

MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA

Automatizavimas, robotika T 125 Automation, Robotics T 125 Elektronika ir elektrotechnika Electronics and Electrical Engineering

TRIAŠIO STALO VALDIKLIO TYRIMAS

Paulius Gustaitis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas El. paštas pauliusgustaitis@gmail.com

Santrauka. Nagrinėjamas triašio stalo su trimis sukamosiomis sąnaromis, skirto sudėtingų trajektorijų judesiui imituoti, valdiklis. Šis triašio stalo matematinis modelis, sudarytas taikant Denavito ir Hartenbergo parametrus, skirtas kinematikos uždaviniams spręsti, taip pat sudarytas eksperimentinis modelis. Atliktas kompiuterinis grafinis triašio stalo taško trajektorijos modeliavimas ir eksperimentinis realaus modelio tyrimas. Eksperimentiniai modeliavimo rezultatai palyginti su matematinio modeliavimo metu gautais rezultatais.

Reikšminiai žodžiai: judesio imitatorius, sukamoji sąnara, Denavito ir Hartenbergo parametrai, inversinė kinematika, triašis stalas, valdiklis.

Įvadas

Atliekant šį tyrimą buvo išanalizuoti šaltiniai apie mechanizmų, kuriuose yra sukamosios sąnaros, mechaniką, kinematiką, kelių laisvės laipsnių mechanizmų valdymą, manipuliatorių, darbo įrankio judėjimo trajektorijos planavimą bei modeliavimą ir tokių mechanizmų panaudojimo sritis ir galimybes.

Mechanizmai, kuriuose yra sukamosios sanaros, plačiai naudojami pramoninėje, buitinėje, karinėje, laboratorinėje ir kitokioje technikoje (Mendez et al. 2010). Dviejų ir trijų laisvės laipsnių mechanizmai su sukamosiomis sąnaromis naudojami nutaikymo, sekimo, stabilizavimo, imitavimo ir kitose sistemose. Dažniausiai tokiose sistemose visiškai pakanka dviejų laisvės laipsnių, o trečiasis posūkio kampas neturi įtakos arba yra fiksuotas, pavyzdžiui, saulės sekimo sistemos (saulės kolektoriai), optiniai ir radiolokaciniai teleskopai, parabolinių antenų nukreipimo sistemos, vaizdo stebėjimo sistemos (vaizdo kamerų valdymo irenginiai), raketų ir pabūklų nutaikymo sistemos. Dviejų laisvės laipsnių sistemą galima tyrinėti kaip supaprastintą trijų laisvės laipsnių sistemą, kurioje viena iš sąnarų yra fiksuota. Tačiau yra sistemų, kurioms tyrinėti būtinas judesys visomis posūkio ašimis. Tai triašiai judesio imitatoriai, kai kurios vaizdo stebėjimo sistemos, robotai humanoidai, pavyzdžiui, imituojant žmogaus akių arba galvos judesius reikia trijų laisvės laipsnių mechanizmų.

Trijų ašių sukamasis stalas skirtas laboratoriniams tyrimams atlikti, inerciniams jutikliams ir sistemoms su tokiais jutikliais testuoti ir tirti (Xie Yue *et al.* 2001).

Tiriamojo darbo tikslas

Šio darbo tikslas yra sukurti ir ištirti realaus triašio sukamojo stalo valdiklį, kuris leistų valdyti visų ašių judesius taip, kad kietai su mechanizmu sujungtas taškas judėtų pagal iš anksto nustatytą trajektoriją.

Darbe nagrinėjamas triašis stalas su sukamosiomis sąnaromis mechaniniu požiūriu yra sudėtingas kelių laisvės laipsnių valdomas mechanizmas, sudarytas iš kinematinių porų. Kiekviena stalo grandis turi atskirą pavarą (žingsninį variklį), kurios suteikia mechanizmui judesį. Pavaros tvirtinamos prie pagrindo arba prie judamujų mechanizmo grandžių. Pavarų yra tiek, kiek mechanizmas turi laisvės (judrumo) laipsnių. Variklių sukamasis judesys keičiamas kitų tipų judesiais ir perdavimo mechanizmais perduodamas stalo judamosioms grandims. Norint gauti reikiama nustatyto stalo taško judėjimo trajektoriją, variklius reikia valdyti pagal tam tikra algoritma. Algoritmas sudaromas atsižvelgiant į sistemai keliamus reikalavimus. Sudarant algoritmą ir valdymo programą reikia atsižvelgti į maksimalius leistinus stalo grandžių poslinkius, didžiausius grandžių judėjimo greičius ir pagreičius.

Triašio stalo kinematinis modelis

Visos tiriamojo mechanizmo sukamosios ašys susikerta viename erdvės taške. Triašio stalo grafinis matematinis modelis sudaromas pagal kinematinę schemą (1 pav.). Jis aprašo visų mechanizmo grandžių savitarpio ryšius, nurodo kinematinių porų tipus ir kitus grandžių parametrus.



pav. Triašio stalo kinematinė schema
Fig. 1. Kinematic scheme of the 3 axis rotation table

Pagal kinematinę mechanizmo schemą sudaryta homogeninė transformavimo matrica:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_{z,\phi} \cdot \mathbf{I}_4 \cdot \mathbf{T}_{v,\theta} \cdot \mathbf{T}_{u,\psi} \cdot \mathbf{T}_{w,a}$$
(1)

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} C\theta \cdot C\phi & C\phi \cdot S\theta \cdot S\psi - S\phi \cdot C\psi \\ C\theta \cdot S\phi & S\psi \cdot S\phi \cdot S\theta + C\psi \cdot C\phi \\ -S\phi & C\theta \cdot S\psi \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$
(2)
$$C\phi \cdot S\theta \cdot C\psi + S\phi \cdot S\psi & d \cdot S\phi \cdot S\psi + d \cdot C\phi \cdot S\theta \cdot C\psi \\ C\psi \cdot S\phi \cdot S\theta - S\psi \cdot C\phi & -d \cdot S\psi \cdot C\phi + d \cdot C\psi \cdot S\phi \cdot S\theta \\ C\theta \cdot C\psi & d \cdot C\theta \cdot C\psi \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

čia $C\theta = \cos \theta$, $S\phi = \sin \phi$ ir t. t.

Kadangi nagrinėjamas mechanizmas turi tik tris sukamąsias sąnaras, su juo kietai susieto taško darbo zona yra sferos paviršiaus formos, o lazerio spindulys fokusuojamas į plokščią ekraną, todėl norint nagrinėti taško judėjimą plokštumoje įvedamas ketvirtas menamas laisvės laipsnis – poslinkis z ašimi. Šio menamo laisvės laipsnio būtinybę iliustruoja 2 pav.



2 pav. Lazerio spindulio fokusavimas ekrano plokštumojeFig. 2. Laser beam focus on flat surface

Taikant matematinį modelį, kuris įvertina tik tris sukamąsias ašis, žinant norimo taško A koordinates ir pagal jas apskaičiavus ašies posūkio kampą α_1 , lazerio spindulys ekrane atsispindės taške B, tačiau šio taško projekcija į x ašį bus taške x_2 ir neatitiks norimo taško projekcijos x_1 , todėl įvertinus atstumą iki ekrano reikia apskaičiuoti naują ašies posūkio kampą α_2 , pagal kurį nukreipto spindulio atspindys ekrane atitiks tašką D ir norimą projekciją x ašyje. Skaičiuojant koordinates pagal modelį, sudarytą iš trijų sukamųjų ašių, posūkio kampą reikėtų skaičiuoti taške C.

Grafinis modelis sudaromas su programinio paketo Matlab įskiepiu Robotics Toolbox. Šis įrankis specialiai skirtas mechatroninėms sistemoms modeliuoti, robotams vizualizuoti, simuliacijai ir analizei (Corke 1995). Modelio grandys aprašomos pagal Denavito ir Hartenbergo parametrus (angl. Denavit-Hartenberg Parameters). Su kiekviena triašio sukamojo stalo grandimi susiję keturi parametrai: r_i , α_i , d_i , θ_i , kurie apibūdina kiekvienos grandies kinematinę schemą (lentelė). Šiuos parametrus galima suskirstyti į dvi grupes: grandies parametrai r_i , α_i , apibūdinantys jos konstrukciją, ir sąnaros parametrai d_i , θ_i , apibūdinantys santykinę gretimų grandžių padėtį.

Triašio stalo modelis aprašomas *Matlab* programa (3 pav.), kurią įvykdžius sukuriamas triašio stalo modelis Dekarto koordinačių sistemoje. Modelis, sukurtas *Robotics Toolbox* programa, yra ribotų galimybių ir nėra labai vaizdingas, todėl grafinis modelis taip pat sukurtas ir naudojant kitą *Matlab* įrankių rinkinį – *RobotiCad*. Jis labiau pritaikytas dirbti su grafiniais modeliais, nes vienu metu galima dirbti su simuliuojamais kinematiniais modeliais ir įterpti papildomus 3D objektus (Falconi, Melchiorri 2008).

Modelis sudaromas taip pat taikant Denavito ir Hartenbergo parametrus, kurie surašomi specialiame programos lange.

Lentelė. Triašio stalo Denavito ir Hartenbergo parametrai

Table. Denavit-Hartenberg parameters of the 3 axis rotation table Kinematinės poros R/P θ d α r 0,1 $\pi/2$ 0 0 R ψ $\pi/2$ 1,2 0 θ 0 R 2,3 0 0 R $-\pi/2$ φ 3,4 0 0 0 d_1 Р

3 pav. Triašio stalo modelį aprašanti programa *Matlab* terpėje **Fig. 3.** *Matlab* program of the model for the 3 axis rotation table

40

Triašio stalo judėjimo trajektorijos sudarymas

Judėjimo trajektorija sudaroma *Matlab* programa, aprašius norimą trajektoriją lygčių sistema. Įvykdžius komandas gautas grafikas parodytas 4 pav.

Aprašius trajektoriją galima gauti bendrą erdvinį trajektorijos vaizdą. Pagal gautą grafiką apskaičiuojamos taškų, kuriuos turės kirsti triašio stalo darbo taškas, koordinatės, kurios vėliau bus perskaičiuojamos į ašių posūkių kampus.



4 pav. Judėjimo trajektorijos grafikasFig. 4. Trajectory of movement

Triašio stalo valdiklis

Triašio stalo pavaras valdo atskiras valdymo blokas, kuris per sąsają RS232 gauna duomenis iš kompiuterio, juos apdoroja ir generuoja pavarų valdymo signalus. Šis blokas taip pat nuolatos kontroliuoja jutiklių būseną. Šie jutikliai sumontuoti ant mechanizmo grandžių ir suveikia, kai mechanizmo grandys pasiekia kraštines padėtis. Pagrindinis valdymo bloko elementas yra vienkristalis programuojamasis valdiklis "ATmega16". Valdymo programa šiam valdikliui kuriama programiniu paketu *CodeVisionAVR*, programos kodas parašytas C++ programavimo kalba. Valdymo bloko išorinis vaizdas ir elementų išdėstymas pateiktas 5 pav.



5 pav. Triašio stalo valdiklio bendras vaizdasFig. 5. Driver of the 3 axis rotation table

5 pav. nurodyti tokie elementai: 1 – valdymo linijos jungtis; 2 – įtampos ribotuvai; 3 – maitinimo gnybtai; 4 – įtampos reguliatorius LM7805 su kondensatoriais; 5 – RS232-TTL lygių keitiklis MAX232N; 6 – DE-9 jungtis RS232 sąsajai; 7 – kvarcinis rezonatorius 11,059 MHz; 8 – pradinio nustatymo mygtukas; 9 – ISP programavimo jungtis; 10 – valdiklis "ATmega16".

Valdiklis gauna komandas per RS232 sąsają, todėl jį galima valdyti iš bet kurio kompiuterio, turinčio šios sąsajos jungtį. Komandoms reikalinga speciali kompiuterinė programa, kuri galėtų jas siųsti tiesiai į kompiuterio COM prievadą. Tam gali būti naudojamos tokios programos kaip *Microsoft HyperTerminal, Terminal* ir panašios. Duomenų apdorojimo, priėmimo, siuntimo protokolą, mainų spartą ir kitus parametrus nustatome pačioje mikroprocesorinio valdiklio programoje ir esant reikalui juos galime keisti.

Eksperimentinis tyrimas

Triašio stalo eksperimentiniams tyrimams atlikti yra sudarytas sistemos modelis (6 pav.).

Atlikus eksperimentus, gautus duomenis galima palyginti su matematinio modeliavimo metu gautais duomenimis ir padaryti išvadas apie modelių tikslumą. Pagal gautus rezultatus galima spęsti, ar sudarytas matematinis modelis atitinka realų mechanizmą, įvertinti modeliavimo paklaidas. Prie stalo platformos pritvirtinta lazerinė rodyklė, kurios spindulys fokusuojamas į virš stalo esančią plokštumą – ekraną. Ekrano aukštį virš ašių susikirtimo taško, atitinkančio koordinačių sistemos pradžią, galima laisvai keisti.



6 pav. Triašio stalo bendras vaizdas **Fig. 6.** The 3 axis rotation table

Modeliavimo rezultatai

Darbe atliktas matematinis ir eksperimentinis triašio stalo modeliavimas turint tikslą palyginti gautus rezultatus. Matematinio modeliavimo metu pirmiausia buvo sudaryta norimos formos taško judėjimo trajektorija, kuri *Matlab* programoje buvo aprašyta matematinėmis formulėmis ir nubrėžtas jos grafikas (4 pav.). Visoje trajektorijoje buvo išskirtas baigtinis skaičius taškų ir kiekvienam iš jų išspręstas atvirkštinis padėčių uždavinys. *Robotics Toolbox* programa leidžia naudoti specialią komandą ikine inversinės kinematikos uždaviniams spręsti. Ši komanda užrašoma taip:

Q = ikine(robot, T, q, M),

čia robot – modeliuojamas objektas; T – išėjimo grandies homogeninė matrica arba trajektoriją aprašanti matrica; q – pradinės apibendrintosios koordinatės; M – kaukė (1×6); Q – sprendinys (apibendrintosios koordinatės).

Apskaičiavus apibendrintas koordinates, t. y. ašių posūkių kampus ir poslinkius, šie parametrai surašomi į programą. Į anksčiau minėtą grafiką įterpus triašio stalo modelį atlikta simuliacija. Sumodeliuotas triašio stalo taškas tiksliai seka anksčiau aprašytą trajektoriją (7 pav.).



7 **pav.** Triašio stalo taško judėjimo trajektorija **Fig. 7.** The 3 axis rotation table

Išvados

Atlikta triašių platformų, stalų ir judesio imitatorius tyrimų analizė parodė, kad tokie mechanizmai dažniausiai naudojami sudėtingos trajektorijos judesių imitacijai atlikti. Jų kinematika aprašoma taip pat kaip ir manipuliatorių su sukamosiomis grandimis.

Sudarius straipsnyje aprašyto objekto kinematinį modelį buvo išspręstas atvirkštinės kinematikos uždavinys ir atliktas kompiuterinis objekto modeliavimas. Remiantis tyrimo duomenimis galima teigti, kad matematinis modelis atitiko realų modelį, nes eksperimentų metu lazerio spindulys numatytą judesio trajektoriją sekė esant nedidelei paklaidai.

Literatūra

- Corke, P. 1995. A Computer Tool for Simulation and Analysis: the Robotics Toolbox for MATLAB [interaktyvus]. CSIRO Division of Manufacturing Technology [žiūrėta 2011 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: http://www.petercorke.com/RTB/ARA95.pdf
- Falconi, R.; Melchiorri, C. 2008. RobotiCad: an educational tool for Robotics, in *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea,* 2008. Oxford: Pergamon Press, 17(1).
- Mendez, W.; Rodriguez, Y.; Brady, L.; Tosunoglu, S. 2010. Design of a Three-Axis Rotary Platform [interaktyvus]. Mechanics and Materials Engineering, Florida International University, Miami [žiūrėta 2011 m. gegužės 7 d.]. Prieiga per internetą: http://www.eng.fiu.edu/mme/robotics/elib/ FCRAR2010 ThreeAxisRotaryPlatform-WM-YR-LBST.pdf
- Xie Yue; Vilathgamuwa, M.; Tseng, K. J.; Nagarajan, N. 2001. Modeling and robust adaptive control of a 3-axis motion simulator, in *Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE*, vol. 1. Chicago, IL, USA, 553–560.

RESEARCH ON THE CONTROLLER OF A TESTBENCH

P. Gustaitis

Abstract

The article describes investigation into the controller of the 3 axis rotation table used for simulating complex trajectory motion. The mathematical model of the 3 axis rotation table is developed applying Denavit and Hartenberg's (D-H) parameters. Graphical modelling, simulation and experimental results are presented to verify the validity of the mathematical model of the 3 axis rotation table.

Keywords: motion simulator, rotational joint, Denavit-Hartenberg parameters, inverse kinematics, 3 axis rotation table, controller.