

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://automation.tkk.fi/AS-84-1137/Palaute>

- Määrittele lyhyesti seuraavat robotiikan käsitteet:
 - Vihivaunu ? (1 piste)
 - Jakobiaanimatriisi ? (1 p)
 - Topologinen kartta ? (1 p)
 - Portaalirobotti ? (1 p)
 - Yhdistetty paikka/voima ohjaus ? (1 p)
 - Kaksoismerkitys ? (1 p)
- 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. (4p)
 - Muodosta yhtälöt robotin tarttujan asennon ilmaisemiseksi kiinteän referenssikoordinaatiston (B) suhteen määritettyjen X-Y-Z kiertokulmien (eli Roll-, Pitch- ja Yaw-kulmat) avulla robotin vapausastemuuttujien ($\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$) funktiona. (4p)
- Kuvassa 2. on esitetty eräs kahden vapausasteen manipulaattori kotiasennossaan, ensimmäinen vapausaste on kiertyvä (yläkäsivarren kierto vaakatasossa), θ , ja toinen lineaarinen (yläkäsivarren pituuden ohjaus), d . (Yläkäsivarsi on 0-koordinaatiston negatiivisen y-akselin päällä kun kierokulman θ arvo on nolla). Määritä manipulaattorin käänteinen kinemaattinen muunnos. Esitä lisäksi, mille (W)-koordinaatiston origon x,y,z-ohjauspisteille käänteinen kinemaattinen ratkaisu on olemassa (vastaus esim. yhtälöiden/epäyhtälöiden muodossa)? (4p)
- 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, ${}^R_B T$, voidaan määrittää mittadatasta. Myös tutkan kiinnityspiste suhteessa laivan peruskoordinaatistoon, ${}^S_R T$, on tiedossa. Muodosta lauseke homogeeniselle muunnosmatriisille, joka kuvaa laivan paikan ja asennon suhteessa majakkaan? (4p)
- 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).
- Robotin off-line ohjelmointi (etäohjelmointi): Toimintaperiaate? Käytön edut perinteiseen robotin on-line ohjelmointiin verrattuna? Menetelmään liittyvät kalibrointiongelmien/-tehtävät? (4p)

kaarevat muodot
voidaan opettaa hiomista
Robotin tse ei keskeydy

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://automation.tkk.fi/AS-84-1137/Palaute>

1. Define the following robotics-related terms:
 - a) Automated guided vehicle ? (1point)
 - b) Jacobian matrix ? (1p)
 - c) Topological map ? (1p)
 - d) Gantry robot ? (1p)
 - e) Hybrid position/force control ? (1p)
 - f) Double (multiple) solutions? (1p)
2. In figure 1 the kinematic structure of a four degree-of-freedom SCARA robot is shown. The first two joints are rotational (shoulder and elbow joints move the arm on a plane), then a prismatic joint follows, which moves the tool up and down. And finally, in the kinematic chain, a rotational joint adjusts the orientation of the tool, for example, to grasp objects, which are laying on pallet, oriented parallel to the xy-plane of the B-frame.
 - 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 (B). 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. (4p)
 - b) Define the 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) determined with respect to the fixed reference frame (B) as a function of robot joint variables ($\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$). (4p)
3. In figure 2 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). Find the inverse kinematic transform for the manipulator. 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. In figure 3. a ship, the base frame of which is marked with **S**, has been depicted. At the bow of the ship there is a radar, with a coordinate frame **R**. On the shore there is a beacon, with a coordinate frame **B**. The location of the beacon with respect to the radar, ${}^R_B T$, can be determined from the measurement data. Also, the location of the radar with respect to the base frame of the ship, ${}^S_R T$, is known. Derive an equation for the transformation matrix describing the relative position and orientation the ship with respect to the beacon? (4p)
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 cell 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.)