokollide kohast adresseerimist. Kasutatavaks pordiks tuleb seadistada see port, kuhu on ühendatud multiplekser. I2C protokollide aadressiks anduri plokis määratakse konkreetse anduri I2C protokollide aadress. Seadme I2C protokollide aadressi teada saamise ja muutmise ühte võimalikku tehnikat käsitleti punktis 2.5.2. Joonisel 9 on näha ühe sellise anduri, Mindsensors voolumõõtja NXTPowerMeter, NXT-G ploki. Joonisel toodud anduri plokis on multiplekser ühendatud porti 1 ja seadme I2C protokollide aadress on 12. Sõltuvalt seadme tüübist ja tootjast, võib I2C protokollide aadressi lahter paikneda seadme NXT-G ploki mõne teise koha peal või kanda teistsugust silti (joonis 10). Informatsioon selle kohta on reeglina seadme dokumentatsioonis.



Joonis 9. Mindsensors anduri NXTPowerMeter NXT-G ploki I2C adresseerimise võimalusega.



Joonis 10. Erinevate seadmete NXT-G ploki I2C adresseerimise võimalusega.

Soovitav on enne programmi loomist testida, et andurid on õigesti ühendatud ja adresseeritud. Selleks on hea koostada iga anduri jaoks väike programm. Kui ollakse veendunud, et I2C protokollide aadressid ja pordi numbrid on õiged, võib alustada robotile programmi loomist nii, nagu seda tehakse ilma multiplekserita.

3. Programmeerimisülesandeid multiplekserile

Järgnevalt antakse paari ülesande näitel ülevaate SPLIT-N_x-v2 multiplekseri kasutusvõimalustest. Ülesanded eeldavad kasutajalt baastadmisi LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 robotitest ja põgusat kogemust NXT-G programmeerimiskeskkonnas. Ülesannete eesmärk on anda lugejale idee multiplekseri praktilisest kasutamisest. See peaks võimaldama püstitada sarnaseid ülesandeid tema käsutuses olevate andurite ja seadmete kohta.

3.1. Programmeerimisülesanne 1

Tase: Lihtne

Eesmärk: Kontrollida multiplekseri tööd ja õpetada multiplekseri ühendamist juhtmetega

Ülesande täitmiseks vajalik:

Eesemed:

- Juhtplokk
- Multiplekser SPLIT-N_x-v2
- 3 mootorit
- 4 ühenduskaablit

Teadmised:

- Kuidas programmeerida robotit otse juhtplokilt
- Kuidas ühendada andureid ja mootoreid

Ülesande püstitus: Mati ehitas ujuva roboti, kuid kahjuks hakkas roboti kere lekkima ja multiplekser sai märjaks. Kui kõik on kuivatatud, tahab Mati teada, kas multiplekser jäi terveks või sai kahjustada. Matil ei ole arvutit käepärast, sellepärast kasutab ta mootoreid ja juhtplokilt programmeerimise võimalust. Aita Matil veenduda, et multiplekseriga on kõik

korras. Kas mootoreid saab juhtida eraldi või korraga? Millest võime järeldada, et multiplekser on töökorras?

Lahendusidee: Ühendage kõik kolm mootorit multiplekseriga ja multiplekser mootori porti.

Üks võimalik lahendusvariant: Ühendage multiplekser porti C. Valige NXT juhtploki menüüs “*NXT Program*”. Esimesse lahtrisse valige “*Turn right 2*”. Kolm järgmist lahtrit jätke tühjaks. Viimasesse lahtris valige “*Stop*”. Kui olete ülesande korrektselt lahendanud, töötavad kõik mootorid korraga mõne sekundi vältel. See näitab, et multiplekser töötab ja on ühendatud korrektselt.

3.2. Programmeerimisülesanne 2

Tase: Keskmine

Eesmärk: Multiplekseri kasutamine koos voolumõõtja ja servokontrolleriga

Ülesande täitmiseks vajalik:

Esemed:

- Juhtplokk
- Multiplekser SPLIT-N_x-v2
- Servokontroller NXTServo-v2 ja servomootor
- Voolumõõtja NXTPowerMeter
- Ühenduskaablid

Teadmised:

- Programmeerimine NXT-G keskkonnas
- Servokontrolleri ja servomootori kasutamine
- Voolumõõtja kasutamine

Ülesande püstitus: Lapsed kasutavad füüsikaringis akusid, mis tuleb järgmiseks korraks uuesti täis laadida. Õpetaja määrab füüsikaringi presidendile Kärtile selle vastutusrikka töö nädalavahetuseks. Kärt teab, et akusid ei tohi üle laadida ja selle pärast tuleb vahepeal kontrollida akude pinget. Mõistlik oleks see töö automatiseerida, sest nädalavahetusel tahab Kärt vanaema juurde minna. Kui pinge on piisav, võib aku klemmid lahti ühendada. Multiplekserite abil saab iga anduri pordi kaudu kontrollida kahte akut. Lahenda ülesanne ühele akule kasutades multiplekserit, et hiljem oleks võimalik programmi täiendades akusid lisada.

Lahendusidee: Voolumõõtja peaks olema ühenduses aku klemmidega ja iga määratud aja tagant kontrollima pinget akus. Kui pinge on piisavalt suur, peaks servomootori abil akulaadija juhtme eraldama aku küljest.

Üks võimalik lahendusvariant: Voolumõõtja ja servokontroller tuleks ühendada läbi multiplekseri samasse porti. See annab võimaluse, kasutades nelja multiplekserit, laadida neli akut korraga, vaid ühte juhtploki abil.

Kokkuvõte

Töö eesmärk oli firma Mindsensors poolt toodetud multiplekseri SPLIT-Nx-v2 kasutuse uurimine ja kirjeldamine. Kõrvaleesmärgiks oli õppematerjali koostamine üldhariduskooli õpetajatele multiplekseriga tutvumiseks ja vahendiks õpilastele antud multiplekseri kasutamise õpetamiseks.

Töö koostamise käigus on loodud sissejuhatav materjal multiplekserite olemusest ja I2C protokollist. Mõlema teema kohta koostati ülevaate saamiseks piisavalt sisukas tekst. Töö koostamise hetkel ei ole autorile teadaolevalt selliseid materjale eesti keeles varem loodud. See tähendab, et töö esimest peatükki võib teemadest huvitatu lugeda üldharival eesmärgil ka iseseisvate tekstidena.

Teise peatüki koostamisel ilmnas, et multiplekseril SPLIT-Nx-v2 on eeliseid teiste LEGO MINDTORMS NXT-le loodud multiplekserite ees. Eelisteks on lihtsus ja võimalus kasutada eri tüüpi andureid korraga. Eelistest tulenevad ka puudused. Lihtsusest tulenev lisavooluallika puudumine ei võimalda korraga kasutada mitut suure volutarbega andurit ja olgugi, et teoorias saab multipleksereid SPLIT-Nx-v2 ka järjest ühendada, seab andurite volutarve sellele siiski piirangud. Kuigi teoorias on võimalik töös vaadeldavat multiplekserit kasutada väga erinevate anduritega, on praktikas nende andurite hulk võrdlemisi väike (ametlikult toetatud seadmete arv on 14). Digitaalseid andureid LEGO MINDSTORMS NXT-le toodab ka näiteks firma HiTechnic, kuid neid ei ole võimalik antud multiplekseriga kasutada, kuna nende NXT-G programmeerimise keskkonna plokil ei ole I2C aadressi välja.

Bakalaureusetöös seatud eesmärgid on saavutatud. Töö erinevaid osi on võimalik kasutada multiplekseriga SPLIT-Nx-v2 tutvumiseks ja multiplekseri kasutamiseks koolitunnis. Tööd oleks võimalik edasi arendada teistes programmeerimise keskkondades antud multiplekseri kasutamise iseärasusi uurides ja praktiliste ülesannete lisamise ning edasiarendamisega.

Digital sensor multiplexer for LEGO MINDSTORMS NXT

Bachelor thesis

Kaspar Sarapuu

Summary

In recent years the demand for people with higher education in engineering and science does not meet the demand in Estonia. Not enough students graduate in scientific fields. This is because students are not interested in math and science. Math and science classes are too dry for ordinary student in high school and middle school. There is too much theory and numbers with too little practical work.

Using robots in school is a good way to make classes more interesting and fun. Usually robotics is too expensive and complicated for middle school children but LEGO MINDSTORMS NXT robots are fairly cheap and simple to build and to understand. Since LEGO bricks can be used over and over again the children can work with them for years.

The main goal of this bachelor thesis is to study an aftermarket component multiplexer SPLIT-Nx-v2 for LEGO MINDSTORMS NXT by Mindsensors. Side goal is that this paper could be read by middle school and high school teachers for educational purposes so they could use this multiplexer in classroom.

Firstly technologies used in the multiplexer SPLIT-Nx-v2 are discussed. There are two main subjects: multiplexing in general and I2C protocol. For those subjects a brief introduction is written which both could be used independently to study those matters. In the second chapters various properties of SPLIT-Nx-v2 are discussed. It is pointer out which kind of sensors work with the multiplexer and how to get the multiplexer operating with standard LEGO programming environment NXT-G.

Kirjandus

- [1] Oviir, M. Ülikoolid ei anna riigile majanduse mootoreid – <http://www.epl.ee/artikkel/434314> (14.05.2012)
- [2] Delfi. Riik saab osal erialadest tellitust vähem kõrgharitud – <http://www.delfi.ee/news/paevauudised/eesti/riik-saab-osal-erialadest-tellitust-vahem-korgharitud.d?id=47062542> (14.05.2012)
- [3] Jaana Metsamaa, Materjalide kooskirjutamise raamistik RAJU keskuse õppevara näitel, Tartu 2010
- [4] Multiplexing – <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexing> (14.05.2012)
- [5] Multiplexer – <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexer> (14.05.2012)
- [6] Vallaste, H. multiplexing (1) – <http://vallaste.ee/index.htm?Type=UserId&otsing=2034> (14.05.2012)
- [7] Information technology-Specific requirements. (2008). Osa 3. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications : IEEE Standard. IEEE 802.3-2008. New York : IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee.
- [8] Time-division multiple access – http://en.wikipedia.org/wiki/Time_division_multiple_access (14.05.2012)
- [9] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Mobile Application Part (MAP) specification (GSM 09.02 version 7.5.0 Release 1998) : ETSI Standard. TS 100 974. Sophia Antipolis : 3GPP CN 4
- [10] I2C-bus specification and user manual – http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf (14.05.2012)
- [11] Vallaste, H. clock signal – <http://vallaste.ee/index.htm?Type=UserId&otsing=6282> (14.05.2012)
- [12] SPLIT-Nx-v2 kasutusjuhend – http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS_DocumentManager_op=viewDocument&JAS_Document_id=150 (14.05.2012)

[13] Port Splitter for NXT Digital Sensors –

http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=79 (14.05.2012)

[14] Multiplexer for NXT Motors –

http://mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=134 (14.05.2012)

[15] Touch Sensor Multiplexer for NXT –

http://mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=135 (14.05.2012)

[16] LEGO® MINDSTORMS® NXT Hardware Developer Kit 1.0 –

<http://mindstorms.lego.com/en-us/support/files/default.aspx> (14.05.2012)

[17] Enhanced Firmware for NXT –

http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=137 (14.05.2012)

[18] How to Install NXT-Executables –

http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=105 (14.05.2012)

[19] NXT-Executables - Sensor Utilities –

http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS_DocumentManager_op=viewDocument&JAS_Document_id=91 (14.05.2012)