

Uporaba s servomotorji gnanih mehanizmov pri učenju dinamike v robotiki

Marijan Španer
Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko
Univerza v Mariboru
Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija
marijan.spaner@uni-mb.si

Two-axis coordinate mechanisms

Paper describes design and building of the two different two-axis coordinate mechanisms suitable for use in the educational purposes. The mechanisms enable the study of the DC motor's properties, study of the dynamical properties of the motor/mechanism connection - joint, trajectory generation in X-Y plane and study of the CAD-CAM system.

First mechanism is two degree of freedom mechanism with the construction similar to SCARA type robots. The system can be implemented as a test mechanisms for the nonlinear motion control algorithms as well as for practical implementation of in the education process derived kinematic equations.

Second, differentially driven mechanism was designed to achieve best possible dynamic properties of both axes. Two DC motors are used to differentially drive axes by using the single string.

For use with the motors, suitable servo controller was developed. Universal open controller configurations used in both systems enables the easy interconnection with other mechanisms in the laboratory and also simple addition of the new components.

1 Uvod

Dobra učila so pri laboratorijskih vajah študija tehnike zelo pomembna za uspešnost pedagoškega procesa. Na študijski smeri avtomatika se pri predmetih iz področij regulacijske tehnike, robotike [1] in

proizvodnih tehnologij srečujemo s potrebami po mehanizmih, ki za pogon uporabljajo elektromotorne pogone. V Laboratoriju za robotiko si nekatere potrebne naprave zgradimo sami. Prednost samogradnje je predvsem ta, da naprave zelo dobro poznamo, lahko jih sproti posodabljam, oziroma prilagajamo potrebam. Sistemi so prilagojeni nekaterim internim standardom laboratorija, ta kompatibilnost pa tudi študentom omogoča lažje spoznavanje naprav, oziroma skrajša čas uvajanja pred samostojnim delom.

V okviru laboratorijskih vaj študenti med drugim spoznajo tudi lastnosti servomotorja, kot enega od gradnikov robotov in obdelovalnih strojev. Za študij lastnosti uporabljamo enosmerni motor, kjer preučimo model, nadomestno shemo, statično karakteristiko ter vpliv posameznih parametrov na lastnosti motorja. V nadaljevanju poteka seznanjanje s komponentami servopogona: povezava motorja z elektronskim sklopom servoregulatorja, senzorjem toka, hitrosti in/ali položaja. Sledi spoznavanje dinamike celotnega pogona, opazovanje prehodnih pojavov, nastavljanje parametrov tokovne, hitrostne in položajne zanke in različnih profilov referenčnih vrednosti vhodnih signalov. Zraven linearnih se preizkusijo tudi nekateri nelinearni regulacijski algoritmi.

Na področju robotike so zanimivi s servomotorji gnani mehanizmi, še posebej dvo- ali večosni sistemi, kjer je možno opazovati vplive mehanske sklopljenosti posameznih osi. Večosne naprave lahko tudi vključimo v sistem, ki omogoča prikaz in

študij delovanja sistema računalniško podprtega načrtovanja (CAD) v povezavi z računalniško podprto proizvodnjo (CAM).

Obe opisani napravi imata nekaj skupnih lastnosti: kot mehanski del je uporabljen dvoosni mehanizem, gnan z enosmernima servomotorjema, vodenje sistema pa je prepuščeno industrijskemu krmilniku gibanja, s čimer sta tudi programsko kompatibilna. Razlikujeta se po tipu mehanske konstrukcije in hitrostih posameznih osi.

Pomembna dejavnika pri izbiri tipa in velikosti naprav sta bila razpoložljivi prostor in predvideni ukrepi za varnost uporabnikov in same naprave.

2 Dvoosni aktivni mehanizem (SCARA)

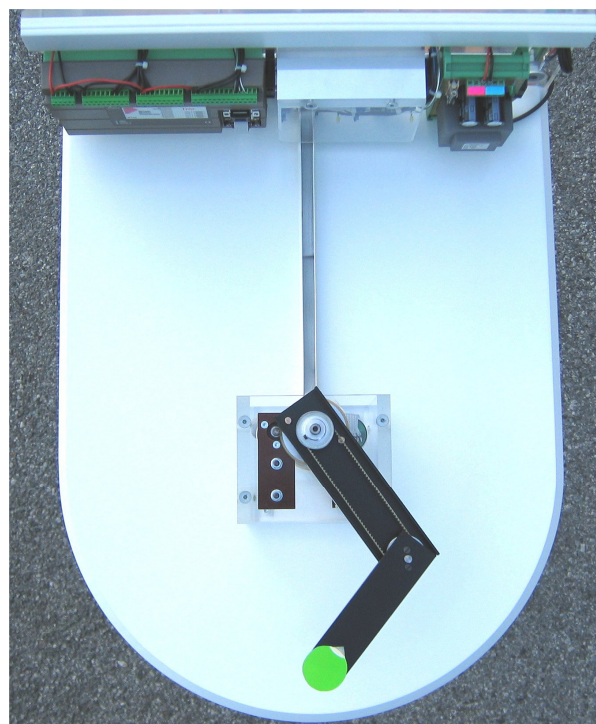
Osnovna konstrukcija mehanizma je povzeta po tipu SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm). Dvoosni aktivni mehanizem [2] sestavljata dve rotacijski osi, povezani v ravninsko robotsko roko. Vsak servomotor preko zobniškega prenosa poganja en člen mehanizma. Običajna izvedba je takšna, da je motor za pogon drugega člena nameščen v njegovem sklepu. Pri opisanem mehanizmu pa je pogon drugega člena izveden preko zobatega jermena, tako, da se pogonski motor nahaja na mirujočem delu mehanizma. Na ta način je bistveno zmanjšana masa gibajočih se delov, posledično pa so izboljšane dinamične lastnosti mehanizma. Dobre električne in mehanske lastnosti, predvsem majhno trenje motorja in zobniškega prenosa pripomorejo k zelo izraženim dinamičnim lastnostim pri gibanju mehanizma.

Položaj vrha pri takšnem robotu je določen z:

$$x = l_1 * \cos q_1 + l_2 * \cos q_2$$

$$y = l_1 * \sin q_1 + l_2 * \sin q_2 ,$$

kjer sta l_1 in l_2 dolžini posameznih členov, q_1 in q_2 pa kota zasukov obeh motorjev. Odvisnost položaja vrha robota od zasukov obeh motorjev je torej tipično nelinearna.



Slika 1: mehanizem SCARA

Za vodenje takšnega mehanizma v zunanjih, kartezičnih koordinatah je potrebno uporabiti robotski krmilnik gibanja, ki ima vgrajeno (sprogramirano) ustrezno inverzno kinematično transformacijo.

Industrijski krmilnik gibanja TRIO MC206 [3] je do štiri-osni sistem, ki omogoča koordinirano vodenje po položaju. Za vsako os je sprogramirana univerzalna položajna regulacijska shema s P, I, D členom, hitrostnim predkrmiljenjem in hitrostno povratno vezavo, kateri je možno nastavljati vse parametre. Krmilnik lahko deluje samostojno, za nastavljanje parametrov regulacijske sheme in pisanje programov pa ga povežemo z osebnim računalnikom. Program Motion Perfect [3] s svojo univerzalnostjo in prijaznostjo do uporabnika študentom omogoči lahek začetek dela, kasneje pa s svojimi orodji omogoča optimalno nastavitve parametrov položajne regulacijske zanke in izdelavo tudi zahtevnejših aplikacij.

Za potrebe vodenja nelinearnega sistema smo uporabili eno od že pripravljenih koordinatnih transformacij.

3 Diferenčni z vrvico gnani mehanizem

Za študij dinamičnih lastnosti mehanizmov je zaželeno, da sta breme in motor z izbiro ustreznega prestavnega razmerja impedančno usklajena. Doseganje dobrih dinamičnih lastnosti je bilo vodilo pri izdelavi še drugega koordinatnega mehanizma, prav tako namenjenega uporabi v pedagoškem procesu. Koordinatni mehanizem je zasnovan kot portalni mehanizem (slika 2), s konstrukcijo sorodno tistim pri nekaterih risalnikih (ploterjih), manipulatorjih in gradbenih dvigalih. Pogon mehanizma bi bilo možno izvesti na različne načine, odločili pa smo se za diferenčni pogon z eno samo vrvico. Oba motorja sta pritrjena na X osi, to je na mirujočem delu. Voziček in nosilec navpične Y osi sta gnana preko jermenic na gredeh obeh motorjev in vrvico.

Pri takšni konstrukciji je povezava med kotom zasuka gredi obeh motorjev in položajem vrha mehanizma naslednja:

$$x = 1/2 (2\pi r_1 \varphi_1 + 2\pi r_2 \varphi_2) \quad \text{in}$$

$$y = 1/2 (2\pi r_1 \varphi_1 - 2\pi r_2 \varphi_2)$$

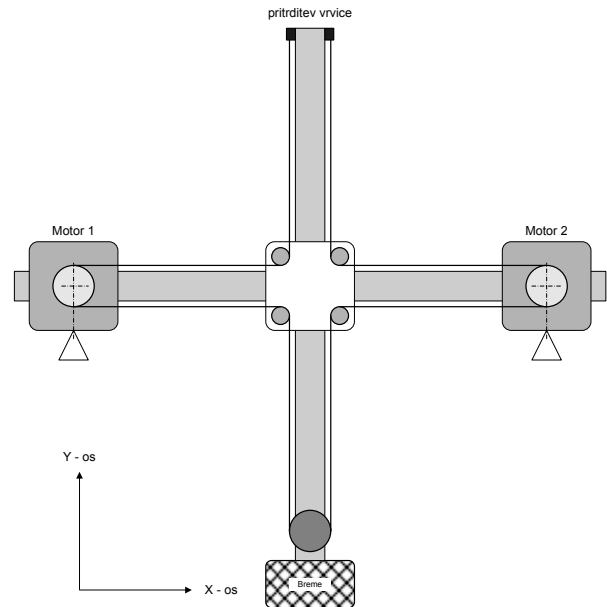
oziroma pri $r_1 = r_2 = r$ je

$$x = \pi r (\varphi_1 + \varphi_2)$$

$$y = \pi r (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Položaj vrha mehanizma je v X osi torej odvisen od vsote, v Y osi pa od razlike kotov zasuka obeh motorjev. Za doseganje optimalnih dinamičnih lastnosti smo uporabili kriterij, naj bosta vztrajnostna momenta bremena in motorja enaka:

$$J_L = J_M = J$$



Slika 2: konstrukcija pogona

Iz izraza za $J_L = mr^2$ in podatka za $J_m = 1.8 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$ lahko določimo optimalno prestavno razmerje z izbiro premera jermenice za pogonsko vrvico:

$$r = \sqrt{\frac{J}{m}}$$

Za pogon so izbrani kakovostni enosmerni servomotorji ESCAP 28 D2R, katerih osnovne značilnosti so rotor brez železnega jedra, dvojno kroglično vleženje, srebrne kovinske ščetke in prigraven pulzni inkrementalni dajalnik. Vse te specifične konstrukcijske značilnosti dajo v povezavi z miniaturno izvedbo ($\phi=28\text{mm}$) naslednje električne in mehanske lastnosti:

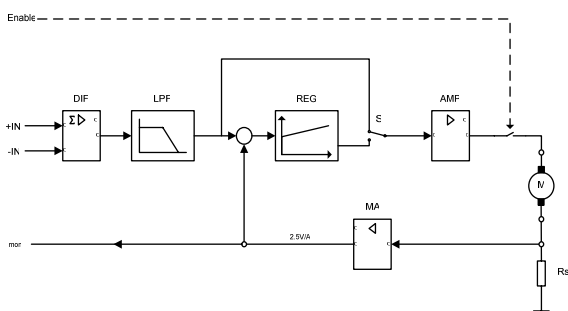
- $L_a=0.3\text{mH}$ ($T_{el}=120 \mu\text{s}$)
- $R_a=2.5\Omega$
- $B=1.4 \times 10^{-6} \text{ Nms/rad}$ ($T_{meh}=12\text{ms}$)
- $J=1.76 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$
- $I_n/I_{max}=1.5\text{A}/8\text{A}$
- $M_n/M_{max}=29 / 140\text{mNm}$
- $N_{max}=5800 \text{ RPM}$

Motor ima zaradi izredno majhnih vrednosti električne in mehanske časovne konstante ustrezno hitre odzive.

Posebej za ta motor smo v Laboratoriju za robotiko razvili tudi namenski servojačevalnik. Blokovna shema na sliki 3 prikazuje notranjo zgradbo motorskega servopogona.

Modul omogoča delovanja v enem od treh načinov:

- regulator toka oz. vodenje po navoru, ($G=0.2A/V$),
- napetostno krmiljenje ($A=1.2$),
- napetostno krmiljenje z IR kompenzacijo ($U_o=A.U_i+k.I$), [4].



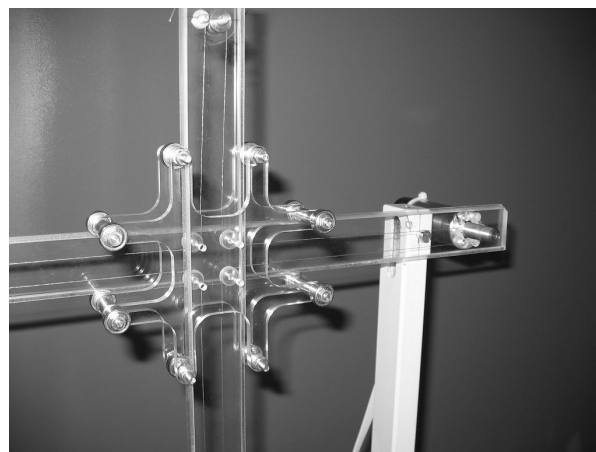
Slika 3: Blokovna shema servopogona

Modul ima diferenčno vhodno stopnjo z dodanim nastavljivim nizkopropustnim sitom. Za regulacijo toka je uporabljen PI regulator in tokovni merilnik. Na voljo je tudi izhod s signalom dejanske vrednosti toka motorja (napetostni signal $2.5V/A$). Vezje ima tudi krmilni vhod Enable, s katerim se z logičnim signalom aktivira, oziroma sprosti delovanje celotnega pogona.

Celotno vezje je realizirano v analogni tehniki, kar zagotavlja, da tok, oziroma generiran navor izredno dobro sledi referenčni vrednosti.

Tudi za vodenje tega mehanizma smo v fazi testiranja uporabili industrijski krmilnik gibanja TRIO MC206 [3]. Ta krmilnik omogoča izbiro kinematičnih transformacij za

različne tipe mehanizmov, med njimi je tudi diferenčno vodenje dvoosnega sistema, kot je to potrebno v našem primeru. Z uporabo te transformacije je možno vodenje neposredno po x-y koordinatnem sistemu.



Slika 4: konstrukcija diferenčno gnanega mehanizma

Lastnosti naprave:

Dimenzije	800x1300x100 mm
Masa naprave	5kg
Delovna površina	500x500mm
Delovna hitrost	2000mm/s
Delovna sila	10N / 20N (maks.)
Ločljivost meritve položaja	0.05mm

Načrtovanje in izdelava prototipa sta bila zahtevna v detajlih, kot so npr. elastični križni nosilec in elementi pogona z vrvico. Dobre lastnosti vrvice (majhna elastičnost, velike obremenitve) so ključnega pomena za delovanje pogona. Uporabljena je vrvica iz materiala *Dyneema*, to so sintetična vlakna, katerih osnova je "ultra high molecular weight polyethylene". Z natezno trdnostjo, 15-krat višjo od jekla in 40% višjo od kevlarja, je takšna vrvica idealna za pogon našega mehanizma.

Prototip mehanizma je izdelan iz akrila ("pleksi stekla", oziroma natančneje liti polimetilmetakrilat). Ta material ima sicer relativno slabe lastnosti v smislu

strojogradnje, predvsem slabo razmerje med trdnostjo in težo, vendar je zelo primeren za obdelavo. Zlasti osrednji križni nosilec in nosilec Y-osi, ki sta edina premična dela, bi bilo potrebno še dodatno optimirati glede teže in togosti.

5 Sklep

Oba koordinatna mehanizma sta se pokazala kot zelo uporabna v pedagoškem procesu.

Dvoosni aktivni mehanizem kot učilo pri predmetih s področja regulacij in robotike uporabljamo že nekaj let. V tem času smo napravo spreminjali in dopolnjevali, tako, da sistem ustreza našim potrebam. Poleg študija regulacij in vodenja elektromehanskih sistemov, napravo uporabljamo tudi za demonstracijo delovanja CAD-CAM sistema. Poglavitne značilnosti naprave so hitro in relativno natančno pozicioniranje, univerzalna in prilagodljiva zasnova in sorodnost gradnje s komercialnimi sistemi, zaradi česar služi tudi kot zgled kompleksnega mehatronskega izdelka.

Diferenčno gnani mehanizem je bil načrtovan tako, da so izražene zelo dobre dinamične lastnosti mehanizma. Zaradi majhne in lahke konstrukcije sistem omogoča delo na laboratorijski mizi, pri tem pa zaradi majhnih pogonskih sil zagotavlja dovolj varnosti tudi pri možnosti neposrednega dotika z roko. Naprava je trenutno še v fazi preizkušanja, saj želimo nekatere tehnične podrobnosti še izboljšati.

Preizkušena je bila tudi zamenjava zaprtega industrijskega krmilnika gibanja z odprtim, v laboratoriju razvitim sistemom [5]. Pedagoško učilo DSP-2 se programira v C programskem jeziku ali v programu Matlab/Simulink, za katerega ima tudi ustrezno programsko podporo. Za DSP-2 je bila izdelana posebna knjižnica diskretnih programskih blokov. Z njimi je mogoče sestavljanje poljubnih krmilnih in regulacijskih shem tudi brez poznavanja programskih jezikov. Velika prednost tega sistema je možnost izvajanja simulacije in eksperimenta z istim računalnikom. Z majhnimi spremembami v shemah Matlab/Simulink je možno tudi vodenje samega mehanizma.

6 Literatura

[1] predmet Robotika II, opis na spletni strani:

www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/robotika_2/program.html

[2] M. Španer, Dvoosni mehanizem SCARA, opis učila, spletna stran:

www.ro.feri.uni-mb.si/~marijan/SCARA/SCARA.htm

[3] Opis krmilnikov gibanja TRIO, spletna stran:

www.triomotion.com

[4] Dvoosni aktivni mehanizem, opis učila, spletna stran:

www.ro.feri.uni-mb.si/~marijan/SCARA/SCARA.htm

[5] Opis sistema DSP-2 na spletni strani:

www.ro.feri.uni-mb.si/projekti/dsp2/index1.htm