

HUOM: Tentin tehtäväpaperin neljännellä sivulla on annettu muutamia tehtävien ratkaisun kannalta hyödyllisiä kaavoja.

The questions are given in English on the second page.

On the fourth page, some equations to help solving the problems are given.

1. Määrittele lyhyesti seuraavat robotiikan käsitteet:

- Vihivaunu ? (1 piste)
- Jakobianimatriisi? (1 p)
- Passiivinen joustavuus (komplianssi)? (1 p)
- Servosäätö ? (1 p)
- Hybridi paikka/voima ohjaus ? (1 p)
- Kaksoismerkitys ? (1 p)

2. Kuvassa 1. on esitetty neljän vapausasteen SCARA-robotin kinemaattinen rakenne. Kaksi ensimmäistä vapausastetta ovat kiertyviä (olkavarren ja kyynärvarren kierrot liikuttavat käsivartta tasossa), sen jälkeen seuraa lineaaritoimilaite ylös/alas-liikkeen aikaansaamiseksi ja viimeisenä kinemaattisessa ketjussa on kiertonivel työkalun asennon ohjaamiseksi esimerkiksi B-koodinaatiston xy-tason suuntaisella alustalla olevien kappaleiden poimimiseksi.

- Merkitse kuvaan ja indeksoi manipulaattorin vapausastekoordinaatistot (link-frames) suoran kinemaattisen muunnoksen muodostamiseksi manipulaattorin rannekoordinaatiston (W) paikan ja asennon kuvaamiseksi peruskoordinaatiston (B) suhteen. Merkitse myös kuvaan ja anna taulukkomuodossa manipulaattorin nivelparametrit ja -muuttujat (link parameters, Denavit-Hartenberg parameters). Määritä lisäksi vastaavat nivelmatriisit. (3p)
- Muodosta yhtälöt robotin tarttujan asennon ilmaisemiseksi kiinteän referenssikoordinaatiston suhteen määritettyjen X-Y-Z kiertokulmien (eli Roll-, Pitch- ja Yaw-kulmat) avulla robotin nivelkulmien funktiona. (3p)

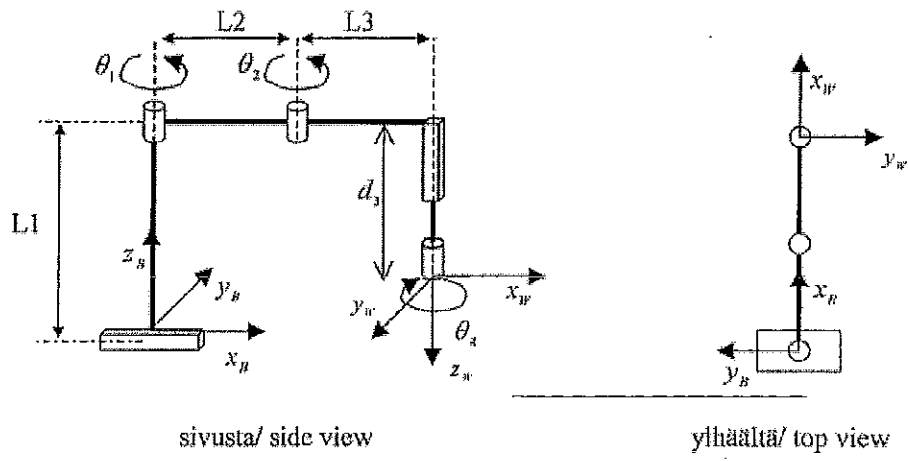
3. Kuvassa 2. on kuvattu neljän vapausasteen portaalirobotin kinemaattinen rakenne.

- Määritä robotin suora kinemaattinen muunnos. (3p)
- Määritä robotin käänteinen kinemaattinen muunnos. (3p)

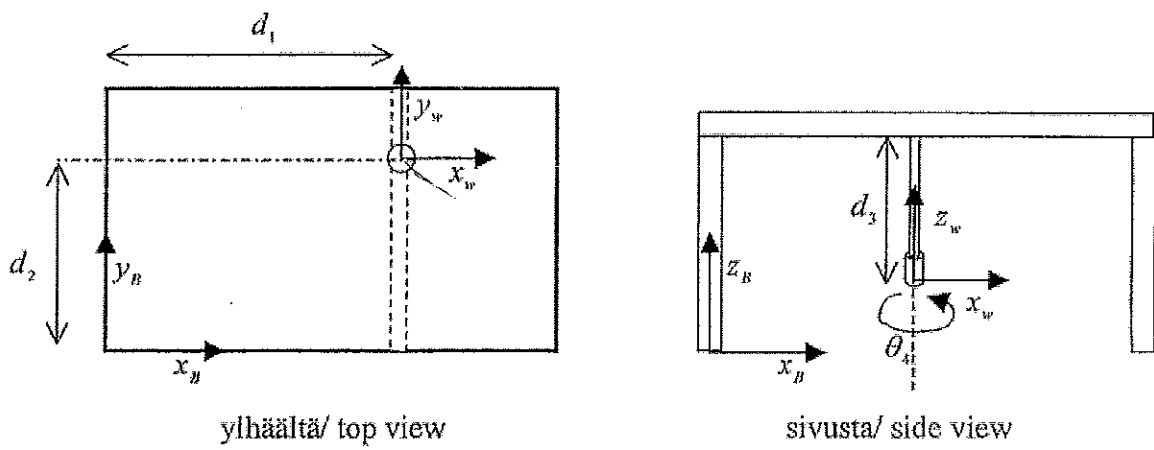
4. Kuvassa 3 on laiva, jonka peruskoordinaatistoa merkitään S :llä. Laivan keulassa on tutka, johon kiinnitettyä koordinaatistoa merkitään R :llä. Rannalla on majakka, johon kiinnitetyn koordinaatiston, B , paikka ja asento suhteessa tutkaan, ${}^R T$, voidaan määrittää mittadatasta. Myös tutkan kiinnityspiste suhteessa laivan peruskoordinaatistoon, ${}^S T$, on tiedossa. Muodosta lauseke homogeeniselle muunnosmatriisille, joka kuvaa laivan paikan ja asennon suhteessa majakkaan? (4p)

5. Kuvassa 4 on esitetty robotin toiminta-avaruutta kuvaava ruudukko (grid). Esteiden paikkoja kuvaavat ruudut on merkitty X:llä. Valkoiset ruudut kuvaavat robotin vapaata liikeavaruutta. Alkuperäisten esteiden kokoa ruudukolla on kasvatettu niin, että robotti voidaan olettaa pistemäiseksi. Muodosta 'Etäisyysmuunnos'-menetelmällä robotin törmäysvapaa liikerata kuvan ruudukolla. Robotin lähtöpistettä merkitään 'S':llä ja tavoitepistettä 'G':llä. Kuvaa menetelmän eri vaiheet (4p).

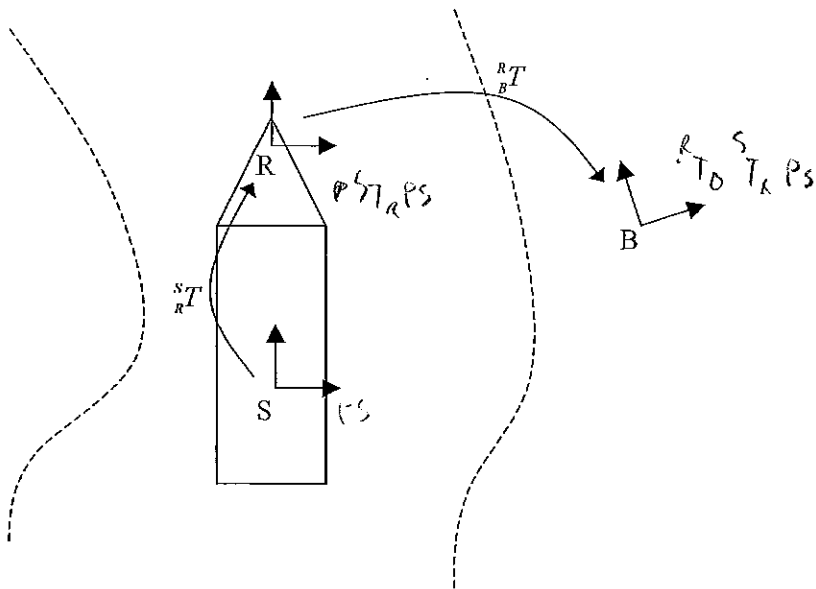
6. Robotin off-line ohjelmointi (etäohjelmointi): Toimintaperiaate? Käytön edut perinteiseen robotin on-line ohjelmointiin verrattuna? Menetelmään liittyvät kalibrointiongelmat/-tehtävät? (4p)



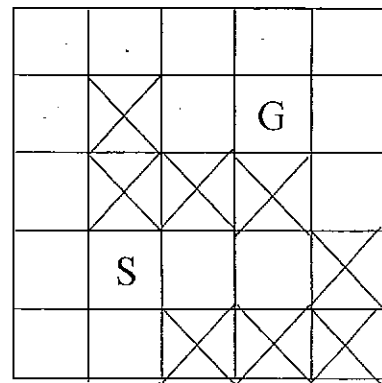
Kuva/Figure 1



Kuva/Figure 2



Kuva/Figure 3



Kuva/Figure 4

Rotation about the principal axes:

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.1}); \quad R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.2})$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.3})$$

Homogenous transform:

$${}^A T_B = \left[\begin{array}{c|c} {}^A R_B & {}^A P_{BORG} \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)+(2.2)+(2.19)$$

X-Y-Z fixed angles:

$${}^A R_{XYZ}(\gamma, \beta, \alpha) = R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma) \quad (2.63)$$

$$= \begin{bmatrix} c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma & 0 \\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma & 0 \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

Link transformation:

$${}^{i-1} T_i = R_x(\alpha_{i-1})D_x(a_{i-1})R_z(\theta_i)D_z(d_i) \\ = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)+(3.6)$$

Link transformation for those taking the exam for the old version of the course (AS-84.137):

$$\mathbf{A}_n = \mathbf{Rot}(z, \theta)\mathbf{Trans}(0, 0, d)\mathbf{Trans}(l, 0, 0)\mathbf{Rot}(x, \alpha) \\ = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta)\cos(\alpha) & \sin(\theta)\sin(\alpha) & l\cos(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta)\cos(\alpha) & -\cos(\theta)\sin(\alpha) & l\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$