

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.

Kurssipalautelomakkeen täyttämällä saa yhden lisäpisteen tentissä !

Palautelomake ja vastausohjeet löytyvät osoitteesta:

<http://www.automation.hut.fi/edu/as84137/palaute.html>

1. Määrittele lyhyesti seuraavat robotiikan käsitteet:
 - a) Robotin singulariteettipiste ? (1 piste)
 - b) Topologinen kartta ? (1 p)
 - c) Hybridi paikka/voima ohjaus? (1 p)
 - d) Denavit-Hartenberg parametrit ? (1 p)
 - e) Sensorifuuusio ? (1 p)
 - f) Portaalirobotti ? (1 p)

2. Kuvassa 1. on esitetty eräs kahden vapausasteen manipulaattori kotiasennossaan, ensimmäinen vapausaste on kiertyvä (yläkäsivarren kierros vaakatasossa), θ , ja toinen lineaarinen (yläkäsivarren pituuden ohjaus), d. (Yläkäsivarsi on 0-koordinaatiston negatiivisen y-akselin päällä kun kierokulman θ arvo on nolla).
 - a) Merkitse kuvaan ja indeksoi manipulaattorin vapausasteenkoordinaatistot (link-frames) suoran kinemaattisen muunnoksen muodostamiseksi manipulaattorin rannekoordinaatiston (W) paikan ja asennon kuvaamiseksi peruskoordinaatiston (0) suhteeseen. Merkitse myös kuvaan ja anna taulukkomuodossa manipulaattorin nivelparametrit ja -muuttujat (link parameters, Denavit-Hartenberg parameters). Määritä lisäksi vastaavat nivelmatriisit. (3p)
 - b) Muodosta yhtälöt robotin tarttujan asennon ilmaisemiseksi kiinteän referenssikoordinaatiston suhteeseen määritettyjen X-Y-Z kiertokulmien (eli Roll-, Pitch- ja Yaw-kulmat) avulla robotin nivalkulmien funktiona. (3p)

3. Määritä kuvassa 1 esitetyn manipulaattorin käänneinen kinemaattinen muunnos. Esitä lisäksi, mille (W)-koordinaatiston origon x,y,z-ohjauspisteille käänneinen kinemaattinen ratkaisu on olemassa (vastaus esim. yhtälön/epäyhtälön muodossa)? (4p)

4. Laseretäisyysmittalaitteella mitataan kahden maamerkin paikat laserkoordinaatiston "L" suhteeseen (paikkavektorit ${}^L P_1$ ja ${}^L P_2$ kuvassa 2). Suorakulmainen koordinaatisto "B" muodostetaan mitattujen maamerkkien paikkojen avulla seuraavalla tavalla: Koordinaatiston origo kiinnitetään ensimmäisen maamerkin paikkaan. Koordinaatiston x-akseli osoittaa ensimmäisen maamerkin paikasta kohti toisen maamerkin paikkaa (xy-tasoa pitkin, ts. B-koordinaatiston x-akseli on L-koordinaatiston xy-tason suuntainen). z-akseli osoittaa ylöspäin ja y-akselin suunta saadaan oikean käden kiertosääntöä soveltamalla (vertaa kuvaa 2). (Tehtävässä oletetaan siis, että B- ja L-koordinaatistojen z-akselit ovat samansuuntaiset ja osoittavat molemmat ylöspäin).

Muodosta 4×4 homogeeninen muunnosmatriisi L-koordinaatiston paikan esittämiseksi B-koordinaatiston suhteeseen paikkavektorien ${}^L P_1$ ja ${}^L P_2$ vektorikomponenttien funktiona. (6p)

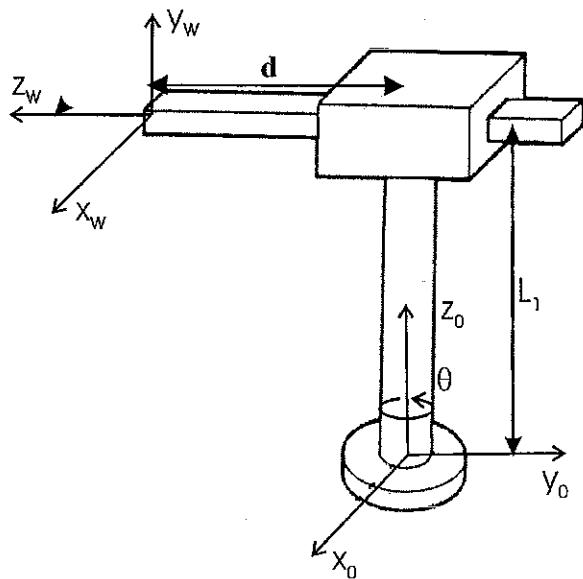
5. Kuvassa 3 on esitetty robotin toiminta-avaruutta kuvaava ruudukko. Esteiden paikkoja kuvaavat ruudut on merkitty X:llä. Valkoiset ruudut kuvaavat robotin vapaata liikeavaruutta. Alkuperäisten esteiden kokoa ruudukolla on kasvatettu niin, että robotti voidaan olettaa pistemäiseksi. Muodosta 'Etäisyysmuunnos'-menetelmällä robotin törmäysvapaa liikerata kuvan ruudukolla. Robotin lähtöpistettä merkitään 'S':llä ja tavoitepistettä 'G':llä. Kuva menetelmän eri vaiheet. (4p).

6. Teollisuusrobottien ohjelmointitavat. Ohjelmointitapojen edut ja epäkohdat ? (4p)

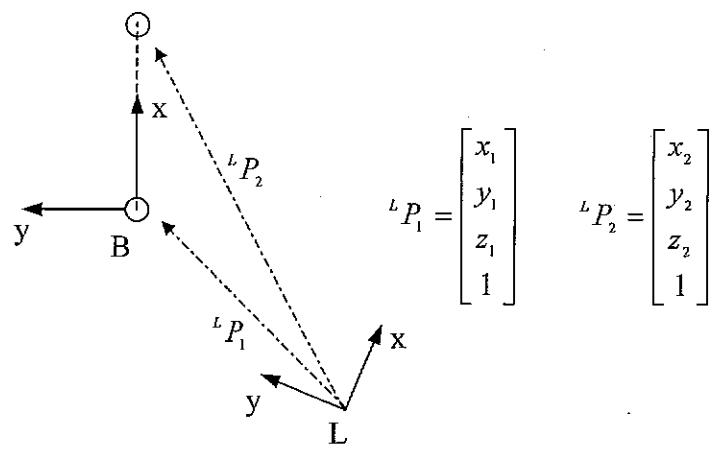
NOTE: -On the fourth page of the exam paper, there are some useful equations presented.

By filling in the course feedback query form you will get one extra point in the exam !
The form and related information can be found in:
<http://www.automation.hut.fi/edu/as84137/palaute.html>

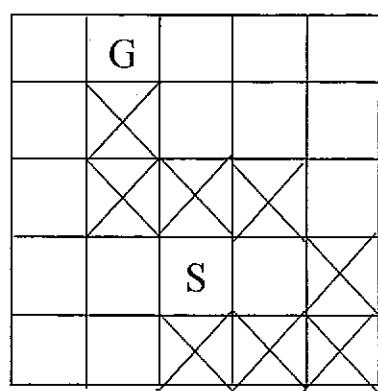
1. Define the following robotics-related terms:
 - a) Robot singularity ? (1point)
 - b) Topological map ? (1p)
 - c) Hybrid position/force control ? (1p)
 - d) Denavit-Hartenberg parameters? (1p)
 - e) Sensor fusion ? (1p)
 - f) Gantry robot ? (1p)
2. In figure 1 a two degree-of-freedom manipulator is shown in its home/zero position, the first dof is a rotational joint (controlling the orientation of the upper link on the horizontal plane), θ , and the second dof is a translational joint (controlling the length of the upper link), d . (The upper link is above the negative y-axes of the 0-frame when the control angle θ has a zero value).
 - a) Number and mark in the figure the link-frames required for constructing the direct kinematic transformation of the manipulator for describing the wrist frame (W) with respect to the base frame (0). Also draw into the figure and give in a table the link parameters and variables (i.e. Denavit-Hartenberg parameters). Define also the corresponding homogenous link transformation matrices. (3p)
 - b) Define also the transformation equations for describing the orientation of the wrist frame (W) by means of the X-Y-Z fixed angles (i.e. Roll, Pitch Yaw angles) as a function of robot joint angles. (3p)
3. Find the inverse kinematic transform for the manipulator shown in figure 1. Describe also, for which of the x,y,z-positions of the origin of the (W) frame a reachable inverse kinematic solution exists (answer , for example, in the form of an equation or an inequality) ? (4p)
4. The locations of two landmarks with respect to the coordinate frame "L" of the laser scanner are measured (position vectors ${}^L P_1$ and ${}^L P_2$ in figure 2). A reference frame "B" is created by means of the measured landmark locations in the following way: The origin of the frame is attached at the location of the first landmark. The x-axis points from the first towards the second landmark (along the xy-plane, in other words the x-axis of B-frame is parallel to the xy-plane of L-frame), z-axis points upwards and y-axis is given by the right hand rule (compare figure 2). (So, the z-axes of coordinate frames L and B are parallel with each other)
Form the 4x4 homogeneous transform matrix to express the position and orientation of the L-frame with respect to the B-frame as a function of the components of the location vectors ${}^L P_1$ and ${}^L P_2$. (6p)
5. In figure 3 the grid of the operation space of a mobile robot is shown. The locations of obstacles are marked with X. White grid cells represent free motion space of the robot. The initial size of the obstacles has been grown on the grid such that the robot can be considered dimensionless (i.e a point). Plan a collision free path on the grid by using the distance transform method. The start location of the robot is marked with 'S' and the goal location with 'G'. Explain how the different phases of the method are applied. (4p)
6. Programming methods of industrial robots. Explain also benefits and drawbacks of different methods. (4 p.)



Kuva/Figure 1



Kuva/Figure 2



Kuva/Figure 3

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:

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

X-Y-Z fixed angles:

$${}^B_A R_{XYZ}(\gamma, \beta, \alpha) = R_Z(\alpha)R_Y(\beta)R_X(\gamma) \quad (2.63)$$

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

Link transformation:

$$\begin{array}{l} {}^{i-1}_i T = R_X(\alpha_{i-1})D_X(a_{i-1})R_Z(\theta_i)D_Z(d_i) \\ = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \quad (3.4)+(3.6)$$

Inverse of a homogenous transform:

$${}^A_B T^{-1} = {}^B_A T = \left[\begin{array}{ccc|c} {}^A_B R^T & -{}^A_B R^T {}^A_B P_{BORG} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (2.45)$$