

# **Robottiohjelmoinnin harjoitustyö**

*Viivaa seuraava ja esteitä väistelevä auto*

Pauli Niva

**Robotin kuvaus**

Viivaa seuraava ja esteitä väistelevä auto on kaksilainen tilarobotti, joka nimensä mukaisesti seuraa viivaa ja välttää havaitsemiaan esteitä. Käynnistettäessä käyttäjän pitää kalibroida valosensorin avulla tausta ja viiva, jotta robotti osaa erottaa ne.

Robotti seuraa viivaa valosensorin avulla. Se seuraa viivaa sen oikeassa reunassa viivan ja taustan rajaa seuraten. Esteet robotti havaitsee ultraäänisensorin avulla. Havaittuun esteen robotti pysähtyy. Tämän jälkeen robotti siirtyy viivanseuraamistilasta esteenohitustilaan.

Esteet robotti ohittaa oikealta siten, että kun ollaan siirrytty ohitustilaan, niin robotti käännyy 90 astetta oikealle ja käännytään sitten ultraäänisensorin takaisin estettä kohti. Tämän jälkeen robotti ajaa eteenpäin, kunnes sensori ei enää havaitse estettä, jonka jälkeen robotti käännyy takaisinpäin 90 astetta ja ajaa eteenpäin kunnes ultraäänisensori havaitsee uudelleen esteen ja jatkaa matkaa niin kauan kunnes se ei havaitse sitä enää. Robotti käännyy jälleen 90 astetta samaan suuntaan kuin edellisessä käänöksessä ja ajaa eteenpäin, kunnes havaitsee viivan. Tämän jälkeen robotti ajaa vielä 8 senttiä eteenpäin, jolloin sen renkaat ovat viivalla ja robotti käännyy vielä kerran 90 astetta nyt alkuperäiseen menosuuntaan, jolloin sensori asettuu viivan kohdalla. Tämän jälkeen robotti jatkaa viivan seuraamista, kunnes eteen tulee toinen este tai käyttäjä painaa hätäpysäytystä.

## Robotin rakenne

Robotti on rakenteeltaan modulaarinen. Siinä on kolme modulia: Vetävät moottorit ja renkaat, taso NXT-yksikölle ja muiden modulien kiinnitystä varten, sekä etupyörästö.

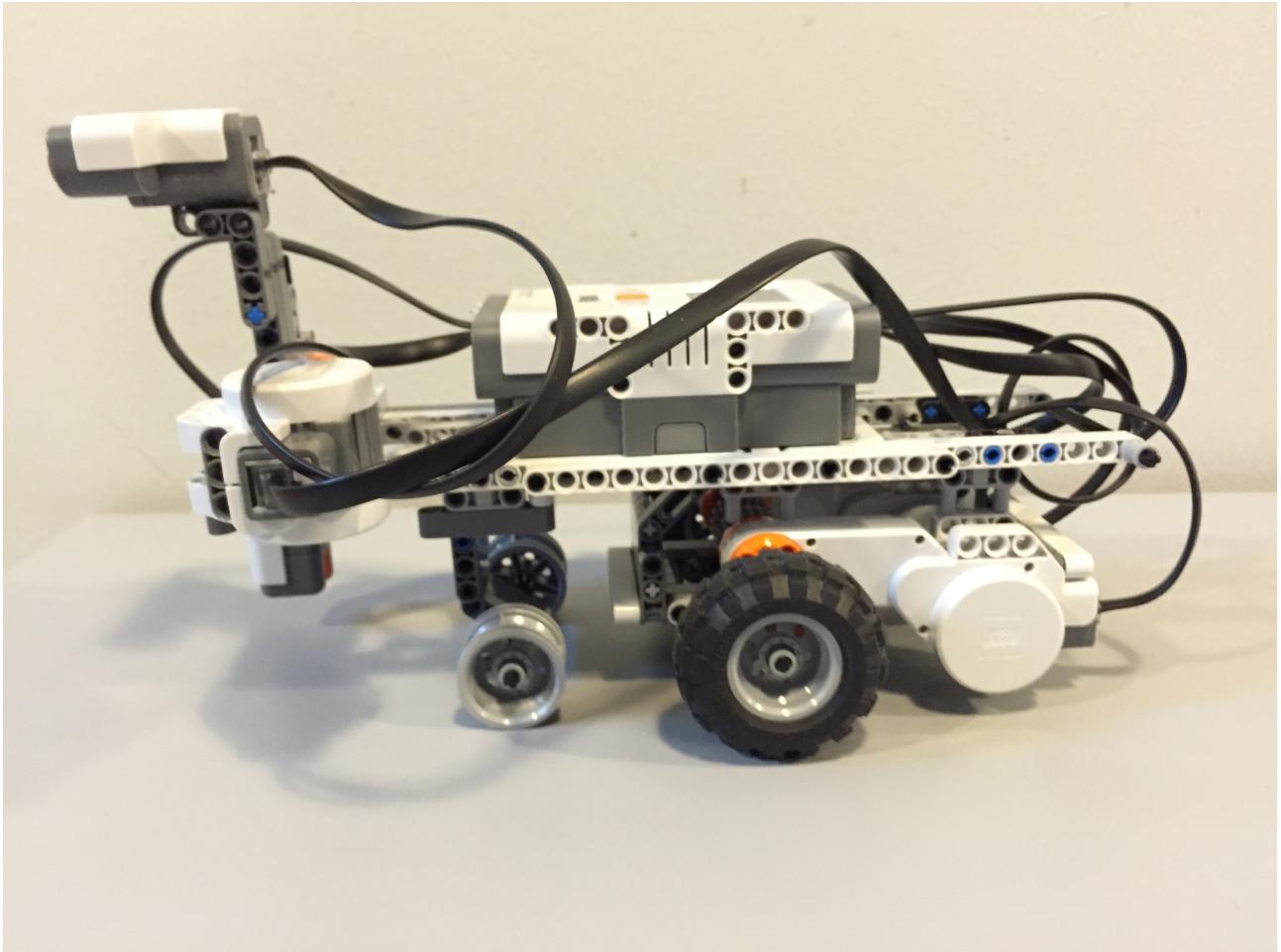
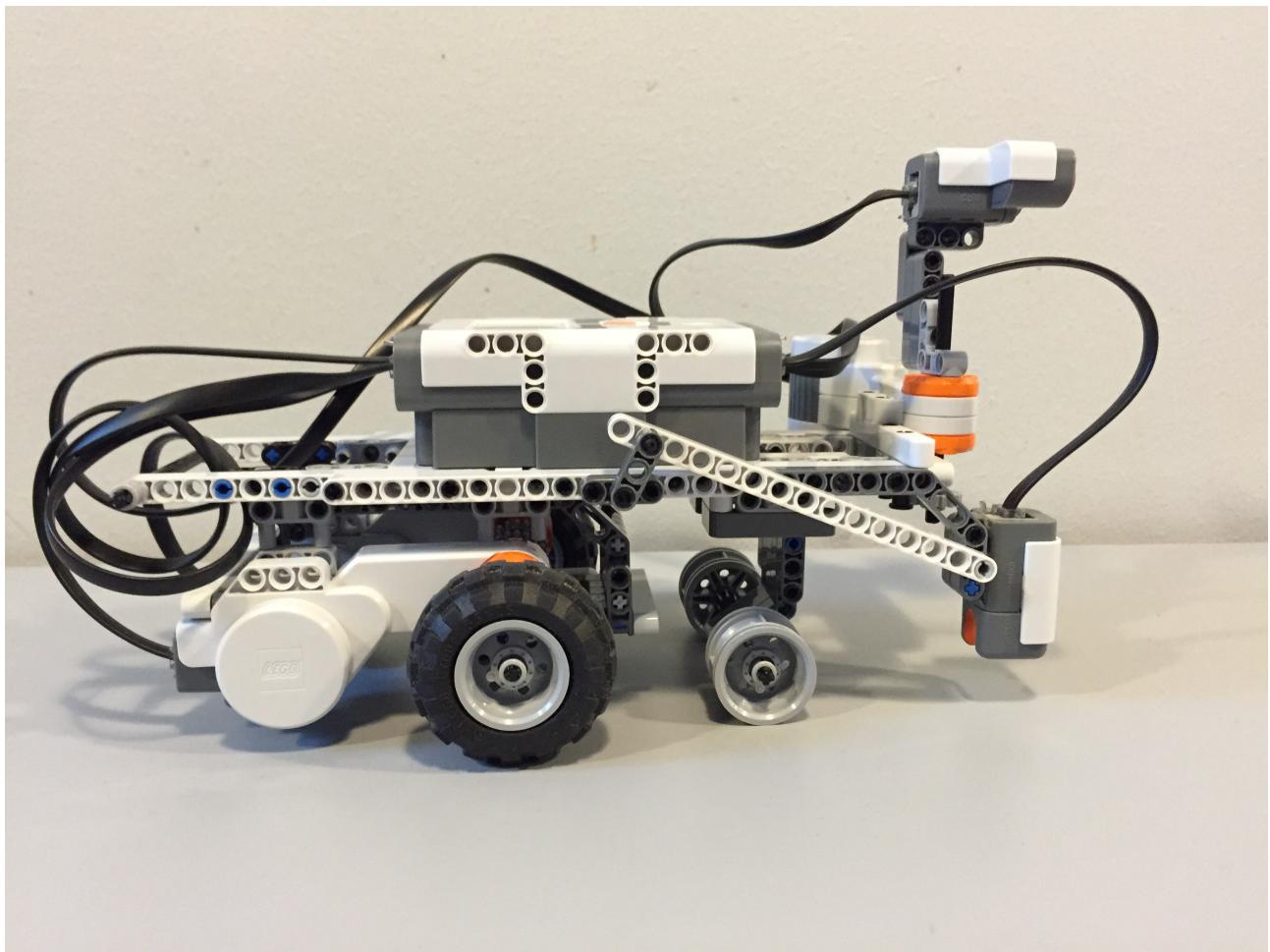
Robotti koostuu myös ultraäänisensorista, valosensorista ja kolmesta servomoottorista, joista kahta käytetään renkaiden pyörittämiseen ja kolmatta ultraäänisensorin liikuttamiseen.

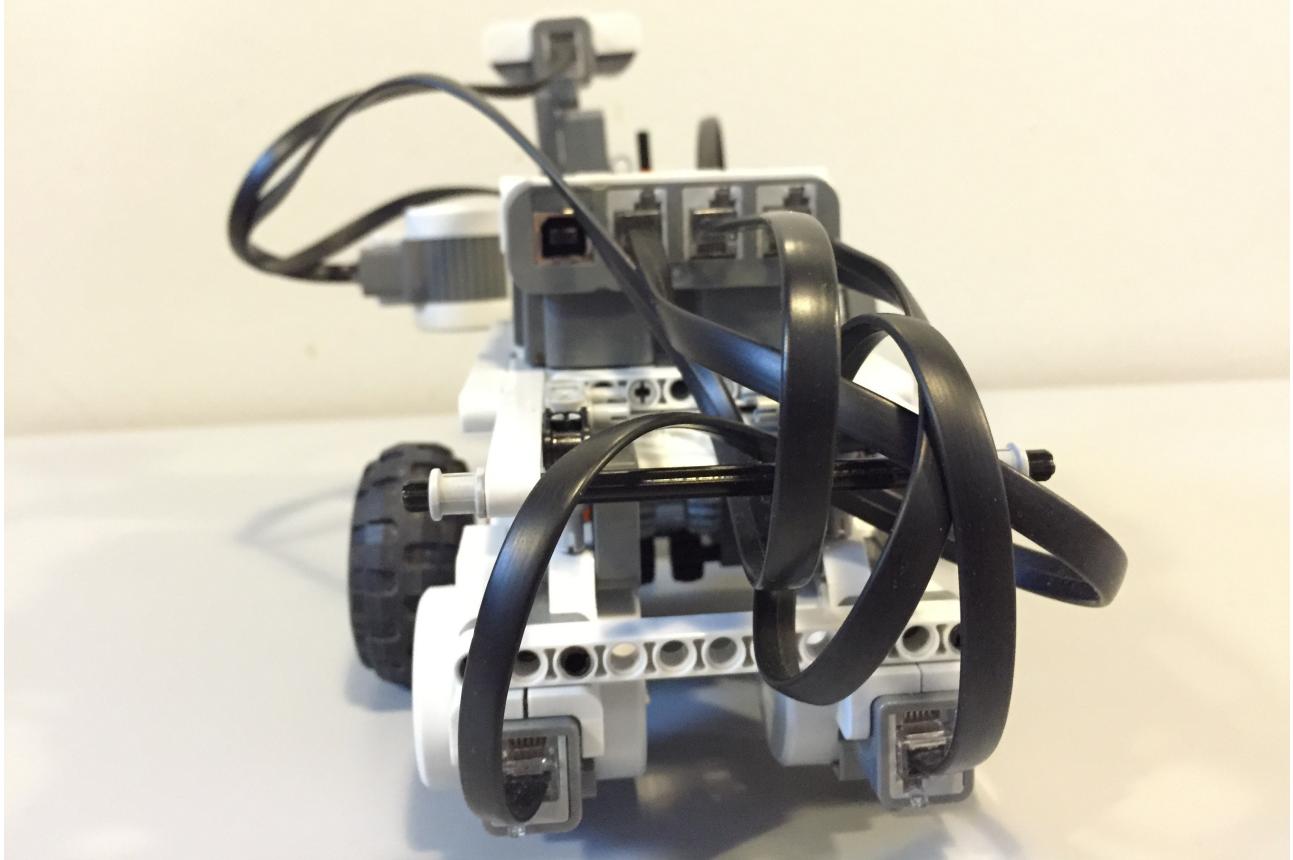
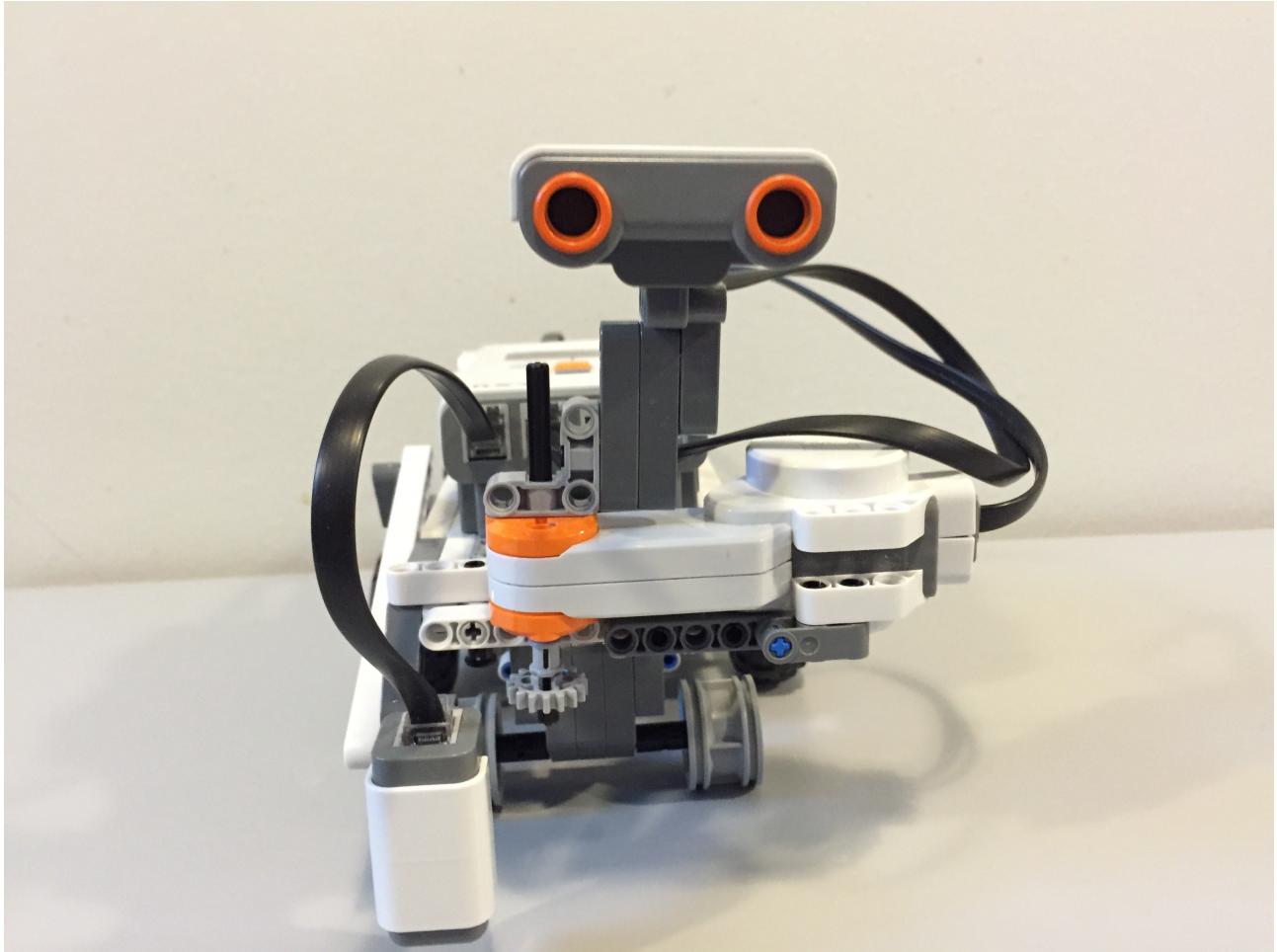
Robotti on 27 senttimetriä pitkä Mars-luotain Curiosityä muistuttava auto. Robotin korkeus on 17 senttimetriä ja leveys 12 ja puoli senttimetriä. Rengasväli on 12 senttiä ja vetävien pyörien koko on 5 senttiä ja 6 millimetriä. Valosensori on kahden senttimetrin korkeudella maasta osoittaen kohtisuoraan maata kohden. Kaikuluotain puolestaan on 17 senttimetrin korkeudella ja vaakatasossa.

Robotti on takavetoinen ja vain vetävissä renkaissa on kumiset renkaat. Etupyörät ovat pelkät vanteet käänymisen helpottamiseksi. Robotti käännyy pyörittämällä moottoreita eri tahtiin ja tarvittaessa myös eri suuntiin. Se pystyy myös pyörimään paikallaan.

Ultraäänisensori osoittaa perusasennossaan robotin menosuuntaan ja sitä liikutellaan servomoottorilla esteitä ohitellessa. Ultraäänisensoria on myös mahdollista liikutella tarvittaessa manuaalisesti sen alapuolella olevan vivun avulla. Tällä voidaan kohdentaa ja tarkentaa ultraäänisensorin alkuasentoa jos siihen ilmenee tarvetta.

Robotin perässä on tanko, joka on tarkoitettu siihen, että piuhat voi kiertää sen ympärille, jolloin ne eivät ole tiellä haittaamassa robotin toimintaa.





## Koodin rakenne

Ohjelmakoodi on jaettu kolmeen pakkaukseen. Pakkauksessa *moottorit* sijaitsee rajapinta moottoreille, sekä kolme luokkaa moottoreille. Yksi jokaiselle servomoottorille, eli yksi oikealle ja toinen vasemmalle renkaalle, sekä yksi ultraäänisensorille.

Pakkauksessa *sensorit* sijaitsee kaksi luokkaa sensoreille. Toinen nimeltään *Estesensori* tarjoaa ultraäänisensorin toiminnallisuuden robotille ja toinen nimeltään *Viivasensori* tarjoaa valosensorin toiminnallisuuden.

Kolmannessa pakkauksessa nimeltään *robotti* sijaitsee 4 luokkaa, joita käytetään robotin liikuttamiseen. Luokka *Käynnisty* sisältää *main*-metodin, jota käytetään vain robotin käynnistykseen ja mahdollisen poikkeuksen käsitteilyyn. Luokka *PIDSaadin* on vastuussa robotin tarvitseman käänöksen, jolla pysytään viivalla, laskemisesta. Luokka *Komentokeskus* sääteli sitä kumpi robotin tiloista on aktiivisena. Viivanseuraustila on oletuksena päällä ja esteenohitustila kytkeytyy tarvittaessa päälle. Neljäs luokka pakkauksessa on *Ohjausyksikko*, joka on vastuussa robotin liikuttamisesta, eli luokka lähettää käskyjä servomoottori -luokkien ilmentymille.

Kun ohjelma on käynnistetty *Käynnistä*-luokan *main*-metodista, se luo *komentokeskus*-olion, joka luo kaikista muista paitsi *moottori*-luokista ilmentymän. Yksi näistä ilmentymistä on *ohjausyksikkö*, joka taas luo moottoreista ilmentymät. Tämän jälkeen komentokeskus komentaa *viivasensoria* kalibroimaan itsensä. Tämän *viivasensori* tekee käyttäjän avustuksella antamalla tälle ohjeita LCD-ruudulla.

Kalibroinnin jälkeen komentokeskus pyytää *pidsäätimeltä* käänökorjauksen arviota, jonka jälkeen tämä lähettää *pidsäätimen* palauttamiin arvoihin perustuvat teholukemat *ohjausyksikölle*, joka puolestaan lähettää tarvittavat käskyt *moottori*-ilmentymille. Tätä sykliä kutsutaan viivanseuraamistilaksi. Tätä sykliä pyöritetään kunnes *estesensori* ilmoittaa edessä olevasta esteestä tai käyttäjä painaa hätäpäsysyystä. Esteen havaittuaan *komentokeskus* pyytää *ohjausyksikköä* pysäyttämään robotin ja sen jälkeen antaa vallan *ohjausyksikön* esteenkiertoalgoritmileille. Kun este on kierretty ohjelma palaa viivanseuraamistilaan.

Koodissa on myös javadoc:it itse tehdyille metodille, jos metoden toiminta ei ole nimetä täysin selvää.

## Testaus

### Testitapaus 1:

Testattavana oli kuinka korkean esteen robotti havaitsee suoraan kulkissa. Esteenä toimi pino lukion matematiikan kirjoja, koska niiden paksuus oli keskimäärin sentti. Aloitin senttin kokoisesta esteestä ja kymmenestä ajokerrasta yhtenäkään kertana robotti ei havainnut estettä. Nostin esteen kahteen senttimetriin ja nyt robotti havaitsi esteen jokaisella testikerralla kymmenestä ajetusta testikerrasta.

Johtopäätös: robotti ei havaitse alle kahden senttin korkuisia esteitä suoralla.

### **Testitapaus 2:**

Jatkoin esteen havaitsemisen suoralla testaamista. Nyt esteenä oli täysinäinen puolentoista litran Vichy -pullo. Robotti havaitsi esteen kaikilla testikerroilla. Testi ajettiin kymmenen kertaa.

Johtopäätös: robotti havaitsee myös pyöreäreunaiset esteet (ainakin isot ja paksut sellaiset).

### **Testitapaus 3:**

Esteen havaitseminen mutkassa kulkissa. Kuten aikaisemmissakin tapauksissa, aloitin sentin paksuisesta esteestä, mutta sitä ei havaittu. Siirryin suoraan ensimmäisen testikerran jälkeen kahteen senttiin, mutta robotti ei havainnut tällöinkään estettä. Ajoin testin vielä viisi kertaa, mutta yhtenäkään kertana robotti ei havainnut estettä. Nostin tämän jälkeen jokaisella testikerralla esteen korkeutta sentillä, kunnes kuuden sentin korkeudella robotti viimein havaitsi esteen. Ajoin testin kymmenen kertaa ja robotti havaitsi esteen 8 kertaa kymmenestä. Lopuksi ajoin vielä testiä viiden sentin korkuisella esteellä kolme kertaa, mutta robotti ei havainnut edelleenkään estettä kertaakaan.

Johtopäätös: robotti ei havaitse alle kuusi senttiä korkeita esteitä mutkassa kulkissaan.

### **Testitapaus 4:**

Viivan seuraaminen suoralla ja oikealle kääntyvässä keskijyrkässä mutkassa.

Robotti seurasи suoraa ja mutkaa kuin hyvin tarkasti kaikki viisi testiajaa.

PID-Säätimen kulmakertoimien vakoiden arvoilla tätä käyttäytymistä voi muuttaa tarvittaessa.

Johtopäätös: suoran seuraaminen ja kääntyminen oikealle toimii halutulla tavalla.

### **Testitapaus 5:**

Viivan seuraaminen suoralla ja vasemmalle kääntyvässä keskijyrkässä mutkassa.

Käytin samaa mutkaa kuin edellisessä testissä, mutta ajoin mutkan toiseen suuntaan. Tällä kertaa robotti kulki taas kuin nuolemalla suoraa, mutta käänöksessä robotti aliohjasi selvästi, lipuen koko ajan pikku hiljaa viivasta kauemmaksi, kunnes apeksin ohittuaan alkoi taas pikku hiljaa lähestymään viivaa. Viivan saavutettuaan robotti jatkoi viivan seuraamista kuin nakutettu. Ajoin tämän testin myös viisi kertaa ja efekti oli aina sama.

PID-Säätimen kulmakertoimien vakoiden arvoilla tätä käyttäytymistä voi muuttaa tarvittaessa. Säätötä hakiessani huomasin, että jos sain mutkan oikealla toimimaan, niin mutka vasemmalle ei toiminut. Ja jos taas sain vasemmalle kääntymisen toimimaan, niin oikea lipui. Epäselväksi jäi, saako tämän korjattua mitenkään säädöillä, vai vaikuttaako tähän mutkan jyrkyys, robotin rakenne tai moottorien "puuttellisuus" vai jokin näiden kolmen kombinaatioista.

Johtopäätös: suoran seuraaminen toimii halutulla tavalla, mutta vasemmalle kääntyminen jättää toivomisen varaa.

### **Testitapaus 6:**

Esteen väistäminen suoralla. Esteenä käytin kilon englanninlakritsipakkausta.

Robotti havaitsi ja kiersi esteen kaikilla kymmenellä testikerralla. Näistä kymmenestä kerrasta yhdeksän kertaa robotti jatkoi viivan seuraamista halutulla tavalla. Yhtenä kertana viimeinen käänös jäi jostain syystä vajaaksi, jolloin viivasensori ei ollut lähelläkään viivaa, jonka seurauksena robotti lähti vaeltelemaan.

Johtopäätös: Esteen ohitus suoralla toimii lähes halutulla tavalla.

### **Testitapaus 7:**

Esteen väistäminen mutkassa. Esteenä kilon englanninlakritsipakkaus.

Robotti havaitsi esteen kaikilla kymmenellä testikerralla, mutta kiertäminen onnistui vain seitsemällä kerralla kymmenestä. Onnistuneiden kiertämisten jälkeen viivan seuraaminen onnistui kaikilla seitsemällä kerralla. Epäonnistuneissa tapauksissa robotti kääntyi lähtekseen ohittamaan ja kääntyi toisen käänönksen etsikseen uudestaan koteen ja ajaakseen sitten sen ohi. Tässä ilmeni jostain syystä virhe, jossa robotti ei ajanutkaan tarpeeksi pitkälle vaan kääntyi viimeisen ohituskäänönksen liian aikaisin ja törmäsi tämän seurauksena esteeseen pyrkiessään palaamaan viivalle. Tätä pystyisi varmaan korjaamaan lisäämällä ohituksen varoväliä, mutta sen seurauksena ohituksista tulisi jo todella pitkiä.

Johtopäätös: Esteen ohittaminen mutkassa ei toimi halutulla varmuudella.

### **Testitapaus 8:**

Hätäpysäytys toimii kaikissa tilanteissa.

Testi suoritettiin viisitoista kertaa siten, että joka testikerralla koitin painaa mielivaltaisissa ohjelman vaiheissa hätäpysäytystä. Hätäpysäytys toimi viivanseuraamistilassa aina halutulla tavalla, eli heti. Esteen ohitustilassa hätäpysäytys taas ei toiminut aina niin kuin piti. Jos ohjelmassa oli jokin suoritus kesken, hätäpysäytys toimi vasta kun kyseinen metodi oli suorittanut itsensä loppuun. Ajankäytön puitteissa en saanut tätä korjauttua. Eli ohitustilassa hätäpysäytys toimii, mutta välillä heti – pari sekuntia. Tästä ei pääsääntöisesti kuitenkaan pitäisi tulla ongelmaa, koska robotti suorittaa ohituksen kohtuullisen hitaasti verrattuna viivanseuraamiseen.

Johropäätös: Hätäpysäytys ei toimi täysin halutulla tavalla.

### **Testitapaus 9:**

Viimeinen ajettu testi oli pienen (halkaisija noin kaksi ja puoli metriä) ovaalin muotoisen radan ympäriajo. Ajoin testin viisi kertaa toiseen suuntaan ja viisi kertaa toiseen suuntaan. Suunnanvaihdos tehtiin pysäyttämättä robottia, eli nostamalla robotti ylös ja käänämällä sen kulkusuunta. Kaikissa testikerroissa robotti suoriutui radan ympäriajosta. Testitapaus viiden ongelma kuitenkin esiintyi myös tässä, mutta se ei aiheuttanut robotin eksymistä, koska aliohjaus on kuitenkin sen verran lievää.

Johtopäätös: robotti osaa ajaa useita mutkia peräkkäin halutulla tavalla.

## Rajoitukset ja tulevaisuus

Robotti ei osaa kiertää esteitä vasemmalta, eikä seurata myöskään viivan vasempaa reunaa. Tämä on suunniteltu rajoite, koska käytettävissä oli vain yksi valosensori.

Robotti ei myöskään osaa kääntyä erittäin jyrkkiä mutkia ja hyvin jyrkissäkin on ongelmia, jos niitä on peräkkäin, koska etenkin vasemmalle pään robotti aliohjaa. Tätä voisi ehkä helpottaa hidastamalla robottia, mutta sitten menetetään taas robotin yleinen tarkkuus, koska tarkkuu riippuu osaltaan myös tehosta jolla robotti kulkee, kun se kulkee suoraan. Tätäkin voi toki säättää PID-säätimellä muuttamalla kulmakertoimien vakioita, mutta nykyisillä asetuksilla tarkkuus katoaa jos robottia hidastaa.

Robotin rakenteessa on ongelmana se, että koska rakennuspalkoita oli rajallinen määrä, rakenteessa pitäti tehdä kompromisseja. Tästä syystä esimerkiksi yksi servomoottoreista on jouduttu sijoittamaan painojakauman takia aivan keulaan, mutta tämän seurauksena robottin kääntyminen on todennäköisemmin työläämpää, kuin jos moottori sijaitsisi muualla.

Lisäksi rakenteen takia robotissa ei ole suoravetoa vaan vetro moottoreista renkailla hoidetaan välitysten avulla. Tämän takia kääntymiskulmat eivät mene todellisuudessa ja koodissa yksi yhteen, vaan ne pitää laskea välityssuhteet huomioon ottaen. Lisäksi hammaspyörät, jotka toteuttavat välitykset, ovat liian löysiä suhteessa tankoon jossa ne ovat kiinni. Tämän seurauksena hammaspyörät saattavat irrota, kun robotti monta kertaa peräjälkeen vaihtaa suuresta tehosta hidastamatta moottorin kulkusuuntaa.

Robotti tarvitsee pysähtyäkseen käyttäjän toimintaa. Eli viivanseuraaminen ei lopu itsekseen. Tämä on myös suunnitelmallinen rajoite.

Tulevaisuudessa robottia voisi jatkokehittää siten, että toisen valosensorin avulla robotti seuraisi viivaa, eikä viivan reunaa. Tällöin voisi myös toteuttaa esteen ohituksen vasemmalta puolelta. Kompassisensorin avulla robotista saisi myös tarkemman, jolloin voisi tarkistaa ovatko kääntymiset ohituksissa olleet oikean pituisia kulmissa mitattuina ja jos ne jäätävät liian lyhyiksi tai menevät liian pitkiksi, robottiin voisi rakentaa algoritmin joka korjaa tämän virheen.

Myös rakennetta voisi muuttaa ainakin siten että siihen saisi suoravedon, jolloin välityksistä ja mhdollisista lentävistä hammaspyöristä päästäisiin eroon.

## Käyttöohje

-Kokoa robotti seuraten tämän dokumentin lopussa olevaa kuvasarjaa, joka toimii kokousohjeena. Varmista että vetävien renkaiden väli on 12 senttimetriä.

- Kiinnitä robotti USB-piuhalla tietokoneeseen ja siirrä ohjelma NXT-yksikköön.
- Jos ohjelma ei käynnisty automaattisesti, käynnistä se manuaalisesti NXT:stä files-kansiosta, valitsemalla alin tiedosto kansiosta,
- Irrota USB-piuha ja seuraa LCD-näytön ohjeita kalibroidaksesi robotti. **Huom.** Moottorit lähtevät heti liikkeelle kun viiva on kalibroitu.
- Seuraa robotin toimintaa.
- Pysäytä robotti tarvittaessa painamalla oranssia, eli ENTER-painiketta.

## Rakennusohje

modulaariset osat:

