



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jussi Kiiskilä

Yhteistyörobotin ohjelman muokkaaminen

Tekniikka

2023

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jussi Kiiskilä
Opinnäytetyön nimi	Yhteistyörobotin ohjelman muokkaaminen
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	33
Ohjaaja	Osku Hirvonen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli muokata SOP-METAL OY:n Vaasan tehtaalla olevan yhteistyörobotin ohjelmaa varmemmaksi ja nopeammaksi. Robotin tehtävänä on poimia telineestä kuparilattoja, jotka se siirtää taivutuskoneelle, joka vuorostaan taivuttaa ne saatuaan robotilta käskyn. Robotilla oli alkuperäinen ohjelma, jossa oli parannettavaa nopeuden lisäksi varmuudessa, sillä robotti saattoi syöttää taivutuskoneelle useampia kappaleita. Lisäksi opinnäytetyössä kerrotaan 2D- ja 3D-konenäöstä ja pohditaan niiden käyttöä tuotantolinjalla.

Opinnäytetyön alussa tutkittiin ja ajettiin ohjelmaa, joka oli tehty Universal robots ur5e-robotilla. Ohjelmaa ajettiin sen aikaa, että siinä ilmenevät ongelmat tulivat ilmi. Tästä siirryttiin suunnittelemaan ohjelmasta halutunlaista.

Lopputuloksena ohjelmasta tuli huomattavasti nopeampi eikä ohjelma suorittanut enää tuplalatauksia kappaleille. Robotille tutkittiin mahdollisia 2D-kameroita käytettäväksi, mutta itse kameraa ei hankittu.

ABSTRACT

Author	Jussi Kiiskilä
Title	Editing the program of a collaborative robot
Year	2023
Language	Finnish
Pages	33
Name of Supervisor	Osku Hirvonen

The focus of the thesis was to modify a program made for a collaborative robot at SOP-METAL OY Vaasa factory to be more dependable and faster. The function of the robot is to pick up copper strips from a rack, which it transfers to a bending machine, which in turn bends them after receiving a signal from the robot. The robot had an original program that needed to be improved in speed and in reliability, because the robot could feel multiple strips to the bending machine. Also, the thesis talks about the uses of 2D and 3D machine vision and their uses on a production line.

At the beginning of the thesis a program made with the Universal robots Ur5e was researched and run. The program was run until the problems with it appeared. After that, the program was designed to run as intended.

As a result, the program became significantly faster, and the program no longer loaded multiple strips for the bending robot. Possible uses for the 2D camera were researched, but no camera was acquired.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	TEOLLISUUSROBOTIT	8
	2.1 Teollisuusroboteista yleisesti.....	8
	2.2 Nivelrobotit	9
	2.3 Sylinterimäiset robotit	9
	2.4 Karteesiset robotit	10
	2.5 SCARA-robotit	10
	2.6 Napakoordinaatistorobotit	11
	2.7 Delta-robotit	11
3	YHTEISTYÖROBOTIT	13
	3.1 Yhteistyöroboteista yleisesti.....	13
	3.2 ISO 10218 standardi.....	15
4	KONENÄKÖ	17
	4.1 Konenäöstä yleisesti	17
	4.2 Universal Robots 5E:lle soveltuvat 2D kamerat.....	18
5	UNIVERSAL ROBOTS	22
6	TYÖN KUVAUS	25
7	TYÖN TOTEUTUS.....	27
8	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31

KUVALUETTELO

Kuva 1. SOP-METALin logo.....	7
Kuva 2. Robotteja.....	8
Kuva 3. Robottien työalueita ja rakenteita (Kuivanen 1999,s12)	12
Kuva 4. ABB:N YuMi-yhteistyörobotti.....	13
Kuva 5. Robotiq wrist-kamera.....	18
Kuva 6. Sick 2D vision inspector	20
Kuva 7. VISOR Robotic.....	21
Kuva 8. Universal Robots logo.....	22
Kuva 9. UR-mallisto	23
Kuva 10. Polyscope-käyttöliittymä	24
Kuva 11. Robottisolu	25
Kuva 12. Kuparisia virtakiskoja.....	26
Kuva 13. Kappaleentunnistuksen ohjelmapätkä.....	28
Kuva 14. Is object detected-scripti	29

Sanasto

Efektori	Osa, joka kohdistaa fyysistä voimaa ympäristöön, esimerkiksi kamera, pora tai pihdit
Kobotti	Yhteistyörobotti
Pick-and-place	Sovellus, jossa robotti poimii kappaleen ja siirtää sen eri paikkaan
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
Teach pendant	Universal robotsin käyttölaite
UR5e	Universal robots 5e -malli

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimii SOP-METAL Oy:n Vaasan toimipiste. Kyseisellä toimipisteellä valmistetaan erilaisia virtakiskoja, joista yhdelle kappaleelle oli hankittu robotti ja tälle oli tehty ohjelma, joka vaati parantelua. Robottina toimii Universal robots UR5e. Robotin tehtävä tuotannossa on siirtää kuparilattoja taivutus-koneelle, joka taivuttaa ne. Latat valmistetaan linjastolla, jossa työkoneen ajaja leikkaa latat oikean mittaisiksi sekä rei'ittää ne. Rei'itettyt latat kuljetetaan niille suunniteltuun telineeseen, josta robotin on ne helppo kerätä. Työn tavoitteena on vähentää ihmisen tekemää työkuormaa yksitoikkoiseen ja aikaa vievään työvaiheeseen, kun kuparilatat joudutaan taivuttamaan. Työ oli enimmäkseen selvitystyötä UR5e:n ohjelmoinnista, sekä tarkastelua koodin soveltuvuudesta käytännön työhön. Opinnäytetyössä kerrotaan roboteista tuotannossa, yhteistyöroboteista sekä 2D- ja 3D-konenäöstä.

SOP-METAL on yritys, jolla on toimipisteet Vaasassa, Lappajärvellä ja Virossa. Yritys työllistää Suomessa noin 40 henkilöä. Yritys on perustettu vuonna 1993. SOP-METALin liikevaihto vuonna 2023 oli 12,82 miljoonaa euroa. SOP-METAL valmistaa virtakiskoja ja alihankintatuotteita sähkö- ja energiateollisuudelle. Alihankintana SOP-METAL suorittaa hitsauksia, kovajuottoliitoksia, leikkauksia, lävistämistä, koneistusta, särmäystä sekä kokoonpanoja. SOP-Metal myy alumiinista, kuparista ja teräksestä valmistettuja raaka-aineita. SOP-Metalin yleisimmin käytettyihin materiaaleihin kuuluvat kupari, alumiini, sähköä eristävät materiaalit, joihin sähkö ei saa virrata, sekä ruostumaton teräs. [1.] Kuvassa 1 on yrityksen logo.

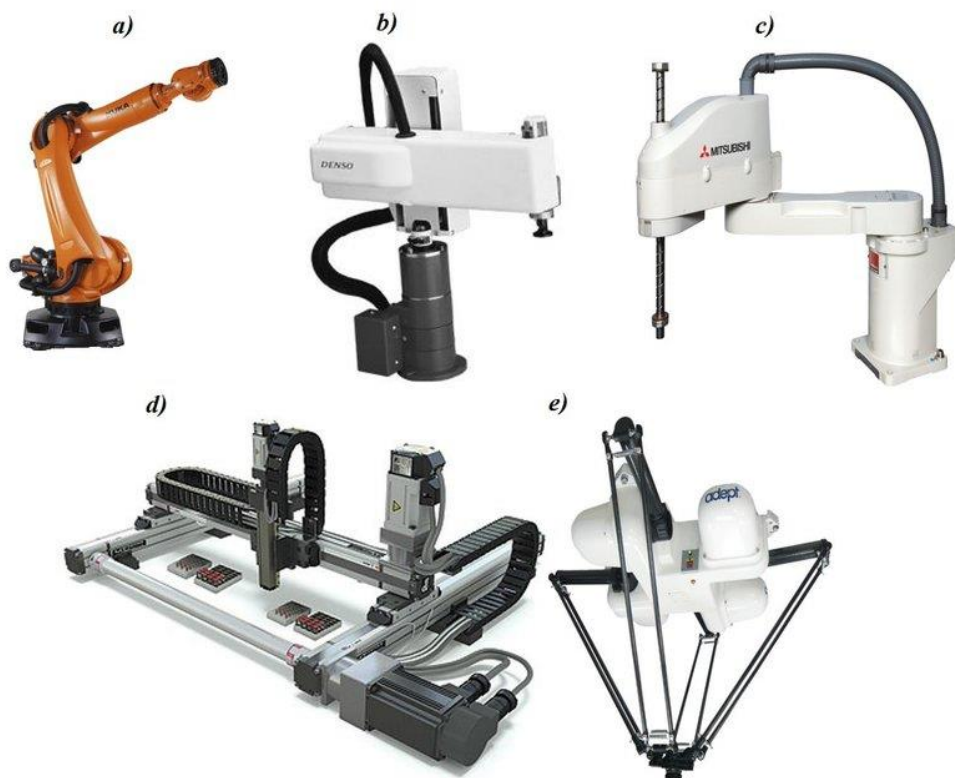


Kuva 1. SOP-METALin logo

2 TEOLLISUUSROBOTIT

2.1 Teollisuusroboteista yleisesti

Teollisuusrobotti on robotti, joka on suunniteltu teollisuuden ja tuotannon tarpeisiin. Teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattu ja uudelleenohjelmoitava eri käyttötarkoituksiin. Teollisuusrobotit ohjelmoidaan erilaisiin työtehtäviin, kuten kokoonpanoon, materiaalinkäsittelyyn, hitsaamiseen, maalaamiseen sekä tarkastukseen. Vaikka teollisuusrobotit ovatkin kalliita, maksavat ne yleensä itsensä takaisin vähennetyillä työvoimakuluilla, paremmalla tehokkuudella ja tuotteiden laadulla. Kuvassa 2 erilaisia robottimalleja.



Kuva 2. Robotteja a) Nivelrobotti b) Sylinterimäinen robotti c) SCARA-robotti d) Napakoordinaatistorobotti e) Delta-robotti (kuva: Researchgate)

Yleisin käyttötarkoitus robotille on automatisoida toistuvaa ja fyysisesti kuormittavaa työtä. Automatisointi tekee työstä tehokkaampaa, tasalaatuisempaa ja tuotavampaa. [2.]

Teollisuusrobotit ovat monipuolisia ja niitä voidaan ohjelmoida uudestaan aina tarpeen mukaan. Niiden työkaluja ja tarraimia voidaan vaihtaa halutunlaisiksi. Teollisuusrobotit ovat erittäin tarkkoja, joten niitä on helppo ohjelmoida työhön, jossa on tiukat toleranssit sekä korkeat laatustandardit. Teollisuusroboteilla on erilaisia turvallisuusmekanismeja, kuten sensoreita, lukituksia ja hätäpysäytysmekanismeja. Useimmiten roboteille rakennetaan omat turva-aitaukset, jotka estävät pääsyn robotin läheisyyteen sen työskennellessä. Turva-aitaukset on rakennettu siten, että robotilla on tilaa työskennellä törmäämättä ympäristöönsä ja työtasot on kiinnitetty vahvasti ja tukevasti jotta ne eivät liiku työtä tehdessä. [2.]

2.2 Nivelrobotit

Nivelrobotit ovat yleisimpiä teollisuusrobotteja. Nivelrobotit muistuttavat ihmisen käsivartta, ja useiden vapausasteita sisältävien nivelten ansiosta käsivarsi tarjoaa laajan liikealueen. Yleisin nivelrobotti on kuuden vapausasteen nivelrobotti, mutta niitä löytyy myös neljän tai jopa vähemmän vapausasteen robotteina. Nivelrobotin edut ovat korkea nopeus, laaja työalue pieneen lattiatilaan sekä se että ne on helppo kohdistaa useisiin tasoihin. Nivelrobottejen huonoihin puoliin kuuluu niiden monimutkainen ohjelmointi, monimutkainen kinematiikka sekä niiden vaatima erillinen robottiohjain. [2.] (Nivelrobotti kuvassa 2, kohdassa a)).

2.3 Sylinterimäiset robotit

Sylinterimäisissä roboteissa on vähintään yksi pyörivä nivel pohjassa ja vähintään yksi prismaattinen nivel, joka yhdistää lenkkejä. Kääntyvän akselin ja jatkettavan varren ansiosta ne voivat liikkua pysty- ja vaakasuunnassa liu'uttamalla. Sylinterimäiset robotit tarjoavat sekä lineaarista liikettä että pyörivää liikettä pystyakselin

ympäri. Efektorin kompaktin rakenteen ansiosta robotti pääsee ahtaisiin työtiloihin ilman nopeuden menetystä. Sylinterimäisiä robotteja käytetään enimmäkseen yksinkertaisissa sovelluksissa, kuten pick-and-place. [2.]

Sylinterimäisten robottien etuihin kuuluu yksinkertainen käyttö ja asennus, minimaalinen kokoonpano, robotin ympärillä 360 astetta oleva työalue, pieni lattiatila sekä raskaat hyötykuormat. Sylinterimäisten robottien huonoihin puoliin kuuluu, etteivät ne pärjää hyvin esteiden kanssa sekä alhainen tarkkuus pyörimisliikkeen suunnassa. [2.] (Sylinterimäinen robotti kuvassa 2, kohdassa b)).

2.4 Karteesiset robotit

Karteesiset robotit ovat suoraviivaisia ja niillä on suorakaiteen muotoinen konfiguraatio. Karteesiset robotit tuottavat lineaarista liikettä liukumalla sen kolmella kohtisuoralla akselilla (X, Y ja Z). Jäykän rakenteensa ja kokoonpanonsa ansiosta ne kestävät raskaita kuormia. Niitä voidaan käyttää myös keräily-, lastaus- ja purkutehtäviin, materiaalinkäsittelyyn ja jopa erittäin tarkkoihin töihin. Useimmat 3D tulostimet toimivat samalla liikeradalla. [2.]

Karteesisten robottien etuihin kuuluu suuri tarkkuus yksinkertaisella käytöllä, helppo ohjelmitavuus offline-tilassa, ja erittäin muokattava ohjelmointi, lisäksi ne ovat suhteellisen halpoja. Karteesisten robottien huonoihin puoliin kuuluu suuri käyttö- ja asennusalue, monimutkainen kokoonpano ja se, että ne pystyvät liikkumaan vain yhteen suuntaan kerrallaan. [2.]

2.5 SCARA-robotit

SCARA-robotit koostuvat kahdesta yhdensuuntaisesta nivelestä, jotka tarjoavat liikkeen yhdessä eristetyssä tasossa. Pyörivät akselit on sijoitettu pystysuoraan, ja päätelaite liikkuu vaakasuunnassa. SCARA-robotit ovat erinomaisia töissä, jotka vaativat tarkkoja sivuttaisliikkeitä, ja ne ovat ihanteellisia kokoonpanosovelluksiin. SCARA-robotit soveltuvat pick-and-place-tai kokoonpanotoimintoihin, joissa vaaditaan suurta nopeutta ja suurta tarkkuutta. SCARA-robotit liikkuvat nopeasti ja

integroituvat olemassa olevaan infrastruktuuriin helpommin kuin lieriömäiset ja suorakulmaiset robotit. [2.]

SCARA-robottien etuihin kuuluu suuri nopeus, erinomainen toistettavuus ja suuri työtila. SCARA-robottien huonoihin puoliin kuuluu vaatimus erillisestä robottiohjaimesta, ja rajoitus tasomaisilla pinnoilla. Niitä on myös vaikea ohjelmoida offline tilassa. [2.] (SCARA-robotti kuvassa 2, kohdassa c)).

2.6 Napakoordinaatistorobotit

Napakoordinaatistorobotit ovat yksi ensimmäisistä kehitetyistä robottityypeistä ja ne ovat edelleen suosittuja. Robotin akselit yhdistetään napakoordinaattiseksi koordinaattijärjestelmäksi, joka mahdollistaa sen, että robotilla on pallomainen työalue. Napakoordinaatistorobotteja käytetään yleisesti painevaluissa, ruiskuvaluissa, hitsauksessa ja materiaalinkäsittelyssä. [2.]

Napakoordinaatistorobottien etuihin kuuluu 360 asteen liikealue, ja suuri työmäärä. Ne myös vaativat minimaalisen lattiatilan. Napakoordinaatistorobottien huonoihin puoleen kuuluu lyhyt pystysuora ulottuvuus, alhainen tarkkuus ja alhainen toistettavuus kiertoliikkeen suunnassa. Ne vaativat lisäksi kehittyneen ohjausjärjestelmän. [2.] (Napakoordinaatistorobotti kuvassa 2, kohdassa d)).

2.7 Delta-robotit

Delta-robotit eli rinnakkaisrakenteiset robotit koostuvat rinnakkaisista liitosnivelistä, jotka on liitetty yhteiseen alustaan. Delta-robotit ovat erityisen hyödyllisiä suorissa ohjaustehtävissä ja suurissa ohjailuoperaatioissa, kuten pick-and-place tehtävissä. Delta-robotit hyödyntävät taitavasti nelitankoisten vivustojärjestelmien mekaanisia etuja. [2.]

Delta-robottien etuihin kuuluu erittäin suuret nopeudet ja korkea toimintatarkkuus. Delta-robottien huonoihin puoliin kuuluu monimutkainen toiminta, ja ne myös vaativat erillisen robottiohjaimen. [2.] (Delta-robotti kuvassa 2, kohdassa e)).

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

Kuva 3. Robottien työalueita ja rakenteita (Kuivanen 1999,s.12).

3 YHTEISTYÖROBOTIT

3.1 Yhteistyöroboteista yleisesti

Yhteistyörobotit eli kobotit on suunniteltu mahdollistamaan ihmisten ja robottien työskentely yhdessä hyödyntäen molempien ainutlaatuisia taitoja ja etuja. (Kuvassa 4 on ABB:n YuMi-yhteistyörobotti).



Kuva 4. ABB:n YuMi-yhteistyörobotti

Robotit ja autonomiset koneet aiheuttavat turvallisuusriskejä ihmisille, jotka tulevat niiden toiminta-alueelle. Nämä toiminta-alueet vievät suuria alueita ja aiheuttavat muita logistisia ongelmia. Kobotit on suunniteltu toimimaan rinnakkain ihmisten kanssa, mikä poistaa perinteisiin robottiyksiköihin liittyvät turvallisuusongelmat. Koboteille ei tarvita monimutkaista turvajärjestelmää eikä aita robotin turvaamiseksi. Kobotit käyttävät erikoistunutta tunnistustekniikkaa, jonka avulla ne

voivat työskennellä yhteistyössä ihmisten kanssa. Turvavyöhykkeen poistaminen pienentää merkittävästi koneiden jalanjälkeä ja tekee samalla tehtaan lattiasta turvallisemman. Kobotit ovat helposti integroitavissa useisiin paikkoihin ja niitä voidaan käyttää uudelleen projektin päätyttyä. Kobotit on helppo koota, ohjelmoida ja integroida kokoonpanovirtaan. Kobotit ovat myös kompakteja, helppokäyttöisiä ja suhteellisen kevyitä. Perinteisiin robottiyksikköihin verrattuna kobotit ovat verrattoman yksinkertaisia. [5.]

Kobotit lisäävät käyttäjän tehokkuutta työskentelemällä heidän kanssaan monimutkaisten tehtävien suorittamisessa. Robotit tarjoavat ketteryyttä, voimaa, joustavuutta ja kykyä työskennellä oudoissa kulmissa suorituskyvystä tinkimättä. Ihmisten rinnalla työskentelevät kobotit parantavat käyttäjän tehokkuutta tekeillä heidän kanssaan monimutkaisia tehtäviä. Kobotti pystyy auttamaan yksittäistä käyttäjää yhdellä asemalla, mutta lisäksi sitä voi helposti siirtää tehtaan eri osiin tarvittaessa. [5.]

Kobottien asennus ja integrointi on helppoa, mikä vähentää projektien kustannuksia. Kobotit on helppo asentaa, ohjelmoida ja käyttää. Tästä johtuen pienet yritykset voivat sisällyttää ne automaatioprosessiinsa ilman, että niiden tarvitsee palkata ammattimaista robottiohjelmoijaa. Kobotit ovat tehokkaita, käyttäjien on helppo hallita niitä ja ne on suunniteltu toimimaan intuitiivisesti loogisten ohjainten kanssa. Yritykset voivat säästää uusien palkkausten, koulutuksen ja muiden toiminnallisten seikkojen kustannuksissa valitsemalla kobottien integroinnin perinteisiin robottiyksikköihin. [5.]

Kobotit voivat hoitaa suuria töitä, jotka ovat liian suuria yhdelle ihmiselle yksin. Näihin töihin voi sisältyä keräily ja paikkatoimintoja, lavojen käsittelyä ja materiaalin lajittelua. Kobotit voivat tehdä nämä toiminnot nopeammin, helpommin ja vähemmän kuormittamalla käyttäjää. Kun tehtaan työntekijöiden fyysinen rasitus poistetaan, enemmän työtä voidaan tehdä paremmin, vähemmällä ajankäytöllä ja vähentyneillä loukkaantumisriskeillä. [5.]

3.2 ISO 10218-standardi

Kansainvälisen standardin ISO 10218 mukaan koboteille on neljä yleistä turvaominaisuutta. Turvavalvottu pysäkki on ominaisuus, jota käytetään koboteissa, jotka on suunniteltu toimimaan pääasiassa yksin ja vain harvoin ihminen tulee heidän työtilaansa. Jos työntekijän on esimerkiksi säädettävä kobotin käsittelemää osaa tai poistettava kyseinen osa kobotin tilasta, kobotti lopettaa liikkeen, mutta ei sammu kokonaan jatkaakseen tehtäviään helposti, kun ihminen lähtee. Tämä on löyhin tulkinta siitä, mitä kobotti tarkoittaa. Se käyttää kehittynyttä läheisyystunnistusteknologiaa muuttaakseen perinteisen teollisuusrobotin eräänlaiseksi kobotiksi. [6.]

Käsiohjaus on yhteistoiminnallinen ominaisuus, jota käytetään robotin reitin opettamiseen. Se ohjaa robottia kirjaimellisesti tehtävän suorittamiseen tarvittavan liikesarjan, kuten pick-and-place sovellukseen. Nämä kobotit käyttävät usein pääteefektoriteknologiaa tunnistakseen sen aseman ja ne lukevat robotin työkaluihin kohdistuvia voimia, jolloin kobotit voivat oppia esimerkin kautta. [6.]

Sovelluksissa, jotka vaativat useammin ihmisen toimenpiteitä suurempien kobotien kanssa, voidaan ympäristöön asentaa lasernäköjärjestelmä, jonka avulla robotti voi havaita ihmisen läheisyyden, kuten turvavalvotussa pysäytysjärjestelmässä. Nopeuden ja erottumisen valvonnan alla robotti hidastaa yhä enemmän, kun ihminen lähestyy ja pysähtyy kokonaan, kun ihminen tulee liian lähelle. Nämä reaktiot voidaan ohjelmoida robotille toimimaan eri etäisyyksillä itsensä ja ihmisen välillä. Robotti jatkaa tehtäväänsä ja kiihdyttää hitaasti liikettään, kun ihminen siirtyy kauemmas. [6.]

Robottimallit, kuten Universal Robotsin UR-sarja, ABB:n YuMi ja Rethink Roboticsin Baxter, vaativat usein vähän tai ei ollenkaan turvallisuustekniikkaa tehoa ja voimaa rajoittavien turvaominaisuuksien vuoksi. Voimalla rajoitetut yhteistyörobotit voivat lukea nivelissään olevia voimia, kuten painetta, vastusta tai iskuja käyttä-

mällä upotettuja antureita. Tunnettuaan häiriön robotti pysähtyy tai kääntää kursiaan. Robotin pehmeä ulkopinta ja nopeat reaktioajat vähentävät törmäyksen vaikutusta. Niiden pehmeä ulkopinta ja pyöreämpi muotoilu auttavat vaimentamaan iskuja ja jopa poistamaan puristuskohtia. Tällaisissa malleissa on usein sisäiset moottorit ja johdotukset, jotka pienentävät niiden kokonaiskokoa mahdollisimman paljon. [6.]

4 KONENÄKÖ

4.1 Konenäöstä yleisesti

Konenäköön robotiikassa liittyy tietokonenäköteknologioiden käyttö, jotta robotit voivat tulkita ja ymmärtää ympäristöstä tulevaa visuaalista tietoa. Sillä on ratkaiseva rooli robotin havaintokyvyn parantamisessa, jolloin se voi tehdä tietoon perustuvia päätöksiä saamansa visuaalisen datan perusteella. [7.]

Konenäkö sisältää erilaisia järjestelmiä, joita käytetään useista tärkeistä syistä, mikä parantaa robottijärjestelmien ominaisuuksia ja suorituskykyä eri sovelluksissa. 2D-näköjärjestelmät ovat yleisimpiä käytettyjä järjestelmiä, jotka ovat erinomaisia mallintunnistustehtävissä. 3D-järjestelmät toimivat useissa ulottuvuuksissa ja näin tarjoavat paremman tarkkuuden mittaus- ja tarkastustarkoituksiin. Älykkäät kamerapohjaiset näköjärjestelmät käyttävät integroituja kameroita ja ohjelmistoja suorittamaan erilaisia tarkastuksiin liittyviä tehtäviä. Kompaktit näköjärjestelmät on suunniteltu itsenäisiksi ja ne voidaan integroida saumattomasti olemassa oleviin laitteisiin ja valmistusprosesseihin. Pc-pohjaiset näköjärjestelmät käyttävät tietokonekäsittelyä ja kuva-analyysia monimutkaisempien visuaalisten tarkastustehtävien suorittamiseen. Monispektriset järjestelmät ovat vaihtoehto tavanomaiselle 2D-kuvaukselle sisältämällä kuvien kaappaamisen useilla aallonpituuksilla. Hyperspektraaliset järjestelmät kaappaavat kuvia monispektrisen järjestelmän tavoin muomattavaisti suuremmalla määrällä aallonpituuksia, mikä helpottaa spektritietojen yksityiskohtaista analysointia. Muuttuvat suurennoslinssit ovat säädettävillä suurennustasoilla varustettuja linssejä, jotka tarjoavat enemmän joustavuutta tarkastustehtävien suorittamisessa. Konenäköjärjestelmillä varustetut robotit käyttävät antureita ja kameroita ottamaan kuvia tai videomateriaalia ympäristöstään. Yleisimmät anturit ovat monokulaarisia, stereokameroita, syvyyssantureita tai muita erikoistuneita näköantureita. /7/

4.2 Universal Robots 5E:lle soveltuvat 2D-kamerat

Opinnäytetyöhön sisältyi sen selvittäminen, millaisia 2D-kameroita olisi helppo ottaa käyttöön tuotantolinjalla ja mahdollisesti opettaa niille uusia kappaleita. Esitelyssä oli kolme erilaista 2D-kameraa, joista potentiaalisin oli Robotiq wrist kamera, joka integroidaan robotin käsivarteen ennen efektoria. (kuva 5.)



Kuva 5. Robotiq wrist Kamera

Robotiq wrist-kamera on kolmesta esimerkistä kaikkein helppokäyttöisin ja helppoin asentaa. Kamera asennetaan suoraan UR5e-robotin ranteeseen ennen efektoria ja se integroituu saumattomasti Universal Robotsin kanssa ilman lisälaitteita. Kamera ohjelmoidaan suoraan teach pendantista. Robotiq URCap mahdollistaa uusien kappaleiden opetuksen ja toistettavan poiminnan ominaisuuksia,

vaikka kyseessä olisi aloittelija. Kokeneet käyttäjät voivat hienosäätää ohjelmaansa asiantuntijatilassa. [8.]

Robotic wrist-kamera mahdollistaa helppokäyttöisen pick-and-place-sovelluksen muutamassa minuutissa ohjatun muodon ohjelmointitoiminnon avulla. Sillä on mahdollista luoda lisää työtasoja pick-and-place-sovellukselle yhdellä napsautuksella ja se luo automaattisesti poimintatoimintoliikeitä kappaleen keskikohdasta. Kamera soveltuu laaduntarkkailuun suorittamalla reaaliaikaista laadunvalvontaa viivakoodin ja 2D-koodin lukemisella. Se kykenee myös jäljittämään osia tuotekoonpanoon ja sen voi ohjelmoida asetettujen kriteerien mukaan mukautettua jäljitettävyyttä varten ja tallentamaan tärkeät kuvat. [8.]

Kokoonpanoa varten sen voi ohjelmoida tunnistamaan monimutkaisiakin osia ohjatun muodon ohjelmointitoiminnon avulla. Se hallitsee samanaikaisesti eri osia juostavia kokoonpanosarjoja varten. Lisäksi se soveltuu pakkaamiseen opettamalla sille osia ja muotoja. Robotiq wrist-kamera maksaa noin 5600 euroa.[8.]

Sick 2D vision inspector sisältää älykkään kuvankäsittelyn vaivattomassa antruripaketissa. (kuva 6.) Kamera on helppokäyttöinen, mutta se vaatii erillisen kiinnityksen robotin ranteeseen, sekä johdotukset.



Kuva 6. Sick 2D vision inspector

Kamera ohjelmoidaan suoraan teach pendantista ja se soveltuu paikannukseen, mittaukseen, kokoonpanoon, pakkaukseen sekä materiaalin lisäykseen ja poistoon. Kameran hinta on noin 800 euroa mallista riippuen. [9.]

VISOR Robotic on korkean resolution kamera neljällä erilaisella metodilla kappaleentunnistukseen. Kamera sisältää erinomaisen valaistuksen ja se tunnistaa heijastukset. Kamerassa on helppo askel askeleelta opastus ohjelmistoon. Se vaatii erillisen tietokoneen sekä kiinnityksen robotin ranteeseen johdotuksineen. [10.]



Kuva 7. VISOR Robotic

5 UNIVERSAL ROBOTS

Universal Robots on tanskalainen pienempien joustavien teollisten kobottien valmistaja, jonka Esben Østergaard, Kasper Støy ja Kristian Kassow perustivat vuonna 2005. He suunnittelivat robotteja, jotka ovat helposti ohjelmoitavia ja riittävän monipuolisia, jotta niitä voidaan käyttää erilaisiin toimintoihin tehdastuotannossa. [11.] (Yrityksen logo kuvassa 8.)



Kuva 8. Universal Robots logo

Ensimmäisen hankkeen tavoitteena oli luoda lelurobotti, joka on niin helppo ohjelmoida, että lapsi pystyisi tekemään sen puolessa tunnissa. Toinen käsitteli tanskalaisen elintarviketeollisuuden tarvetta joustavalle automaattoratkaisulle, jonka avulla tehtaan työntekijät voivat konfiguroida tuotantolinjoja uusille tuotteille. Perinteiset teollisuusrobotit osoittautuivat liian jäykiksi ja monimutkaisiksi tehtävään, mikä sai tiimin etsimään parempaa ratkaisua, kobottia. [11.]

Yhdistämällä em. projekteista saadut opit Universal Robotsin perustajat loivat maailman ensimmäisen kaupallisesti elinkelpoisen kobotin. Tämä keksintö oli helposti ohjelmoitava ja erittäin monipuolinen, mikä muutti yritysten tapaa lähestyä automaatiota. Universal Robotsin kobotit antoivat työntekijöille mahdollisuuden

hallita tuotantomuutoksia nopeasti ja tehokkaasti, minkä ansiosta edistynyt automaatio on kaikenkokoisten yritysten käytettävissä. [11.]

Tammikuussa 2021 Universal Robots ilmoitti tienaavansa 311 miljoonaa dollaria, mikä johtui kasvavasta tietoisuudesta kobottimarkkinoista. Universal Robotsin on kerrottu olevan 44–47 prosenttia kobottien markkinaosuudesta. Universal Robotsilla on yli tuhat työntekijää. [12.]

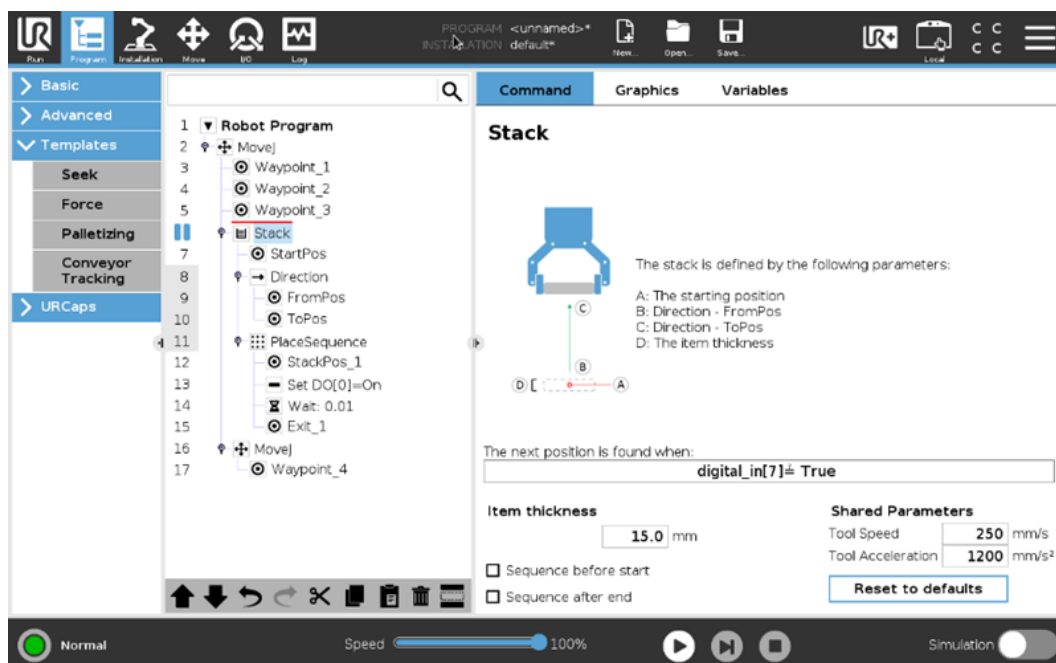
Universal Robotsien kobotit on suunniteltu toimimaan turvallisesti ihmisten läheisyydessä ilman laajoja turvaesteitä. Kobottien turvaominaisuudet, kuten voiman ja vääntömomentin tunnistus mahdollistavat kobottien pysähtymisen törmäyksen tapahtuessa.

Universal Robotsilla on tällä hetkellä kuusi erikokoista kobottia, joista kaikki ovat kuusinivelisiä. Universal Robotsien kobotit ovat pitkälti samannäköisiä, mutta niiden koko ja käyttötarkoitus vaihtelevat. Universal Robotsin kobotit soveltuvat laajasti tuotannon tehtäviin, kuten kokoonpanoon, hitsaukseen, materiaalin käsittelyyn, juottamiseen, ruuvaamiseen, paketointiin, palletisointiin, sekä laaduntarkkailuun.

Model	Release year	Payload (kg)	Footprint (mm)	Weight (kg)	Reach (mm)
UR30	2024	30	245	64	1300
UR20	2022	20	245	64	1750
UR16e	2019	16	190	33.1	900
UR10e	2018	12.5	190	33.5	1300
UR5e	2018	5	149	20.6	850
UR3e	2018	3	128	11.2	500

Kuva 9. UR mallisto

Universal Robotsia ohjataan teach pendant käyttölaitteella, joka on erittäin helpokäyttöinen. Universal Robots käyttää ohjelmistonaan PolyScopea, johon ei tarvitse koodauskokemusta prosessien automatisointiin. PolyScope on graafinen käyttöliittymä, jonka ohjelmistosta pystyy valitsemaan toimintoja rivi riviltä, tai käsikäyttöjärjestelmällä, jossa ollaan vuorovaikutuksessa kobotin kanssa liikuttamalla käsivartta paikoituspisteiden luomiseksi. PolyScopesta löytyy kaksi eri versiota, PolyScope 5 asiantuntijoille rajattomilla mahdollisuuksilla sekä PolyScope X valmiilla pohjilla, jotka helpottavat käyttäjän toimintoja. (kuvassa 10 Polyscope X käyttöliittymä)

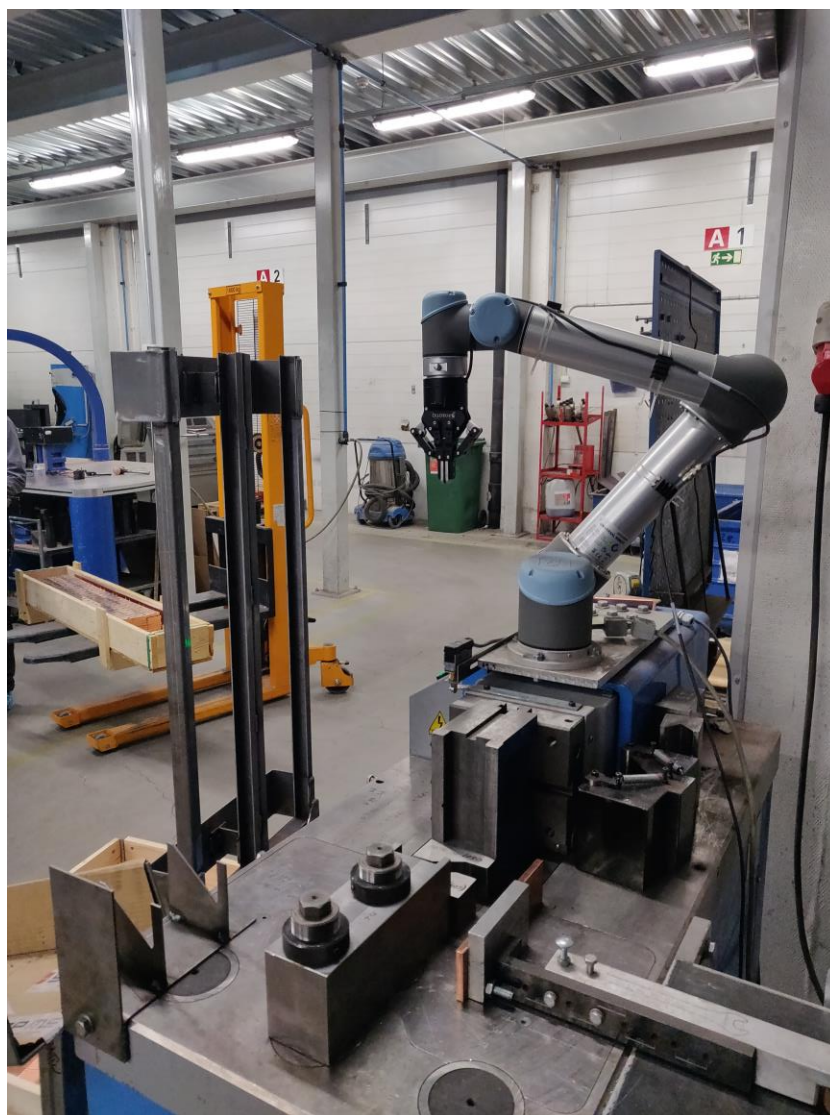


Kuva 10. Polyscope-käyttöliittymä

Universal Robotsilla on ilmainen UR Academy-sivusto, josta löytää ilmaista materiaalia sekä pohjia tuotantosolun rakentamiseen.

6 TYÖN KUVAUS

Työ suoritettiin SOP-Metallin Vaasan toimipisteellä. Robotti sijaitsee tuotannon tiloissa kiinnitettynä taivutuskoneeseen. Soluun kuuluu teline, johon pinotaan virtakiskot, jotka robotti poimii, syöttää taivutuskoneelle ja laskee eurolavalle taivutuksen jälkeen (kuva 11).



Kuva 11. Robottisolu

Robotin läheisyydessä sijaitsee työstökone, jossa kuparilatta leikataan oikean pituiseksi ja siihen lävistetään reiät (kuva 12). Tämän jälkeen kupariset virtakiskot kuljetetaan telineelle ja pinotaan telineen sisään. Tästä robotin on helppo poimia virtakiskot.



Kuva 12. Kuparisia virtakiskoja

Telineestä poimittuaan robotti käyttää virtakiskot välitelineessä, joka varmistaa, että virtakiskot ovat aina oikein ja asetettu samalla tavalla taivutuskoneelle. Tästä robotti poimii virtakiskon ja syöttää sen taivutuskoneelle, ja robotin efektorin siirryessä sivummalle se antaa impulssin taivutuskoneelle tekemään taivutuksen. Taivutettuaan kappaleen robotti poimii sen ja siirtää eurolavalle. Tässä kohtaa robotti aloittaa ohjelmansa alusta ja poimii uuden virtakiskon.

7 TYÖN TOTEUTUS

Suurin osa työstä oli opiskelua Universal Robots academyn avulla. Ensimmäisenä ongelmana oli muokata kappaleentunnistusta nopeammaksi ja varmistaa, että se myös poimii kappaleen telineestä. Kappaleentunnistus toimii siten, että se alkaa tietystä määrätystä pisteestä, josta robotti ajaa todella hitaasti kohti kappaletta ja siihen osuessaan ajaa määrätyn matkan ylöspäin, jolloin se saa poimittua kappaleen. Kappaleentunnistuksen ongelmana oli, että sen aloittaessa uusi kierros se aloitti joka kierroksella sen samasta pisteestä, mikä johti siihen, että jokaisella kierroksella ohjelma hidaistui ja telineen pohjalla olevien virtakiskojen kohdalla kului huomattava määrä aikaa.

Tämä korjattiin siten, että jokaisella kierroksella kappaleentunnistus otti ylös sen pisteen, josta edellinen kappale oli kerätty ja seuraavalla kierroksella ajoi 5 millimetriä kyseisen pisteen yläpuolelle (`force_pos=get_actual_tcp_pose()`) ja aloitti kappaleentunnistuksen sieltä. Tämä johti siihen, että vaikka telineen pohjalla oli muutama virtakisko, se ajoi täydellä nopeudella 5 millimetriä pinon yläpuolelle ja vasta sen jälkeen se ajoi kappaleentunnistuksen. Tämän jälkeen lisättiin scriptti 'An object has been detected', jolloin ohjelma tunnistaa, onko kappale poimittu telineestä. Mikäli ohjelma ei tunnista poimineensa kappaletta, se ajaa kotipisteelle ja ajaa kappaleentunnistuksen kymmenen kertaa ja mikäli se ei siltikään tunnista poimineensa kappaletta, ajaa se kotipisteelle ja sammuttaa itsensä (Kuvassa 13 koodinpätkä, miten kappaleentunnistus on koodattu).

```

Program
  BeforeStart
    var_1=1
    var_2=1
    MoveL
      Waypoint_1
    Gripper Move7% (1)
  Robot Program
    Wait: 0.01
    MoveL
      If var_1==1
        Waypoint_6
      If var_1==1
        Seek_w_force
        var_1=0
      If force()<80
        Stop_force_seek
      return_5mm
      force_pos=get_actual_tcp_pose()
      Gripper Close (1)
      If rq_is_object_detected()
        'An object has been detected'
        MoveL
          Waypoint_2
          Waypoint_3
          Waypoint_5
      Else
        'No object detected'
        Gripper Open (1)
        Loop 10 times
          MoveL
            If var_2==1
              Waypoint_22
            If var_2==1
              Waypoint_24
          MoveL
            Wait: 0.01
            If var_2==1
              Waypoint_4
            If var_2==1
              Seek_w_force2
              var_2=0
            If force()<80
              Stop_force4
            return_2
            force_pos2=get_actual_tcp_pose()
            Gripper Close (1)
            If rq_is_object_detected()
              'An object has been detected'
            MoveL
              latankallistus2

```

Kuva 13. Kappaleentunnistuksen ohjelmapätkä

Toisena ongelmana oli varmistaa, että robotti todellisuudessa poimii kappaleen välitelineestä.

Muokkaaminen aloitettiin tekemällä scripti 'An object has been detected', jossa efektori tunnistaa, onko se todellisuudessa poiminut kappaleen. Robotti ajaa efektorin välitelineelle waypointtiin 5, jossa virtakisko sijaitsee ja sulkee tarraimensa. Mikäli kappale on oikeassa paikassa ja tarraimen kohdistuu voimia, se tunnistaa poimineensa kappaleen ja siirtää sen taivutuskoneelle. Mikäli tarrain ei tunnista kappaletta, robotti ajaa välipisteelle, ajaa uudestaan waypointille 5 ja sulkee uudestaan tarraimensa. Ohjelma toistaa tämän vaiheen kymmenen kertaa ja mikäli se ei missään kohtaa tunnista poimineensa kappaletta, ajaa se kotipisteelleen ja sammuttaa itsensä.

Kolmantena ongelmana oli varmistaa, että robotti poimii kappaleen taivutuskoneesta. Robotti saattoi epäonnistua kappaleen poimimisesta taivutuskoneesta, joilloin seuraavilla kierroksilla robotti syötti lisää virtakiskoja, vaikka taivutuskoneella oli jo yksi taivutettu kappale. Tämänkin virhe saatiin korjattua 'An object has been detected'-scriptillä, joka toistaa poiminnan niin kauan, että se on poiminut kappaleen.

```

Waypoint_18
Gripper Close (1)
If rq_is_object_detected()
  Waypoint_19
Else
  Gripper Open (1)
  Waypoint_25
  Waypoint_18
  Gripper Close (1)
  If rq_is_object_detected()
    Waypoint_19

```

Kuva 14. Is object detected-scripti

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteet toteutuivat onnistuneesti ja aikataulun mukaisesti. Työ oli mielenkiintoinen ja haastava. Työ oli itsenäistä, enimmäkseen tietokoneella ohjelmapätkien selvittelyä ja niiden testaamista silloin tällöin paikan päällä. Itselläni ei ole aikasempaa kokemusta Universal Robotsista, mutta yksinkertainen ja visuaalinen käyttöjärjestelmä tekee siitä todella miellyttävän käyttäjälleen. Universal Robots Academy helpotti työtä suuresti, ja kun tiesi mitä etsiä, niin se ohjasi oikeille raitteille. Välillä työtä tehdessä tuntui edistys pysähtyvän, mutta löydettyessä esimerkkejä eteni työ suurin harppauksin. Suurimpana haasteena oli saada oma ajatus ohjelmointikieleksi robotille.

Jälkikäteen mietittynä robottisolua ei ollut mitenkään eristetty eikä aidattu. Vaikka kobotit ovatkin melko turvallisia ihmisten kanssa työskennellessään, olisi hyvä, ettei soluun eksy sivullisia ihmisiä ja että kobotti olisi suojattu törmäyksiltä sekä muilta sattumuksilta. Ohjelma toimi todella hyvin ja nopeasti, vaikka myöhemmin ohjelmaa tarkasteltuani huomasin, että scriptinpätkä, joka varmistaa, että kappale on poimittu taivutuskoneelta, toistaa loputtomalla loopilla, mikäli se ei tunnista kappaletta. Tähän olisi kuulunut laittaa maksimissaan kymmenen kertaa toistoja, kuten ensimmäisessä ongelmassa, jotta kobotti sammuttaa itsensä.

LÄHTEET

- 1 SOP-METAL yritysesite. https://www.esitteemme.fi/SOP-Metal_Oy/WebView/
- 2 The top six types of industrial robots n 2020 <https://diy-robotics.com/blog/top-six-types-industrial-robots-2020/>
- 3 ResearchGate erityyppiset tuotantorobotit https://www.researchgate.net/figure/Types-of-the-industrial-robots-from-mechanical-structure-point-of-view-a-articulated_fig2_308360105
- 4 Risto Kuivanen (toimittanut) 1999. Robotiikka. Suomen robotiikkayhdistys Ry (s12)
- 5 5 reasons to work with a cobot. <https://diy-robotics.com/blog/reasons-work-with-cobot/>
- 6 ISO 10218 standardi. <https://www.engineering.com/a-history-of-collaborative-robots-from-intelligent-lift-assists-to-cobots/>
- 7 What is machine vision? <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/machine-vision-computer-vision>
- 8 Robotiq wrist camera. <https://www.universal-robots.com/fi/plus/products/robotiq/robotiq-wrist-camera/>
- 9 Sick 2D vision inspector. <https://www.sick.com/gb/en/catalog/products/machine-vision-and-identification/machine-vision/inspector/c/g114860>
- 10 VISOR Robotic. <https://www.universal-robots.com/fi/plus/products/sen-sopart/visor-robotic/>
- 11 Universal robots historia. <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/our-history/>

12 Universal robots tulot. <https://www.robotics247.com/article/universal-robots-reports-85-million-in-revenue-for-q1>

13 Universal robots tuotteet. <https://www.universal-robots.com/products/>