

Tomi Ilonen, Tommi Nuotioma, Matias Pitkänen

Kokoava projekti  
Lego Mindstroms

Tekijä(t) Otsikko	Etunimi Sukunimi Opinnäytetyön otsikko
Sivumäärä Aika	xx sivua + x liitettä 15.9.2010
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	koulutusohjelman nimi
Suuntautumisvaihtoehto	suuntautumisvaihtoehdon nimi
Ohjaaja(t)	tehtävänimike Etunimi Sukunimi tehtävänimike Etunimi Sukunimi
Avainsanat	

Author(s) Title	First name Last name Title of the Thesis
Number of Pages Date	xx pages + x appendices 5 May 2010
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Name of the degree programme
Specialisation option	Name of the specialisation option
Instructor(s)	First name Last name, Title (for example: Project Manager) First name Last name, Title (for example: Principal Lecturer)
Keywords	

## Sisälllys

### Lyhenteet

1	Lego Mindstorms	1
1.1	NXT	1
1.2	RCX	2
1.3	Cybermaster	2
2	RobotC	2
3	HiTechnic ja Mindsensors tuotteet	3
3.1	HiTechnic anturit	3
3.1.1	Kulma-anturi	3
3.1.2	Kiihtyvyyssanturi	4
3.1.3	Ilmanpaineanturi	4
3.1.4	Värianturi	5
3.1.5	Gyroskooppianturi	5
3.1.6	Kompassianturi	6
3.1.7	EOPD -anturi	6
3.1.8	Infrapunasäteilyn vastaanottoanturi	7
3.1.9	Infrapunasäteilyn hakuanturi	7
3.1.10	Infrapunasäteilyn linkkianturi	8
3.2	HiTechnic laitteet	8
3.2.1	Infrapunapallo	9
3.2.2	Kauko-ohjain	9
3.3	Mindsensors	10
3.3.1	Vision Subsystem v4 for NXT	10
4	Laitteiden ja antureiden käyttö projektissa	10
5	Tehtävien ja esimerkkien luominen	11

### Lähteet

**Error! Bookmark not defined.**

### Liitteet

Liite 1. Liitteen nimi

Liite 2. Liitteen nimi

## Lyhenteet

- b            bitti, pienin mahdollinen informaation yksikkö. Bitillä on kaksi mahdollista arvoa, joita kuvaavat yleensä ykkönen ja nolla. (Käytä tyyliä Lyhenneluettelon kohta.)
- B            tavu, kahdeksan bitin muodostama informaation yksikkö.
- kbps        kilobittiä sekunnissa, tiedonsiirtonopeuden mittayksikkö.

## 1 Lego Mindstorms

Lego Mindstorms (virallinen nimi Lego Mindstorms Robotic Invention System) on Lego Groupin valmistama tuotesarja, josta voi rakentaa erilaisia robotteja. Tuotesarjaan kuuluu monia erilaisia pakkauksia, joista voi rakentaa erilaisia robotteja. Pakkaukset koostuvat mikropiirillä varustetuista keskuspalikoista, niihin liittyvistä antureista ja moottoreista sekä tavanomaisista Lego Technic-palikoista. Ensimmäinen Lego Mindstorms versio, RCX, julkaistiin vuonna 1998 ja toinen versio, NXT, vuonna 2006. Projektissamme käytimme NXT versiota.

Sekä RCX- että NXT-keskuspalikat ovat ohjelmoitavissa. Helpoin tapa ohjelmoida keskuspalikoita on käyttää pakkauksen mukana tulevaa graafista ohjelmointityökalua. Ohjelmat rakennetaan erilaisista palikoista, joiden avulla voidaan määritellä esimerkiksi tiettyjen moottorien pyöriminen anturien luvut jne. Näin voidaan esimerkiksi rakentaa ohjelma, joka vierittää keskuspalikkaa moottorien avulla pyörittämällä renkaita X kierrosta ja sitten lukea kosketusanturin arvon.

Ohjelmaa robotille voi tehdä myös "oikeilla" ohjelmointikielillä, kuten C:llä tai C++:lla. Käytimme projektissamme RobotC kehitysympäristöä, joka on ehkä helpoin tapa ohjelmoida melkein oikealla C:llä. RobotC:llä voi tehdä helpoiten kaiken mitä Mindstorm tarjoaa.

### 1.1 NXT

NXT versio sisältää kolme sähkömoottoria ja neljä anturia: valo-, ultraääni-, kosketus- ja äänianturin. Pakettiin kuuluvien antureiden lisäksi on olemassa paljon muitakin antureita, joita voi tilata esim. Legon internet sivuilta. Markkinoilta löytyy myös muiden valmistajien tekemiä antureita, jotka toimivat Lego Mindstorms roboteissa. Käytimme projektissamme HiTechnicin valmistamia antureita. Lisäksi sarja sisältää keskuspalikan ja erinäisen määrän Lego Technic -osia. NXT ohjelmoidaan tietokoneella. Projektissamme käytimme RobotC ohjelmointikieltä. NXT:ssä on kolme ulostuloporttia, neljä sisääntuloporttia ja yksi USB-portti, jonka kautta tietokoneella ohjelmoitu ohjelma siirretään NXT:hen. NXT on varustettu Bluetoothilla.

## 1.2 RCX

RCX versio on NXT version edeltäjä. RCX versiossa on kolme anturiporttia ja kolme sähkömoottoriporttia. Se ohjelmoidaan tietokoneella tätä varten kehitetyllä ohjelmalla. Ohjelmia voidaan ajaa joko suoraan tietokoneen kautta tai tallentamalla ne RCX-keskusalikkaan josta niitä voidaan ajaa nappia painamalla. RCX versioita saa nykyään vain huutokaupoista tai kirpputoreilta, koska RCX on korvattu uudemmalla NXT versiol-la.

## 1.3 Cybermaster

Cybermaster ohjelmoitava keskusalikka julkaistiin samana vuonna alkuperäisen RCX:n kanssa. Cybermaster-tuotesarja on suunnattu nuoremmille kuin RCX ja se oli integroitu tehokkaasti setin mukana tulleeseen tietokonepeliin. Cybermasterissa eroaa RCX:stä esimerkiksi siten, että siinä on vain yksi ulostuloportti sekä yksi sisääntuloportti.

## 2 RobotC

RobotC-kieli pohjautuu C-kieleen. Siitä on karsittu turhia ominaisuuksia, joita ei tarvita Mindstorms ohjelmoinnissa. Kehitysympäristö on maksullinen, mutta kokeiluversio on ladattavissa ilmaiseksi. Jokaisessa RobotC-ohjelmassa on samanlainen "task main" runko. RobotC-kieli tunnistaa isot ja pienet kirjaimet. Kirjoitettu koodi käännetään tietokoneen/robotin ymmärtämään muotoon, konekielisiksi käskyiksi. Tämä tapahtuu kun ohjelma käännetään. Jos käänös menee läpi, eli kääntäjä on tulkinut ohjelmoijan kirjoittamat käskyt hyväksytysti, tuottaa se binääritiedoston (tiedoston, joka voidaan suorittaa robotissa), joka voidaan ladata robotille ja suorittaa.



### 3 HiTechnic ja Mindsensors tuotteet

HiTechnicin tuotteet ovat Legon kanssa yhteen sopivia, ja niiden käyttö sekä ohjelmointi ovat mahdollista myös RobotC ohjelmointiympäristössä. Lisäksi markkinoiden edullisin hinta ja laajin valikoima tekivät tavarantoimittajan valinnasta helppoa. HiTechnic antureiden helppo tilaaminen Suomeen oli kuitenkin tärkein kriteeri, jonka perusteella se valittiin.

#### 3.1 HiTechnic anturit

HiTechniciltä löytyy useita erityyppisiä antureita ja niiden sovelluspaketteja. Tuotevalikoimat ja käyttötarkoitukset laajenevat kokoajan, joten kaikkia antureita ja laitteita emme valinneet projektiimme. Valitsimme niistä vain mielestämme opetustarkoituksessa käytännöllisimmät ja helppokäyttöisimmät.

##### 3.1.1 Kulma-anturi

HiTechnic NXT Angle Sensor mittaa kolmea eri pyörimisominaisuutta yhdeltä akselilta. Anturia voidaan parhaiten hyödyntää laitteissa, joissa akselin pyörimisliike on avainasemassa esimerkiksi tuulenopeusmittarin tai mittauspyörän yhteydessä. Se mahdollistaa pyörimisnopeuden, pyörityjen asteiden määrän sekä akselin aseman mittaamisen samalla kertaa. Pyörimisnopeuden anturi ilmoittaa yhden yksikön tarkkuudella kierroksina minuutissa (RPM, revolutions per minute), akselin aseman ja pyörityjen asteiden määrän anturi ilmoittaa yhden asteen tarkkuudella.



Kuvio 1. HiTechnic NXT Angle Sensor

### 3.1.2 Kiihtyvyyssanturi

HiTechnic NXT Acceleration / Tilt Sensor mittaa kiihtyvyyttä kolmen eri akselin suuntaisesti. Anturia voidaan käyttää  $+2g$  ja  $-2g$  välisellä kiihtyvyyden alueella, jolloin kiihtyvyyden aiheuttamia voimia voidaan laskea. Yksi  $g$  vastaa noin 200 mittausta akselia kohti. Anturi mittaa myös kallistusta jokaisen akselin suhteen, joten sitä voidaan hyödyntää myös tasapainottelevissa roboteissa. Anturin jokaisen akselin mittaustulos päivittyy noin sata kertaa sekunnissa.



Kuvio 2. HiTechnic NXT Acceleration/Tilt Sensor ja mittausakselien asettelu.

### 3.1.3 Ilmanpaineanturi

HiTechnic NXT Barometric Sensor mittaa ilmanpainetta ja lämpötilaa. Sen mittaustuloksina saadaan ilmanlämpötila Celsius- tai Farenheit-asteina kymmenesosan tarkkuudella sekä ilmanpaine millibaareina ( $hPa = mbar$ ) tai tuumina elohopeaa ( $inHg$ ) tuhannesosa tuuman tarkkuudella. Kun anturin on kalibroinut oikein sen voi myös saada laskemaan korkeutta jalkoina tai metreinä.



Kuvio 3. HiTechnic NXT Barometric Sensor

### 3.1.4 Värianturi

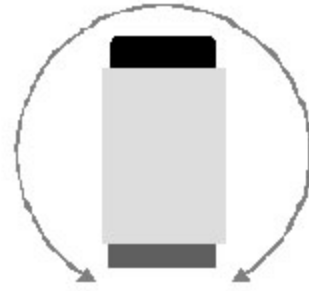
HiTechnic NXT Color Sensor (V2) tunnistaa yli 15 väriä. Anturi on asetettu tunnistamaan Legon perusvärejä. Anturin avulla voidaan rakentaa esimerkiksi viivaa seuraava tai värejä lajitteleva robotti. Anturi käyttää valkoista LED valoa ja vastaanotinta värien tunnistuksessa. Kun anturin eteen tuodaan väri, se tunnistaa sen ja ilmoittaa sitä vastaavan, ennalta määrätyn numeroarvon. Värien arvoa laskeva osa anturista päivittyy noin sata kertaa sekunnissa. Tämä uudistettu versio (V2) on paranneltu väriskaalan laajuuden ja tarkkuuden osalta.



Kuvio 4. HiTechnic Color Sensor (V2) ja sen käyttöesimerkki.

### 3.1.5 Gyroskooppianturi

HiTechnic NXT Gyro Sensor mittaa kallistuskulman muutosnopeutta. Anturia voidaan hyödyntää roboteissa, joissa halutaan havaita kallistusliikkeet tarkasti, kuten heilureissa tai joissain tasapainoa vaativissa projekteissa. Anturin mittaustuloksena saadaan pyörityjen asteiden määrä sekunteina sekä pyörimisen suunta, jota havainnoidaan plus- ja miinusmerkein. Anturi tekee havaintoja noin 300 kertaa sekunnissa.



Kuvio 5. HiTechnic Gyro Sensor ja sen mittaus alue.

### 3.1.6 Kompassianturi

HiTechnic NXT Compass Sensor toimii digitaalisena kompassina. Sen avulla voidaan rakentaa navigoivia robotteja. Kompassi anturi lukee maan magneettikenttää ja asettaa numeraalisen arvon sen hetkiselälle suunnalle. Anturi päivittyy sata kertaa sekunnissa ja se antaa suunnan asteen tarkkuudella välillä  $0^{\circ}$ - $359^{\circ}$ . Anturilla toimii kahdessa eri tilassa, suunnan luku ja kalibrointi. Luku tila on päällä kokoajan kun anturi mittaa suuntaa, mutta kalibrointi on tehtävä erikseen. Kalibroinnin tarkoituksena on kompensoida häirtatekijöiden vaikutuksia.



Kuvio 6. HiTechnic Compass Sensor

### 3.1.7 EOPD -anturi

HiTechnic NXT EOPD Sensor tarkkailee kohteen etäisyyttä ja sen muutoksia. Anturi käyttää havainnoissaan hyödyksi omaa valonlähdettään poistaakseen kirkkaiden ja

himmeiden valaistusympäristöjen vaikutukset. Anturi voi havaita kohteen jo 20cm päästä riippuen sen koosta, muodosta ja heijastavuudesta. Anturi päivittää noin 300 tulosta sekunnissa ja se toimii kahdella tarkkuus tasolla, x1 ja x4. Niin sanottu raa'at luvut syntyvät x4 tarkkuudella ja todelliset luvut x1 tarkkuudella. Kohteen lähestyessä raa'at ja todelliset luvut lähenevät toisiaan.



Kuvio 7. HiTechnic EOPD Sensor

### 3.1.8 Infrapunasäteilyn vastaanottoanturi

HiTechnic NXT IRReceiver Sensor vastaan ottaa siis infrapunasäteilyä. Sen käyttö mahdollistaa robotin kauko-ohjauksen. Anturi vastaanottaa Legon omien kauko-ohjainten lähettämiä signaaleja, joilla voidaan suoraan ohjata jokaista käytössä olevaa moottoria erikseen tai yhdessä.



Kuvio 8. HiThecnic IRReceiver Sensor

### 3.1.9 Infrapunasäteilyn hakuanturi

HiTechnic NXT IRSeeker V2 (versio 2) on myös infrapunasäteilyä vastaanottava anturi. Se mahdollistaa kauko-ohjauksen myös suurimalla osalla kaikista normaaleista TV -kaukosäätimistä. Sen kumvikas linssin muotoilu ja viisi sisäistä tunnistinta mahdollistaa 240 asteen havaintoalueen. Havaintoalue on jaettu yhdeksään osaan, jolloin anturi osaa kertoa suunnan, mistä saapuva säteily on voimakkain. Näiden tietojen avulla anturia hyödyntävä robotti pärjää erinomaisesti esimerkiksi jalkapallo pelissä.



Kuvio 9. HiTechnic IRSeeker V2 anturi ja havaintoalueet.

### 3.1.10 Infrapunasäteilyn linkkianturi

HiTechnic NXT IRLink Sensor kommunikoi vanhempien Lego tuoteperheiden kanssa infrapunasäteilyä hyödyntäen. Anturi toimii linkkinä uudempien NXT ohjelmien ja vanhempien RCX antureiden sekä moottoreiden välillä. Se mahdollistaa RCX antureiden käytön NXT ohjelmissa.



Kuvio 10. HiTechnic IRLink Sensor

## 3.2 HiTechnic laitteet

HiTechnicin valikoimista löytyy myös useita elektronisia laitteita ja robottien lisäosia, joiden avulla robottien toiminnot ja tehtävät saadaan vielä uudelle tasolle. Valikoimista löytyy muun muassa erilaisia tuotesarjoja, jotka mahdollistavat esimerkiksi aineiden ominaisuuksien tutkimista. Projektiimme valittiin vain muutama lisälaite luomaan uusia ulottuvuuksia koulumme roboteille.

### 3.2.1 Infrapunapallo

HiTechnic Infrared Electronic Ball on pallo, joka lähettää infrapunäsäteilyä neljällä eri tavalla. 20 infrapunalamppua voi lähettää, joko pulssimaista tai tasaista säteilyä. Tasaisen säteilyn taajuuden voi valita 600 Hz tai 1200 Hz väliltä, jolloin havaintoalue on vähintään viisi metriä. Pulssimaisen säteilyn avulla havaintoaluetta saadaan kasvatettua ja vastaanottavien antureiden on helpompi havaita kohde taustastaan. Palloa käytetään usein robottien välisissä ”jalkapallo” peleissä.



Kuvio 11. HiTechnicin Infrared Electronic Ball.

### 3.2.2 Kauko-ohjain

HiTechnic IR Remote Control mahdollistaa yhdessä IRReceiverin kanssa robottien kauko-ohjauksen. Kauko-ohjaimella voidaan kytkeä päälle tai pois päältä jokin moottoreista. IR Speed Remote Control puolestaan mahdollistaa on/off -kytkinten sijaan moottoreiden nopeuden säätelyyn.



Kuvio 12. HiTechnic IR Speed Remote Control (vasen) ja IR Remote Control (oikea).

### 3.3 Mindsensors

Mindsensors on toinen legon Mindstorms roboteille antureita ja muita lisälaitteita valmistava yritys. Toisin kuin HiTechnicin ulkomuodoiltaan ja asennettavuudeltaan yhteneväiset sensorit, mindsensors:n sensorit ovat ulkoisesti erimallisia. Mindsensors:n suppeamman anturivalikoiman vuoksi käytimme sitä vain Vision Subsystem v4 for NXT (NXTCam-v4)–kameran tilaamiseen.

#### 3.3.1 Vision Subsystem v4 for NXT

Mindsensors Vision Subsystem v4 for NXT (NXTCam-v4)–kameralla voidaan seurata reaaliajassa viivaa tai maksimissaan kahdeksaa eri värikohdetta. Väriskaalat määritellään kameraan erillisellä ohjelmalla tietokoneelta käsin. Kameran linssin tarkkuus on säädeltävissä ja vakiolinssi pitää sisällään myös infrapunavalolta suojaavan suotimen, joka poistaa häiriötekijöitä.

Kamerasta on mahdollista saada reaaliaikaista tietoa muun muassa kohteiden määräästä, kohteiden väristä, kohteiden raja-arvojen koordinaatteja tai seurattavan viivan koordinaatteja. Kamera pystyy seuraamaan liikkuvaa kuvaa 88x144 pikselin resoluutiolla, 30 kuvaa sekunnissa (30fps) sekä siirtämään täyden resoluution (176x144 pikseliä) kuvavedoksia koneeseen.

Kamera kytketään Lego Mindstorms robottiin standardin sensoriportin kautta ja tarvittaessa tietokoneeseen mini-USB-johdon kautta. Ohjelmointi onnistuu useassa eri ympäristössä, mukaan lukien RobotC:ssä. Kameran käyttöönotto vaatii käyttäjältä enemmän valmisteluja kuin HiTechnicin sensorit ja kameraa hyödyntävän ohjelman tekeminen vaatii edistynyttä ohjelmointitaitoa sekä analyyttisiä taitoja.

## 4 Laitteiden ja antureiden käyttö projektissa

Kaikkien antureiden osalta tehtiin yksinkertainen testikoodi, jonka avulla voidaan selvittää anturin toimivuuden lisäksi sen antamat tiedot. Testikoodien tarkoitus on toimia opetusmateriaaleina ja esimerkkeinä, joiden pohjalta saadaan luotua erilaisia toimintoja roboteilla. Joidenkin antureiden kohdalla lähdettiin myös luomaan hieman haasteelli-



simpia mallitöitä. Testikoodien tekemiseen käytimme koulun tietokoneita, joissa on RobotC-ohjelmat. Käytimme myös koulun Mindstorms robotteja projektissamme. Koulun robotit oli valmiiksi kasattu samanlaisiksi ja yksinkertaisia testikoodeja voi kokeilla näillä roboteilla. Osaa roboteista muokkasimme, jotta pystyimme kokeilemaan haasteellisempien koodien toimintaa. Teimme esimerkiksi Vision Subsystem v4 kameran avulla robotin, joka ampuu punaiset kohteet.

## **5 Tehtävien ja esimerkkien luominen**

Teimme antureista yksinkertaiset tehtävät, jotka lisäsimme Metropolian Wikiin. Näitä tehtäviä voidaan käyttää opetuksessa. Teimme antureista myös helpot esimerkit, joiden avulla tehtävien tekeminen pitäisi onnistua. Nämä esimerkit laitoimme myös Wikiin

## **Lähteet**

Lego Mindstorms. 2012. Verkkodokumentti.

< <http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx>>. Luettu 19.4.2012

HiTechnic anturit. 2012. Verkkodokumentti.

<<http://www.hitechnic.com/products>>. Luettu 19.4.2012.

Mindsensors. 2012. Verkkodokumentti.

< <http://www.mindsensors.com/>>. Luettu 19.4.2012.

**Liitteen otsikko**

Liitteen sisältö

**Liitteen otsikko**

Liitteen sisältö