Training 4.0 - Robotiikka

Search the course | Search | Resume Course

Collapse All

- Tietoa kurssista
  - Training 4.0 -hanke
  - Kurssin sisältö
- Mikä on teollisuurobotti?
  - Teollisuusrobotin määritelmä standardin mukaan
  - Teollisuusrobotin perusrakenne ja laitteisto
  - Erilaiset teollisuusrobotit
  - Robotin koordinaatistot
  - Robotin kinematiikka
  - 1. Osion kysymykset (Käy ensin läpi osion sisältö)
- Robotin perusohjelmointi (ABB)
  - RobotStudion asentaminen ja käyttöönotto
  - Liikekomennoista
  - RobotStudio - Solun luominen
  - Ohjelmointiharjoitus 1: Paletointiohjelma
  - Tehtävän ratkaisumalli
- Parametrinen ohjelmointi (ABB)
  - Yleistä parametrisesta robottiohjelmoinnista
  - Ohjelma muuttujat
  - Harjoitus 2. Parametrinen paletointi
  - Tehtävän ratkaisumalli (Lisätään myöhemmin)
- Offline-ohjelmointi
  - Online- ja offline -ohjelmoititapojen erot
  - Offline-ohjelmoinnin käyttökohteet
  - Harjoitus 4. Hitsauksen offline-ohjelmointi (lisätän myöhemmin)
  - Osion kysymykset
- Solusuunnittelu
  - Robotin valinta

Upcoming Dates

Dec 31, 2022

Course End
After this date, course content will be archived.

Robotin ulkoiset akselit

Robotin työkalut (lisätään myöhemmin)

Tiedonsiirtoyhteydet (lisätään myöhemmin)

Harjoitus 2. Solusuunnittelutehtävä (lisätään myöhemmin)

OSION KYSYMYKSET

RUNS ON
tutor
POWERED BY
OPEN edX

Training 4.0

Bookmark this page

Tämä kurssi on toteutettu osana Training 4.0: Robotiikka -hanketta

Hankkeen päätavoite on luoda yrityslähtöinen, jatkuvan oppimisen koulutusmalli

Hankkeessa kehitettävää Training 4.0 -koulutusmallia pilotoidaan ja kehitetään hankkeen aikana 8 pk-yrityksen kanssa. Koulutusmalli huomioi yrityksen eri työntekijätasot ja tarjoaa koulutussisältöä eri osaamistasoille joustavasti. Koulutusmallissa hyödynnetään moderneja opetusteknologioita, -menetelmiä ja -työkaluja, jotka edesauttavat ajasta ja paikasta riippumattoman koulutuksen kehittämistä. Koulutuksen sisältö pohjautuu oppimismatriisiin, joka mahdollistaa yksilöllisen oppimispolun muodostumisen ja osaamistarpeeseen kohdentuvan koulutuksen.

STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Kurssin sisältö

Bookmark this page

Tämä kurssi paneutuu teollisuusrobotiikan perusteisiin. Tavoitteena on, että opiskelija tuntee teollisuusrobotiikan keskeisimmät sovelluskohteet ja osaa teollisuusrobotin perusohjelmoinnin. Kurssin harjoituksissa käytetään ohjelmistona ABB:n RoboStudiota. ABB tarjoaa ohjelmistoon 30 päivän trial-lisenssin, joten sen käyttö on tämän ajan ilmaista. Ohjelmiston asennus ja käyttöönotto on opastettu kurssin materiaaleissa.

Kurssi aloitetaan tutustumalla teollisuusrobotiikan teoriaan, jonka jälkeen opiskelijalle tarjotaan kysymyksiä ja tehtäviä suoritettavaksi. Suoritettuaan osion opiskelija pääsee etenemään kurssilla seuraaviin osioihin.

Kurssilla käydään läpi seuraavat aihealueet:

Training 4.0 - Robotiikka

- Tietoa kurssista
  - Training 4.0 -hanke
  - Kurssin sisältö
- Mikä on teollisuurobotti?
  - Teollisuusrobotin määritelmä standardin mukaan
  - Teollisuusrobotin perusrakenne ja laitteisto
  - Erilaiset teollisuusrobotit
  - Robotin koordinaatistot
  - Robotin kinematiikka
- Robotin perusohjelmointi (ABB)
  - RobotStudion asentaminen ja käyttöönotto
  - Liikekomennoista
  - RobotStudio - Solun luominen
  - Ohjelmointiharjoitus 1: Paletointiohjelma
- Parametrinen ohjelmointi (ABB)
  - Yleistä parametrisesta robottiohjelmoinnista
  - Ohjelma muuttujat
  - Harjoitus 2. Parametrinen paletointi
- Offline-ohjelmointi
  - Online- ja offline -ohjelmoititapojen erot
  - Offline-ohjelmoinnin käyttökohteet
  - Harjoitus 4. Hitsauksen offline-ohjelmointi
- Solusuunnittelu
  - Robotin valinta
  - Robotin ulkoiset akselit
  - Robotin työkalut
  - Tiedonsiirtoyhteydet
  - Harjoitus 2. Solusuunnittelutehtävä

STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Siirry seuraavaan osioon

Bookmark this page

Checkboxes

1 point possible (ungraded)

Olen tutustunut kurssin sisältöön ja haluan siirtyä osioon "Mikä on teollisuusrobotti".

- [ ] Kyllä

Save

Submit You have used 0 of 10 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

SFS-EN ISO 10218-1

Bookmark this page

Standardin SFS-EN ISO 10218-1 mukaan teollisuusrobotti on:

- **Automaattisesti ohjattu**

  Maailma on täynnä erilaisia automaatisesti ohjattuja laitteita aina kodinkoneista liikkuviin ajoneuvoihin. Tämä ei siis itsessään tee laitteesta teollisuusrobottia, mutta on yksi määritelmä sille.

- **Uudelleen ohjelmoitava**

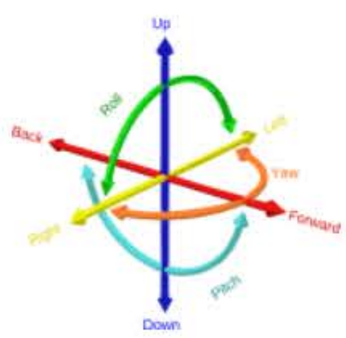
  Tämäkin kriteeri pätee moniin laitteisiin niin kotitaloudessa kuin teollisuudessakin. Esimerkiksi PLC-ohjattujen laitteistojen toimintaa voidaan jonkin verran muutella, mutta usein miten ne edustavat mekaniikaltaan kiinteää automaatiota. Eli käyttö on rajattu jonkin tietyn prosessin toteuttamiseen.

- **Monikäyttöinen toimilaite**

  Tämä erottaakin teollisuusrobotin jo selkeästi pelkästään edelliset kriteerit täyttävistä laitteista. Teollisuusrobotin työkalulaippaan voidaan asentaa erilaisia työkaluja, jolloin niiden käyttötarkoitus voi muuttua ihan toisenlaiseksi. Robottiin voidaan kiinnittää erilaisia tarttujia kappaleiden käsittelyä varten ja toisaalta samaan robottiin voidaan vaihtaa hitsauspoltin, jolloin sen käyttötarkoitus muuttuu täysin toisenlaiseksi. Tämä tekee robotista varsin monikäyttöisen.

- **Min. 3 ohjelmoitavaa akselia**

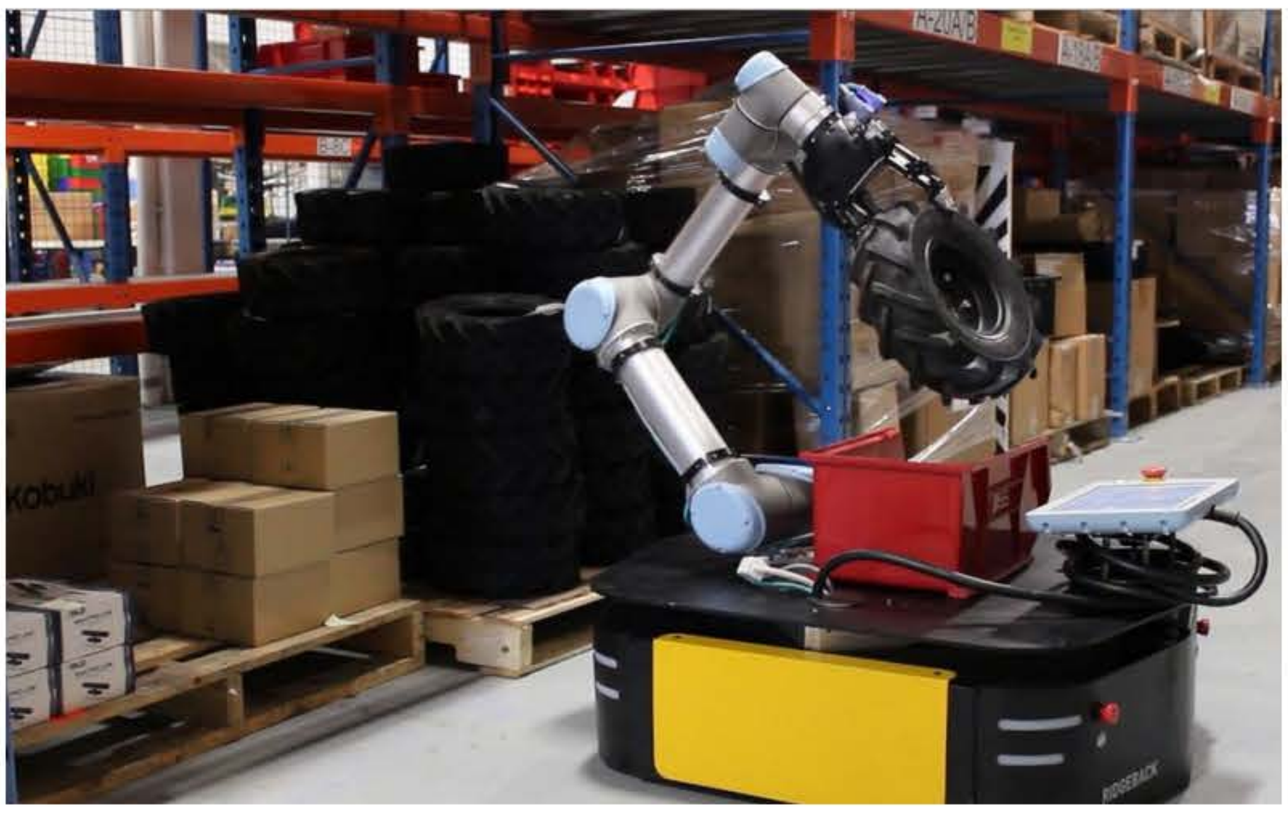
  3 ohjelmoitavaa akselia tarkoittaa yleensä kolmea eri vapausastetta kolmiulotteisessa maailmassa, jossa vapausasteita on kaiken kaikkiaan kuusi (x, y, z, yaw, pitch ja roll). Eli kolmella ohjelmoitavalla akselilla robotin työkalua voidaan siirtää esimerkiksi x/y-tasossa ja kääntää vaikkapa z-akselin ympäri. Teollisuusrobotilla, jossa on kuusi kiertyvä niveltä saavutetaan kaikki kuusi vapausastetta.



Kuvalähde: *https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom#/media/File:6DOF.svg*

- **Kiinteästi asennettu tai liikkuva**

  Yleensä teollisuusrobotti asennetaan kiinteästi, mutta joissain sovelluksissa se voi olla myös liikuteltava. Esimerkiksi yhteistyörobotti voidaan asentaa mobiilirobotin päälle, jolloin se pystyy liikkumaan (tuotanto)tilassa ja toteuttaman erilaisia tehtäviä eri paikoissa.



Kuvalähde: *https://clearpathrobotics.com/blog/2015/11/making-collaborative-robots-mobile-by-sick/*

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Perusrakenne

Bookmark this page

Teollisuusrobotin perusosat:

Keskeisimmät robotin ja helpoimmin toisistaan erottuvat robotin osat ovat **manipulaattori**, **ohjain** ja **ohjelmointiyksikkö**.

Manipulaattori on teollisuusrobotin työkalua liikuttava rakenne, joka koostuu nivelistä ja varsista näiden nivelten välissä. Teollisuusrobotteja on rakenteeltaan muutamaa eri päätyyppiä, joihin palataan tällä kurssilla myöhemmin. Vaikka manipulaattori on monellakin tapaa näkyvin osa robottisolua, se ei välttämättä ole teknologisesti monimutkaisin tai edes kallein osa solua. Esimerkiksi kuusinivelisen käsivarsirobotin rakenne on pysynyt samana vuosikymmeniä vaikkakin vaihde- ja servotekniikka on teollisenmuotoilun ohella muuttanut jonkin verran sen ominaisuuksia ja ulkonäköä. Myös manipulaattorin kinemaattisiin ominaisuuksiin ja tarkempaan rakenteeseen palataan kurssilla myöhemmin.

STAFF DEBUG INFO

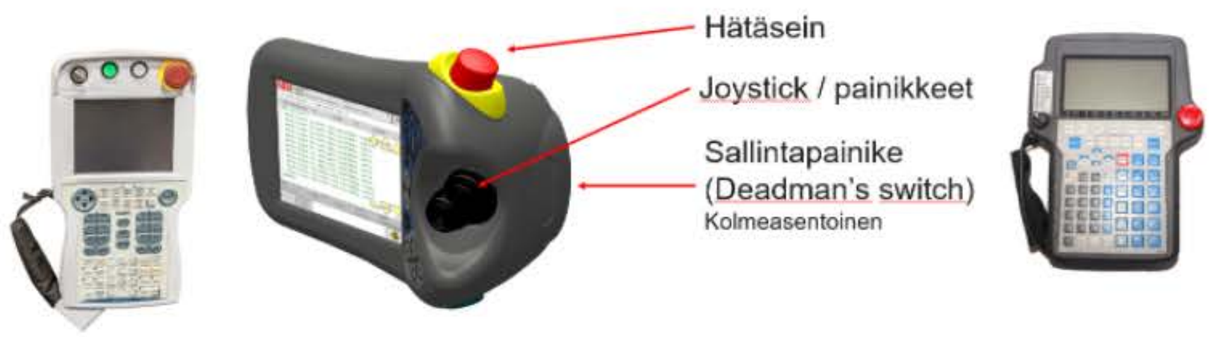
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Robotin käsiohjain (Teach Pendant)

Bookmark this page

Ohjelmointiyksikkö

Robotin ohjelmointiyksikön (käsiohjaimen, Teach Pendant) merkitys uusien ohjelmien luonnissa on menettänyt merkitystään offline ohjelmointiympäristöjen käytön lisääntymisen myötä. Se on kuitenkin kätevä käyttöliittymä lyhyiden ohjelmien, ohjelma- ja parametrimuutosten tekemiseen robotille.



Robotin manuaalinen liikuttaminen (joggaaminen) tapahtuu joko joystickillä tai painikkeilla riippuen käyttöliittymästä. Yllä olevissa kuvissa on esitetty Yaskawan, ABB:n ja Fanucin ohejelmointiyksiköt. Lähes kaikkien valmistajien ohjelmointiyksiköissä on kosketusnäyttö, joka on kätevä lisä vaikka, valikoita voi käytellä myös painikkeilla.

Yhteistä kuitenkin kaikille ohjelmointiyksiköille on kolmiasentoinen sallintapainike. Yleinen termi sallintapainikkeelle on deadman's switch, joka tulee rautatiesanastossa. Junassa on painike, jota kuljettaja joutuu painamaan tietyin väliajoin. Tällä varmistetaan, että juna pysähtyy, jos kuljettaja on nukahtanut (tai kuollut). Robottien sallintapainike on kolmiasentoinen ja robotin liikuttaminen on mahdollista vain keskiasennossa. Mikäli painiketta painaa liian lujaa, robotti pysähtyy välittömästi. Tämä siksi, että ihminen tyypillisesti puristaa kättään pelästyessään tai vaikkapa sähköiskun seurauksena.

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Robotin ohjain

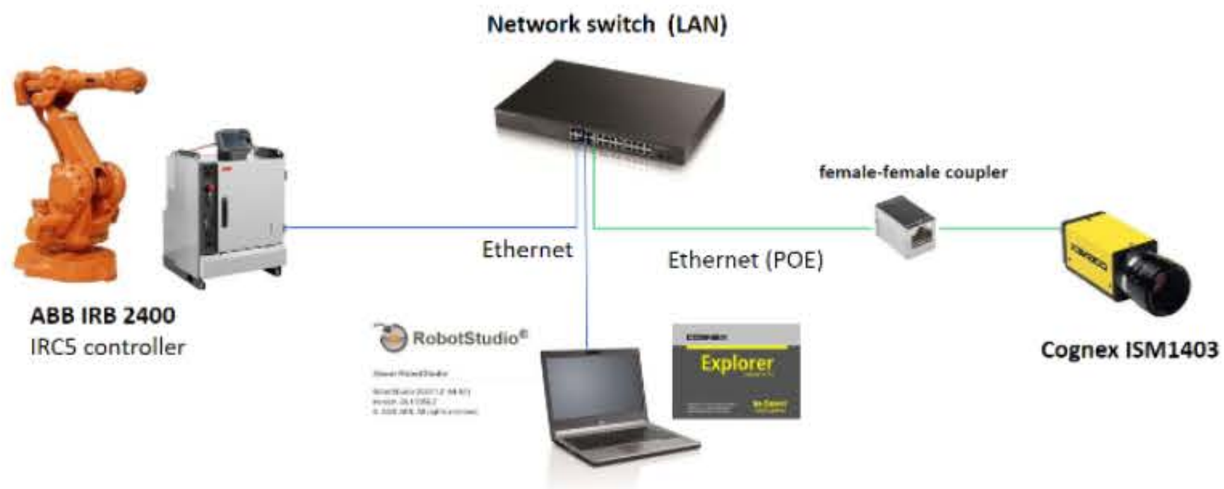
Bookmark this page

Ohjain

Ohjaimen ydin on reaaliaikainen prosessitietokone, joka koostuu samoista elementeistä, kuin talvallinen PC. Keskusyksikön ja muistien lisäksi se sisältää mm.

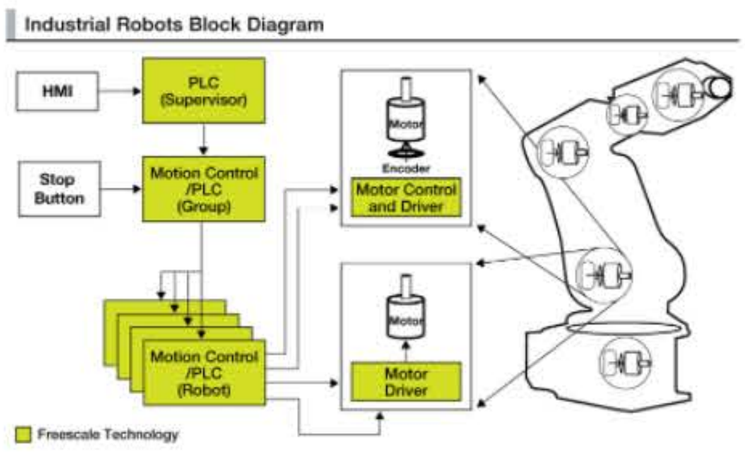
Liitännät ulkoisiin laitteisiin

Kuten aikaisemmin mainittu, manipulaattori on vain pieni osa robottisolua. Solu koostuu usein useista eri toimilaitteista robotin lisäksi. Näihin järjestelmiin pitää päästä kytkeytymään jollain tapaa. Nykyään yleisemmin käytössä olevat tiedonsiirtotavat ovat ethernet ja erilaiset väyläratkaisut. Tämän lisäksi roboteista löytyy usein vakiona jonkinlainen digitaalinen/analoginen singnaalirajapinta. Myös robotin turvalaitteistolle tarvitaan liityntärajapinnat robotin omaan- ja mahdollisesti ulkoiseen turvapiiriin. Alla havainnekuva Cognexin konenäkökameran kytkennästä ABB:n IRC5 ohjaukseen.



Nivelkohtaiset servotoimilaitteet

Robotin jokainen nivel sisältää yleensä servomoottorin ja sen ohjaaminen paikkaohjearvoon tarvitsee servon ohjauslaitteet (ohjain + vahvistin) takaisinkytkentöineen.

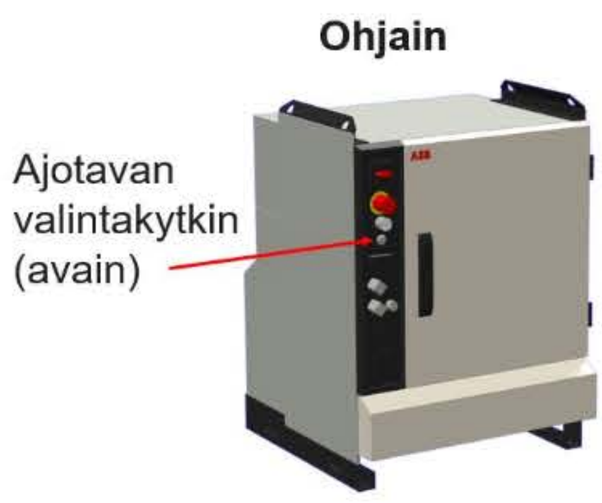


Teholähde

Toimii aivan kuten esimerkiksi tietokoneen virtalähde - Muuttaa sähkönsyötön sopivaksi järjestelmälle.

Ajotavan valinta

Käyttäjälle näkyvimpiä toimintoja robotin ohjainkaapissa käynnistämisen lisäksi on robotin ajotavan valinta. Ajotavan valinta on usein suojattu avaimella ja sillä on valittavissa kolme erilaista robotin tilaa:



- **Ajotapa: automaatti (tuotantotila)**
  - ✓ Pyörittää ohjelmaa tuotantotilassa. Robottia ei voida hallinnoida käyttöpaneelista.
- **Ajotapa: Manuaali -hidas(ohjelmointitila)**
  - ✓ Käytetään silloin, kun robottia liikutetaan käyttöpaneelista ja ihminen on robotin toiminta-alueella.
- **Ajotapa: Manuaali –täysnopeus (testitila)**
  - ✓ Testataan uusia ohjelmia täydellä nopeudella

sdgsssgsdsg

STAFF DEBUG INFO

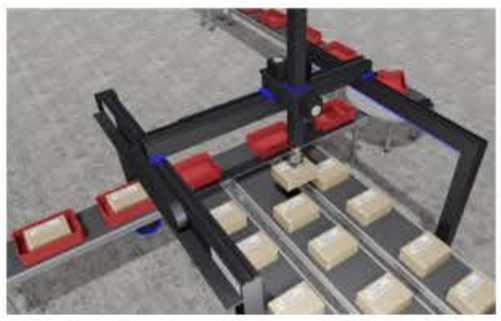
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Tyypillisimmät teollisuusrobotit

Bookmark this page

Käytetyimmät teollisuusrobottirakenteet ovat Portaali-, SCARA-, Käsivarsi- ja Deltarobotti. Näiden lisäksi löytyy myös ns. sylinteri- ja napakoordinaatistorobotteja, mutta niiden käsittely ohitetaan tällä kurssilla. Tämä sen vuoksi, että jälkimmäisenä mainitut eivät vakiinnuttaneet paikkaansa teollisuudessa, vaikkakin ensimmäiset robotit olivatkin napakoordinaatisto-robotteja. (kts. Unimate https://en.wikipedia.org/wiki/Unimate)

Vaikka alla alla olevisa havainnekuvissa kaikki robottityypit ovat kuvattu samassa tehtävässä, näin ei kuitenkaan välttämättä todellisuudessa toimita, vaan kuhunkin sovellukseen valitaan ominaisuuksiltaan sopivin robottityyppi. Tähän valintaan vaikuttavat esimerkiksi vaadittava tahtiaika, ulottuvuus, kuormankantokyky, tarkkuus, työtehtävän varioituvuus ja niin edelleen. Tässä kappaleessa käydään näiden neljän robottityypin keskeisimmät ominaisuudet ja käyttökohteet.



Portaalirobotit

SCARA -robotit

Voimaa ja ulottuvuutta

Nopeutta

Käsivarsirobotit

Deltarobotit

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

SCARA-Robotit

Bookmark this page

Selective Compliance Automatic Robot Arm

Kaikissa SCARA-roboteissa on samanlainen rakenne. Niissä on kolme pyörivää akselia vaakatasossa ja yksi lineaarinen akseli pystytasossa. Kuva X esittää SACARA-robotin työaluetta, joka on hieman sylinterimäinen. Yleensä näiden robottien työalueet ovat melko pieniä, mutta niiden työaluetta voidaan kasvattaa pidentämällä nivelten välisiä varsia.

SCARA-robotteja käytetään pääsääntöisesti elintarviketeollisuuden pakkaussovelluksissa sekä elektroniikan kokoonpanotehtävissä. Toki SCARA soveltuu myös muihin tehtäviin, jossa työkappaletta ei tarvitse kallistaa XY-tasossa.

Nämä robotit ovat hyvin nopeita, josta esimerkkinä vaikkapa Stäublin TP80 robotilla toteutettu demosovellus --> Stäubli TP80 Fast Picker robot (YouTube).

Ne ovat myös usein huomattavasti halvempia, kuin muut robottimallit niiden suhteeölisen yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Nämä ominaisuudet tekevät siitä hyvän vaihtoehdon moneen sovellukseen.

Muistettavaa:

- Rakenne: Pyörivät nivelet ovat vaakatasossa ja pystysuuntainen liike on lineaarinen
- Kaikilla SCARA-roboteilla on sama rakenne
- Erittäin nopea

Tyypilliset tehtävät:

- Kappaleenkäsittely
- Kokoonpano
- Elektroniikka

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Portaalirobotit

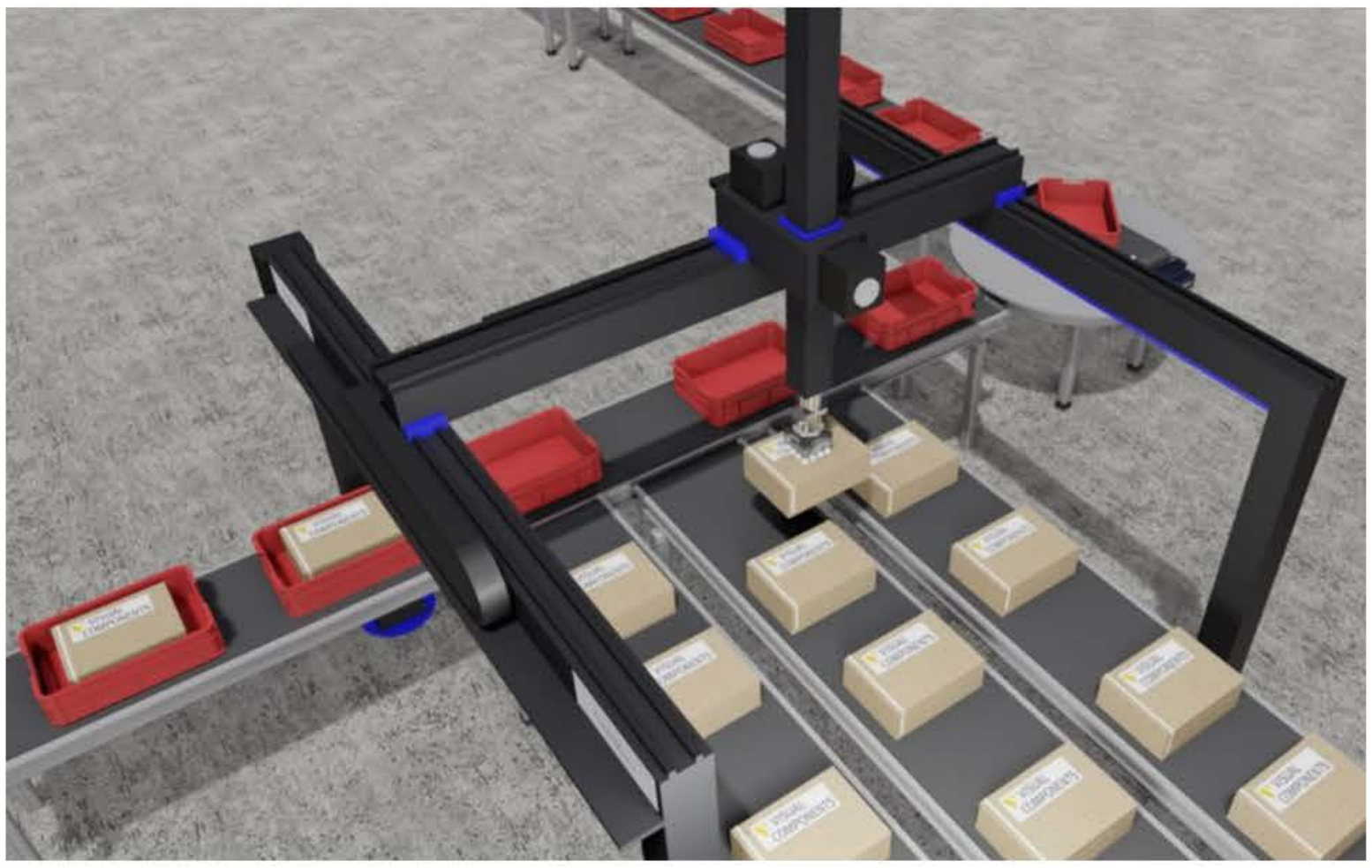
Bookmark this page

Portaalirobottia voidaan pitää jossain mielessä perinteisimpänä, joskaan ei käy käytetyimpänä, robottityyppinä. Se koostuu kolmesta lineaarisesta akselista, joilla saavutetaan karteesisen koordinaatiston X-, Y-, ja Z- liikesuunnat (tästä englanninkielinen nimitys Cartesian Robot). Usein myös robotin työkalun kääntämiseksi Z-akselin ympäri on lisätty yksi pyörivä nivel pystysuoraisen akselin (Z) päähän.

Portaalirobotin rakenne on erittäin modulaarinen, koska se koostuu suorista johteista. Johteiden pituuksia muuttamalla robotin työalue voidaan räätälöidä tapauskohtaisesti. Työalue voi olla myös erittäin iso, vaikkapa kymmeniä metrejä suuntaansa. Portaaliroboteilla voidaan käsitellä erittäin raskaita kuormia. Yleensäkin kiertyvien nivelten lisääminen kinematiikkaan vähentää kuormankäsittelykykyä.

Koska portaalirobotissa on vain lineaarisia akseleita, on sen ohjaaminen huomattavasti yksinkertaisempaa, kuin kiertyvänivelisen käsivarsirobotin ohjaus. Niin sanottua käänteisen kinematiikan laskentaa ei tarvitse liikkeen ohjauksessa suorittaa ollenkaan. Riittää että ohjauksella annetaan paikan X-, Y- ja Z-koordinaatit ja ajetaan lineaariset nivelet niitä vastaaviin asentoihin.

Portaalirobotin yleisimpiä käyttökohteita ovat kappaleenkäsittely pakkauksessa ja konepalvelussa. Konepalvelusta voidaan ottaa esimerkiksi ohutlevytyökoneet --> Raw Material to Bent Product - Prima Power PSBB Demo



Muistettavaa:

- Yksinkertainen ja modulaarinen rakenne.
- Rakenne mahdollistaa laajat työalueet.
- Pystyy käsittelemään suuria massoja.
- Helppo ohjelmoida.

Tyypilliset tehtävät:

- Kokoonpano
- Konepalvelu
- Pakkaus

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Kiertyväniveliset robotit

Bookmark this page

Kiertyväniveliset robotit ovat teollisuuden käytetyimpiä robotteja. Niitä kutsutaan yleensä nimellä käsivarsirobotti. Robotin rakenne on sinänsä yksinkertainen - se koostuu varsista, jotka on yhdistetty toisiinsa pyörivillä nivelillä. Sen liikealue ja vapausasteet muistuttavat paljon ihmisen käsivartta (josta nimitys käsivarsirobotti), vaikkakin ihmisen käsivarren erilaiset niveltyypit on korvattu pyörivillä nivelillä. Tämä tekee tästä robottityypistä varsin monikäyttöisen. Käytännössä mikä tahansa työkalu voidaan asettaa sen työkalulaippaan ja kuljettaa työkalu oikeaan paikkaan ja orientaatioon. Työkalu voi olla hitsauspoltin, jonkinlainen tarttuja, jyrsinterä, plasmapoltin... jne.

Käsivarsirobotteja löytyy pienistä erittäin isoihin. Toisin sanoen kilon käsittelykyvystä ja puolen metrin ulottuvuudesta aina tuhansien kilojen käsittelykykyyn ja useiden metrien ulottuvuuteen.

Suurin osa tämän kurssin harjoituksista liittyvät tämän tyyppisten robottien käyttöön.

Muistettavaa:

- Tunnetaan yleisesti teollisuusrobottina tai käsivarsirobottina
- Yleisin robottityyppi
- Mekaaninen laite, joka siirtää työkalua haluttuun paikkaan ja orientaatioon. Liikerata voi olla kiinteä, valinnainen tai dynaaminen (ohjattu antureilla).
- Koostuu pyörivistä nivelistä ja niiden välisistä varsista

Tyypilliset tehtävät:

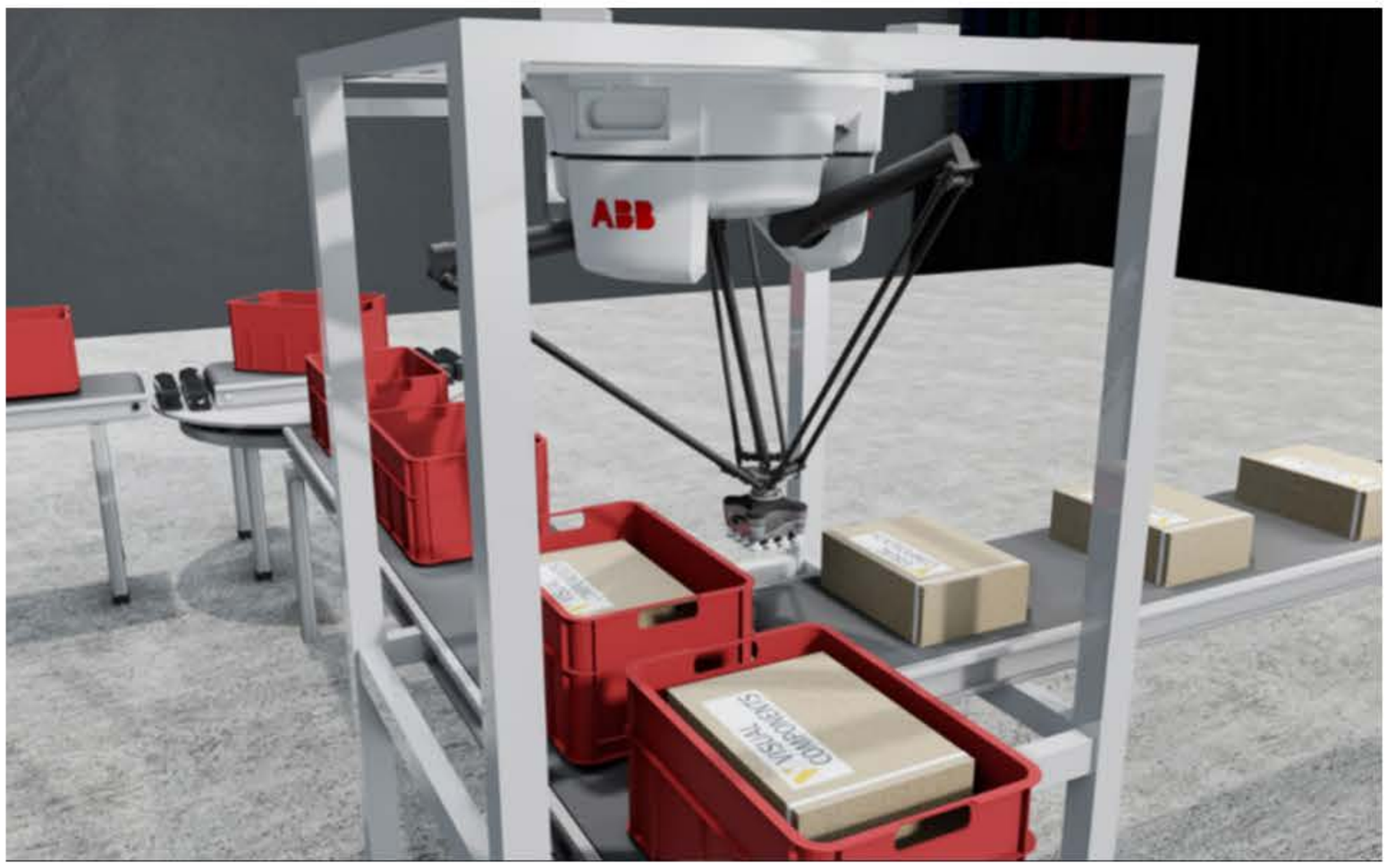
- Kokoonpano
- Kappaleenkäsittely
- Maalaus
- Pakkaus
- Konepalvelu
- Leikkaus
- jne...

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Rinnakkaisrakenteiset robotit

Bookmark this page



Useita rinnakkaisia niveliä --> Jäykempi rakenne, mutta silti erittäin nopea

Yksi sovellus on Stewardin alusta, jossa kaksi levyä on liitetty toisiinsa kuudella lineaarisella nivelellä.

Tyypilliset tehtävät:
Kokoonpano/asennus
Pakkaus

STAFF DEBUG INFO

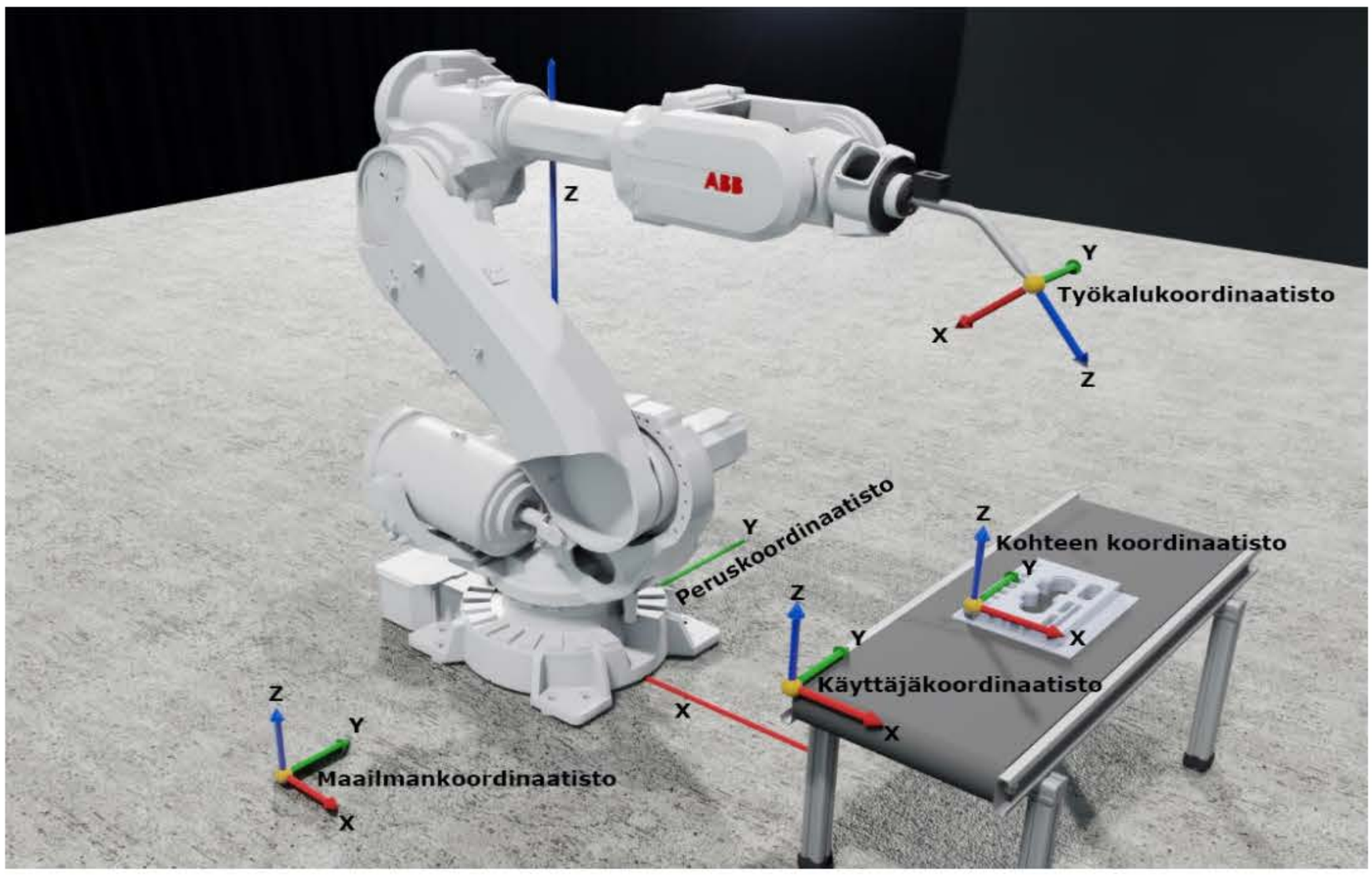
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Yleistä robotin koordinaatistoista

Bookmark this page

Teollisuusrobotiikassa koordinaatistot ovat suorakulmaisia niin sanottuja oikeakätisiä koordinaatistoja. Suorakulmaisten x-,y- ja z-koordinaattien sekä orientaatio- ja kulma-arvojen avulla robotti pystyy paikoittamaan itsensä koordinaatiston sisälle. Robotin tehtävänä on siirtää työkalu käyttäjän sille asettamaan pisteeseen ja orientaatioon. Se tapahtuu laskemalla työkalupisteen paikka työkaluavaruudessa ja vertaamalla sitä tavoitepisteen koordinaatteihin. (Kuivanen 1999, 20-21, Billing 2013)

Robottia voidaan tapauskohtaisesti ajaa manuaalisesti eri koordinaatistoissa, jolloin liikesuunnat toteutuvat kunkin koordinaatiston mukaan. Esimerkiksi paikoitettaessa työkalua, voidaan sitä ajaa karteesisessa työkalukoordinaatistossa lineaariliikkein eli suoraviivaisesti koordinaatiston suuntaan. Työkalua voidaan pyörittää myös työkalupisteen ympäri koordinaatiston akselin suuntaisesti. (Pakkanen 2017, Pakkanen 2015)



Lähteet

Billing, M. 2013. Fanuc robotit yleisohje VAMK. [Käyttöohje]. Vaasa: Vaasan Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys ry. Vantaa: Talentum.

Pakkanen, J. 2015. Robot coordinate systems. [Luentomateriaali]. Seinäjoki: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

Pakkanen, J. 15.9.2017. Fanuc-ohjeet (perustoiminnot). [Käyttöohje]. Seinäjoki: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

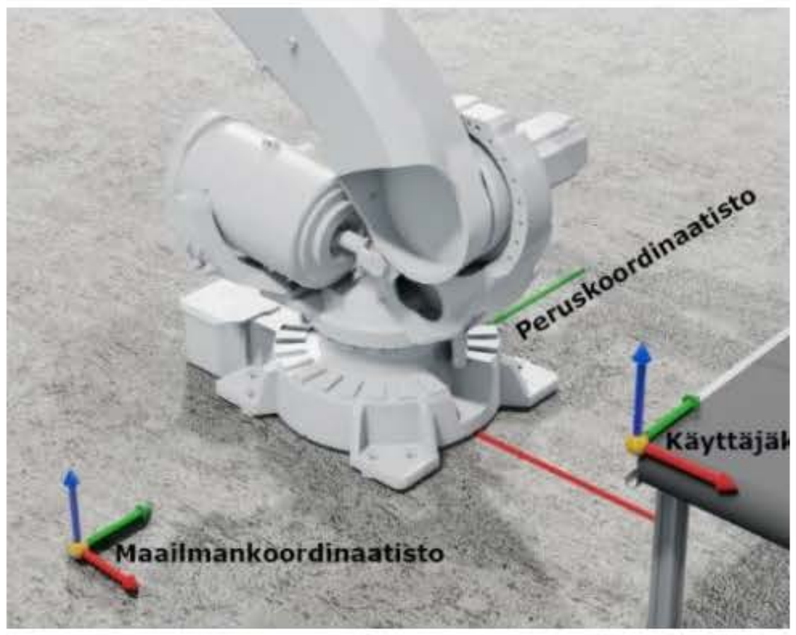
Maailman koordinaatisto

Bookmark this page

Maailmankoordinaatisto on kiinteä peruskoordinaatisto joka on sidottuna robotin työskentely-ympäristöön, rakennukseen, kuljettimeen tai robottisoluun. Peruskoordinaattien laskeminen tapahtuu tämän koordinaatiston kautta. Jos robottisolussa on useita robotteja ja toimilaitteita, voi maailmankoordinaatisto olla kaikilla roboteilla yhteinen. (Kuivanen 1999, 20-21, Pakkanen 2015).

Maailmankoordinaatistossa koordinaatiston nollakohta eli origo on sijoitettu kiinteäksi työpisteeseen tai asemaan. Se on hyödyllinen käsiteltäessä useita robotteja ja ulkoisia akseleita samassa robottisolussa. Oletusarvoisesti maailmakoordinaatisto vastaa koordinaateiltaan peruskoordinaatistoa.

Esimerkkitapauksessa käytössä on kaksi robottia, joista toinen on kiinnitetty lattiaan ja toinen käännetty ylösalaisin. Tässä tapauksessa myös käännetyn robotin peruskoordinaatisto on ylösalaisin. Ohjattaessa robotteja manuaalisesti, ovat liikekäskyt päinvastaisia toisiinsa nähden. Käytännössä robottien ohjelmoiminen yhdessä muodostuu hankalaksi. Mikäli liikkeet toteutetaan peruskoordinaatiston sijaan maailmankoordinaatistossa, muuttuvat liikkeet samansuuntaisisiksi ja ohjelmoiminen helpottuu.(ABB 2018)



Lähteet

ABB 2018. Käyttäjän opas. Irc5 ja flexpendant. [Käyttöohje]. ABB Robotics. Julkaisematon

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys ry. Vantaa: Talentum.

Pakkanen, J. 2015. Robot coordinate systems . Seinäjoki: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

STAFF DEBUG INFO

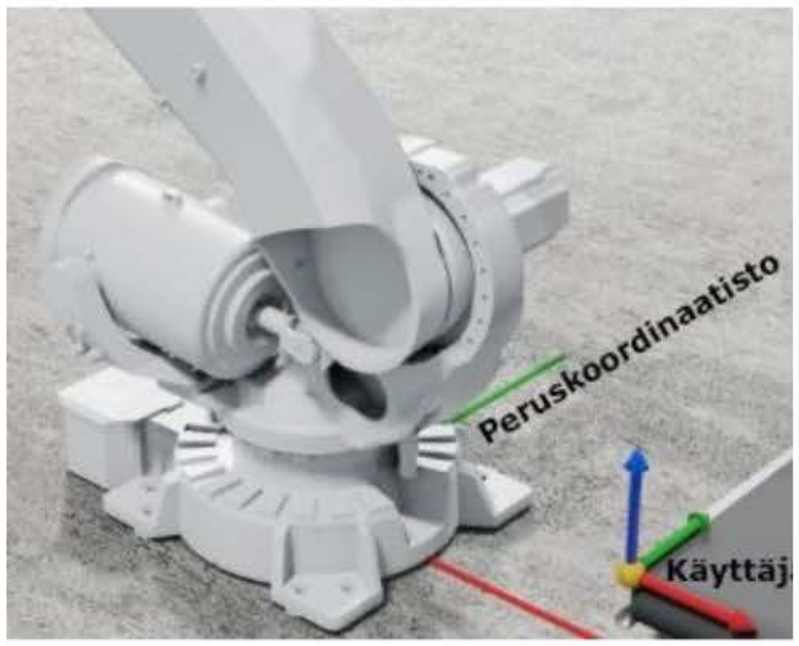
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Peruskoordinaatisto

Bookmark this page

Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan. Yleisesti voidaan määritellä koordinaatiston z-akselin yhtyvän robotin ensimmäisen vapausasteen akseliin, x- akselin osoittaessa ensimmäisen nivelen työalueen keskikohtaan ja x-y-tason yhtyessä lattiatasoon. (Kuivanen 1999, 21).

Koska peruskoordinaatisto on sidottuna robotin jalustaan, on sitä helppo käyttää robotin käsivarren paikoitukseen yhdessä maailmankoordinaatiston kanssa. (Pakkanen 2015).



Lähteet

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys ry. Vantaa: Talentum.

Pakkanen, J. 2015. Robot coordinate systems . Seinäjoki: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

STAFF DEBUG INFO

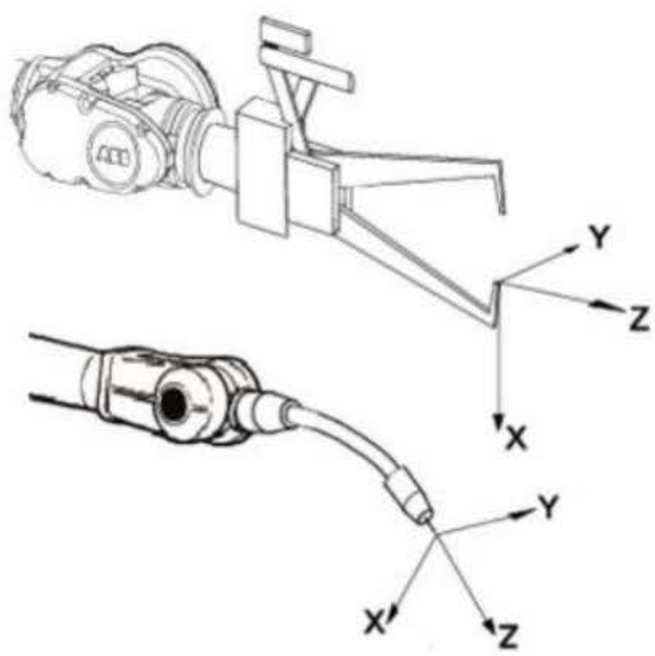
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

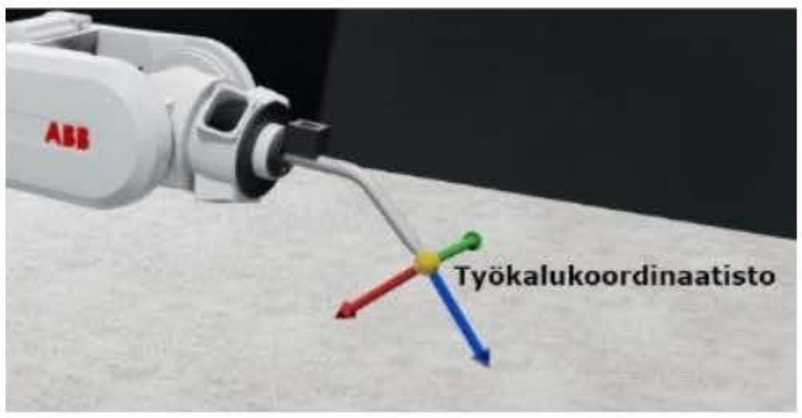
Työkalukoordinaatisto

Bookmark this page

Työkalukoordinaatisto on suorakulmainen koordinaatisto, joka sidotaan kiinni työkalun keskipisteeseen. Työkalukoordinaatiston origon, eli nollapisteen avulla työkalu on paikoitettavissa haluttuun kulmaan ja positioon työkappaleeseen nähden. Esimerkiksi hitsausrobotin polttimen keskipiste kulkee z-akselin suuntaisesti. Tällöin hitsattavan kohteen etäisyyden määrittäminen suuttimesta on loogista. (Billing 2013, Pakkanen 2015, Kuivanen 1999, 21)

Työkalua vaihdettaessa tulee myös työkalukoordinaatisto vaihtaa kyseiselle työkalulle ominaiseksi. Tällöin paikoitus työkalun ja työstettävän kappaleen välillä pysyy oikeana.





Työkalukoordinaatisto

Lähteet

Billing, M. 2013. Fanuc robotit yleisohje VAMK. [Käyttöohje]. Vaasa: Vaasan Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys ry. Vantaa: Talentum.

Pakkanen, J. 2015. Robot coordinate systems . Seinäjoki: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

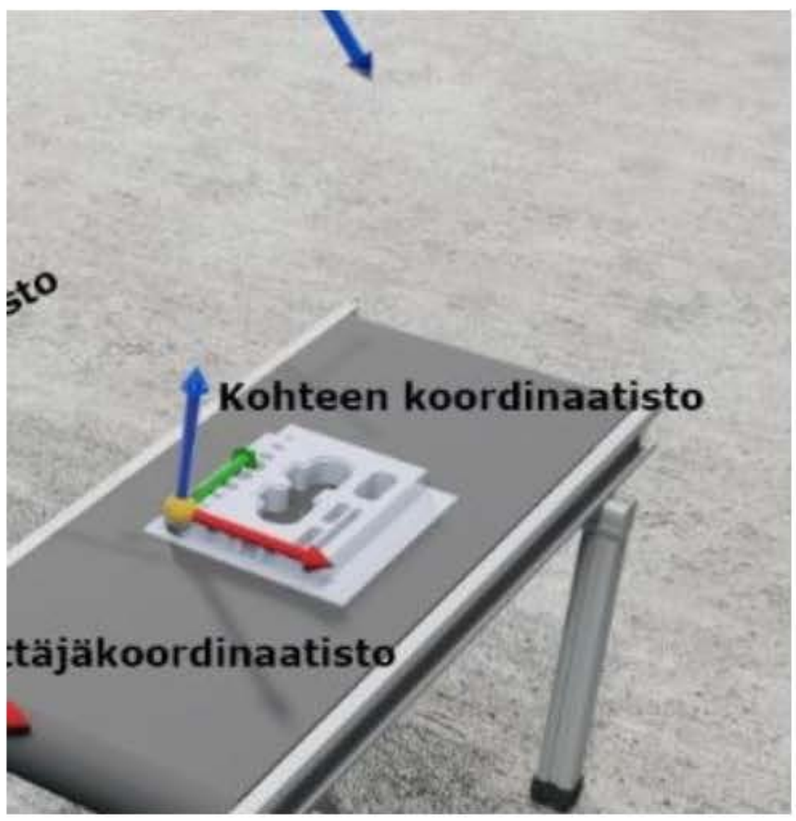
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Kohteen koordinaatisto

Bookmark this page

Työstettävälle kappaleelle voidaan luoda oma koordinaatistonsa. Koordinaatiston tehtävänä on helpottaa kappaleen paikoitusta suhteessa robottiin. Koordinaatistoa käytetään yhdessä maailmankoordinaatiston kanssa. Robotilla voi olla käytössä samanaikaisesti useita kohteen koordinaatistoja eri kappaleiden paikoittamiseksi. (Pakkanen 2015)



Lähteet

Pakkanen, J. 2015. Robot coordinate systems . Seinäjoki: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

STAFF DEBUG INFO

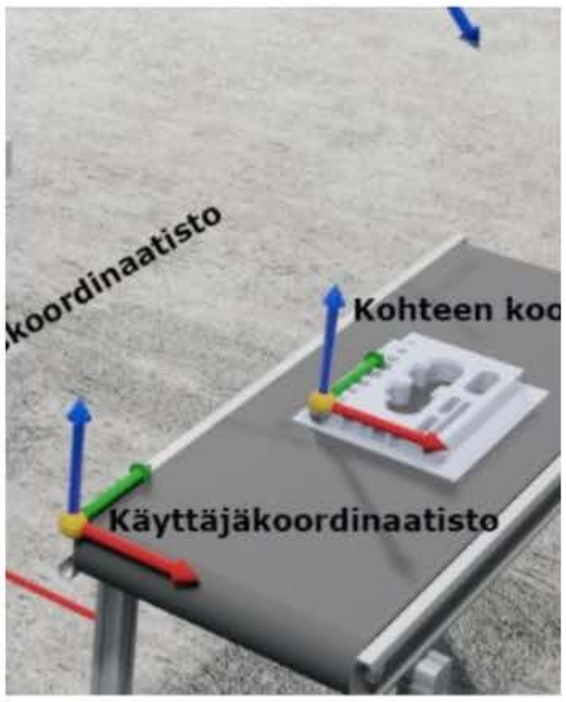
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Käyttäjäkoordinaatisto

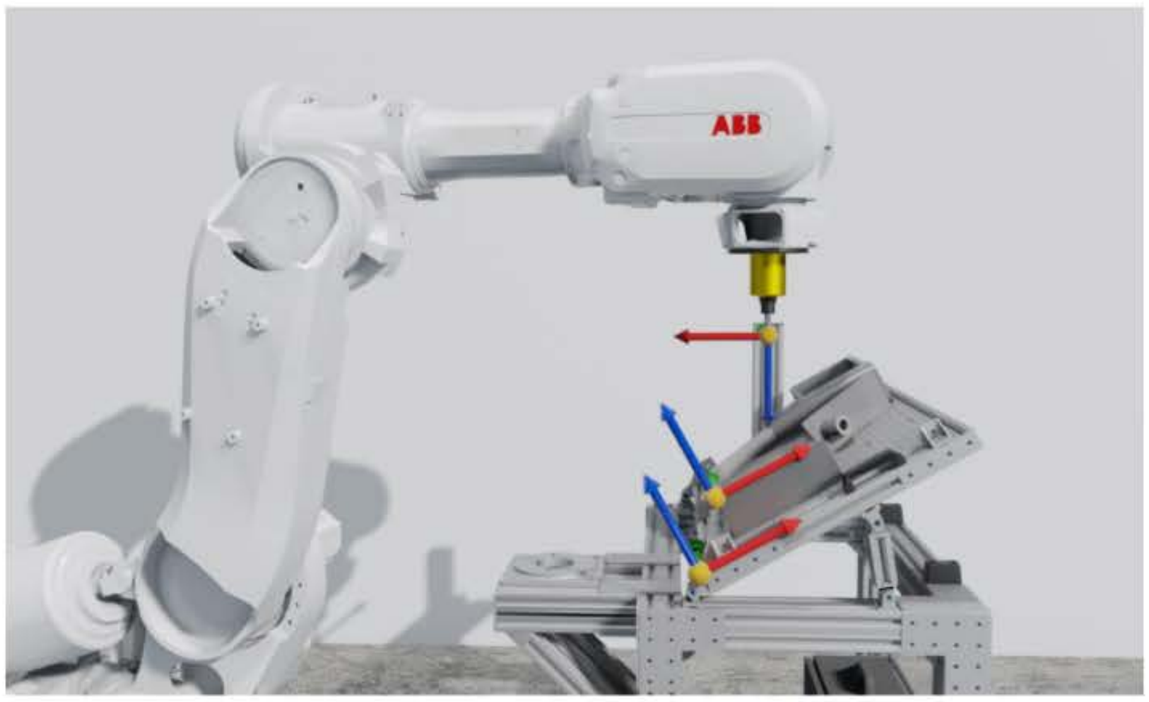
Bookmark this page

Käyttäjäkoordinaatiston tarkoitus on helpottaa ohjelmointia. Erilaisissa kappaleentyöstöissä ja siirtotehtävissä työskentelykulmat usein poikkeavat vaakatasosta. Tällöin esimerkiksi käyttäjäkoordinaatiston avulla luotava kaltevalla tasolla oleva koordinaatisto helpottaa siten, että robotin työkalua voidaan ajaa tämän luodun kaltevan pinnan suuntaisesti.

Poimintasovelluksissa käyttäjäkoordinaatisto voidaan luoda esimerkiksi kiinni kappaletavaralavaan. Käyttäjäkoordinaatisto sidotaan peruskoordinaatistoon, jolloin lavan paikkaa vaihdettaessa jää ainoaksi työksi vaihtaa käyttäjäkoordinaatiston origo uuteen lavan paikkaan. Kaikki muut koordinaatit seuraavat tällöin perässä, eikä muuta ohjelmaa tarvitse muuttaa. (ABB 2018)



Käyttäjäkoordinaatisto



Käyttäjäkoordinaatisto kaltevassa tasossa

Lähteet

ABB 2018. Käyttäjän opas. Irc5 ja flexpendant. [Käyttöohje]. ABB Robotics. Julkaisematon

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Yleistä kinematiikasta

Bookmark this page

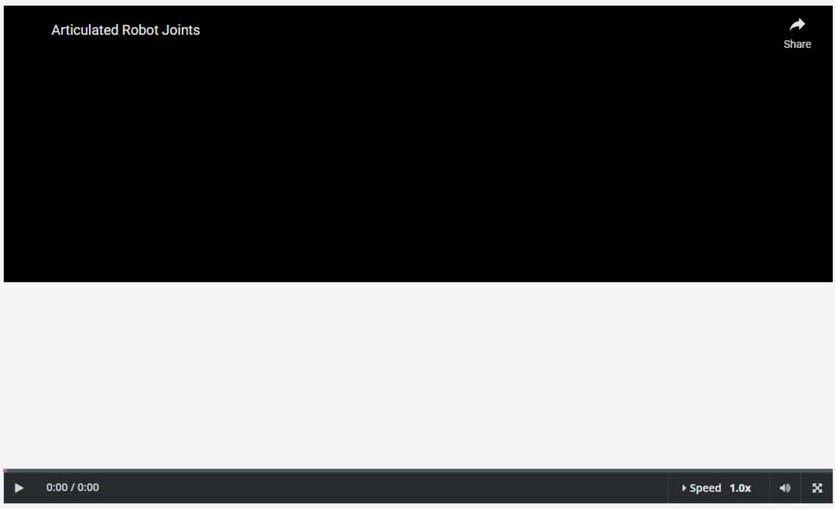
Teollisuusrobottien kinematiikka itsessään ei ole juurikaan muuttunut vuosikymmenien aikana. Niiden rakenteissa koostuu edelleen samat niveltyypit ja matemaattiset riippuvuudet. Tällä kurssilla ei tarkemmin lähdetä käsittelemään kinematiikan laskentaan liittyvää matematiikka, vaan riittää että opiskelija ymmärtää erot suljetussa ja avoimessa kinematiikassa. Lisäksi käsiteltäessä käsivarsirobotteja on hyvä ymmärtää erilaiset kinemaattisesta rakenteesta johtuvat matemaattiset ongelmatilanteet, eli singulariteetti tilanteet. Näin niiden välttämien on helpompaa.

Robotti koostuu useista toistensa suhteen liikkuvista tukivarsista, joiden avulla se pystyy muuttamaan työkalun asemaa haluttuun pisteeseen. Sen on kyettävä laskennallisesti määrittämään haluttu työkalun asema ja muutettava se robotin vapausasteiden paikka-arvoksi. Robotin täytyy siis tietää, mitä niveltä ja kuinka paljon tulee liikuttaa, että haluttu työkalupositio saavutetaan. Tällaista nivelten keskinäistä asemaa laskevaa tehtävää kutsutaan käänteiseksi kinemaattiseksi tehtäväksi. Mikäli työkalun asema määritetään suoraan työkalun paikka-arvoista, on kyseessä suora kinemaattinen tehtävä. (Kuivanen 1999, 20.)

Yhtä robotin perusliikettä eli niveltä kutsutaan vapausasteeksi. Nykyaikaisen teollisuusrobotin tapauksessa vapausasteita on yleisesti kuusi kappaletta. Perinteisen teollisuusrobotin tapauksessa nivelet ovat kytketty toistensa perään jolloin tätä rakennetta kutsutaan avoimeksi kinemaattiseksi rakenteeksi. Mikäli tukivarret kytketään rinnakkain, on kyseessä suljettu kinemaattinen rakenne. (AuNe, [viitattu 29.4.2020] Suljetun rakenteen ansiosta yhden nivelen kulma-arvo vaikuttaa aina myös muihin robotin nivelten kulmiin.

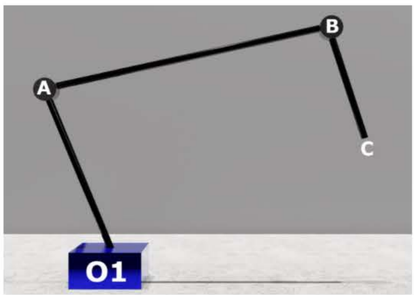
STAFF DEBUG INFO

Kiertyvänivelisen robotin vapausasteet

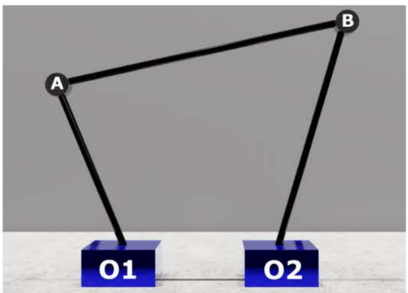


STAFF DEBUG INFO

Koska usein robotin halutaan pystyvän myös yksittäisen nivelen liikuttamiseen, on suljetun kinematiikan käyttö tällaisessa tilanteessa mahdotonta. Suljetun kinematiikan järjestelmät ovatkin harvinaisempia ja niitä käytetään tilanteissa joissa vaaditaan suuria liikenopeuksia ja jäykkää mekaanista rakennetta. (AuNe, [viitattu 29.4.2020]



Avoin kinemaattinen rakenne.



Suljettu kinemaattinen rakenne.

STAFF DEBUG INFO

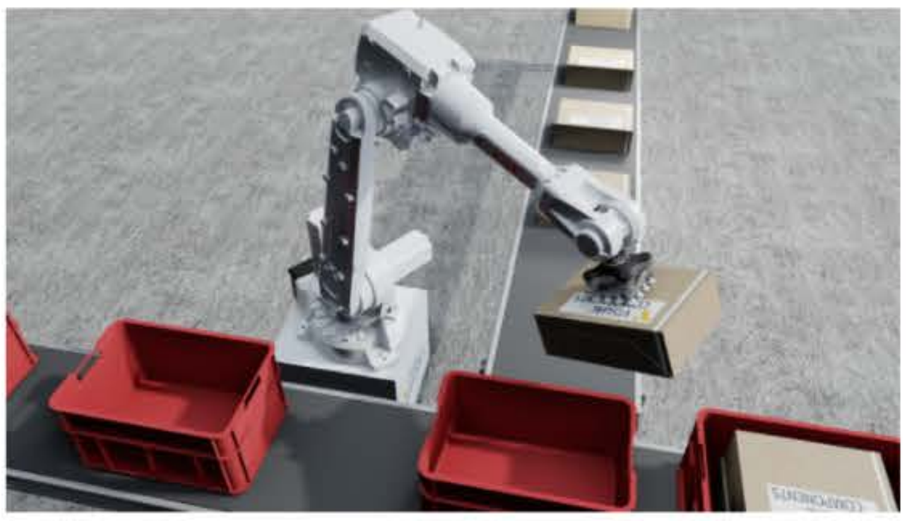
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Kinemaattiset nivelet

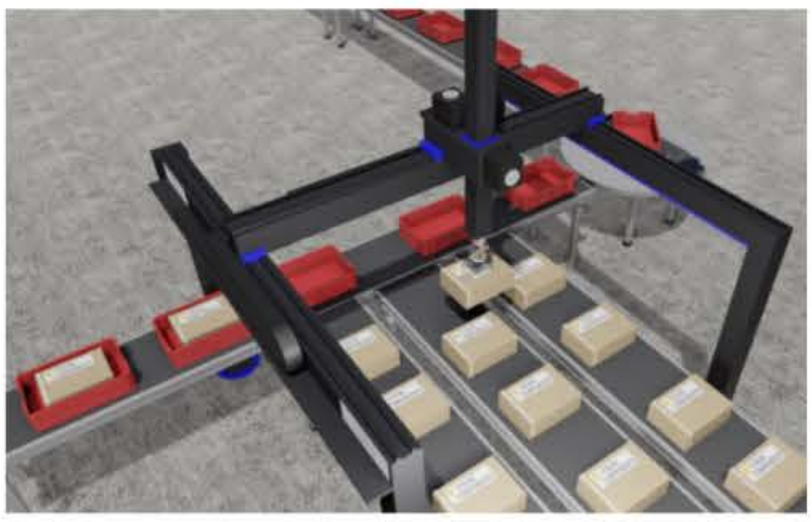
Bookmark this page

Robotin liikkeet ovat mahdollisia tukivarsien välisten nivelten ansiosta. Robottityypistä riippuen nivelet ovat esimerkiksi perinteisiä pyörähdysniveliä tai liukuvia lineaarisesti liikkuvia niveliä. Robotin rakenne pyritään aina suunnittelemaan siten, että mahdollisimman yksinkertaisella ja kestävällä konstruktiolla pystytään suorittamaan mahdollisimman monipuolisia tehtäviä. Esimerkiksi kiertyvänivelisen robotin tapauksessa tukivarret osallistuvat liikkeisiin usein samanaikaisesti, jolloin nivelinä voidaan käyttää perinteisiä pyörähdysniveliä.

- **Kiertyvä nivel** pystyy nimensä mukaisesti kiertymään akselinsa ympäri.
- **Prismaattinen lineaarinivel** liukuu akselinsa suuntaisesti, mutta ei pysty kiertymään akselinsa ympäri
- **Sylinterinivel** sallii akselinsuuntaisen liukuman sekä akselin ympäri kiertyvän liikkeen
- **Tasonivelessä** kaksi tasoa on laakeroitu toistensa suhteen. Tasot pystyvät liukumaan sekä x, että y-koordinaatiston suuntaisesti
- **Ruuvinivelessä** nivelen pyörintäliike aikaansaa akselin suuntaisen voiman
- **Pallonivelessä** kaksi tukivartta on nivelöity siten että liikemahdollisuudet näiden välillä ovat hyvinkin laajoja (Graig, 1989, 69).

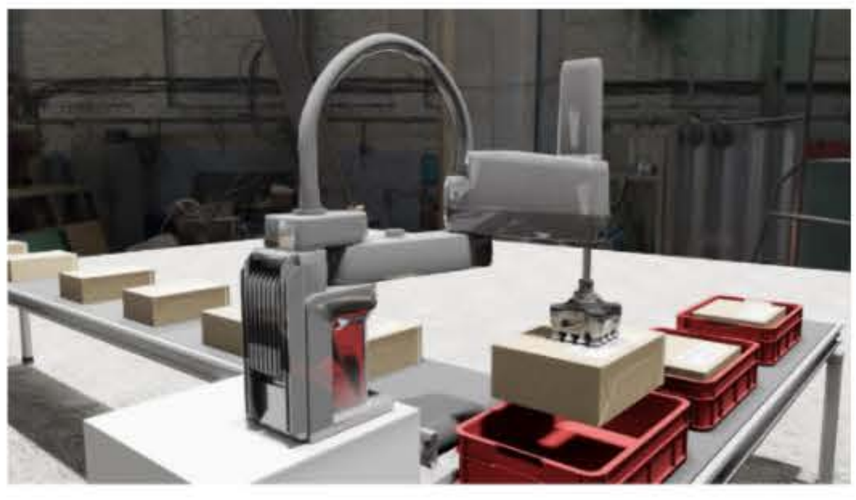


Kiertyvänivelisessä robotissa kaikki nivelet ovat akselinsa ympäri kiertyviä.



Portaalirobotissa nivelet ovat lineaarisia.

Rinnakkaisrakenteisessa robotissa kinematiikka on toteutettu sekä kiertyvillä, että pallomaisilla nivelillä.



Scararobotissa on vaakasuuntaan kiertyviä niveliä ja pystysuunnassa liikkuva lineaarinivel.

STAFF DEBUG INFO

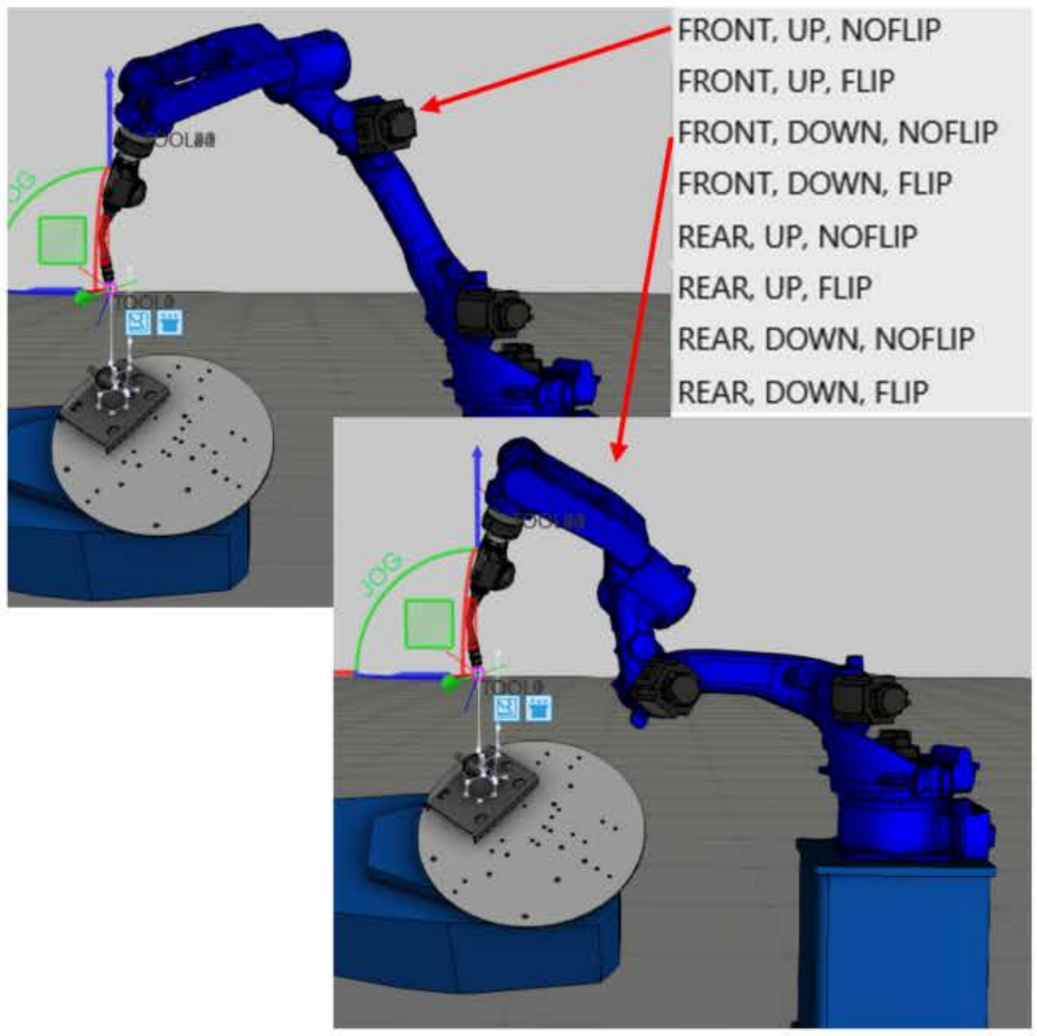
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Robotin nivelkonfiguraatio

Bookmark this page

Robotin nivelkonfiguraatiolla kerrotaan robotin nivelten asento tietyssä pisteessä. Tämän sen vuoksi, että robotti pystyy kinemaattisen rakenteensa vuoksi saavuttamaan saman kohdepisteen (sama paikka ja orientaatio) tilanteesta riippuen useammalla eri "nivelkonfiguraatiolla".

Yleensä konfiguraatio ilmaistaan termein Front/Back, Up/Down ja Flip/NoFlip.



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Kinematiikan matemaattiset ongelmatilanteet (Singulariteetit)

Bookmark this page

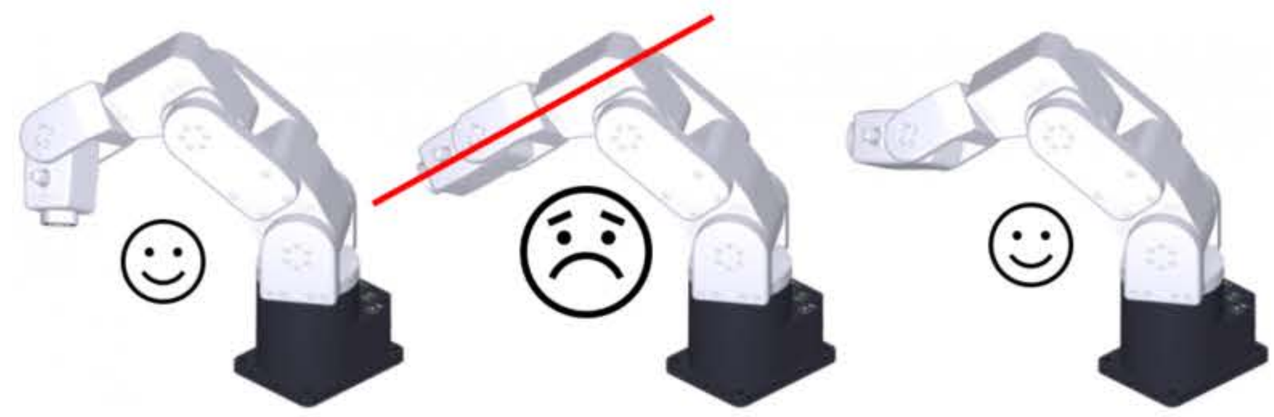
Kinemaattisessa singulariteetissa robotin nivelet ovat asennossa, jossa robotti ei enää pysty liikkumaan ohjelmoitua rataa tai käsiohjauksella. Tämä on lähinnä lineaaristen ja kaarimaisten liikkeiden ongelma, koska nivelliikkeessä robotilla ei ole määrättyä liikerataa. (Liiketyyppeihin tullaan myöhemmin tällä kurssilla)

Singulariteetti aiheutuu robotin akselien linjautuessa samansuuntaisiksi, jolloin liikeradan suorittamiseen syntyy ääretön määrä matemaattisia ratkaisuvaihtoehtoja. On huomioitavaa, että jotkin robotit ajavat käsiajossa näiden singulaaripisteiden ylitse (esim. ABB) ja jotkin robotit pysähtyvät siihen (esim Fanuc). Singulariteettia ylittäessä jokin robotin akseleista kiertyy 180 astetta ympäri pisteen ylityskohdassa (tämän huomaa siitä, että robotin työkalupiste ei liiku, mutta jokin akseli pyörii). Näissä kohdissa kannattaa olla tarkkana robotin ulkoisen kaapeloinnin kanssa, että se ei kierry käsivarren ympärille ja aiheuta siihen vaurioita.

Kuusiakselisessa käsivarsirobotissa esiintyy kolmea erilaista singulariteettitilannetta, joista toiset ovat harvinaisempia ja toiset taas lähes jatkuva riesa – ellei ymmärrä niiden syytä.

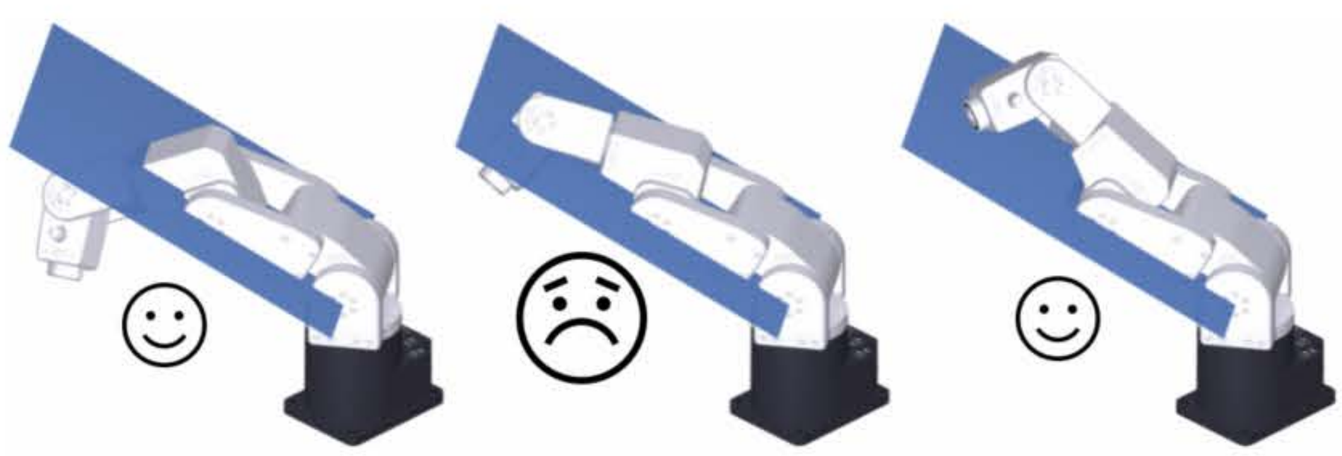
Ranteen singulariteetti (Wrist Singularity)

- Tässä tilanteessa akseleiden 4 ja 6 pyörimisakselit ovat samansuuntaiset
- Ehdottomasti yleisein singulariteettitilanne



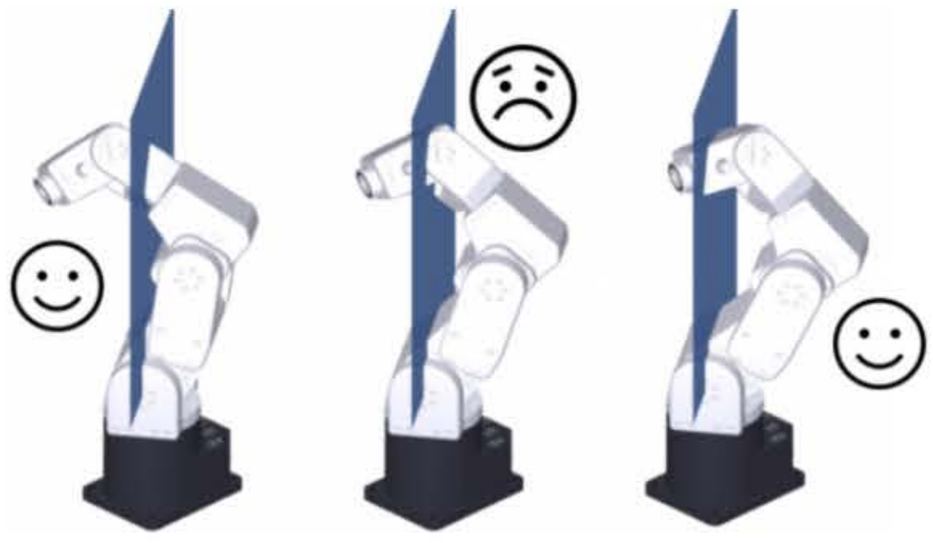
Kyynärpään singulariteetti (Elbow Singularity)

- Esiintyy, kun ranteen keskipiste kohtaa tason, joka kulkee akseleiden 2 ja 3 läpi
- Harvinaisin singulariteettitilanne
- Robotti on tällöin täysin ojentuneena
- Ranteen keskipiste on akseleiden 4, 5 ja 6 risteyskohdassa



Olkapään singulariteetti (Shoulder Singularity)

- Esiintyy, kun ranteen keskipiste kohtaa tason, joka kulkee akseleiden 1 ja 2 läpi
- Esiintyy silloin tällöin
- Monimutkaisin singulariteettitilanne



STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Kysymyksiä tästä osiosta

Bookmark this page

Valitse oikea väittämä

1 point possible (ungraded)

SFS-standardin mukaan robotin muista toimilaitteista erottaa se, että se on:

- Sähköisesti ohjattu. Servokäyttöiset nivelet mahdollistaa nopeat liikkeet.
- Monikäyttöinen toimilaite. Vaihtamalla työkalua robotilla voidaan tehdä lähes mitä tahansa.
- Itsestään toimiva. Robotti ei tarvitse aktiivista ohjausta toimiakseen.

Save Show answer

Submit You have used 0 of 3 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

Valitse oikea väittämä

1 point possible (ungraded)

teollisuusrobotin keskeisimmät pääosat ovat:

- Manipulaattori, ohjain ja ohjelmointiyksikkö
- Servot, vaihteet ja nivelvarret
- Pulssianturi, käsivarsi, työkalulaippa ja 1. akseli

Save Show answer

Submit You have used 0 of 3 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

Valitse oikeat väittämät

0.0/2.0 points (ungraded)

Valitse oikeat väittämät:

- Portaalirobotilla voidaan sen rakenteesta johtuen käsiteelä raskaita kuormia.
- SCARA-robotteja käytetään tehtävissä, joissa käsiteltäviä kappaleita tarvitsee kallistella.
- Pyöriväniveliset käsivarsirobotit ovat teollisuuden yleisimmin käytettyjä robotteja
- Portaalirobotit ovat nopeimpia robottityyppejä.
- Rinnakkaisrakenteista robottia kutsutaan myös alfa-robotiksi
- SCARA-robotin nimitys tulee sanoista Selective Compliance Automatic Robot Arm
- Pyöriväniveliset käsivarsirobotit ovat nopeimpia robottityyppejä.
- Rinnakkairakenteisia robotteja käytetään paljon elintarviketeollisuuden pakkaustehtävissä.

Save Show answer

Submit You have used 0 of 4 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

Valitse oikea vaihtoehto

1 point possible (ungraded)

Kinemaatinen singulariteetti on:

- Tyypillistä nivelliikkeille
- Matemaattinen ongelma liikeradan laskennassa
- Niin sanottu kotipiste robotin käsivarrelle

Save Show answer

Submit You have used 0 of 3 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

Valitse oikeat vaihtoehdot

0.0/2.0 points (ungraded)

- Teollisuusrobotiikassa koordinaatistot ovat kaareutuvia, niin sanottuja vasenkätisiä koordinaatistoja
- Maailmakoordinaatosto on hyödyllinen käsiteltäessä useita robotteja ja ulkoisia akseleita samassa robottisolussa
- Työkalukoordinaatiston origon, eli nollapisteen avulla työkalu on paikoitettavissa haluttuun kulmaan ja positioon työkappaleeseen nähden.
- Robotilla voi olla käytössä samanaikaisesti vain yksi työkohteen koordinaatisto.
- Käyttäjäkoordinaatisto on sidottu robotin peruskoordinaatistoon.

Save Show answer

Submit You have used 0 of 4 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

Valitse oikea vaihtoehto

1 point possible (ungraded)

Käänteisen kinematiikan laskennalla selvitetään:

- Robotin työkaluspisteen sijainti ajan hetkellä x
- Singulariteetti pisteen sijoittuminen x, y, z -koordinaatistossa
- Robotin nivelten asema tietyssä pisteessä

Save Show answer

Submit You have used 0 of 3 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

Valitse oikea vaihtoehto

1 point possible (ungraded)

Robotin nivelkonfiguraatiolla tarkoitetaan:

- Manipulaattorin nivelten lukumäärää
- Robotin käsivarren asentoa tietyssä pisteessä
- Ulkoisen akselin paikkaa peruskoordinaatissa

Save Show answer

Submit You have used 0 of 3 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Previous
Next

RobotStudio asennus

Reading time: 4 min

Robotbutiikin asennuspaketin käytöstä ABB:n sivulta:

https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/downloads

Olkaa hyvä näkeisinkin yksityiskohtaisen asennusopaskin

RobotStudio

RobotStudio 2021.2
Download Installation Manual
Download Release Notes
Download Release Notes
Download Release Notes

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Previous Next

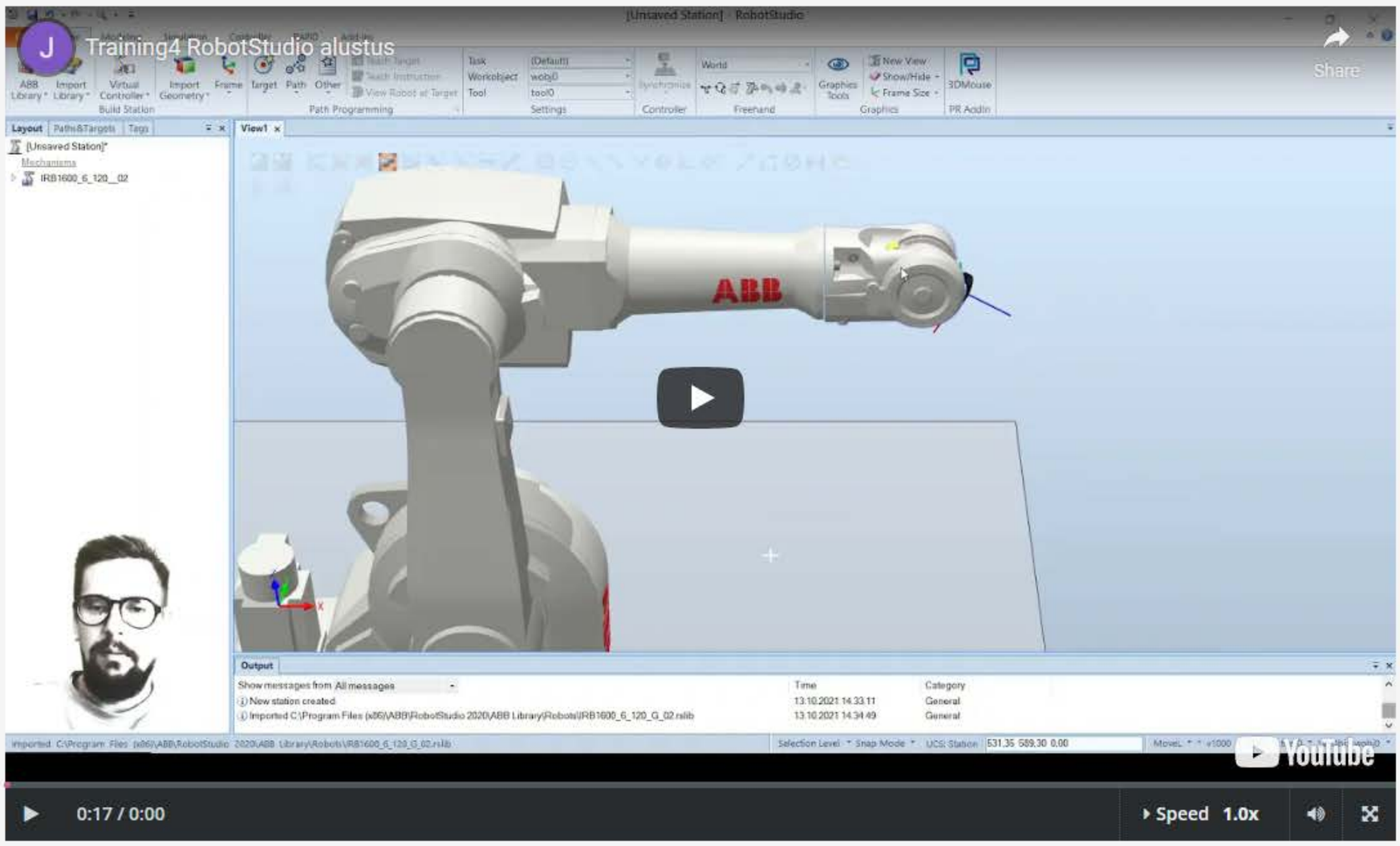
RobotStudion pikainen läpikäynti yleisellä tasolla

Bookmark this page

Videolla käydään läpi RobotStudion päävalikot ja toiminnallisuudet. Tämän on tarkoitus antaa vain yleinen kuva ohjelmistosta. Solun rakentamiseen, ohjelmointiin ja simulointiin mennään tarkemmin seuraavissa osioissa.

STAFF DEBUG INFO

RobotStudio yleiskatsaus



STAFF DEBUG INFO

Previous Next

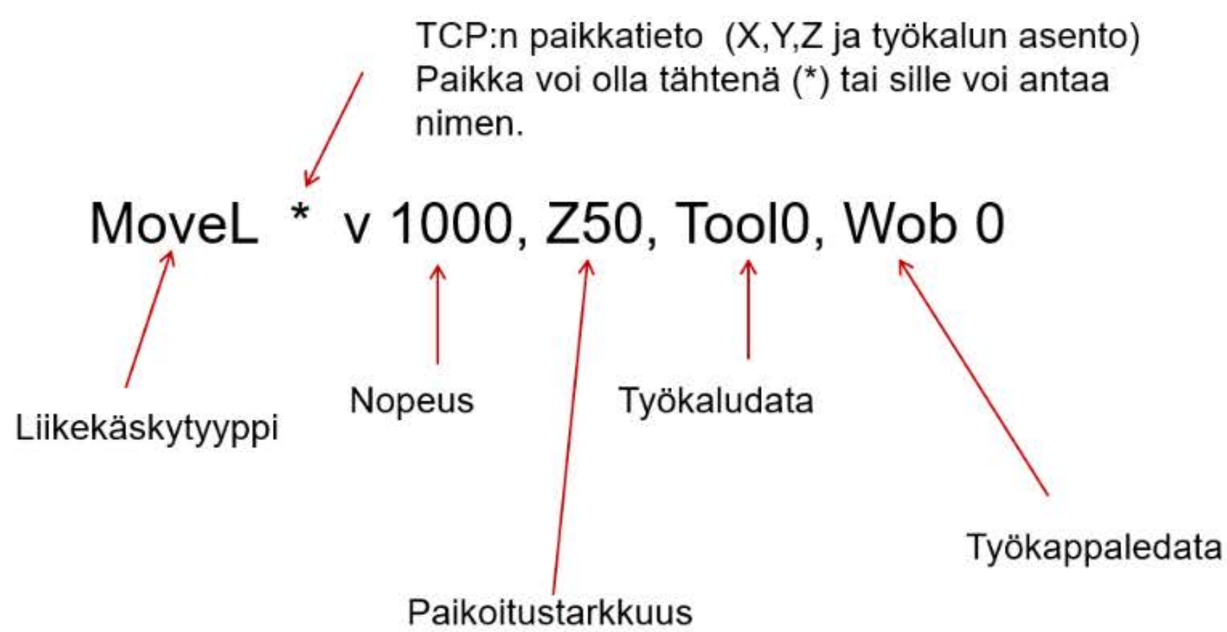
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Liikekomennon määritteet

Bookmark this page

Robotin liikekäskyssä määritellään, miten robotti liikkuu tallennettuun pisteeseen. Alla on esitetty esimerkkinä ABB robotin liikekomento. Muiden robottivalmistajien ohjelmointikielen komento ei keskeisesti poikkea siitä. Suurimpana erona esimerkiksi Fanuc-robotteihin siinä on myös työkalu- ja referenssikoordinaatin esittäminen jokaisessa liikekäskyssä (käskyn kaksi viimeistä määritettä). Kun taas monilla roboteilla nämä esitetään erikseen ennen liikekomentoja.

- **Liiketyyppi** kertoo, miten robotti pisteeseen liikkuu (Nivelliike, Lineaariliike vai Kaariliike -näistä myöhemmin).
- **Paikkatieto** sisältää joko karteesisen koordinaatiston X-, Y- ja Z-arvot ja kierrot näiden akseleiden ympäri tai nivelten pulssiarvot kyseisessä pisteessä (eli pisteessä, jossa valittu työkalupiste tavoittaa kohdepisteen).
- **Nopeus** voidaan esittää monella eri tavalla, mutta alla olevassa esimerkissä se on kerrottu työkalupisteen nopeutena mm/s. Nivelliikkeiden nopeus ilmoitetaan usein prosentteina maksimi nivelnopeudesta.
- **Tarkkuus** - tai paremminkin epätarkkuus ilmoitetaan ABB:n tapauksessa Zone-arvona (josta myös myöhemmin lisää). Joillain roboteilla epätarkkuudelle on valittavissa vain muutama porras.
- **Työkalutieto** kertoo millä ennaltaohjelmoidulla työkalupisteellä kyseiseen pisteeseen ajetaan. Kaikilla käytössä olevilla työkaluilla on luonnollisesti oma työkalupiste.
- **Työkappaletieto**, tai niin sanottu kohteen koordinaatisto, esitetään mikäli piste on kiinnitetty johonkin muuhun, kuin robotin perus (maailman) koordinaatistoon. Eli jos kohdepisteen referenssikoordinaatistona toimi esimerkiksi käyttäjän ohjelmoima apukoordinaatisto, aiheuttaa ko. koordinaatiston siirto myös kohdepisteen siirtymisen samassa suhteessa.



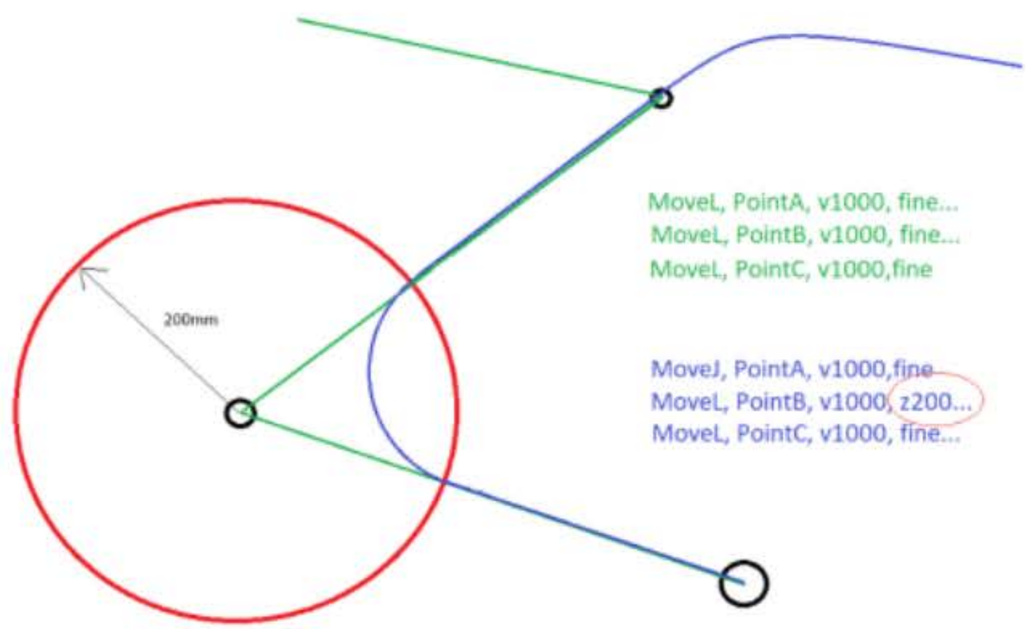
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Liikkeen tarkkuus

Bookmark this page

ABB robotin liikekomennossa liikkeen tarkkuus ilmoitetaan Zone-arvona. Pisteen ympärille muodostuu tämän arvon mukainen kolmiulotteinen pallo, minkä sisällä liikerata kaareutuu kohti seuraavaa liikepistettä. Alla olevassa kuvassa on esitetty kaksi eri liikerataa ja niiden liikekäskyt ohjelmassa. Vihreä liikerata sisältää pelkästään tarkkoja liikekomentoja (Fine) ja sinisen liikeradan keskimmäinen piste on tarkkuudeltaan z200. Mitä suurempi Zone-arvo on sitä laajemman kaaren robotti toteuttaa ja sitä suuremman nopeuden robotti pystyy ylläpitämään liikkeen aikana.



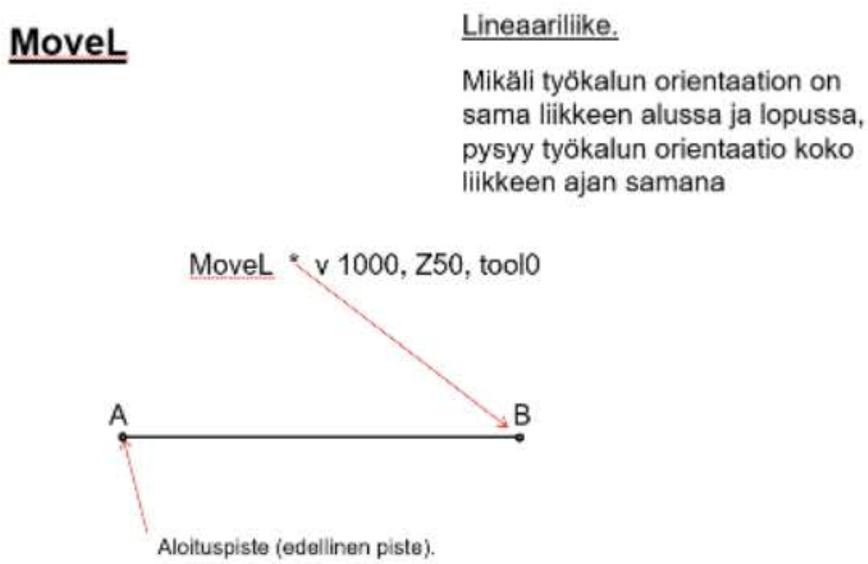
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Lineaariliike

Bookmark this page

Lineaariliikkeessä robotin työkalupiste liikkuu kohdepisteeseen lineaarista rataa pitkin. Ylimääräisten singulariteettiongelmien ja nivelrajojen ylityksien välttämiseksi lineaarisia liikkeitä kannattaa käyttää vain silloin, kuin liikkeen todella pitää olla suoraviivainen. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi kokoonpanon tai ladonnan suorat liikkeet tai suoran railon hitsaus.



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Nivelliike

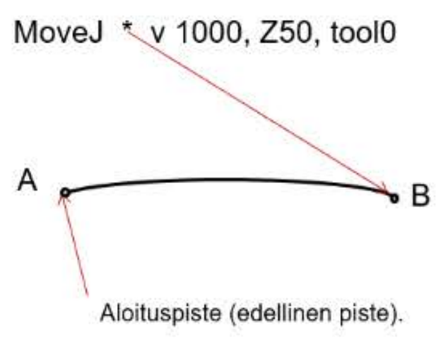
Bookmark this page

Nivelliikkeessä robotti laskee käänteisen kinematiikan laskutehtävän vain kerran ennen liikkeen toteuttamista. Eli robotti laskee tarvittavat nivelarvot työkalupisteen saamiseksi kohdepisteen paikkaan ja orientaatioon. Tämän jälkeen robotti kääntää yhtä aikaa kaikki nivelet nivelkohtaiseen kohdearvoon. Pitkissä liikkeissä robotin käsivarsi saattaa liikkua arvaamattomalla tavalla, joten tällöin kannattaa muodostaa liikkeeseen ns. välipisteitä. Tästä käytetään yleisesti käsitettä "polku". Polun muodostamisen avulla saadaan varmistettua robotin turvallinen liike ilman kolareita. Lyhyillä liikematkoilla liikkeen kaarevuutta ei välttämättä edes huomaa.

MoveJ

Nivel-liike.

Jokaista robotin akseli ohjataan yhtä aikaa siten että kaikki nivelet saavuttavat kohteen nivelarvon samanaikaisesti.



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Kaariliike

Bookmark this page

Kaariliikkeeillä voidaan muodostaa robotille -nimensä mukaisesti- kaarevia tai ympäränmuotoisia liikeratoja. Näitä harvemmin tarvitaan normaaleissa siirtymäliikkeissä, mutta ovat varsin käteviä prosessiliikkeissä (hitsaus, jyrsintä, dispensaus...), joissa liikeradan pitää todella olla ympyrän muotoinen.

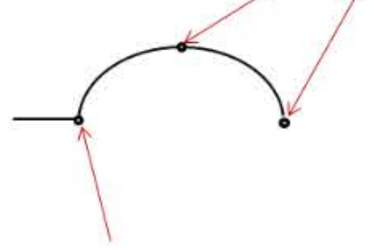
MoveC

Kaari-liike.

Mikäli työkalun orientaation on liikkeen alussa sama, kuin liikkeen lopussa, pysyy orientaatio samana koko liikkeen ajan tässäkin liiketyypissä

–MoveC, käsky tarvitsee kaksi paikkatietoa.

MoveC * , * v 1000, Z50, tool0

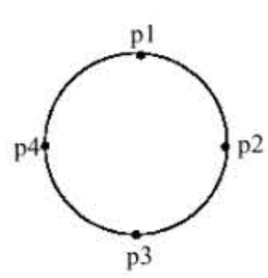


Aloitus. Edellisen käskyn paikka.

STAFF DEBUG INFO

–Ympyrän tekemiseen tarvitaan kaksi MoveC -käskyä

```
MoveL p1, v500, fine, tool1;
MoveC p2, p3, v500, z20, tool1;
MoveC p4, p1, v500, fine, tool1;
```



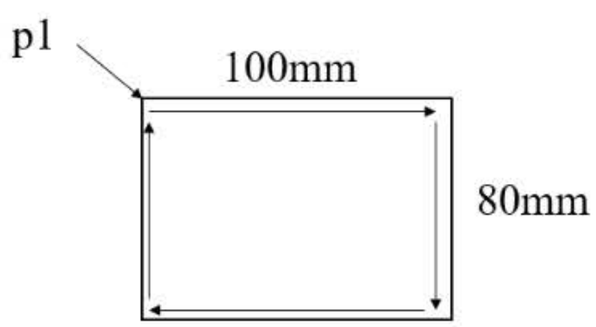
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Offset-poikkeamat

Bookmark this page

Offset-funktion avulla voidaan liikkua suhteessa johonkin kohdepisteeseen peruskoordinaatiston X-, Y- ja Z -suuntien suhteessa. Alla olevassa esimerkissä on muodostettu suorakaiteen muotoinen liikerata pelkästään yhden kohdepisteen avulla, käyttäen offset-funktiota liikkeissä.




```
MoveL p1, …
MoveL offs(p1, 0, 100, 0), …
MoveL offs(p1, 80, 100, 0), …
MoveL offs(p1, 80, 0, 0), …
MoveL p1, ...
```

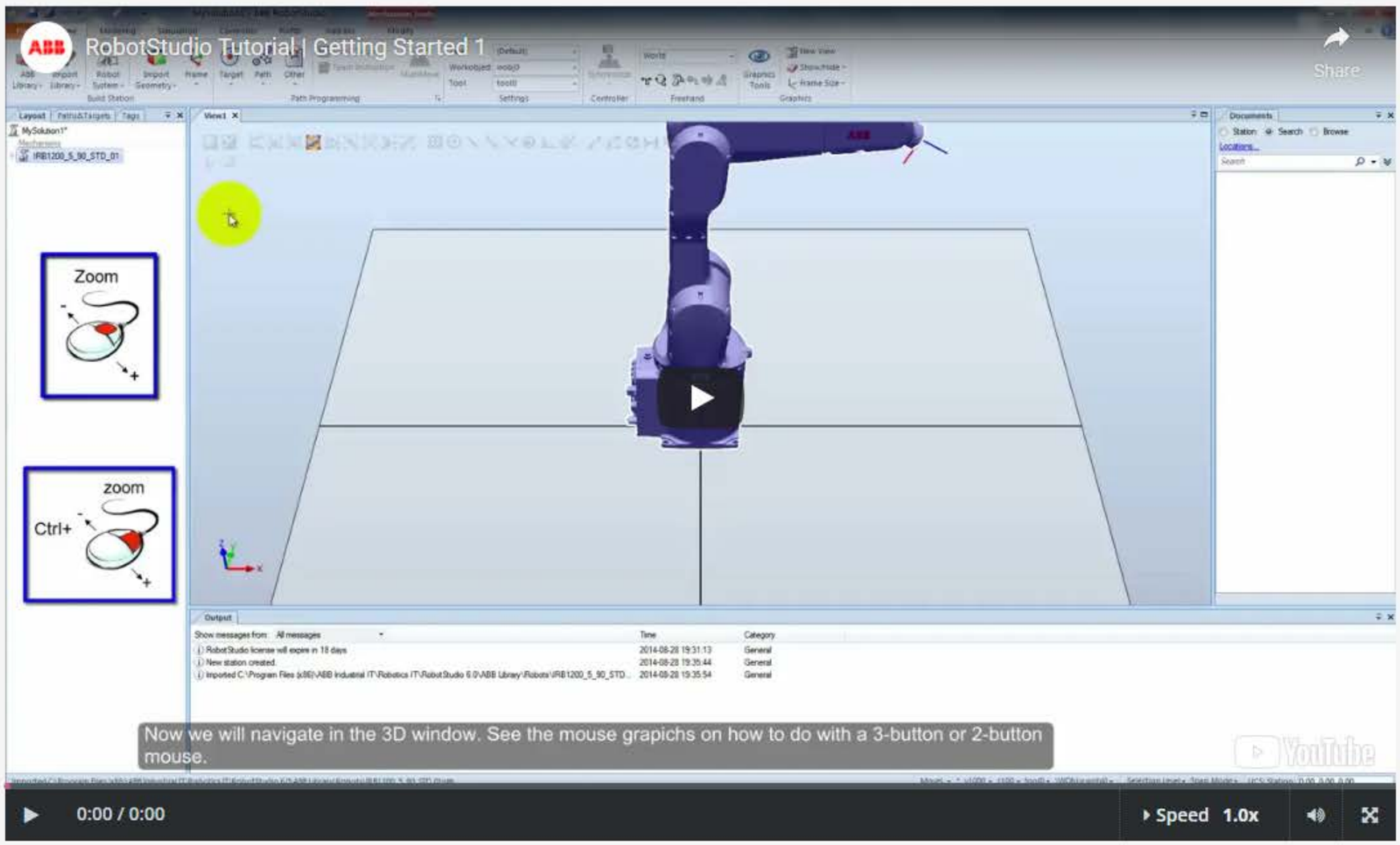
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

RobotStudio Tutorial | Getting Started 1

Bookmark this page

RobotStudio Tutorial | Getting Started 1



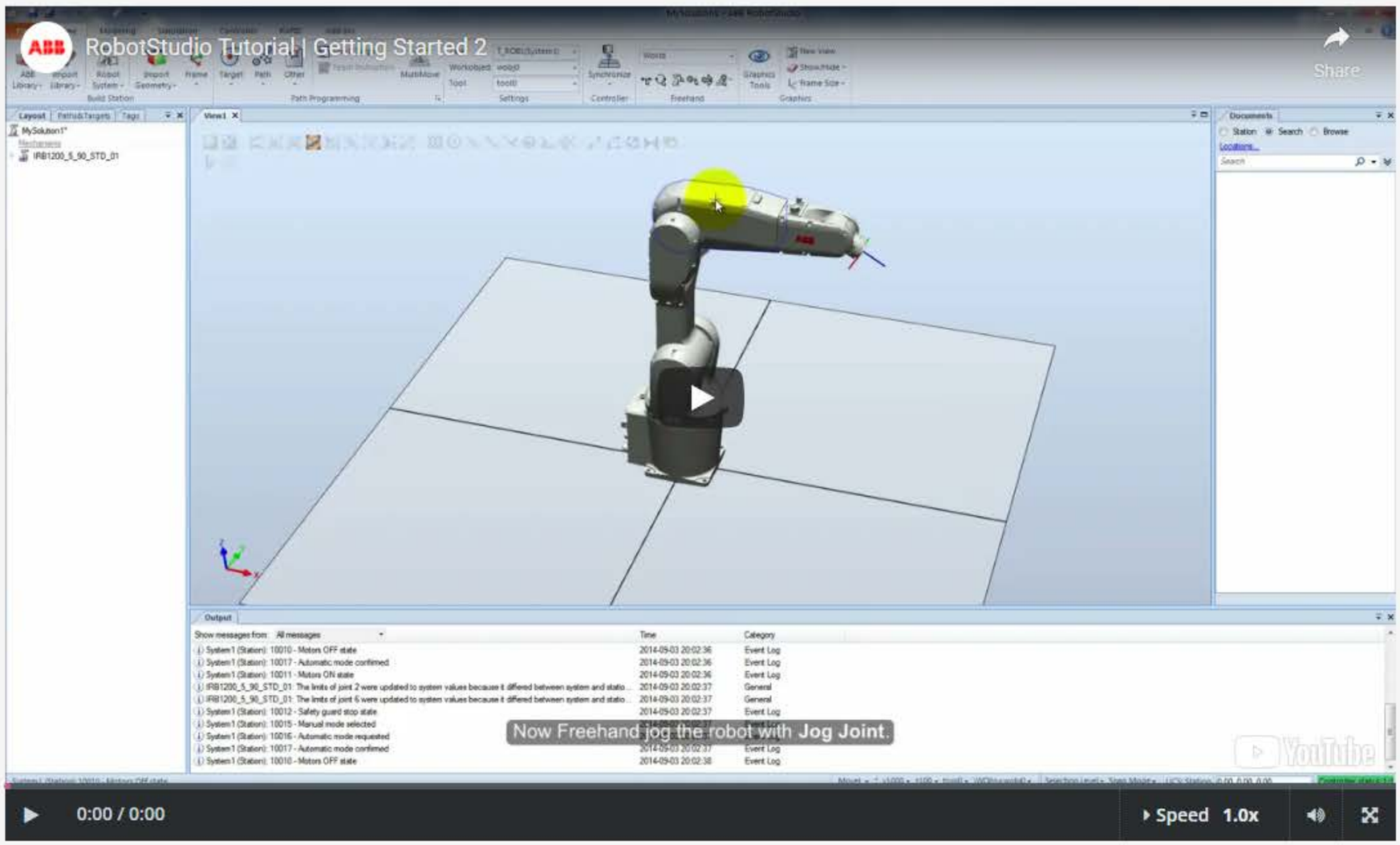
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

RobotStudio Tutorial | Getting Started 2

Bookmark this page

RobotStudio Tutorial | Getting Started 2



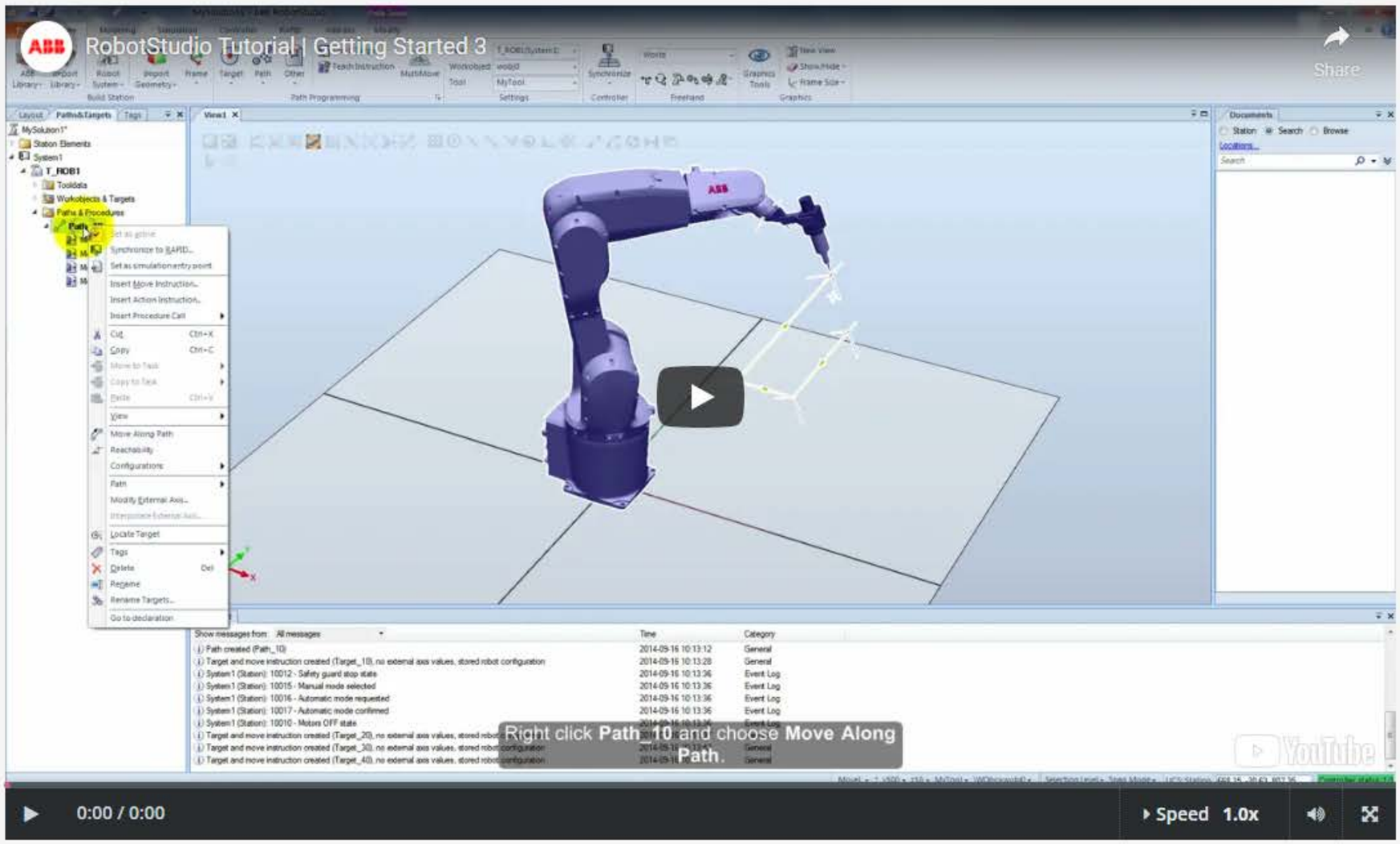
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

RobotStudio Tutorial | Getting Started 3

Bookmark this page

RobotStudio Tutorial | Getting Started 3



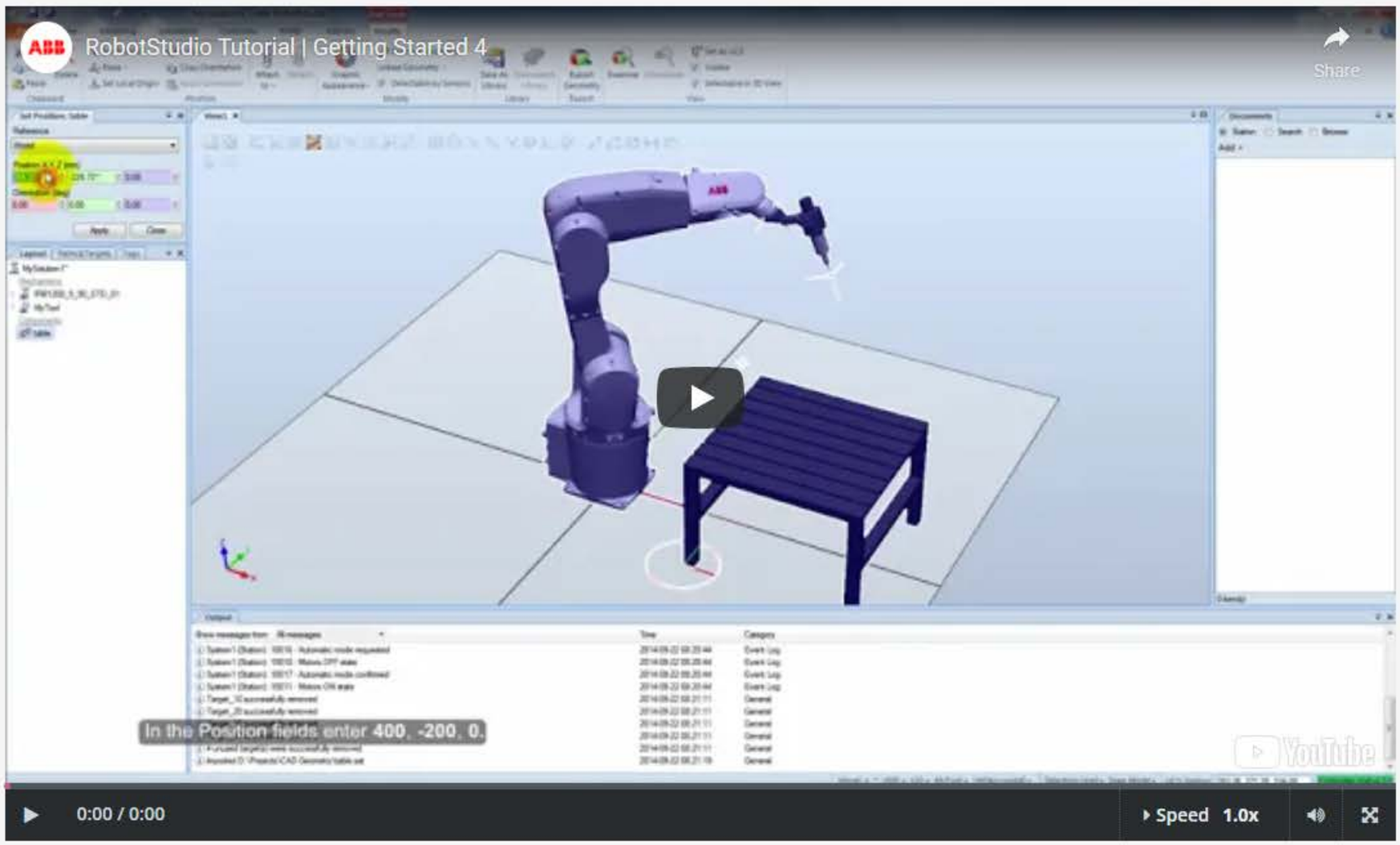
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

RobotStudio Tutorial | Getting Started 4

Bookmark this page

RobotStudio Tutorial | Getting Started 4



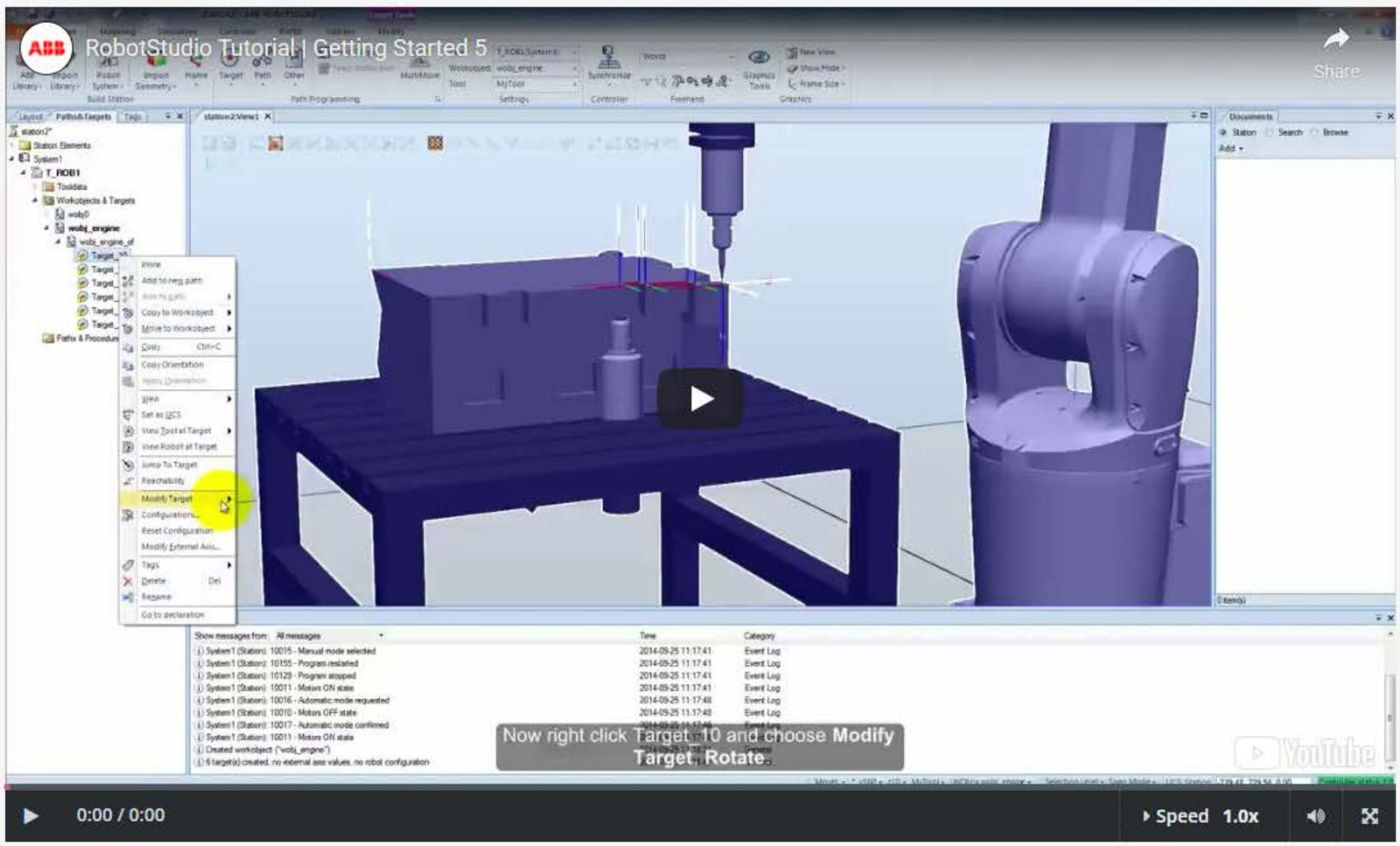
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

RobotStudio Tutorial | Getting Started 5

Bookmark this page

RobotStudio Tutorial | Getting Started 5



STAFF DEBUG INFO

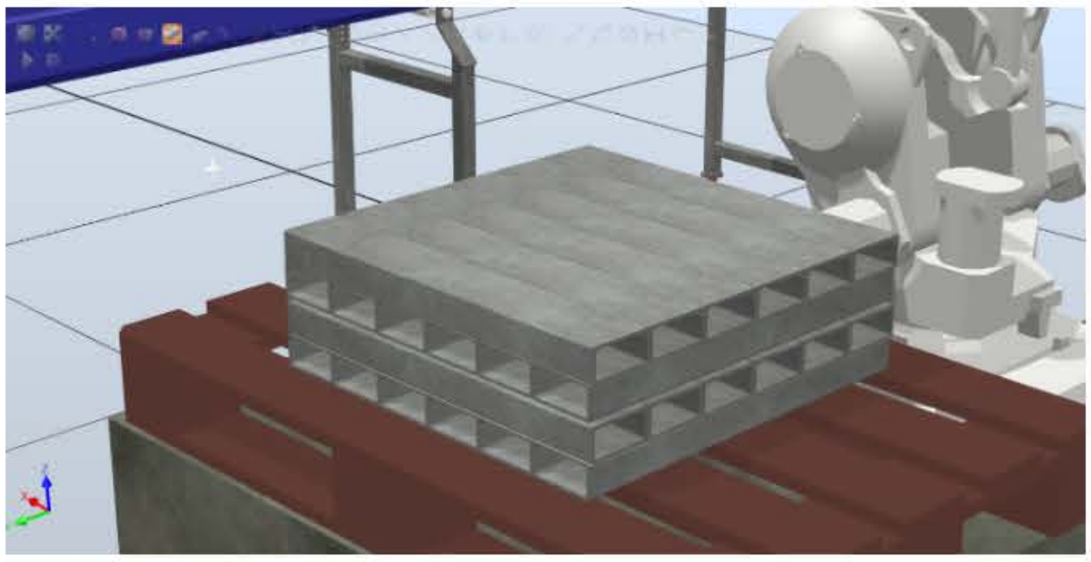
This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Kiintean paletointikuvion ohjelmointi lavausrobotille

Bookmark this page

Kiinteän paletointiohjelman luominen.

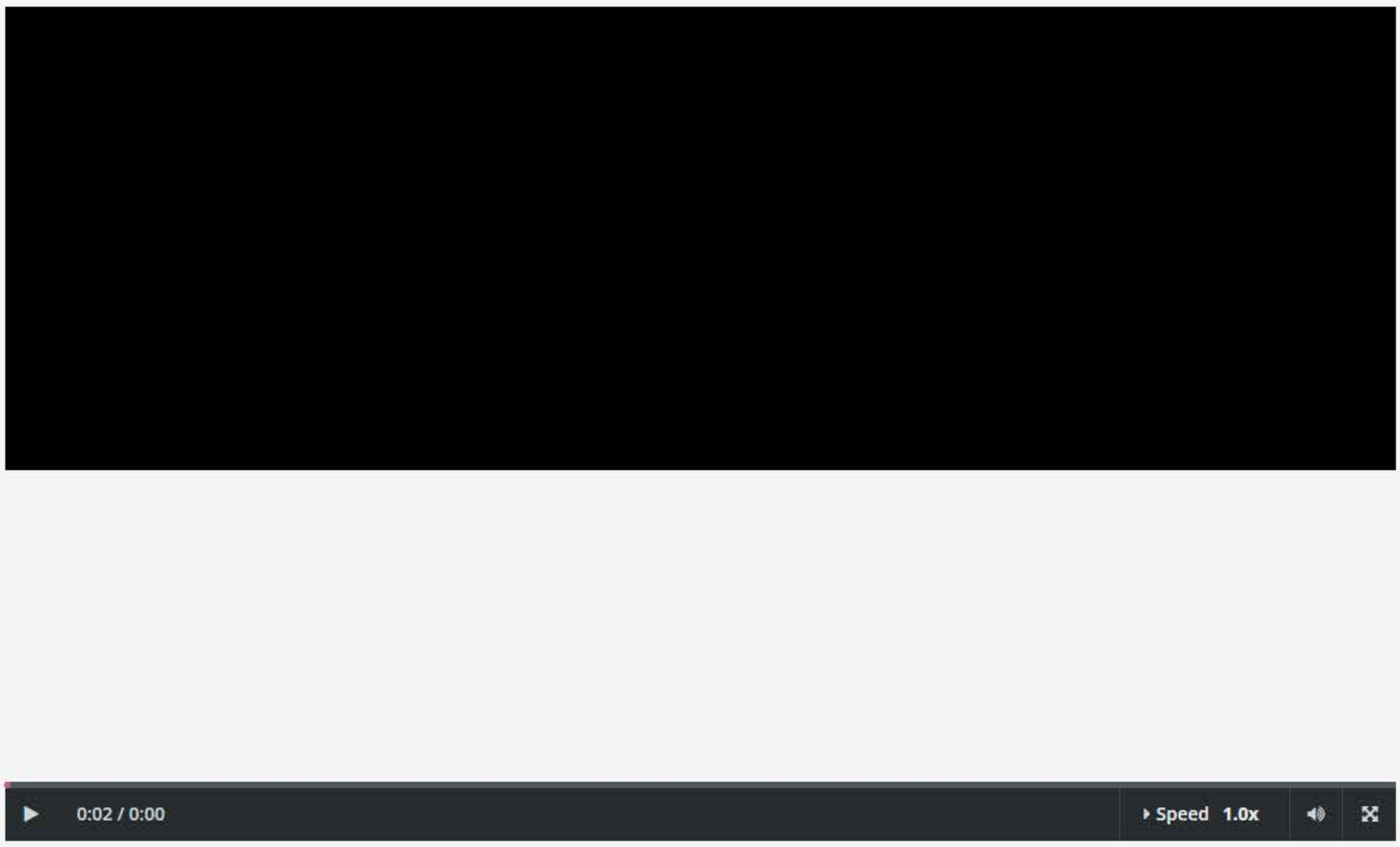
- Tässä harjoituksessa oletetaan, että kuljettimella tulevat kappaleet ovat aina saman kokoisia. Tämän vuoksi ohjelmaan ei tavitse tehdä parametrisuutta (tähän palataan seuraavissa harjoituksissa).
- Käytetään siis vain perus liikekomentoja, joihin lisätään muuttujia sisältäviä Offset-poikkeamia. Tavoitteena on luoda kuvan mukainen paletointikuvio mallissa olevalle lavavalle



Harjoituksessa tarvittavan RobotStudio (Pack and Go) -mallin voit ladata TÄÄLTÄ.

STAFF DEBUG INFO

Training 4.0 RobotStudio Fixed Palletizing tehtävänanto



STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Osion tehtävän tarkistus

Bookmark this page

Tehtävän tahtiaika

1 point possible (ungraded)

Tarkista tehtävän työkierron kokonaisaika ja syötä tulos alle (sekunneissa. Esim. 123). Ajan näet simulaattorin alalaidasta (Simulation Time) työkierron päätyttyä. Mikäli suoritit osion ohjelmointitehtävän oikein työkierron aika sekunneissa on oikea vastaus.

Save Show answer

Submit You have used 0 of 10 attempts

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

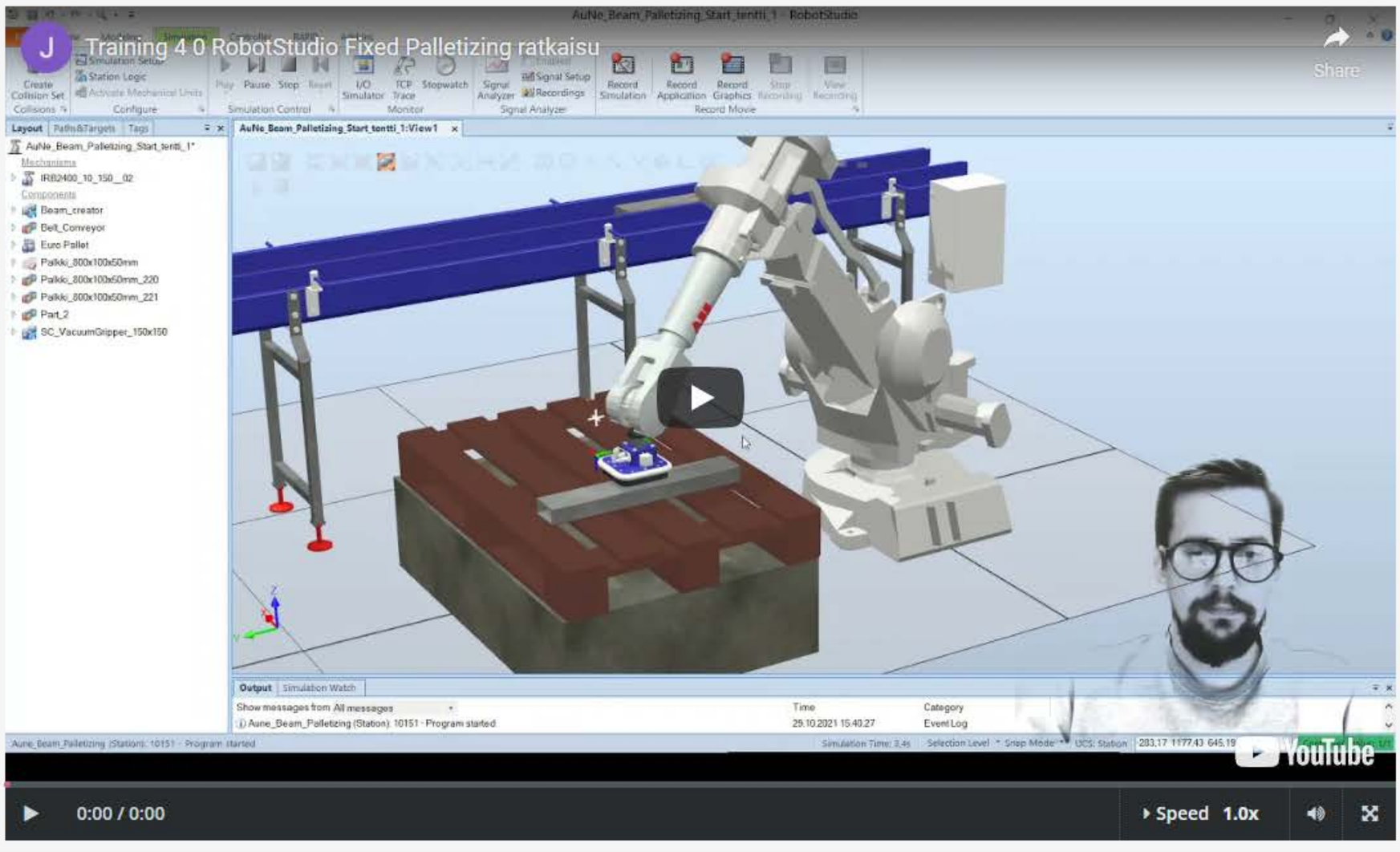
Unit

Bookmark this page

Niin kuin missä tahansa ohjelmoinnissa täysin sama asia saadaan toteutumaan erilaisilla koodeilla. Tässä kuitenkin esitettynä yksi mahdollinen ratkaisumalli tehtävästä:

STAFF DEBUG INFO

Video



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Parametrien käyttö

Bookmark this page

Robotit ovat usein osa isompaa järjestelmää, jossa valmistetaan mahdollisesti useampia erilaisia tuotteita. Tai ainakin tuotteet ovat saattavat olla jollain tapaa modulaarisia ja räätälöitävissä. Tällöin robotin työtehtävän tulee adaptoitua muutoksiin, eikä ainoastaan toistaa sille ohjelmoitua kiinteää työkiertoa. Adaptiivisuuden perustana on ohjelman parametrisuus, anturointi ja liitynnät muihin järjestelmiin ohjaustiedon saamiseksi. Tässä kappaleessa käsitellään ohjelmaparametreja, joiden avulla esimerkiksi robotin liikeratoja voidaan totetuttaa tapauskohtaisesti.

Kuvitellaan esimerkksi maalausrobotti, jonka tehtävänä on maalata lieriömäisiä tuotteita. Mitkä ovat lieriön kokoon liittyvät parametrit (muuttujat)? - Pituus ja halkaisia. Näin ollen nämä kaksi parametriä riittää maalausradan liikkeiden muokkautumisen portaattomasti kullekkin tuotekoolle sopivaksi.

Kaikki robottiohjelman määritteet ovat periaatteessa parametroitavissa. Ne voivat olla vaikkapa muuttuva liikenopeus, oikean työkaluvaihto-ohjelman valinta tai esim. ulkoisesta järjestelmästä tulevan reaalitiedon mukainen käyttäjäkoordinaatiston siirto. Mitä tahansa.

Eri robotivalmistajat käyttävät hieman erilaisia tapoja käsitellä muuttujatietoa ohjelmakoodissaa, mutta perusperiaate on aina sama.

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Yleisimmin käytetyt muuttujatyypit

Bookmark this page

Kokonaisluku (int), esim. "1"

Se on yleisin numeerinen tietotyyppi, jota käytetään kokonaislukujen tallentamiseen.

Liukuluku (float), esim. "1,2"

Se on myös numeerinen tietotyyppi, jota käytetään sellaisten numeroiden tallentamiseen, joilla voi olla murto-osia, eli yksi tai useampi desimaali. Huomaa, että num-tyyppinen muuttuja sisältää sekä int- että float -tyypit.

Merkki (char), esim. "#"

Sitä käytetään yksittäisen kirjaimen, numeron, välimerkin, symbolin tai tyhjän tilan tallentamiseen.

Merkkijono (str tai teksti), esim "hello world! 123"

Se on merkkijonon ja tekstin tallentamiseen yleisimmin käytetty tietotyyppi. Lisäksi merkkijono voi sisältää myös numeroita ja symboleja, mutta sitä käsitellään aina tekstinä.

Boolean (bool), esim. "1" tai "0", "true" tai "false"

Se edustaa arvoja tosi ja epätosi. Boolean -tietotyypin kanssa työskennellessä on hyvä muistaa, että joskus boolean arvo esitetään myös muodossa 0 (epätosi) ja 1 (tosi).

Taulukko (array)

Taulukko, joka tunnetaan myös nimellä luettelo, on tietotyyppi, joka tallentaa useita elementtejä tietyssä järjestyksessä. Elementit ovat tyypillisesti kaikki samaa tyyppiä. Koska taulukko tallentaa useita elementtejä tai arvoja, taulukon tallentamien tietojen rakennetta kutsutaan matriisin tietorakenteeksi. Jokainen taulukon elementti voidaan hakea kokonaislukuindeksillä (0, 1, 2,...), ja matriisin elementtien kokonaismäärä edustaa taulukon pituutta.

STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Parametrisoidun paletointikuvion ohjelmointi lavausrobotille

Bookmark this page

Tässä harjoituksessa luodaan parametrinen ohjelma paletointirobotille.

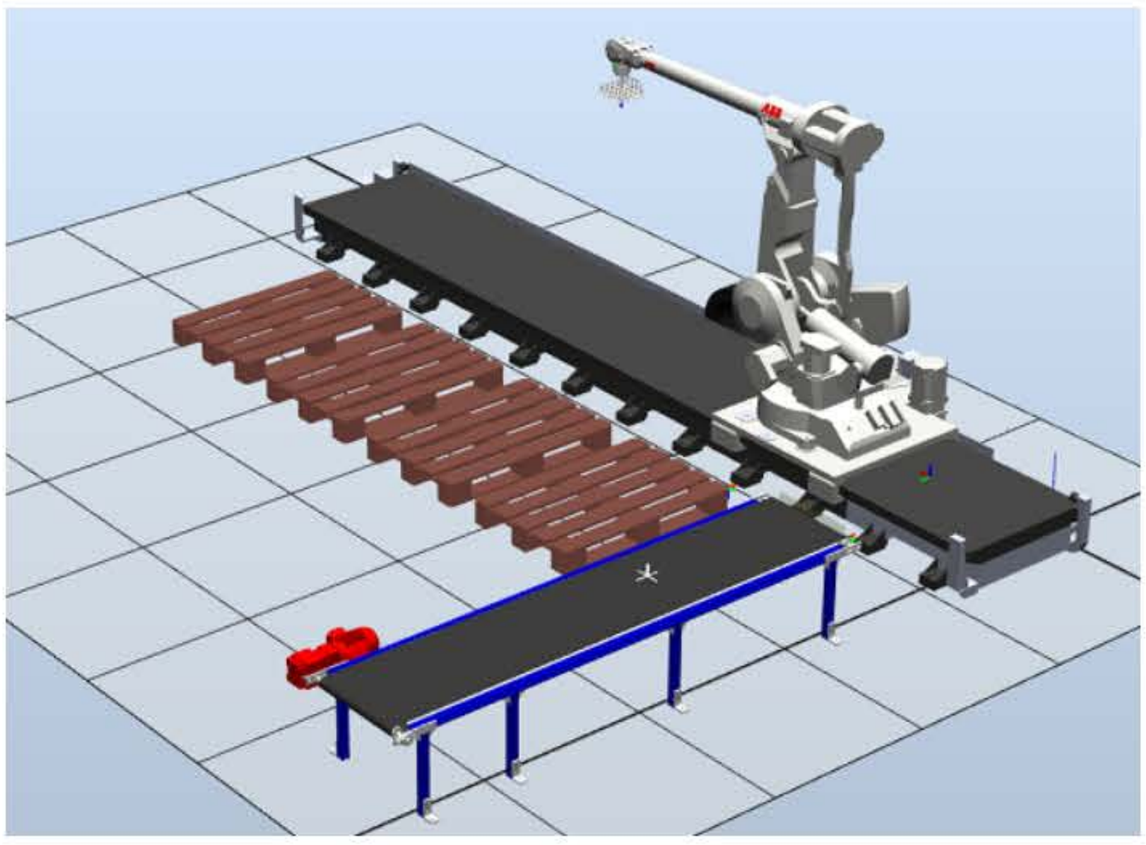
Tallenna ensiksi ohessa oleva tiedosto (AuNe_ABB_RS_palletizing_Start.rspag) omalle koneellesi ja pura paketti RobotStudion Share -> Unpack and Work –toimintoa käyttäen.

Solun toiminnallisuus on tehty valmiiksi. Eli esimerkiksi robotin, tarttujan ja kuljettimen välinen I/O-liikenne on jo olemassa.

Joka kerta kun solu käynnistetään, kuljetin syöttää erikokoisia laatikoita sattumanvaraisesti robotille. Kuitenkin niin, että yhdellä ajokerralla laatikot ovat saman kokoisia.

Tehtävänäsi on luoda robotille ohjelma, joka laatikon mittojen perusteella osaa poimia laatikon sen tultua kuljettimen purkupäähän (anturille). Imutarttuja tulee siis ajaa aina laatikon yläpinnan tasolle.

Harjoituksen ideana on nimenomaan ohjelman parametrisuus. Usein teollisuudessa käsitellään roboteilla eri kokoisia tuotteita ja komponentteja, joiden dimensiot saadaan joko käyttäjältä tai esimerkiksi ylätason ohjausjärjestelmästä (ERP, MRP). Tällöin arvoltaan muuttuvia parametreja voidaan hyödyntää solun joustavuuden lisäämisessä.



Mallin void ladata TÄÄLTÄ

STAFF DEBUG INFO

Alustusvideo

Training 4 0 RobotStudio Parametric Palletizing tehtävänanto

Share

0:00 / 0:00 Speed 1.0x

STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Osion tehtävän tarkistus (Lisätään myöhemmin)

Bookmark this page

Lisätään myöhemmin

1 point possible (ungraded)

Tehtävän tarkistus lisätään myöhemmin

Add the question text, or prompt, here. This text is required.
You can add an optional tip or note related to the prompt like this.

Show answer

Submit

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Palautus

Bookmark this page

Numerical Input

1 point possible (ungraded)

Lisää alla olevaan ruutuun työn kiertoaina, kuten edellisessä tehtävässä

Show answer

Submit

SUBMISSION HISTORY STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Online-ohjelmointi

Bookmark this page

- Online-ohjelmoinnilla tarkoitetaan robotin aktiivista käyttöä ohjelmoinnin aikana
- Robotti on tällöin ohjelmointitilassa ja tuotannon tekeminen ei ole mahdollista
- Robottia ohjataan sen omalla käsiohjaimella ja ohjelmoija on tyypillisesti robotin työalueella
- Lisäksi joskus puhutaan paikoitustarkkuudesta. Tällä tarkoitetaan miten tarkasti robotti liikkuu pisteeseen koordinaatistossa annettujen arvojen mukaan.

Plussat

- Perinteisesti roboteissa on edelleen aina teach pendant --> Tuttu käyttäjälle
- Mahdollistavat tarkan paikoituksen ohjelmoinnin aikana
- Käteviä kun tehdään yksinkertaisia, pitkiä liikkeitä. Esim. maalaussovellukset tasomaisille kappaleille.

Miinukset

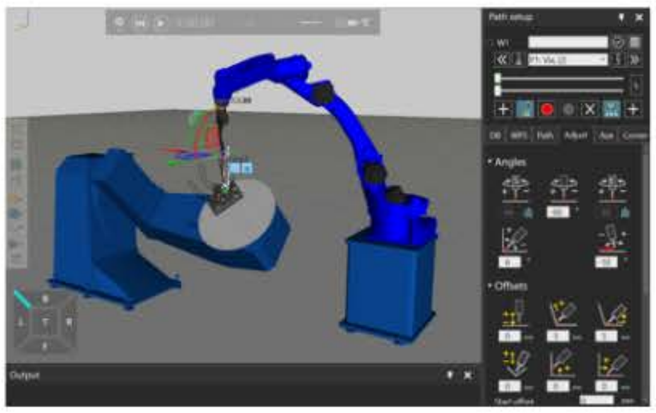
- Keskeyttää tuotannon ohjelmoinnin ajaksi
- Vaatii koulutuksen jokaiselle eri robottimerkille
- Yleensä ottaen hankalia ja epäselkeitä (vrt. matkapuhelin)... onneksi tässä ollaan menossa parempaan suuntaan.

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Offline-ohjelmointi

Bookmark this page



- Offline-ohjelmoinnilla tarkoitetaan robotin ohjelmointia ulkoisessa ympäristössä
- Robotti on tällöin tuotannossa ja uusi ohjelma ladataan robotille esim. tuotevaihtojen välissä
- Ohjelmointi tapahtuu yleensä simulaattorissa (graafinen off-line ohjelmointi)
- Simulaattorilla tavoitetaan lukuisia hyötyjä ohjelmoinnin tehostamisessa... näistä lisää myöhemmin

Plussat

- Robotti pois tuotannosta vain uusien ohjelmien latauksen (ja korjauksien) ajan
- Ohjelmointi simulaattorissa voi olla erittäin intuitiivista, kun robottia voi raahailla simulaattorissa vapaasti
- Helppo kokeilla erilaisia "mitä jos" –tapauksia ja erilaisia lähestymistapoja samaan ongelmaan

Miinukset

- Virtuaalimallit eivät ole koskaan ideaalisia kopioita todellisesta solusta
- Voi joissain tapauksissa viedä enemmän aikaa kuin robotilla ohjelmointi. Toki robotti on tuotannossa sen ajan.
- Joskus aikaa kuluu simulaattorin ongelmien ratkomiseen, kuin itse tuotanto-ongelman...

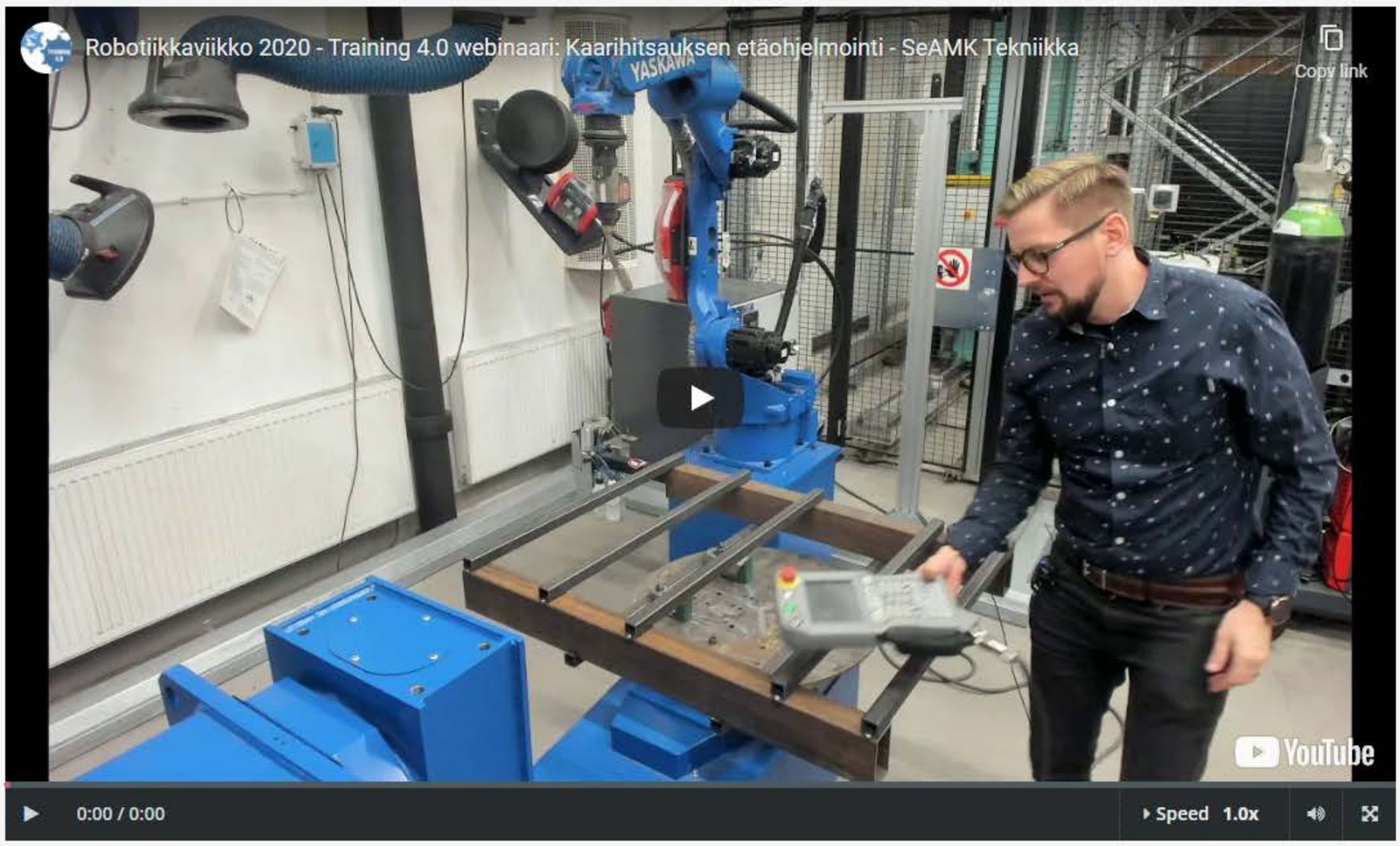
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

hitsauksen offline-ohjelmointidemo

Bookmark this page

Robotiikkaviikko 2020 - Training 4.0 webinaari: Kaarihitsauksen etäohjelmointi - SeAMK TekniikkaVideo



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Unit

Bookmark this page

Offline ohjelmoinnin yleisimmät käyttökohteet ovat hitsaus ja maalaus. Vastaavia robotilla toteutettuja työvaiheita ovat esimerkiksi hionta ja plasmaleikkaus. Näille kaikille yhteistä on että työsarjat ovat usein melko lyhyitä. Tämän vuoksi robotin ohjelmointia ulkoisessa ympäristössä puoltaa se, että robottia voidaan käyttää tuotannossa usein toistuvien uudelleenohjelmointien ajan

Hitsauksen apuna offline-ohjelmoinnissa toimii railonhaku ja -seuranta. Tämä sallii reaalimaailman ja ohjelmointiympäristön pienet poikkeavuudet. Myös hitsattavat kappaleet saattavat poiketa hieman toisistaan ja epätarkkuutta voi tulla myös kappaleiden kiinnitysjärjestelmästä. Railonhaun tehtävänä on siirtää ohjelmoitu hitsausrata ennen hitsausta mitattuun paikkaan. Mittaus tapahtuu joko hitsauspolttimella (lanka tai kaasuholkki) tai laserilla. Laserhakua varteen tarvitaan robotin käsivarteen kiinnitettävä laitteisto. Laserhaun hyviä puolia on sen nopeus, mutta laitteiston ollessa sijoitettuna robotin käsivarteen, voi se olla haittana tavoiteltaessa hitsattavan konstruktion sisäpuolisia hitsejä. Railonseurannalla tarkoitetaan hitsin aktiivista ohjaamista seurantatiedon perusteella. Myös seurantaa voidaan totetuttaa ulkopuolisen järjestelmän (esim. laser) avulla tai itse hitsausprosessia mittaamalla. Kun seurantaa toteutetaan hitsausprosessin avulla, käytetään hitsauksessa vaaputusta. Mikäli hitsausvirta (valokaaren pituus) poikkeaa toisistaan railon eri puolilla, suoritetaan radan korjaus siten, että virta railon molemmilla puolilla on sama. Näin robotti pysyy hitsausrailossa, vaikka railon muoto poikkeaa hieman ohjelmoidusta radasta.

Maalauksessa etäohjelmointia puoltaa prosessin epätarkkuus. Jos tarkastellaan vaikkapa automaalaria, havaitaan, että käsivaraiset maalausliikkeet eivät ole tarkkuudeltaan sentimetri, saatika millimetriluokkaa. Lisäksi nykyaikaisissa etäohjelmointiympäristöissä voidaan tarkastella myös syntyneen maalikerroksen paksuutta kunhan maaliviuhkan kalibrointi on suoritettu.

Hionnassa taas voidaan käyttää hyväksi robotin aktiivista voimaohjausta. Tällöin ohjelmoidun ja reaalimaailmaan liikeratojen poikkeamia voidaan korjata tuottamalla tasainen paine kappaleen pinnalle voima-anturin avulla.

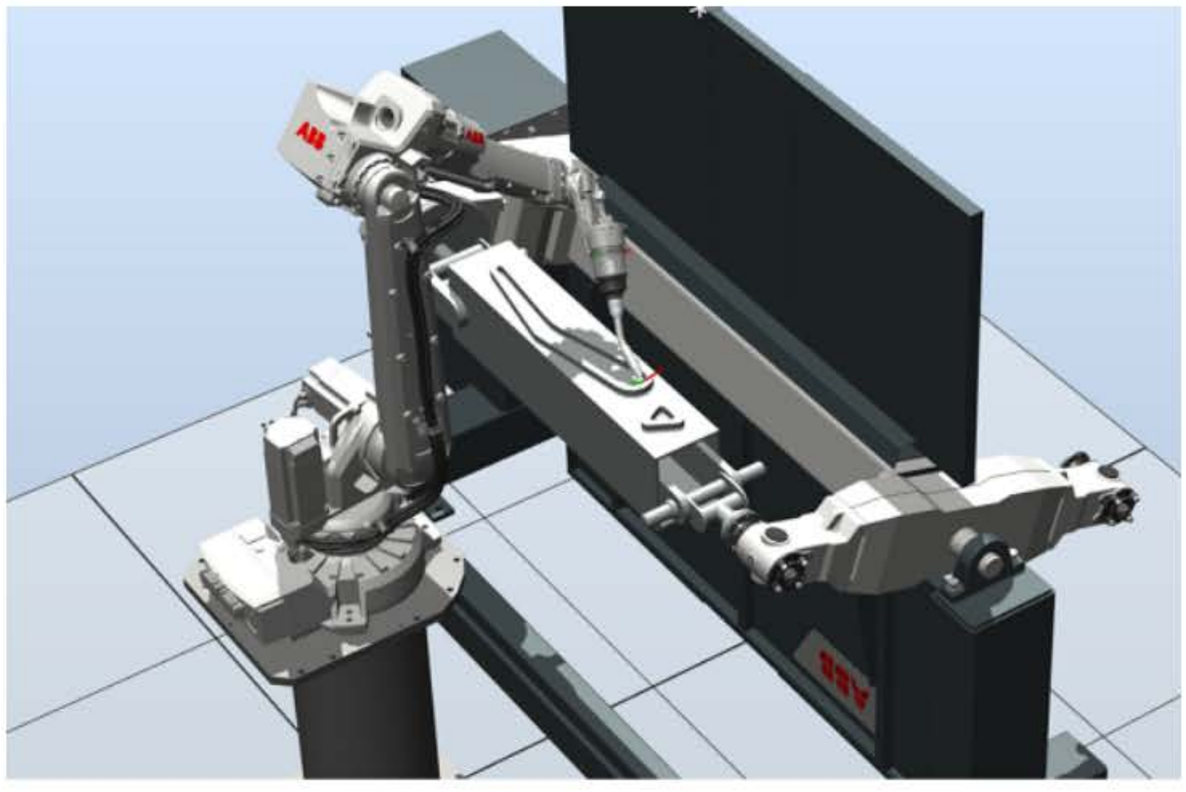
STAFF DEBUG INFO

This section is a prerequisite. You must complete this section in order to unlock additional content.

Robottihitsaussolun rakentaminen ja hitsausratojen luonti (lisätään myöhemmin)

Bookmark this page

Harjoituksessa luodaan robottisolu, jossa on yksi hitsausrobotti ja käsittelylaite. Malliin tuodaan myös geometrioita muista CAD ohjelmistoista (hitsattava kappale ja robotin jalusta). Ideana harjoituksessa on käyttää hitsausratojen luontiin automaattisia polunluontitoimintoja.



Tehtävään liittyvän mallin void ladata TÄÄLTÄ

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Robotin keskeiset ominaisuudet ja valintaperusteet

Bookmark this page

Mikäli sovellus on puhtaasti pick and place tyyppinen, voidaan harkita SCARA-robottia. Etuna nopeus, tarkkuus ja edullinen hinta.

Jos siirreltävät kappaleet ovat raskaita tai työalue on laaja, voidaan valita käytettäväksi portaalirobotti. Tällöin tulee kuitenkin huomioida, että käsiteltävien kappaleiden pyöritys onnistuu yleensä vain pystyakselin ympäri.

Pick and place tyyppisissä sovelluksissa, jossa siirrettävät kappaleet ovat pieniä ja työsykli erittäin nopea, käytetään delta-robotteja.

Mikäli työtehtävät ovat kompleksisia ja muuttuvia, oikea valinta on käsivarsityyppinen teollisuusrobotti.

Seuraavissa kappaleissa käydän tarkemmin läpi robottien ominaisuudet, joita peilataan sovelluskohteen vaatimuksiin ja tätä kautta valitaan käytettävä robotti tyyppi-/malli.

- **Käsittelykyky (Payload)**
- **Ulottuvuus (Reachability)**
- **Toistotarkkuus (Rebeatability)**
- **Paikoitustarkkuus***
- **Nopeus (Speed)**
- **IP-Suojaus**

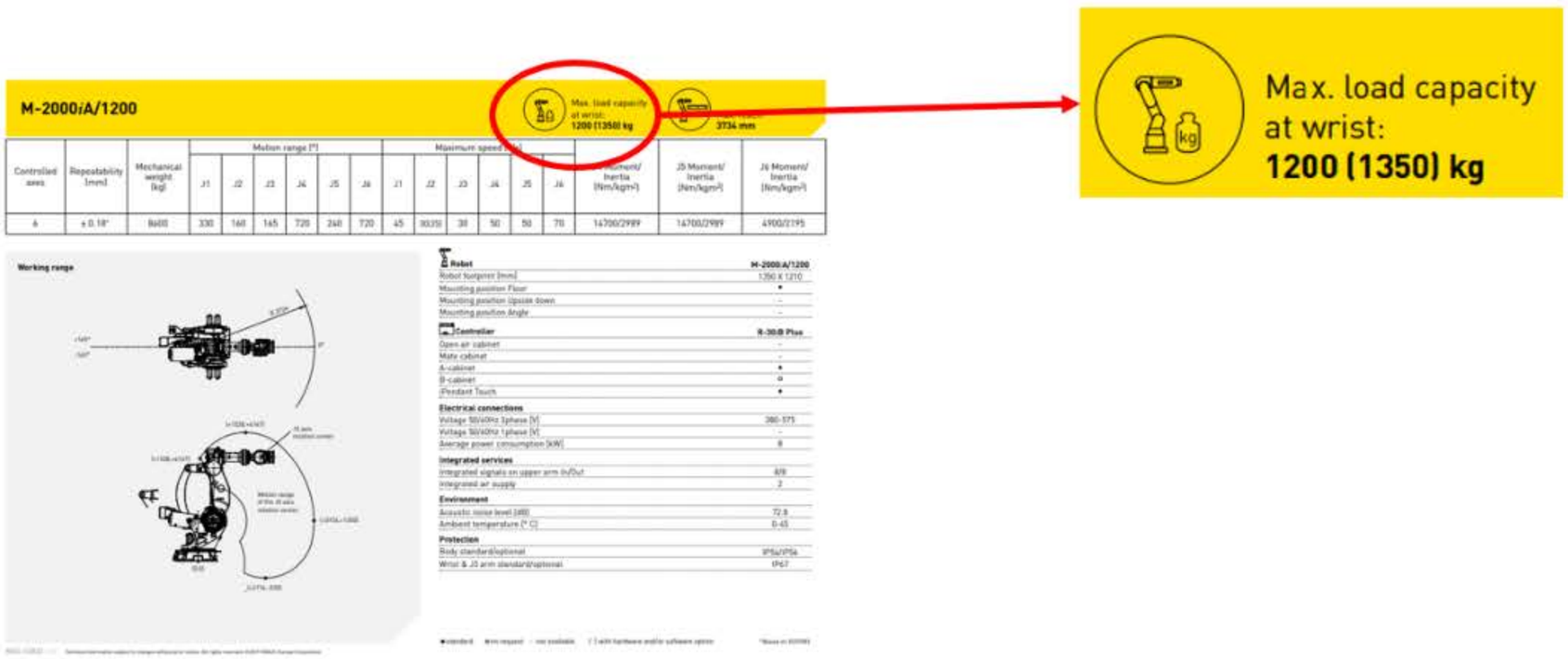
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Käsittelykyky

Bookmark this page

- Käsittelykyky ilmoitetaan kilogrammoina, joka on maksimi kuorma, minkä robotti pystyy nostamaan.
- Käsittelykyky esimerkiksi käsivarsirobotilla voi olla 3kg – 3000kg
- Esimerkki isosta teollisuusrobotista: https://www.youtube.com/watch?v=HLJIhMOrNy8
- **HUOM!** Valinnassa otettava huomioon **työkaluvaihtajan ja työkalun paino**



STAFF DEBUG INFO

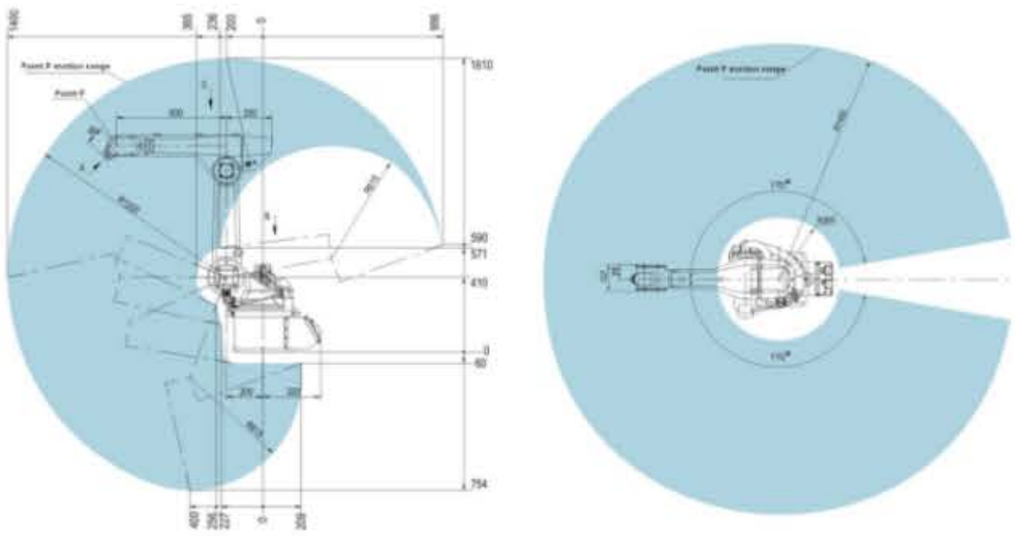
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

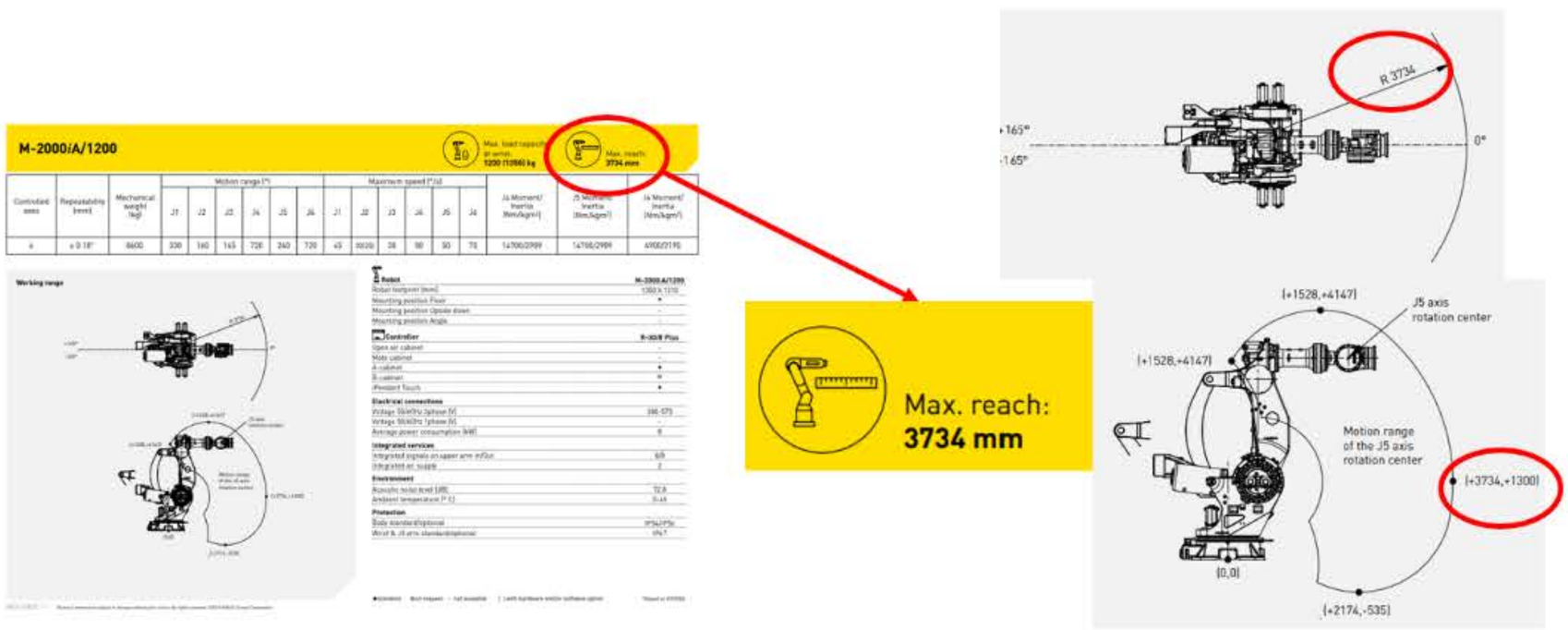
Ulottuvuus

Bookmark this page

- Ulottuvuus ilmoitetaan millimetreissä, joka on mitta robotin keskeltä työalueen uloimpaan pisteeseen.
- Huomioi että robotin takana on usein alue, johon robotti ei ylety.



- Simulaattoreissa saa näkyviin robotin "envelopin", jonka avulla on hyvä tarkastella robotin ulottuvuutta



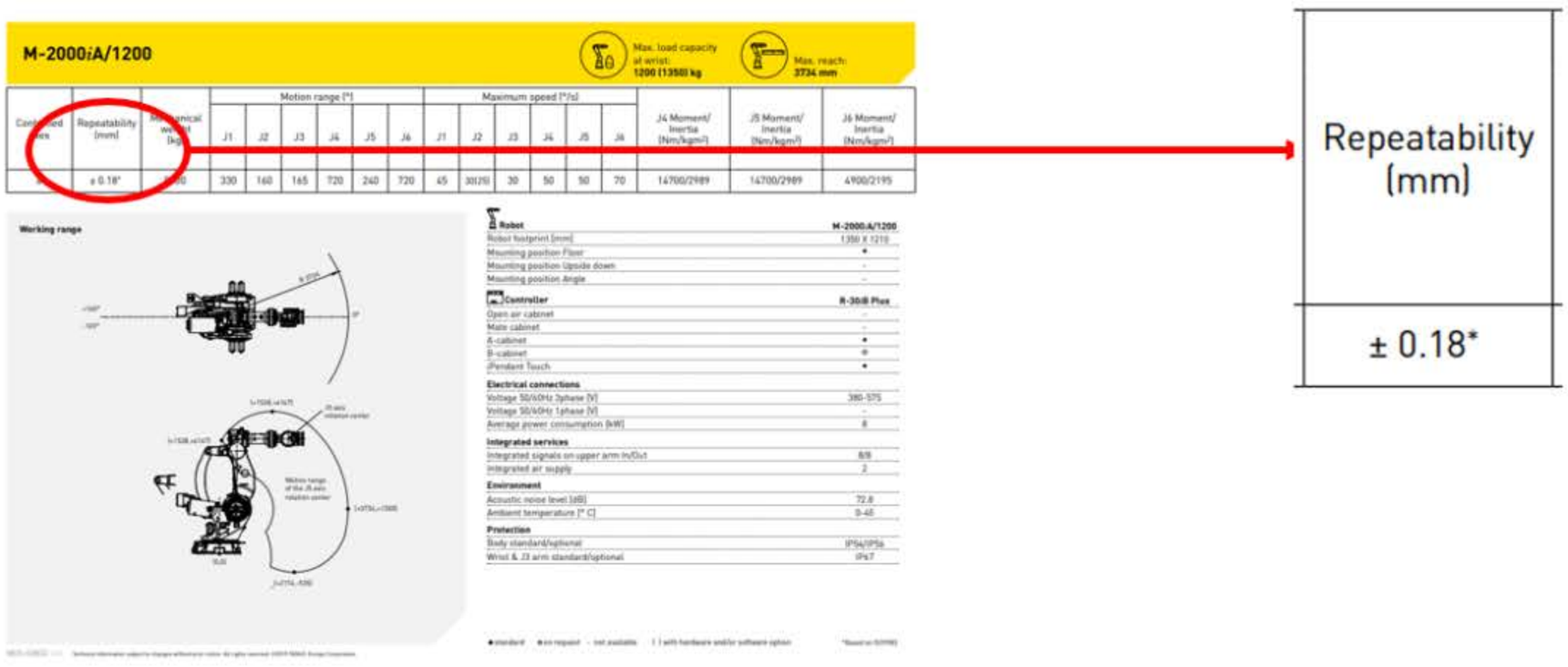
STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Paikoitustarkkuus

Bookmark this page

- Toistotarkkuus ilmoitetaan millimetreinä
- Tyypillisesti välillä ±0.05mm ja ±0.02mm (jopa enemmän)
- Pakkausrobotilla ei tarvita vastaava tarkkuutta, kuin esimerkiksi robotilla, joka asentaa komponentteja piirilevylle
- Lisäksi joskus puhutaan paikoitustarkkuudesta. Tällä tarkoitetaan miten tarkasti robotti liikkuu pisteeseen koordinaatistossa annettujen arvojen mukaan.
- Resoluutiolla tarkoitetaan pienintä mahdollista liikematkaa, jonka robotti pystytään toteuttamaan.



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Nopeus

Bookmark this page

Robotille on melko vaikea antaa vain yhtä tarkkaa määritettä maksiminopeudesta, vaan se ilmoitetaan usein yksittäisten nivelten suurimpana nopeutena. Alla Yaskawan erään robottittypin spesifikaatiosta poimittu nopeus:

Axes	Maximum motion range	Maximum speed
	degrees	°/sec
S	±180	210
L	+155/-105	210
U	+160/-86	265
R	±200	420
B	±150	420
T	±455	885

Yaskawan roboteissa akseleiden nimet ovat S(1), L(2), U(3), R(4), B(5) ja T(6)

Käytännössä on kuitenkin huomattavaa, että liikematkan pituus vaikuttaa robotin liikenopeuteen varsinkin pienillä liikematkoilla ja käsiteltävän massan ollessa suuri. Toisin sanoen robotti ei välttämättä ehdi saavuttamaan kiihdytyksen jälkeistä maksimi liikenopeutta ennen jarrutuksen alkamista.

Tämän vuoksi onkin tärkeää määrittää käsiteltävän kuorman paino ja massakeskipiste ennen nopeiden liikkeiden suorittamista robotilla. Tällöin robotin ohjausjärjestelmä pystyy laskemaan liikkeelle riittävän pitkän kiihtyvyys- ja jarrutusmatkan, jotta niistä johtuvat voimat eivät ylittäisi servoille asetettua maksimivoimaa. Mikäli voimat ylittyvät, robotin törmäystunnisimet aktivoituvat ja robotin liike pysähtyy "rajusti".

Toki lieaarisissa liikkeissä

Erittäin nopeissa rinnakkaisrakenteisissa roboteissa halutaan kuitenkin ilmoittaa tietyn liikematkan omaavan poimintasyklin suoritusnopeus - tai joskus myös suorituskertojen määrä tietyssä ajassa. Alla on esitetty ABB:n FlexPicker -tyyppisen rinnakkaisrobotin poimintasyklin tahtiajat sekunneissa riippuen robotin tyypistä (koosta) ja käsiteltävästä kuormasta. Liikematka on 25mm ylös, 305mm sivulla ja 25mm alas.

Cycle times	0.1 kg	1 kg	3 kg	6 kg	8 kg
25/305/25 (mm)					
IRB 360-1/1130	0.30	0.36			
IRB 360-3/1130	0.40	0.40	0.52		
IRB 360-8/1130		0.38	0.42		0.60
IRB 360-1/1600	0.35	0.40			
IRB 360-6/1600		0.43	0.48	0.60	
90/400/90 (mm)					
IRB 360-1/1130	0.44	0.51			
IRB 360-3/1130	0.60	0.60	0.75		
IRB 360-8/1130		0.55	0.65		0.92
IRB 360-1/1600	0.50	0.54			
IRB 360-6/1600		0.57	0.63	0.80	

STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Muut ominaisuudet

Bookmark this page

Lisäksi robotin spesifikaatiossa ilmaistaan monia muita ominaisuuksia, kuten robotin massa, sen eri nievelten liikkeistä aiheutuvat inertiavoimat ja esimerkiksi manipulaattrin IP-luokitus. Robotin massalla ja inertiavoimilla on merkitystä, kun suunnitellaan esimerkiksi ison robotin perustusta ja kiinnitystä. IP-luokituksella on iso merkitys esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, jossa laitteita pestään varsin usein.

Mechanical weight (kg)
8600

J4 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)	J5 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)	J6 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)
14700/2989	14700/2989	4900/2195

Protection	
Body standard/optional	IP54/IP56
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

STAFF DEBUG INFO

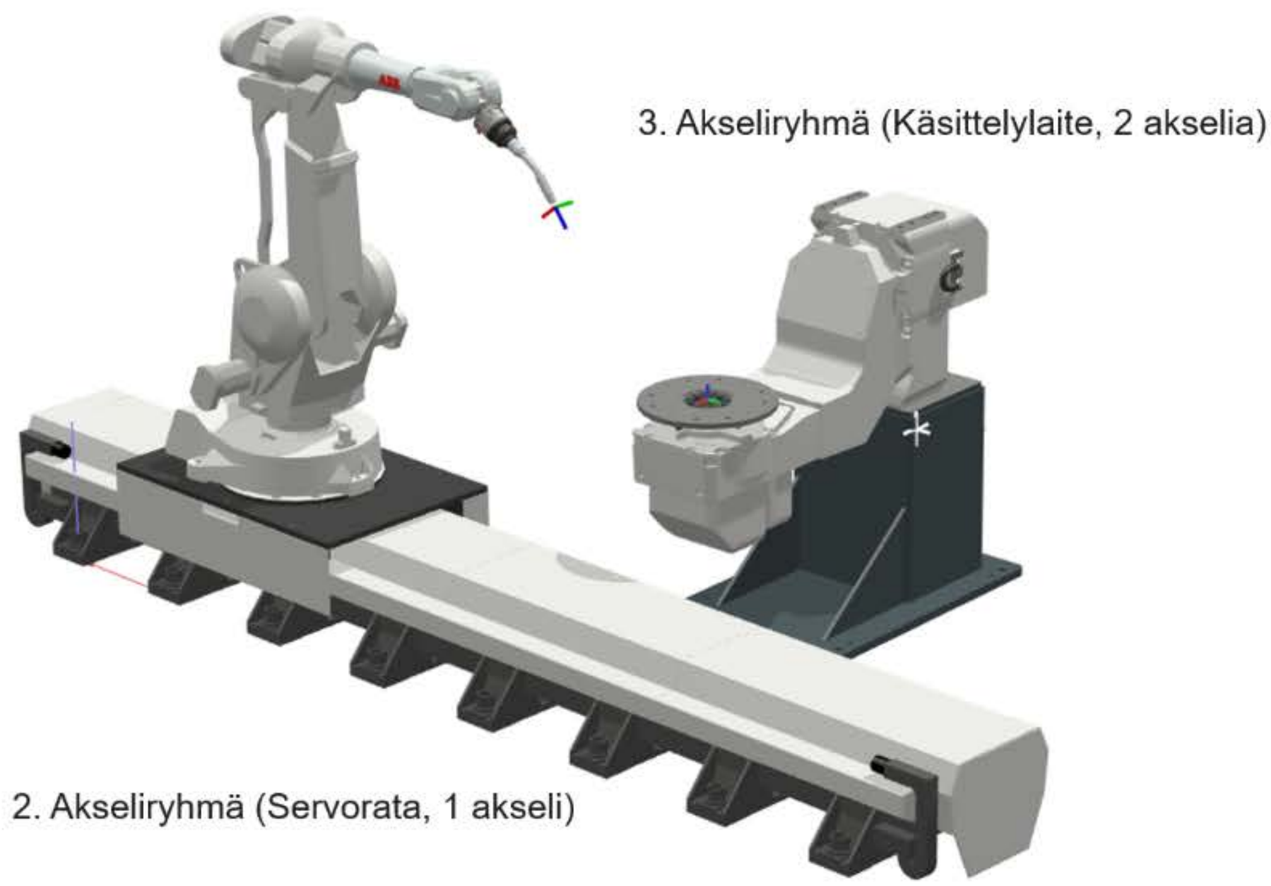
This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Ulkoiset akselit

Bookmark this page

- Ulkoisilla akseleilla lisätään robottisolun vapausasteita tai lisätään robotin ulottuvuutta
- Ulkoisia akseleita ohjataan robotin ohjaimella samalla tavalla kuin robotin omia niveliä
- Nykyään robottiohjaimet sisältävät valmiiksi useita vapaita slotteja servo-ohjaimille.
- Lisäksi voidaan asentaa tarvittaessa laajennusosia lisäservoille
- Itse robottiohjain tukee kymmenien servojen ohjausta

1. Akseliryhmä (Käsivarsi, 6 akselia)



STAFF DEBUG INFO

This subsection is unlocked for learners when they meet the prerequisite requirements.

Yleistä robotin työkaluista

Bookmark this page

Robotti itsessään voidaan nähdä vain manipulaattrina, joka liikuttaa **työkalua** sopivaan paikkaan ja orientaatioon työn suorittamiseksi. Työ itsessään voi olla vaikkapa kappaleen siirtämistä tarttumalla siihen sopivalla **tarttujalla**, hitsauspalon muodostamista liikuttamalla **hitsauspoltinta** oikein tai valujäysteiden poistamista liikuttamalla **jyrsinterää** kappaleen särmää pitkin. Periaatteessa robotilla voidaan liikuttaa mitä tahansa työkalua, mitä ihminen käyttäisi manuaalisesti.

Moninaisin kirjo erilaisia menetelmiä (työkaluja) löytyy robotisoidusta kappaleenkäsittelystä. Tällöin puhutaan yleisesti tarttujista. Sopivan tarttujan valintaan vaikuttavat monet käsiteltävän tuotteen ominaisuudet, joita ovat esimerkiksi kappaleen:

- massa
- materiaali
- pinnanlaatu
- ferriittysyys (magneettisuus)
- lämpötila
- puhtausvaatimus
- jne...

Tässä kappaleessa käsitelläänkin erilaisia tarttujia

STAFF DEBUG INFO