

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKA TEADUSKOND
Arvutiteaduse Instituut
Infotehnoloogia eriala

Kaarel Kohler
LEGO Mindstorms NXT'ga ühilduv
aeglase kiirenduse sensor
Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: Anne Villems
Kaasjuhendaja: Taavi Duvin

Autor:“.....“ mai 2013
Juhendaja:“.....“ mai 2013
Juhendaja:“.....“ mai 2013

Lubada kaitsmisele
Professor:“.....“ juuni 2013

TARTU 2013

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Kiirus ja kiirendus	5
1.1 Kiiruse ja kiirenduse mõiste	5
1.2 Vaba langemise kiirendus.....	7
1.3 Kiirendusmõõtur ehk aktseleromeeter	9
1.4 Keha kui aktseleromeeter	11
2. Firma Vernier aeglase kiirenduse sensor ning selle kasutamine NXT-G keskkonnas.....	12
2.1 Firma Vernier kiirendusandurid	12
2.2 Vernier' aeglase kiirenduse sensori tutvustus	14
2.3 Vernier' aeglase kiirenduse sensori ühendamine NXT baaskomplektiga	15
2.4 Vernier' aeglase kiirenduse sensori kasutamine NXT-G keskkonnas	18
3. Ülesanded.....	22
3.1 Ülesanne 1.....	23
3.2 Ülesanne 2.....	25
3.3 Ülesanne 3.....	27
3.4 Ülesanne 4.....	30
Kokkuvõte.....	32
LEGO Mindstorms NXT compatible Low-g Accelerometer	33
Kasutatud materjalid	34
Lisad.....	36
Lisa 1 - Ülesannete lahendused.....	36

Sissejuhatus

Sageli kipuvad reaalinete tunnid koolides olema liiga teoreetilised. Üha enam kasvav nõudlus just reaalaralade spetsialistide järele paneb mõtlema, kuidas saaks reaalinete õpinguid muuta kaasahaaravamaks. Õppida on palju huvitavam, kui õppeprotsessi on kaasatud praktilisi ülesandeid ning näiteid elust enesest. Laste õpihimu suurendavaid vahendeid on juba olemas, kuid tihti on kasutusjuhendid ja kogu informatsioon võõrkeelne.

Üks vahendeid, millega reaalaaineid koolides populariseerida, on LEGO Mindstorms NXT komplekt koos oma lisadega. See komplekt tuli välja aastal 2006 ning tänaseks on LEGO robotid kasutuses kõigis kooliastmetes. Põhikoolis ja gümnaasiumis on neid võimalik kasutada näiteks füüsika, keemia, matemaatika ja informaatika tundides ning ka algkoolides võib komplektile mängulist rakendust leida.

Eestis tegutseb alates 2007. aastast Kooliroboti projekt [1], mille raames tutvustatakse LEGO NXT roboteid ning luuakse nendele õppematerjale. Kooliroboti projekti raames on koolidel võimalik endale soetada LEGO Mindstorms NXT komplekte. Õppevahend koosneb NXT programmeeritavast juhtploki, anduritest, mootoritest, juhtmetest ning LEGO klotsidest. Lisaks toodavad sellised firmad nagu Vernier [2], Mindsensors [3], HiTechnic [4] ja Codatex [5] LEGO Mindstorms NXT'ga ühilduvaid andureid. Täpsemalt võib komplektist lugeda Siim Kallsoni 2009. aastal kirjutatud bakalaureusetöö [25] kahest esimesest peatükist.

Antud töös kirjeldatakse lähemalt Vernier' aeglase kiirenduse sensorit. Töös kasutatav kiirendussensor ei ole osa LEGO Mindstorms NXT baaskomplektist. Kogu informatsioon eelnimetatud anduri kohta on inglisekeelne, seetõttu võib anduri kasutamine Kooliroboti projekti raames olla raskendatud. Antud töö eesmärgiks on anda põhjalik ülevaade Vernier' aeglase kiirenduse sensorist ning luua põnevaid praktilisi ülesandeid, et õppetöö koolides oleks õpilaste jaoks huvitavam.

Käesolev bakalaureusetöö koosneb kolmest suuremast osast:

- Esimeses osas kirjeldatakse kiiruse ja kiirenduse olemust ning nende kahe nähtusega seonduvaid mõisteid. Lisaks antakse selles peatükis põgus ülevaade kiirendusmõõduri

ehk aktseleromeetri tööpõhimõttest ja tuuakse välja mõned kiirendusanduri kasutusalaad.

- Teises osas keskendutakse Vernier' aeglase kiirenduse sensori tutvustamisele, selle ühendamisele NXT baaskomplektiga ning anduri kasutamisele NXT-G programmides.
- Kolmandas osas koostatakse erineva raskusastmega praktilisi ülesandeid ning tuuakse välja nende võimalikud lahenduskäigud.

Antud bakalaureusetöö kirjutamisel on arvesse võetud asjaolu, et kogu tekst peaks olema piisavalt lihtne, et sellest saaks aru nii õpetajad kui ka õpilased, kelle varasem kogemus programmeerimisega on väga põgus.

1. Kiirus ja kiirendus

Enne kui saab alustada töös uuritava aeglase kiirenduse sensori tutvustamist, tuleks aru saada mõistetest kiirus ja kiirendus. Kiiruse ja kiirendusega puutume kokku igapäevaselt, ilma et sellele teadlikult tähelepanu pööraksime. Autojuhid peavad hoidma eessõitva autoga vastavalt kiirusele piisavalt suurt pikivahet, et nad äkilise pidurduse korral eessõitvale autole tagant otsa ei sõidaks, geoloogid mõõdavad laamade liikumist, et ennustada maavärinaid ning arstid kaardistavad vere voolu patsiendi soontes osaliselt ummistunud arterit diagnoosides. Eelnevad näited olid transpordi, geoloogide ja arstide töömailt. Lisaks leiab näiteid kiiruse ja kiirenduse kasutusalaadest ka paljudelt teistest eluvaldkondadest.

Järgnevates punktides antakse ülevaade kiiruse ja kiirenduse olemusest ning tuuakse mõningaid näiteid, kus ja kuidas me nendega otseselt või kaudselt kokku puutume. Käesoleva peatüki kirjutamisel on kasutatud allikaid [6-9, 13, 14 lk.17-25, 19].

1.1 Kiiruse ja kiirenduse mõiste

Kiiruse ja kiirenduse mõistete tutvustamiseks on kasutatud allikaid [13, 14 lk.17-25]. Kiirus on füüsikaline suurus, mis näitab keha poolt ühes ajaühikus läbitud teepikkust. Kiiruse SI-ühik on meeter sekundis: m/s . Keha kiiruse või tema liikumissuuna muutumine on alati põhjustatud mõnest kehale mõjuvast jõust. Sellisteks jõududeks võivad olla näiteks hõõrdejõud, raskusjõud või mõne teise keha mõju. Ideaaljuhul, kui kehale ei mõjuks ükski kõrvaline jõud, liiguks keha sirgjooneliselt ja muutumatu kiirusega. Liikumise kiiruse kirjeldamiseks on mitmeid viise, näiteks võib seda teha kasutades mõistet keskmine kiirus, samas võime me fraasi „kui kiire“ all mõelda ka seda, kui kiiresti osake liigub antud ajahetkel. Viimasena nimetatud tähenduses kasutatakse seda kõige sagedamini ning seda kutsutakse hetkkiiruseks ehk lihtsalt kiiruseks.

Kiiruse muutumist iseloomustab aga kiirendus. Kiirendus on füüsikaline suurus, mis näitab, kui kiiresti keha kiirus muutub. Kui keha kiirus temale mõjuva jõu tõttu suureneb, loetakse kiirendus positiivseks, vastasel juhul aga negatiivseks. Kuna negatiivse kiirenduse puhul kiirus väheneb, siis kutsutakse seda aeglustumiseks ning mõnes olukorras ka pidurdumiseks.

Antud lõigus tutvume keha kiirenduse arvutamise allika [13] põhjal. Lihtsaimal juhul, kui keha kiirus suureneb või väheneb ühtlaselt, tuleb kiirenduse leidmiseks teada keha hetkkiirust kahel vabalt valitud ajahetkel. Jagades antud hetkkiiruste vahe vaatlusperioodi pikkusega, saamegi kiirenduse. Seega saab kiirenduse leidmiseks kasutada valemit $\alpha = \frac{v-v_0}{t}$, kus v_0 on keha kiirus vaadeldava ajaperioodi alguses, v keha kiirus ajaperioodi lõpul ning t tähistab ajaperioodi pikkust.

Kiirenduse SI-ühik on meeter sekundi ruudu kohta: $m/s \cdot s$ ehk m/s^2 . Ka teistes ühikutes on kiirendus kujul $pikkus/aeg \cdot aeg$ ehk $pikkus/aeg^2$. Kiirendusel on nii suurus kui ka suund ning tema märk, kas positiivne või negatiivne, näitab liikumise suunda. Kui keha kiiruse ja kiirenduse märgid on samad, siis keha kiirus suureneb. Kui märgid on erinevad, siis kiirus väheneb ehk keha aeglustub.

Tehnika kiire arengu tagajärjel on populaarseks saanud mootorsõidukite vaheline võistlus suurima kiiruse nimel. Enamasti on selliste jõuvõtmiste eesmärk saavutada võimalikult suur kiirus etteantud teelõigul või läbida rada kõige väiksema ajakuluga. Näiteks automaailmas võisteldakse ühe miili pikkusel kiirendusrajal, mille rekord pärineb 2012. aasta märtsist, tuunitud autoga Ford GT (vaata Joonis 1), millega saavutati kiirus 413km/h . Paigalseisust kiiruseni 300km/h jõudmine võimalikult lühikese ajaga on eelnimetatuist teine võistlusala ning selle rekord ületati tehaseautode kategoorias viimati 2013. aasta jaanuaris autoga Venom GT (vaata Joonis 2), millega saadi kahe katse keskmisena tulemus 13.63 sekundit.



Joonis 1. Tuunitud Ford GT (auto, millega saavutati 2012 aasta märtsis ühe miili pikkusel kiirendusrajal kiirus 413km/h) [6]



Joonis 2. *Venom GT (auto, millega saavutati 2013 aasta jaanuaris kiirus 300km/h kahe katse keskmisena 13.63 sekundiga) [7]*

Antud peatükis vaatasime kiiruse ning kiirenduse olemust üldiselt ja järgnevalt uurime sellist füüsikalist nähtust nagu vaba langemise kiirendus.

1.2 Vaba langemise kiirendus

Kui visata mingi ese kas maapinnalt üles või mingilt kõrgemalt kohalt alla ja oletuslikult kõrvaldada õhutakistuse mõju, on näha, et antud esemel on alla suunatud konstantne kiirendus. Sellist nähtust nimetatakse vaba langemise kiirenduseks, mille suurust tähistatakse ühikuga g . Vaba langemise kiirendus ei sõltu omadustest nagu mass, tihedus või kuju ning see on kõikide asjade jaoks ühesuurune. Näiteks langeksid ühe kilogrammi raskune sangpomm ning ainult mõni gramm kaaluv udusulg õhu puudumisel, s.t vaakumis, kortermaja katuselt maapinnale samaaegselt. Vaba langemise kiirendus on põhjustatud sellest, et maakera tõmbab kõiki objekte enda poole. Vaba langemise kiirenduse g väärtus muutub veidi seoses geograafilise laiuse ja kõrgusega merepinnast. Maal, merepinna kõrgusel keskmistel laiustel, on g väärtus $9,8m/s^2$. Tabelist 1 leiab vaba langemise kiirenduse g väärtused erinevatel planeetidel ning Kuul. Vaba langemise kiirenduse g olemusest lihtsa ülevaate saamiseks võib võrrelda inimese kaalu Maal ja Kuul. Maal, merepinna kõrgusel $80kg$ kaaluv inimene, kaaluks Kuul umbes $13.23kg$, sest Kuul on g väärtus ligikaudu kuus korda väiksem kui Maal.

Taevakeha	Vaba langemise kiirendus
Kuu	0,1654 <i>g</i>
Marss	0.38 <i>g</i>
Merkuur	0.38 <i>g</i>
Uraan	0.9 <i>g</i>
Veenus	0.91 <i>g</i>
Maa	1 <i>g</i>
Neptuun	1.1 <i>g</i>
Saturn	1.1 <i>g</i>
Jupiter	2.6 <i>g</i>

Tabel 1. Vaba langemise kiirenduse *g* väärtused erinevatel planeetidel ning Kuul [9]

Suuri kiirendusi väljendatakse mõnikord samuti ühikuga *g*, kus 1*g* väärtuseks arvestatakse vaba langemise kiirendust merepinna kõrgusel, s.o $9,8m/s^2$. Lõbustuspargis, ameerika raudteel, võib kiirendus lühikest aega olla näiteks 3*g* ehk umbes $29m/s^2$, mis on enam kui küllalt, et sõitu õigustada. Lihtsustatult öeldes võib öelda, et lõbustuspargis maksame kiirenduse, mitte kiiruse eest.

Inimeste kiirenduse taluvusvõime sõltub paljudest erinevatest asjaoludest. See oleneb kiirenduse suurusest, selle mõjumise ajast ning suunast, kohast, kuhu kiirendus mõjub ning kehahoiakust. Meie keha on paindlik ja muudetava kujuga eriti pehmetest kudedest. Lahtise käega tugev löök vastu nägu võib põhjustada lühiajaliselt lokaalset kiirendust kuni 100*g*, aga enamjaolt ei teki sellest meile reaalselt vigastust. Samas võib ühe minuti pikkune konstantne kiirendus 25*g* mõjuda meile surmavalt. Kiirenduse taluvusvõime inimestel varieerub väga palju ning kuni teatud tasemeni on see treenitav. Eelmainitud võimet vähendavad mitmed haigused, näiteks erinevate südame-veresoonkonna probleemide põdejad taluvad kiirendust oluliselt väiksemal määral. Tabelis 2 on välja toodud mõned ekstreemsemad kiirenduse näited.

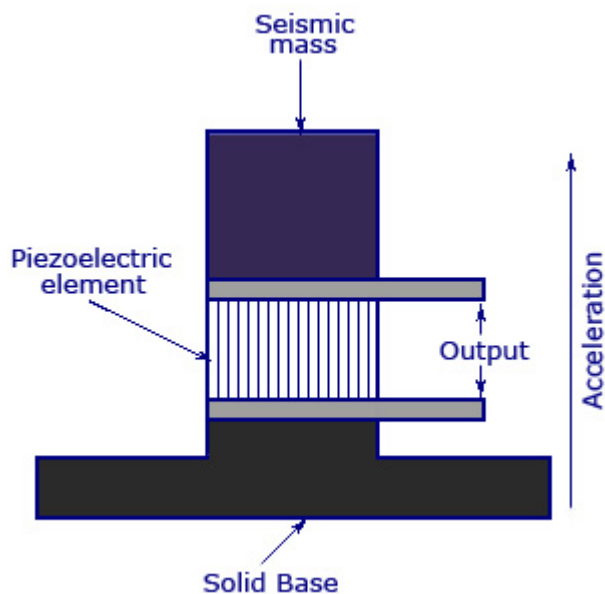
Situatsioon	Kiirendus
Kiirendus 0 – 100 km/h 2.4 sekundiga Bugatti Veyroniga	1,55 g
Kõige äkilisemad pidurdused ja kiirendused ameerika raudteel	3,5 – 6,3 g
Vormel-1 auto äkiline pidurdus	5+ g
Vormel-1 auto külgiirendus kurvides	5 – 6 g
Tüüpiline maksimaalne pööre vigurlennu ajal	9 – 12 g
Tõsise vigastuse või surma oht	25+ g
Suurim g-jõud, mis inimeste peal tahtlikult saavutatud on [10]	46.2 g
Suurim hetkeline g-jõud, mille tagajärjel pole inimene õnnetuses surma saanud [11] [12]	~100 g

Tabel 2. Kiirendus erinevates situatsioonides [8]

Nüüd, kus oleme teinud põgusa ülevaate kiiruse ning kiirenduse olemusest, on õige aeg tutvuda kiirendusmõõturiga.

1.3 Kiirendusmõõtur ehk aktseleromeeter

Kiirendusmõõtur ehk aktseleromeeter on seade, mille abil saab mõõta kallet ja liikumist. Erinevate kiirendusmõõturitega on võimalik tuvastada ka gravitatsioonijõudu ning liikumisi nagu pöörlemine, kiikumine ja rappumine. Kiirendusmõõtur mõõdab tõelist kiirendust, s.t kiirendust mida andur tunnetab võrreldes vabalangemisega. See on sama kiirendus, mida tunnetaks antud keskkonnas meie keha või mõni objekt. Kiirendusmõõtur käitub oma olemuselt nagu vedrule toetuv objekt - kiirenduse mõjul liigutatakse objekti nii kaugemale, kui seda andurile mõjuv kiirendus võimaldab, nihe mõõdetakse ning seejärel arvutatakse kiirenduse suurus. Jooniselt 3 leiab ühe võimaliku kiirendusmõõtuuri ehituse lihtsustatud mudeli.



Joonis 3. Üks võimalik kiirendusmõõteri lihtsustatud mudel (*Seismic mass – Seismiline mass, Piezoelectric element – Piesoelektriline element (piesoelektri kohta võib täpsemalt lugeda allikatest [28, 29]), Output – Väljund, Acceleration – Kiirendus, Solid base – Kindel alus*) [27].

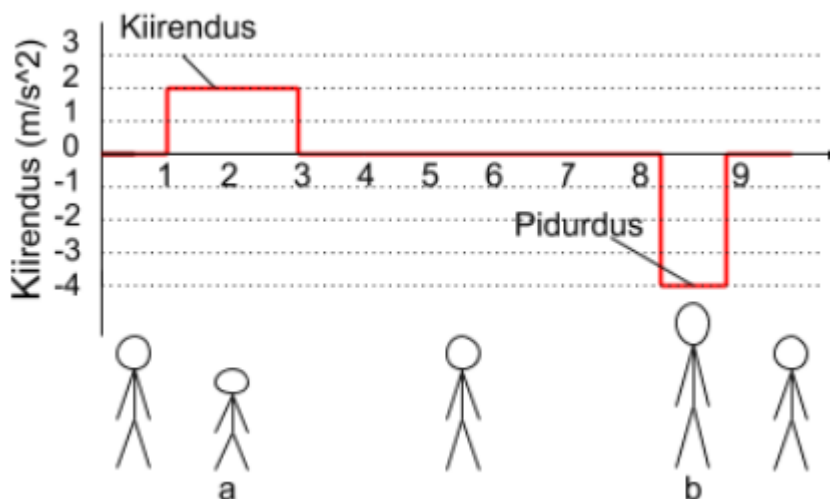
Kiirendusmõõtureid kasutatakse väga erinevates eluvaldkondades. Aktseleeromeetri abil saab mõõta sõidukite kiirendust ning seeläbi hinnata masina jõudlust. Mõõtmistulemuste põhjal on võimalik sõidukeid kohandada vastavalt vajadusele. Ka bioloogia valdkonnas leiab eelpool mainitud seadmele rakendust. Üha enam kasutatakse kiirendusmõõtureid, et õppida loomade käitumuslikke mustreid, ajal mil nad ei ole nähtavad. Näiteks võimaldavad kõrgsageduslikud kiirenduse analüüsid välja arvutada loomade energiakulu looduses. Kiirendusmõõturid on populaarsust kogunud eelkõige merebioloogias, sest meres ei ole tihti võimalik loomi jälgida visuaalselt nagu maismaal.

Aktseleeromeetreid kasutatakse veel ka erinevate aparaatide töökorrasoleku monitoorimiseks, näiteks kontrollitakse pöörlevates mehhanismides vibratsiooni suurust ning selle muutumist ajas. Turbiinide, pumpade, kompressorite, jahutustornide jms monitoorimine on väga tähtis, sest see aitab ennetada suuremaid kahjustusi süsteemile ning pikas perspektiivis säästa raha, vähendada töökatkestusi ning täiustada turvalisust. Just nimelt kiirendusmõõteri andmete põhjal on võimalik hinnata süsteemi hetkeolukorda ning ennetada pöörlevate mehhanismide täielikku seiskumist.

Spordimaailmas on viimastel aastatel levima hakanud spordikellad, mis kasutavad andmete kogumiseks jalaandurit, mis koosneb ühest või enamast aktseleeromeetrist. Kuna aktseleeromeeter mõõdab kiirendust iga ettemääratud ajaühiku tagant, siis on eelmainitud spordikellade täpsus väga ligilähedane reaalsusele.

1.4 Keha kui aktseleeromeeter

Eelmistes peatükkides oleme teinud tutvust nii kiiruse kui ka kiirendusega, aga kas ja kuidas meie keha nendele kahele nähtusele reageerib. Kui oleme autos, mis sõidab kiirusega 90km/h või lennukis, mis sõidab 900km/h, ei tunne meie keha liikumist. Kui aga auto või lennuk järsult kiirust muudab, paneme muutust kohe tähele. Teisisõnu reageerib meie keha kiirendusele, s.t meie keha on aktseleeromeeter, aga mitte kiirusele, s.t meie keha pole spidomeeter. Ameerika raudtee ning karussellisõidu teevad kõhedaks justnimelt järsud kiirusemuudatused - me maksame kiirenduse, mitte kiiruse eest. Kuna liftiga on meist ilmselt igaüks sõitnud, siis toaksin siinkohal välja, mida tunneb liftisõidu ajal meie keha. Joonisel 4 on näidatud üks võimalik kiirenduse graafik liftiga üles sõidu puhul ning selle allservas on kriipsujukudega kujutatud, kuidas inimese keha sellele reageerib.



Joonis 4. Kiirenduse graafik liftiga üles sõites (a) kui lifti liikumine alguses kiireneb, tunneme, justkui surutaks meid allapoole b) kui kabiin pidurdab, tundub meile, et meid venitatakse ülespoole) [14, lk.20].

Olles saanud ülevaate kiiruse ja kiirenduse mõistest ning aktseleeromeetri töö põhimõttest ja ehitusest, asume lähemalt tutvuma Vernier' aeglase kiirenduse sensoriga.

2. Firma Vernier aeglase kiirenduse sensor ning selle kasutamine NXT-G keskkonnas

Järgnevas peatükis teeme tutvust Vernier' aeglase kiirenduse sensoriga, õpime seda ühendama LEGO Mindstorms NXT juhtploki ning vaatame, kuidas andurit NXT-G keskkonnas kasutada saab. NXT-G keskkonnas toimub programmeerimine graafiliselt, s.t programmi valmistamiseks kasutatakse graafilisi kastikesi, järjestades neid kuni saavutatakse soovitud tulemus. NXT-G keel on sobiv programmeerimiskeel algajale, sest graafiline keskkond on lihtsasti arusaadav. Eelmainitud keele suurimaks puuduseks on see, et väga keerulisi programme on praktiliselt võimatu koostada, sest graafiliste kastikeste kasutamisevõimalused on suuresti piiratud. Komplekseid programme saab koostada NXC keeles (*Not eXactly C*) [26], mida antud bakalaureusetöös ei käsitleta.

Järgnevates peatükkides kasutatakse mõisteid andur ja sensor sünonüümina, et vältida liigseid sõnakordusi. Käesoleva peatüki alampeatükid on kirjutatud kasutades allikaid [15-18, 21, 24].

2.1 Firma Vernier kiirendusandurid

Firma Vernier toodab mitu kiirendusandurit. Selguse mõttes kasutame käesoleva töö raames sensori täisnimetust: aeglase kiirenduse sensor. Firma Vernier poolt loodud aeglase kiirenduse sensor (vaata Joonis 5), mis ühildub LEGO Mindstorms NXT'ga, on oma võimaluste poolest sobiv vahend nii algajale kui ka edasijõudnud kasutajale erinevate kiirendusega seotud eksperimentide jaoks. Seda võib kasutada näiteks liftisõidu, pendli otsa kõikumise, auto ühesuunalise liikumise ja lõbustuspargi sõidu vältel toimuvate kiirenduse muudatuste õppimiseks. Kasutades mitut Vernier' aeglase kiirenduse sensorit samaaegselt on võimalik leida kiirenduse mõju keeruliste liikumiste jooksul kõigi kolme koordinaatteljestiku telgede suhtes.



Joonis 5. *Firma Vernier aeglase kiirenduse sensor [15]*

Firma Vernier on loonud kolm erinevat kiirendusandurit: lisaks ülalmainitule on nende poolt loodud keerulisemate eksperimentide efektiivsemaks sooritamiseks ka kolmesuunaline (vaata Joonis 6) ning kiire (vaata Joonis 7) kiirenduse sensor.



Joonis 6. *Firma Vernier kolmesuunaline kiirenduse sensor [17]*



Joonis 7. *Firma Vernier kiire kiirenduse sensor [18]*

Eelmainitud Vernier' kiirenduse sensorid erinevad oma olemuselt väga vähe. Aeglase kiirenduse sensor on oma nime saanud sellest, et sellega on võimalik mõõta teaduse mõistes suhteliselt aeglaseid kiirendusi. Antud anduri mõõtmisvahemik on $\pm 50m/s^2$ ehk $\pm 5g$. Vernier' kiire kiirenduse sensoriga saab aga mõõta kiirendusi vahemikus $\pm 245m/s^2$ ehk $\pm 25g$. Kuna nii aeglase kui ka kiire kiirenduse sensoriga saab mõõta kiirendust vaid ühes suunas, siis on firma Vernier loonud ka kolmesuunalise kiirenduse sensori. Antud andur koosneb kolmest aeglase kiirenduse sensorist, mis on omavahel väiksesse plokki ühendatud. Kolmesuunalisel kiirenduse sensoril ei ole küll eelist mõõtmisvahemiku osas, aga sellega saab mõõta kiirendust kolmes suunas samaaegselt: edasi, külj ja üles suunas. Seetõttu on viimasena mainitud andurit mugav kasutada komplekssete eksperimentide käigus.

Käesolevas bakalaureusetöös on autoril kasutamiseks Vernier' aeglase kiirenduse sensor ja järgnevatel peatükkides antakse ülevaade selle tähtsamatest omadustest, et mõista kuidas see töötab ja kuidas seda erinevates olukordades kasutada saab.

2.2 Vernier' aeglase kiirenduse sensori tutvustus

Käesolevas peatükis tutvume Vernier' aeglase kiirenduse sensoriga. Anduri tutvustamiseks on kasutatud anduri ingliskeelset kasutusjuhendit [16]. Nii nagu kõik teised firma Vernier tooted, on ka nende loodud aeglase kiirenduse sensor mõeldud õppe eesmärgiks ning selle kasutamine teaduses, meditsiinis või mõnes teises ülimalt täpsust nõudvas valdkonnas ei ole soovituslik. Vernier' aeglase kiirenduse sensor kasutab kiirenduse mõõtmiseks mikroskeemi, mis loodi algselt autode turvapatjade vabanemise kontrollimiseks. Anduri sees on õhukesed paindlikud silikooni tahutud „sõrmed“ (ingl.k. „fingers“), mis reageerivad kiirendusele. „Sõrmed“ on paigutatud ja ühendatud samamoodi nagu kondensaatori plaadid ning kui need painduvad, siis mahtuvus anduris muutub. Mahtuvuse muut teiseandakse mõne mikroskeemi ühendatud seadmega pingeks, pinge võimendatakse ning seejärel saab mikroskeemist tulemused välja filtreerida.

Vernier' aeglase kiirenduse sensor mõõdab kiirendust anduri peal oleva noole suunas (vaata Joonis 5) ning kuvab seda ühikutes meeter sekundi ruudu kohta (m/s^2) või g , kus g on $9.8m/s^2$. Seadme sagedusala on 1-100Hz ning eraldusvõime $0,028N/kg$. Vernier' aeglase kiirenduse sensori täpsus on $\pm 0.5m/s^2$ ehk $\pm 0.05g$ ning sellega saab mõõta kiirendusi vahemikus $\pm 50m/s^2$ ehk $\pm 5g$. Paljud kokkupõrked, näiteks kas või anduri mahapillamine

mõnekümne sentimeetri kõrguselt, võivad põhjustavad palju suuremaid kiirendusi, kuid siiski saab ülalmainitud kiirendussensoriga sooritada mitmeid erinevaid katseid. Vernier' aeglase kiirenduse sensor tunnetab ka maa gravitatsioonijõudu, mille abil on seda väga kerge kalibreerida ning tänu gravitatsioonijõu tunnetamisele saab seda kasutada ka kaldeandurina nurkade mõõtmiseks. Seadme näit muutub liigutades andurit vertikaalsest asendist horisontaalsesse, mis loob võimaluse mõõta nurki ühe kraadi täpsusega.

Kuigi seade on tehase poolt kalibreeritud, vaatame siin ka seda, kuidas teda kalibreerida. Selleks, et Vernier' aeglase kiirenduse sensor kalibreerida kiirenduse mõõtmiseks horisontaalses suunas, tuleb läbida järgnevad sammud:

- Aseta andur nii, et anduri peal olev nool näitab suunaga alla
- Defiineeri see näit kiirenduseks $-9.8m/s^2$ või $-1g$
- Muuda anduri asendit nii, et anduri peal olev nool oleks suunaga üles
- Defiineeri see näit kiirenduseks $9.8m/s^2$ või $1g$

Selleks, et kontrollida, kas kalibreerimine oli edukas, tuleb andur asetada tasasele pinnale nii, et nool selle peal asetseb maaga horisontaalselt. Eduka kalibreerimise puhul on anduri näit eelmainitud asendis 0. Anduri kalibreerimiseks kiirenduse mõõtmiseks vertikaalses suunas, tuleb läbida samad sammud mis enne, ainult et esimeses punktis tuleb defineerida kiirenduseks $0m/s^2$ või $0g$ ning teises $19.6m/s^2$ või $2g$.

2.3 Vernier' aeglase kiirenduse sensori ühendamine NXT baaskomplektiga

Vernier' aeglase kiirenduse sensorit saab kasutada LEGO Mindstorms NXT komplektiga kasutades Vernier' NXT adapterit (vaata joonis 8).



Joonis 8. Vernier' NXT adapter [22]

Adapteri üks ühenduspesa on mõeldud vernier' sensori ning teine NXT kaabli jaoks, et ühendada adapter NXT juhtploki (vaata joonis 9) pordiga 1, 2, 3 või 4. Joonisel 9 asuvad need pordid allservas.



Joonis 9. LEGO Mindstorms NXT juhtplokk [23]

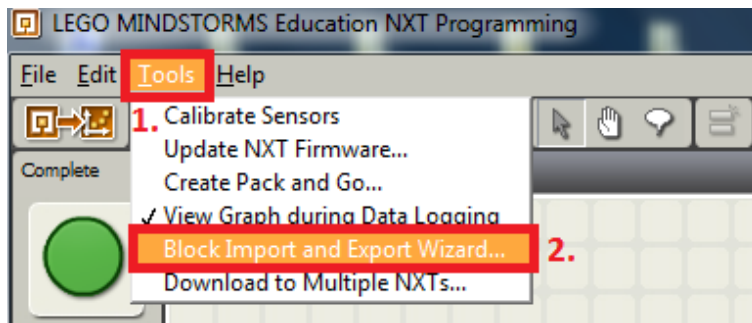
Joonisel 10 on välja toodud korrektne viis, kuidas ühendada omavahel Vernier' aeglase kiirenduse sensor ning NXT juhtplokk, kasutades selleks üht kaablit ning Vernier' adapterit.



Joonis 10. Vernier' aeglase kiirenduse sensori ühendamise NXT juhtploki.

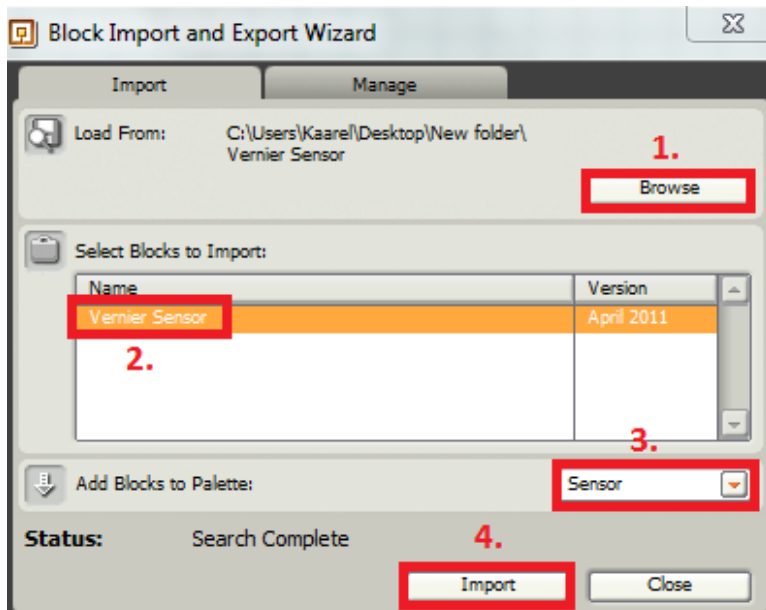
Selleks, et kasutada Vernier' NXT adapterit LEGO Mindstorms NXT tarkvaraga, tuleb esmalt alla laadida ja paigaldada Vernier' sensorite plokk. Eelmainitud ploki puhul tuleb silmas pidada, et see oleks LEGO Mindstorms NXT tarkvara versiooniga ühilduv. Vernier' sensorite plokk tuleb alla laadida firma Vernier koduleheküljelt. Plokk koos lisadega on algselt ZIP formaadis ning selle kasutamiseks tuleb see oma arvutis soovitud kausta lahti pakkida.

Vernier' sensorite ploki importimiseks NXT-G keskkonda tuleb käivitada NXT programm, programmi ülemisest menüü ribast valida „Tools“ ning seejärel avada „Block Import and Export Wizard“ (vaata joonis 11).



Joonis 11. Vernier' sensorite ploki importimine

Avaneb uus aken (vaata joonis 12), kus tuleb esialgu vajutada nupule „Browse“ ning valida kaust kuhu Vernier' sensorite plokk lahti pakiti. Pärast seda tuleb „Vernier Sensor“ märgistada ning „Add Blocks to Palette“ alt valida „Sensor“. Viimaseks sammuks tuleb vajutada nupule „Import“. Kui plokk on juba eelnevalt imporditud, siis annab programm teile kaks valikut: kas eelmine üle kirjutada või katkestada importimine.

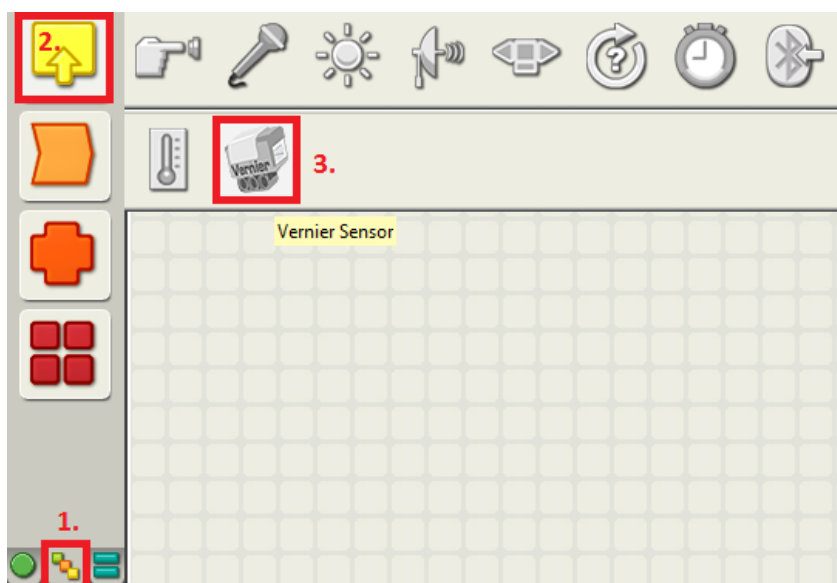


Joonis 12. Vernier' programmeerimisploki valimine

Pärast edukat importimist ilmub Vernier' sensorite plokk teiste sensorite kõrvale NXT-G keskkonnas ning seda on võimalik hakata oma programmides kasutama.

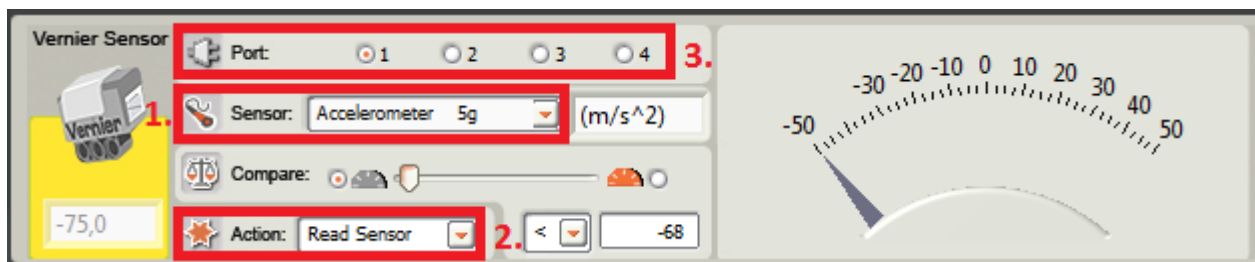
2.4 Vernier' aeglase kiirenduse sensori kasutamine NXT-G keskkonnas

Kui olete teinud Vernier' sensorite ploki importimisel kõik sammud nii nagu alampeatükis 2.3 kirjeldatud, siis leiate Vernier' anduriploki NXT programmis, valides „Complete palette“ vaates „Sensor“ (vaata joonis 13).



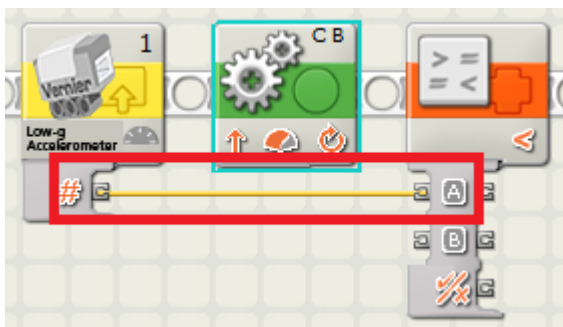
Joonis 13. Vernier' sensorite ploki valimine.

Pärast seda kui Vernier' sensorite plokk on valitud ning lohistatud NXT programmis soovitud alale, saab seda hakata omadustepaneelil (vaata joonis 14) seadistama. „Sensor“ rippmenüüst tuleb valida sobiv andur (Vernier' aeglase kiirenduse sensori puhul „Accelerometer 5g“), „Action“ rippmenüüst „Read Sensor“ ning valiku „Port“ alt tuleb valida port, kuhu eelnevalt valitud andur ühendatud on.



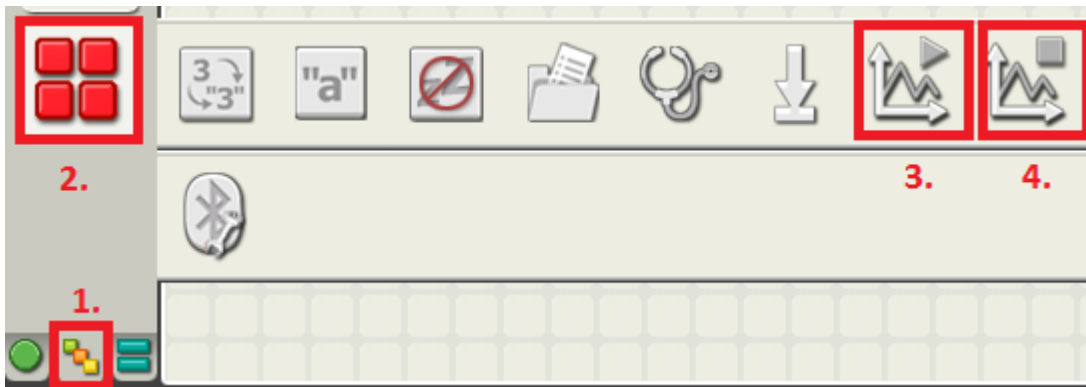
Joonis 14. Vernier' sensorite ploki omadustepaneel.

Vernier' aeglase kiirenduse sensori ainukeseks funktsiooniks lihtsas NXT programmis on kiirenduse näidu edastamine mõnele teisele programmi osale. Näiteks võib roboti peatada või panna liikuma mingit kindlat marsuuti pidi, kui kiirendus on ületanud ette antud piiri. Anduri näitu saab edastada teistele programmi osadele, lohistades anduri väljund soovitud vastuvõtjani (vaata joonis 15).



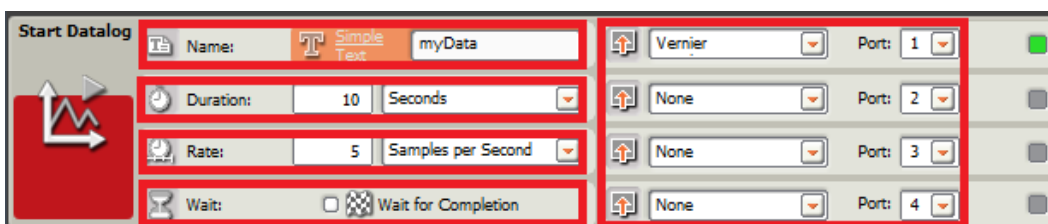
Joonis 15. Vernier' sensori näidu edastamine teisele programmi osale.

Vernier' sensoreid saab NXT-G programmides kasutada ka andmekogujana. Selleks tuleb valida „Complete palette“ vaates „Advanced“ menüüst „Start Datalog“ (vaata joonis 16). Lohistades „Start Datalog“ plokk NXT programmis soovitud kohale, hakkab programm alates sellest hetkest ette määratud seadistuse järgi andmeid koguma. Joonisel 16 on „Start Datalog“ valik tähistatud numbriga 3 ning numbriga 4 on märgistatud valik „Stop Datalog“, mis tuleks lohistada NXT programmis kohale, kus tahetakse andmete kogumine lõpetada.



Joonis 16. Andmekogumismooduli valimine NXT-G keskkonnas (numbriga 3 märgistatud valik tähistab „Start Datalog“ ning numbriga 4 „Stop Datalog“ plokki).

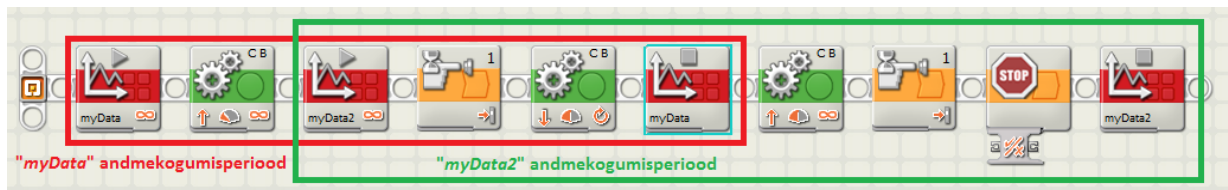
Pärast seda kui andmekogumisplakk on valitud ning lohistatud NXT programmis soovitud alale, saab seda omadustepaneelil (vaata joonis 17) seadistama hakata. Tekstivälja „Name“ alt saab määrata faili nime, kuhu andmed programmi jooksumise ajal kirjutatakse, väli „Duration“ on mõeldud andmete kogumise aja määramiseks ning välja „Rate“ alt saab määrata andmete kogumise sageduse. Märkides ära valiku „Wait for Completion“, kogub programm andmekogumismoodulini jõudes ette määratud aja jagu andmeid ning alles siis jätkatakse järgmiste tegevustega. Andmeid võib korraga koguda kõigist neljast NXT juhtploki pordist, juhul kui igasse neist on ühendatud mõni andur. Selleks, et koguda andmeid antud bakalaureusetöös kasutatavalt Vernier' aeglase kiirenduse sensorilt, tuleb valida port, kuhu andur ühendandatud on ning rippmenüüst valida „Accelerometer 5g“.



Joonis 17. Andmekogumisplaki omadustepaneel.

Juhul kui andmete kogumise ajaks määratakse lõpmatus, siis kogub programm andmeid seni, kuni jõutakse „Stop Datalog“ osani, mis käseb antud ploki lõpetada. Siinkohal tuleb tähele panna, et kui „Start Datalog“ on seadistatud lõpmatuks ajaperioodiks ning sellele ei järgne „Stop Datalog“ moodulit, siis jääb programm jooksuma seni, kuni NXT juhtploki vajutatakse halli nuppu või kuni aku tühjaks saab või see eemaldatakse. Andmekogumisplakke võib ühes

NXT programmis olla enam kui üks. Joonisel 18 on välja toodud üks võimalik programmi lõik koos kahe korrektselt seadistatud andmekogumisploriga.



Joonis 18. Andmekogumisperioodi korrektne lõpetamine NXT-G keskkonnas, kui andmekogumisplori („Start Datalog“) omadustepaneelil on ajaks määratud lõpmatus.

Nüüd, kus oleme teinud tutvust Vernier' aeglase kiirenduse sensori ning selle kasutamisega NXT-G keskkonnas, on aeg asuda lahendama ülesandeid.

3. Ülesanded

Käesolevas peatükis on koostatud ülesanded, mida saab lahendada kasutades Vernier' aeglase kiirenduse sensorit koos LEGO Mindstorms NXT baaskomplektis leiduvaga. Ülesanded on erineva raskusastmega, alustades kergeimast ning lõpetades raskeimaga. Ülesannete kirja panemisel on kasutatud kindlat struktuuri, et hiljem oleks erinevatest bakalaureusetöödest õppematerjalide kokkupanemine kergem.

Kõik ülesanded koosnevad järgmistest osadest:

- **Tase** - ülesande keerukus (kerge, keskmine, raske).
- **Eesmärk** - kirjeldab, mida antud ülesande lahendamise käigus õpitakse.
- **Vajaliku vahendid ja teadmised** - kirjeldatakse, milliseid vahendeid ning eelteadmisi on tarvis ülesande edukaks sooritamiseks.
- **Ülesande püstitus** - lahendust vajava situatsiooni ning oodatava lahenduse kirjeldus.
- **Lahenduse idee** - pakutakse välja mõned ideed, kuidas ülesandele lähenema peaks, et saavutada töö autoriga sarnane lahendus.
- **Üks võimalik lahenduskäik NXT-G keeles** - tuuakse välja üks võimalik ülesande lahenduskäik. Ülesannete lahendusfailid on lisatud käesoleva bakalaureusetöö lisas olevale CD-plaadile (vaata Lisa 1).
- **Märkused** - kirjeldatakse probleeme, mis ülesande lahendamise käigus ette võivad tulla. Siinkohal tuleb tähele panna, et kindlasti pole tegu lõpliku probleemide nimekirjaga.
- **Ideed ülesande edasiarendamiseks** - tuuakse välja mõned võimalused ülesande keerulisemaks muutmiseks.

3.1 Ülesanne 1

Tase:

Kerge, sobib Vernier' aeglase kiirenduse sensoriga tutvumiseks.

Eesmärk:

Õppida edastama anduri näitu NXT juhtploki ekraanile.

Vajalikud vahendid/teadmised

- Vernier' aeglase kiirenduse sensor
- LEGO Mindstorms NXT juhtplokk
- Vernier' NXT adapter
- Kaabel NXT juhtploki ning Vernier' NXT adapteri ühendamiseks
- Arvuti, kuhu on paigaldatud NXT-G programm, millesse on imporditud Vernier' sensorite plokk
- Vajalikuks eelteadmiseks on LEGO Mindstorms NXT-G programmi kasutamisoskus vähemalt algtasemel

Ülesanne:

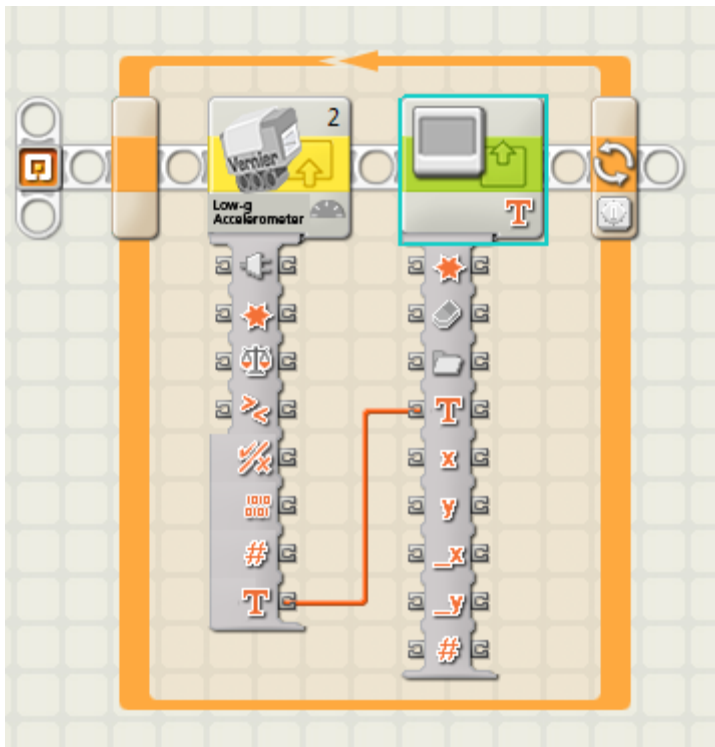
Kuvada LEGO Mindstorms NXT juhtploki ekraanile Vernier' aeglase kiirenduse sensori näit reaalsajas.

Lahenduse idee:

Käesoleva ülesande puhul oleks mõistlik kasutada „*Vernier Sensor*“ ning „*Display*“ plokkide. Selleks, et programm kuvaks ette antud aja jooksul pidevalt uut näitu, tuleks eelmainitud plokkid panna „*Loop*“ ploki sisse.

Üks võimalik lahenduskäik NXT-G keeles:

Moodustada 10 sekundit kestev tsükkel, kasutades selleks „*Loop*“ plokki. Tsükli sisse tuleks panna „*Vernier Sensor*“ plokk ning seadistada see näitu edastama „*Display*“ plokkile. Üks võimalik lahendus käesoleva ülesande jaoks on toodud joonisel 19.



Joonis 19. Üks võimalik programm NXT-G keeles, mis kuvab Vernier' aeglase kiirenduse sensori näitu reaalajas ekraanile ette antud aja jooksul.

Märkused:

Kui tekib olukord, et programm ise näib olevat korrektne, aga NXT juhtploki ekraanile ei kuvata midagi, siis tasuks üle vaadata „Vernier Sensor“ ploki alt, kas näitu loetakse õige porti kaudu. Teine põhjus, miks näitu ei pruugita kuvata on, et „Vernier Sensor“ ning „Display“ plokid on omavahel valesti ühendatud.

Ideed ülesande muutmiseks:

Antud ülesanne on mõne ploki lisamisega võimalik teha võistlusprogrammiks. NXT-G programmi saab muuta selliseks, et Vernier' aeglase kiirenduse sensori näitu loetakse ette määratud aja vältel ning programmi lõppedes kuvatakse suurim ja väikseim näit ekraanile. Ülesande võistluslik pool seisneb selles, et programmiga saaks katsetada, kes suudab andurit käes hoida kõige stabiilsemalt.

3.2 Ülesanne 2

Tase:

Keskmine, sobib neile, kes on varasemalt mõne programmi NXT-G keeles kirjutanud.

Eesmärk:

Õppida NXT-G programmis erinevaid plokkide üksteisega suhtlema panna.

Vajalikud vahendid/teadmised:

- Vernier' aeglase kiirenduse sensor
- LEGO Mindstorms NXT juhtplokk
- Vernier' NXT adapter
- Kaabel NXT juhtploki ning Vernier' NXT adapteri ühendamiseks
- Arvuti, kuhu on paigaldatud NXT-G programm, millesse on imporditud Vernier' sensorite plokk
- Vajalikuks eelteadmiseks on LEGO Mindstorms NXT-G programmi kasutamisoskus vähemalt keskmisel tasemel

Ülesanne:

Kuvada LEGO Mindstorms NXT juhtploki ekraanile kurb emotikon, kui Vernier' aeglase kiirenduse sensori näit on negatiivne, positiivse näidu puhul tuleks kuvada rõõmus emotikon.

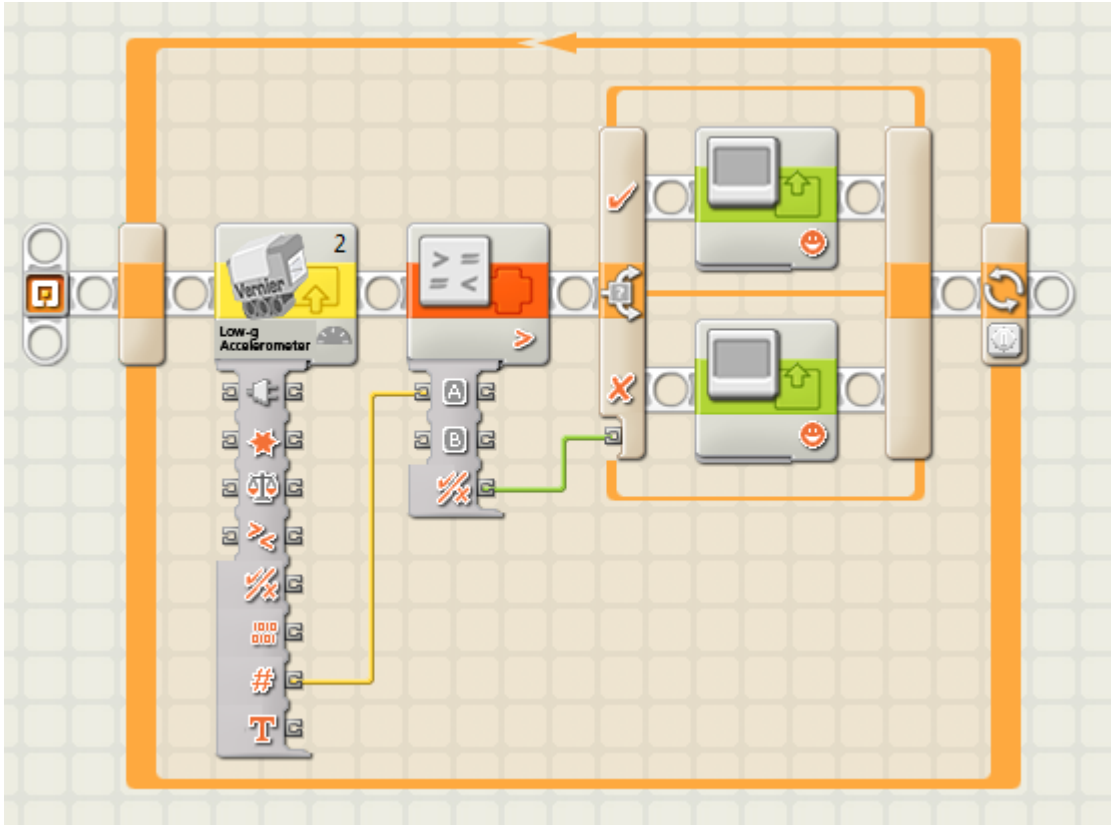
Lahenduse idee:

NXT-G programmis on soovitatav kasutada „*Vernier Sensor*“, „*Compare*“, „*Switch*“ ning „*Display*“ plokkide. Selleks, et programmi jooksmise ajal saaks iga Vernier' aeglase kiirenduse sensori näidumuudatuse peale uuendada, tuleks kõik eelnimetatud plokkid panna korrektselt seadistatult ning kombineeritult „*Loop*“ ploki sisse.

Üks võimalik lahenduskäik NXT-G keeles:

Moodustada 10 sekundit kestev tsükkel, mille vältel võrreldakse anduri näitu nulliga ning kuvatakse vastavalt näidule sobiv emotikon LEGO Mindstorms NXT juhtploki ekraanile. Tsükli sisse tuleks panna Vernier' sensorite plokk ning seadistada see Vernier' aeglase kiirenduse sensori näitu edastama võrdlusplokkile („*Compare*“). Võrdlusploki tõeväärtus tuleks omakorda edastada „*Switch*“ plokkile ning vastavalt Vernier' aeglase kiirenduse sensori

näidule antud hetkel, tuleks kuvada kas kurb või rõõmus emotikon. Ploki „Switch“ sees tuleks kasutada erinevate emotikonide kuvamiseks NXT juhtploki ekraanile kaht eraldi „Display“ ploki. Joonisel 20 on toodud üks võimalik ülesande lahendamise programm.



Joonis 20. Üks võimalik programm, mis kuvab ette antud aja vältel LEGO Mindstorms NXT juhtploki ekraanile kurba ja rõõmsat emotikoni vastavalt sellele, kas Vernier' aeglase kiirenduse sensori näit on suurem või väiksem kui 0.

Märkused:

Programm võib jääda lõpmatult käima või kokku joosta. Antud probleemi põhjuseks on suure tõenäosusega „Loop“ ploki seadistamata jäänud lõputingimus. Käesoleva ülesande puhul sobib lõputingimuseks hästi ajaline piirang.

Ideed ülesande muutmiseks:

Programmi võib muuta nii, et kui Vernier' aeglase kiirenduse sensori näit on 0 või erineb nullist väga vähe, siis kuvada ekraanile neutraalne emotikon. Teine võimalus ülesande muutmiseks on panna programm väljastama emotikone ainult siis, kui anduri näit tõuseb üle või langeb alla ette antud piirist. Lisaks võib programmi muuta ka nii, et NXT juhtplokk

kuvab programmi jooksmise ajal Vernier' aeglase kiirenduse sensori näitu ning programmi lõpus kuvatakse kõige suurem näit üks kord veel ekraanile.

3.3 Ülesanne 3

Tase:

Raske, sobib neile, kes on eelnevalt mitut sensorit ühes NXT-G programmis samaaegselt kasutanud.

Eesmärk:

Näidata, et käesolevas bakalaureusetöös kirjeldatud nähtused kiirus ja kiirendus on üksteisega väga tihedalt seotud.

Vajalikud vahendid/teadmised:

- Vernier' aeglase kiirenduse sensor
- LEGO Mindstorms NXT klotsidest, mootoritest, puuteandurist ning juhtploki ehitatud robot (üks võimalik robot on toodud joonisel 21)
- Vernier' NXT adapter
- Kaabel NXT juhtploki ning Vernier' NXT adapteri ühendamiseks
- Arvuti, kuhu on paigaldatud NXT-G programm, millesse on imporditud Vernier' sensorite plokk
- Vajalikuks eelteadmiseks on LEGO Mindstorms NXT-G programmi kasutamisoskus vähemalt keskmisel tasemel



Joonis 21. Üks võimalik robot ülesande 3 lahendamiseks

Ülesanne:

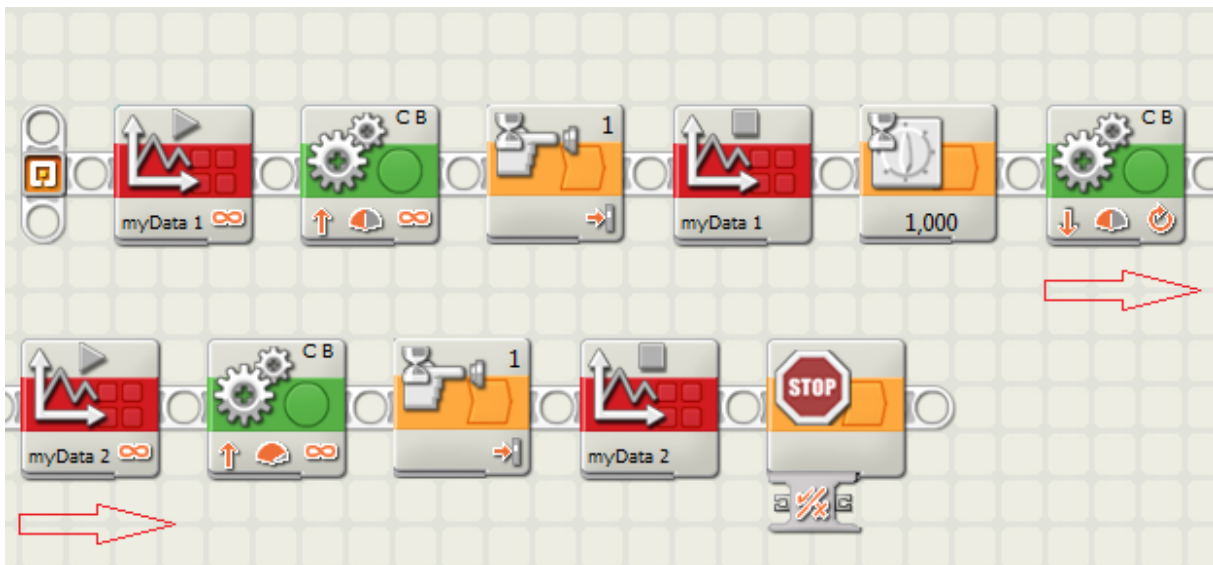
Panna robot sirgjooneliselt erinevate kiirustega vastu seinat sõitma ning võrrelda tekkinud kiirendusgraafikuid.

Lahenduse idee:

Ülesande lahendamiseks on soovituslik kasutada „Move“, „Wait“ ning „Stop“ plokkide. Selleks, et Vernier' aeglase kiirenduse sensori näitudest graafikuid moodustada, tuleb eelmainitud plokkid paigutada „Start Datalog“ ja „Stop Datalog“ plokkide vahele. Ülesande lahendamiseks võib teha ühe NXT-G programmi ning enne teise katse algust antud programmis muuta „Move“ plokkis roboti liikumiskiirust. Teine võimalus ülesande lahendamiseks on koostada natukene keerulisem programm, mis laseb robotil kaks korda järjest erinevatel kiirustel vastu seinat sõita ning koostab kaks eraldi graafikut. Viimasena mainitud lahenduse realiseerimine NXT-G keskkonnas on küll mõnevõrra keerulisem, aga tänu sellele ei pea programmi pärast esimest katset muutma ning uuesti NXT juhtplokkid laadima.

Üks võimalik lahenduskäik NXT-G keeles:

Moodustada kaks eraldi andmekogumisplokki ning mõlemas plokis koguda andmeid alates paigalseisust kuni seina vastu sõitmiseni. Kahe andmekogumisploki vahel tuleks lasta robotil natukene tagurdada, et uuel katsel samuti soovitud kiirus saavutada. Seina vastu sõitmist saab kergelt kontrollida puuteanduriga. Joonisel 22 on töödud üks võimalik ülesande lahendamise programm.



Joonis 22. Ülesande 3 üks võimalik lahenduskäik

Märkused:

Ülesannet lahendades võib tekkida olukord, kus hiljem graafikut vaadates selgub, et andmete kogumine on poole peal lõppenud. Selleks võib olla kaks põhjust: andmekogumisaeg plokis „Start Datalog“ on liiga lühike või sai NXT juhtploki mälu andmete kirjutamise hetkel otsa. Viimasena nimetatud probleemi vastu aitab see, kui NXT juhtploki mälust ebavajalikke programme ja andmefailide kustutada.

Ideed ülesande muutmiseks:

Ühe või mitu Vernier' aeglase kiirenduse sensorit võib kinnitada näiteks jalgratta või auto külge ning seeläbi uurida, millised kiirendused andur sõidu ajal fikseerib. Teine võimalus ülesande muutmiseks on asetada andur robotile sõidusuunaga risti ning uurida külgi kiirenduse olemust.

3.4 Ülesanne 4

Tase:

Raske, sobib neile, kes on eelnevalt mitut sensorit ning kõiki kolme NXT baaskomplekti mootorit ühes NXT-G programmis samaaegselt kasutanud.

Eesmärk:

Õpetada Vernier' aeglase kiirenduse sensorit kasutama kaldeandurina.

Vajalikud vahendid/teadmised:

- Vernier' aeglase kiirenduse sensor
- LEGO Mindstorms NXT klotsidest, mootoritest, ning juhtplokist ehitatud robot
- Vernier' NXT adapter
- Kaabel NXT juhtplokki ning Vernier' NXT adapteri ühendamiseks
- Arvuti, kuhu on paigaldatud NXT-G programm, millesse on imporditud Vernier' sensorite plokk
- Vajalikuks eelteadmiseks on LEGO Mindstorms NXT-G programmi kasutamisoskus vähemalt keskmisel tasemel

Ülesanne:

Transportida NXT robotile asetatud täidetud veeklaas punktist A punkti B nii, et veeklaas robotilt maha ei kukuks. Siinkohal tuleb tähele panna, et tee ei ole kogu aeg tasapinnaline, vaid vahepeal esinevad ka tõusud ja langused.

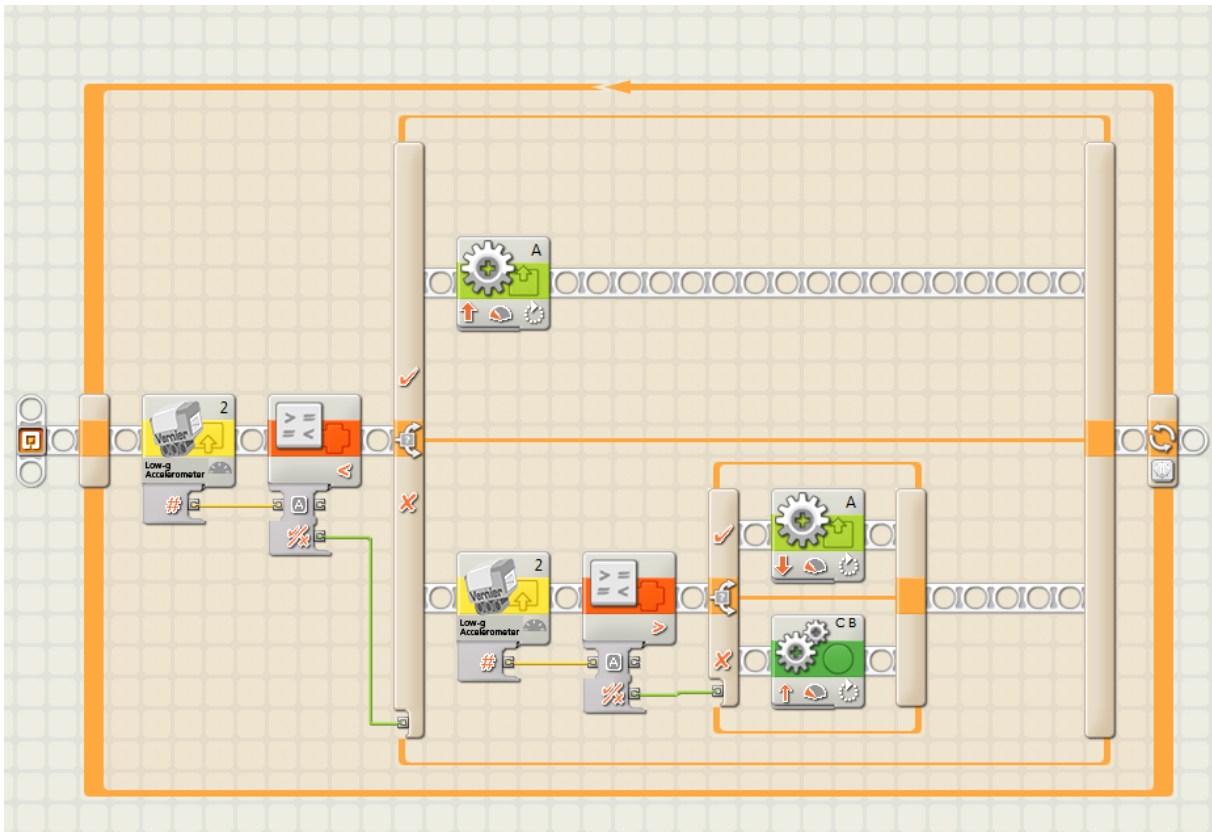
Lahenduse idee:

Antud ülesannet on mõistlik lahendada kasutades „Vernier Sensor“, „Compare“, „Move“, „Motor“ ning „Switch“ plokkide. Eelmainitud plokkid tuleks õigesti seadistada ja paigutada ühte „Loop“ plokkki, et robot liiguks edasi ainult siis, kui veeklaasi alus asetseb maapinnaga paralleelselt, s.t alus on loodis. Juhul kui veeklaasi alus loodis pole, peab mootor roboti veeklaasi alust kergitama vastavalt vajadusele, et alus jälle loodi saada.

Üks võimalik lahenduskäik NXT-G keeles:

Tuleks moodustada tsükkel, kasutades selleks „Loop“ plokkki. Tsükli sees peab pidevalt aeglase kiirenduse anduri näitu kontrollida ning võrdlema seda ette antud piiridega. Autori

lahenduses on veeklaasi aluse loodis olemise tingimuseks, et alus ei tohi olla kaldu rohkem kui 5° , s.t kiirenduse näit peab jääma vahemikku $\pm 0.5m/s^2$. Kasutades „Switch“ plokkide, tuleb vastavalt vajadusele robotiga sõita või, kui veeklaasi alus pole loodis, siis tuleb kolmanda mootori abil see loodi seada. Joonisel 23 on toodud üks võimalik lahenduskäik NXT-G keskkonnas.



Joonis 23. Ülesande 4 üks võimalik lahendusprogramm

Märkused:

Peamine asi, millele antud ülesande puhul tähelepanu peab pöörama, on see, et andur ja mootorid oleksid ühendatud õigestesse portidesse ning ka vastavate plokkide seadistused NXT-G programmis oleksid korrektsed, s.t andmeid kuulatakse õigest portist.

Ideed ülesande muutmiseks:

Ülesannet võib muuta nii, et robot peab aina järsenevast teest üles sõitma ning, kui mootor enam robotit edasi liigutada ei jõua, fikseeritakse kaldenurk ja kuvatakse see teatud ajaks NXT juhtplokkile. Teine võimalus ülesande muutmiseks on testida, mis on kõige väiksem mootori võimsus, millega robot etteantud kaldega teest üles liikuda jõuab.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on tutvustada LEGO Mindstorms NXT'ga ühilduvat firma Vernier aeglase kiirenduse sensorit. Töö annab põhjaliku ülevaate Vernier' aeglase kiirenduse sensorist, selle tehnilistest omadustest ning anduri rakendusvõimalustest. Lisaks valmisid mõned praktilised ülesanded, mida saab lahendada kasutades Vernier' aeglase kiirenduse sensorit koos LEGO Mindstorms NXT robotitega. Samuti anti käesolevas bakalaureusetöös põgus ülevaade kiirendusest, et lugejal oleks ülevaade füüsilisest suurusest, mida eelmainitud anduriga mõõta saab.

Käesoleva bakalaureusetöö käigus valminud materjal läheb kasutusse Kooliroboti projekti raames, mistõttu on töö kirjutamisel arvestatud asjaoluga, et sellest peaksid aru saama ka gümnaasiumi õpilased ja õpetajad. Töö on jagatud kolmeks suuremaks peatükiks ning kirjutamisel on jälgitud teiste LEGO Mindstorms NXT'ga seonduvate tööde struktuuri, et käesolevat tööd oleks lihtne ühendada teiste sarnaste töödega ühtseks õppematerjaliks.

Autor tutvus töö kirjutamise käigus LEGO Mindstorms NXT baaskomplekti ning Vernier' aeglase kiirenduse sensoriga ning õppis kasutama NXT-G programmeerimiskeskonda. Ülesannete loomisel üritati mõelda sellele, et õpilastel oleks neid huvitav lahendada ning, et võimalikke lahenduskäike oleks mitmeid. Lisaks mõeldi sellele, et ülesandeid annaks kergesti muuta, et õpetajad ei peaks väga palju väärtuslikku aega kulutama näidisülesannete välja mõtlemisele. Töö kirjutamisel oli motiveerivaks teguriks ka fakt, et loodav materjal leiab tulevikus rakendust Eesti koolides.

LEGO Mindstorms NXT compatible Low-g Accelerometer

Bachelor thesis

Kaarel Kohler

Summary

The purpose of this bachelor thesis was to introduce the LEGO Mindstorms NXT compatible Vernier' low-g accelerometer. This thesis gave a fair understanding about Vernier' low-g accelerometer, it's technical attributes and some ideas how to use it in different situations. In addition, few practical exercised for low-g accelerometer were created.

The material created in this thesis will be used in Educational Robotics Program. The material should be understandable to secondary school students and their teachers. The thesis has been divided into three bigger chapters and the structure of other LEGO Mindstorms NXT related theses have been of influence when writing this particular one.

The first part of the thesis describes the nature of two physical phenomena: velocity and acceleration. Some examples are brought from real life and a brief description about an accelerometer and it's usage has been pointed out.

The second part of the thesis concentrates on the introduction of the Vernier' low-g accelerometer. It's specifications and usage in different situations is brought out and a detailed description how to use this specific accelerometer in NXT-G programs has been provided.

The last part consists of four tasks with different levels of difficulty. They can be solved using Vernier' low-g accelerometer with LEGO Mindstorms NXT robots. The first two tasks are easier and suitable to get to know the sensor described in this thesis. The last two task are a bit more difficult and requires the ability to use different LEGO Mindstorms NXT compatible sensors simultaneously in one NXT-G program.

Kasutatud materjalid

1. Kooliroboti projekt [<http://www.robootika.ee/lego/projekt/>] viimati vaadatud 11.05.2013
2. Vernier Software & Technology [<http://www.vernier.com/>] viimati vaadatud 11.05.2013
3. Mindsensors [<http://www.mindsensors.com/>] viimati vaadatud 11.05.2013
4. HiTechnic Products [<http://www.hitechnic.com>] viimati vaadatud 11.05.2013
5. Codatex [http://www.codatex.com/index.php?en_LEGO_MINDSTORMS_NXT] viimati vaadatud 11.05.2013
6. Racing driver breaks acceleration world record for the standing mile as he powers to 257mph - in a customised FORD [<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2121144/Racing-driver-Sean-Kennedy-breaks-acceleration-world-record-standing-mile.html>] viimati vaadatud 11.05.2013
7. Hennessey Venom GT sets new production car acceleration world record [<http://www.gizmag.com/hennessey-venom-gt-acceleration-world-record/25925/>] viimati vaadatud 11.05.2013
8. Wikipedia. G-force [<http://en.wikipedia.org/wiki/G-force>] viimati vaadatud 11.05.2013
9. Weight On Different Planets [<http://www.questacon.edu.au/starlab/weight.html>] viimati vaadatud 11.05.2013
10. Wikipedia. John Stapp – Works on effects of deceleration [http://en.wikipedia.org/wiki/John_Stapp#Works_on_effects_of_deceleration] viimati vaadatud 11.05.2013
11. Recording Automotive Crash Event Data [<http://www.nhtsa.gov/cars/problems/studies/record/chidester.htm>] viimati vaadatud 11.05.2013
12. Wikipedia. David Purley [http://en.wikipedia.org/wiki/David_Purley] viimati vaadatud 11.05.2013
13. Kiirenduse arvutamine [<http://study.risk.ee/prog/ylesanded/kiirendus/>] viimati vaadatud 11.05.2013
14. Füüsika põhikursus: õpik kõrgkoolile (1. köide) Autorid: Halliday/Resnick, Jearl Walker; [toimetajad Piret Kuusk, Siim Ainsaar, Stiina Kristal]

15. Low-g Accelerometer [<http://www.vernier.com/products/sensors/accelerometers/lga-bta/>] viimati vaadatud 11.05.2013
16. Low-g Accelerometer User Manual [<http://www.vernier.com/files/manuals/lga-bta.pdf>] viimati vaadatud 11.05.2013
17. 3-Axis Accelerometer [<http://www.vernier.com/products/sensors/accelerometers/3d-bta/>] viimati vaadatud 11.05.2013
18. 25-g Accelerometer [<http://www.vernier.com/products/sensors/accelerometers/acc-bta/>] viimati vaadatud 11.05.2013
19. Accelerometers [<http://techgon.com/accelerometers/>] viimati vaadatud 11.05.2013
20. Wikipedia. Accelerometer [<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>] viimati vaadatud 11.05.2013
21. Vernier Sensor Block [<http://www.vernier.com/engineering/lego-nxt/vernier-sensor-block/>] viimati vaadatud 11.05.2013
22. Vernier NXT Sensor Adapter [<http://gammaco.com/lego/vernier-nxt-sensor-adapter/>] viimati vaadatud 11.05.2013
23. Driving a Lego Mindstorms Bot Using C# [<http://www.codeproject.com/Articles/31103/Driving-a-Lego-Mindstorms-Bot-Using-C>] viimati vaadatud 11.05.2013
24. Using the Vernier Adapter and Vernier Block with LEGO's MINDSTORMS Edu NXT V2.0 software [http://www.vernier.com/files/nxt/using_the_vernier_sensor_block_2.pdf] viimati vaadatud 11.05.2013
25. Siim Kallson (2009), bakalaureusetöö "LEGO MINDSTORMS NXT andurid"
26. Wikipedia. Not eXactly C [https://en.wikipedia.org/wiki/Not_eXactly_C] viimati vaadatud 11.05.2013
27. Accelerometer [<http://www.instrumentationtoday.com/accelerometer/2011/08/>] viimati vaadatud 11.05.2013
28. Piesoelektriline efekt [<http://materiarharutus.blogspot.com/2011/07/piesoelektriline-efekt.html>] viimati vaadatud 11.05.2013
29. Wikipedia. Piesoelekter [<http://et.wikipedia.org/wiki/Piesoelekter>] viimati vaadatud 11.05.2013

Lisad

Lisa 1 - Ülesannete lahendused

Tabelis 3 on toodud käesolevas bakalaureusetöös kirjeldatud ülesannete lahendusfailid.

Ülesande number	Faili nimi
Ülesanne 1	„Ylesanne 1.rbt“
Ülesanne 2	„Ylesanne 2.rbt“
Ülesanne 3	„Ylesanne 3.rbt“
Ülesanne 4	„Ylesanne 4.rbt“

Tabel 3. CD plaadil olevad lahendusfailid

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Kaarel Kohler (sünnikuupäev: 09.05.1988) annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „LEGO Mindstorms NXT’ga ühilduv aeglase kiirenduse sensor“, 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 13.05.2013