

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:
 - a) Vihivaunu ? (1 piste)
 - b) Metrinen kartta ? (1 p)
 - c) Passiivinen joustavuus (komplianssi)? (1 p)
 - d) Servosäätö ? (1 p)
 - e) Vapausaste ? (1 p)
 - f) Tahti aika ? (1 p)

2. Kuvassa 1. on kuvattu neljän vapausasteen portaalirobotin kinemaattinen rakenne.
 - a) Määritä robotin suora kinemaattinen muunnos. (3p)
 - a) Määritä robotin käänteinen kinemaattinen muunnos. (3p)

3. Kuvassa 2. on esitetty liikkuvan robotin käytettävissä olevat reitit lähtöpisteestä (Start) tavoitepisteeseen (Goal). Ympyrät kuvaavat välitavoitteita, joiden kautta robotin tulee kulkea. Toistensa suhteen saavutettavissa olevien välitavoitepisteiden keskinäiset etäisyydet on merkitty yhdysviivaan liitettyllä numerolla. Kuvaa vaihe vaiheelta miten lyhimmän reitin haku 'S':stä 'G':n suoritetaan, 'A*'-reitinhakualgoritmien avulla ? (4p).

4. Laseretäisyysmittalaitteella mitataan kahden maamerkin paikat laserkoordinaatiston "L" suhteen (paikkavektorit ${}^L P_1$ ja ${}^L P_2$ kuvassa 3.). Suorakulmainen koordinaatisto "B" muodostetaan mitattujen maamerkin 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 3.). (Tehtävässä oletetaan siis, että B- ja L-koordinaatistojen z-akselit ovat samansuuntaiset ja osoittavat molemmat ylöspäin).
 Muodosta 4×4 homogeeninen muunnosmatriisi L-koordinaatiston paikan ja asennon esittämiseksi B-koordinaatiston suhteen paikkavektorien ${}^L P_1$ ja ${}^L P_2$ vektorikomponenttien funktiona. (6p)

5. Kuvassa 4. 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. Kuvaa menetelmän eri vaiheet. (4p).

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

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

1. Define the following robotics-related terms:
 - a) Automated guided vehicle ? (1point)
 - b) Metric map ? (1p)
 - c) Passive compliance ? (1p)
 - d) Servo control ? (1p)
 - e) Degree of freedom ? (1p)
 - f) Cycle time ? (1p)

2. In figure 1. the kinematic structure of a four degree-of-freedom gantry robot is shown.
 - a) Determine the direct kinematic transform of the robot. (3p)
 - b) Determine the inverse kinematic transform of the robot. (3p)

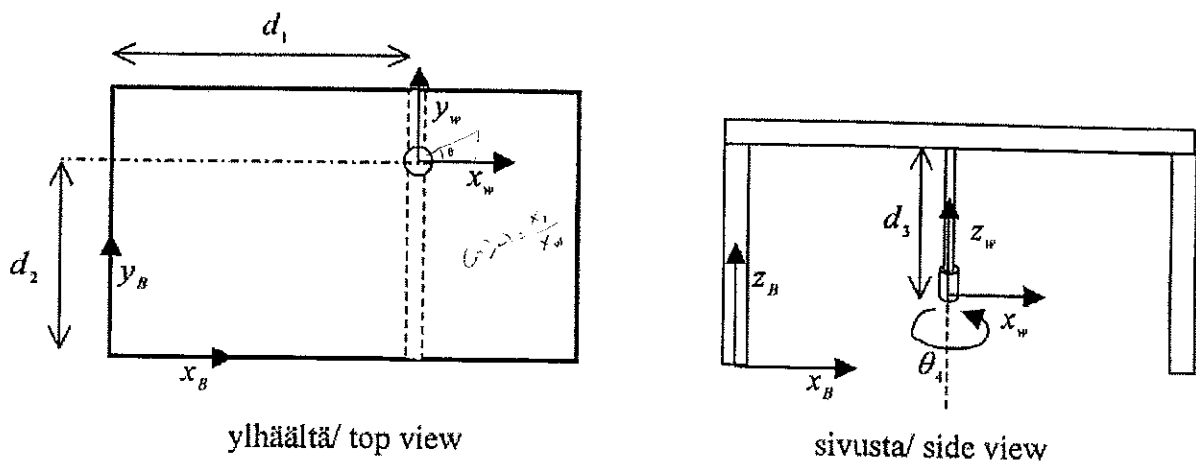
3. In figure 2. the possible routes from start point (Start) to goal point (Goal) are shown. The circles represent intermediate goals through which the robot must move. The distances between two reachable intermediate goals are represented with numbers attached to the connecting lines. Describe in detail how to find the shortest path from 'S' to 'G' with the 'A*' search method ? (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 3). 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 3). (So, the z-axes of coordinate frames L and B are parallel with each other)

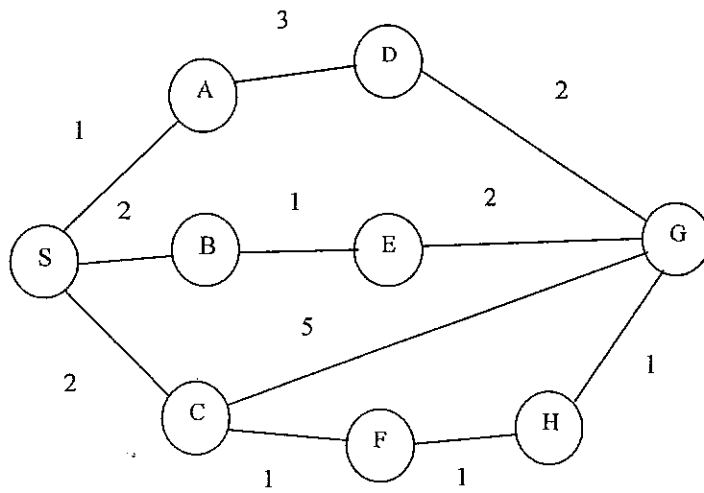
Form the 4x4 homogeneous transform matrix to express the position and orientation of the L-frame with respect to the B-frame as a function of the components of the location vectors ${}^L P_1$ and ${}^L P_2$. (6p)

5. In figure 4. 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)

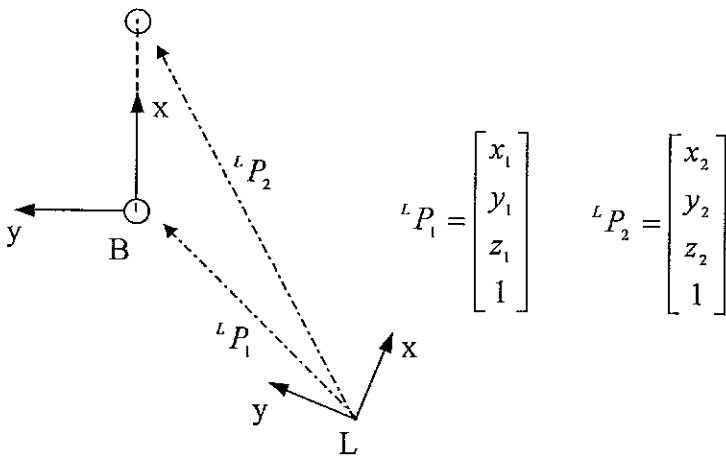
6. Robot off-line programming method: Working principle? Benefits compared to traditional robot on-line programming? Calibration tasks/problems related to the method? (4 p.)



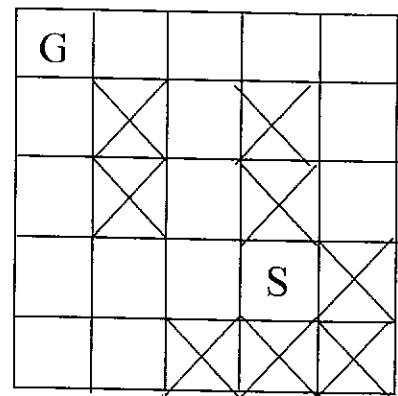
Kuva/Figure 1



Kuva/Figure 2



Kuva/Figure 3



Kuva/Figure 4

Rotation about the principal axes:

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

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

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

Homogenous transform:

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

X-Y-Z fixed angles:

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

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

Link transformation:

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

Inverse of a homogenous transform:

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