

Regulacija krogle na plošči s pomočjo zaslona, občutljivega na dotik

Jernej KOLBL, Andrej SARJAŠ, Rajko SVEČKO

Izvleček: Članek govori o regulaciji krogle na plošči s pomočjo zaslona, občutljivega na dotik. Regulacija je implementirana na mikrokrmilniku, s katerim krmilimo dva servomotorja, ki skrbita za nagib plošče v dveh smereh. Na plošči imamo zaslon, občutljiv na dotik, s pomočjo katerega odčitavamo položaj krogle, ki jo reguliramo v točno določeni točki.

V članku je predstavljen postopek modeliranja sistema, načrtovanja regulatorja in programiranja vseh potrebnih segmentov za delovanje na končnem fizičnem modelu. Predstavljeni so tudi rezultati opravljenih končnih testiranj in možne izboljšave.

Ključne besede: mikrokrmilnik, servomotor, zaslon, občutljiv na dotik, regulacija, modeliranje in identifikacija

■ 1 Uvod

Na Inštitutu za avtomatiko so se odločili, da bi bilo zanimivo izdelati in predstaviti večvariabilni nelinearni regulacijski problem. Tak problem predstavlja regulacija krogle na plošči. Predstavljeno delo zajema področje matematičnega modeliranja in identifikacije sistemov, načrtovanja regulatorjev, programiranja mikrokrmilnikov in izdelave fizičnega modela za dani problem. Tako pridemo do našega cilja, ki predstavlja dvodimenzionalno pozicioniranje prosto se gibajoče krogle v dani referenčni točki na plošči.

Končni model nam tako lahko služi za interaktivno in zanimivo predstavitev delovanja inštituta širši

Jernej Kolbl, dipl. inž. elektrotehnike (UN), doc. dr. Andrej Sarjaš, izr. prof. dr. Rajko Svečko, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor

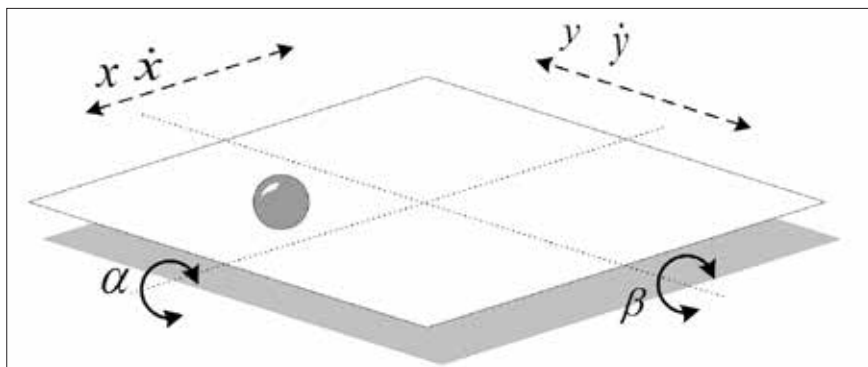
javnosti kakor tudi za predstavitve reševanja problema z mikrokrmilniki in drugimi sodobnimi napravami ter tehnologijo. Model lahko opazovalce popelje v svet elektrotehnike in jih motivira (predvsem sedanje in bodoče študente) za študij.

Za izdelavo je bilo potrebno dobro preučiti problem, načrtati in izdelati fizični model sistema in ga matematično modelirati. Ko smo imeli matematični model sistema, smo morali načrtati primeren algoritem vodenja krogle na plošči. Fizični model vsebuje digitalne servomotorje, s katerimi je moč spreminjati horizontalni naklon vpete plošče v obeh pravokotnih oseh. Oba motorja sta vodena z mikrokrmilnikom, na katerem je implementiran regulator. Da regulator lahko deluje, moramo poznati položaj krogle, za kar smo uporabili uporovno folijo, občutljivo na dotik. V tem se ta projekt razlikuje od drugih že poznanih rešitev, ki za določanje položaja krogle uporabljajo kamero, ki je pritrjena nad nagibajočo se ploščo.

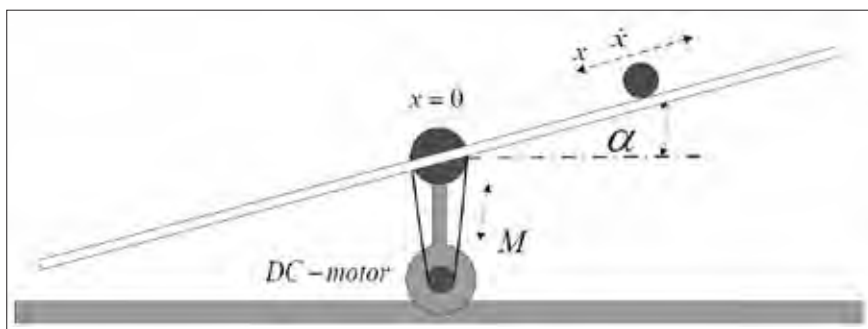
■ 2 Predstavitev sistema

Naš problem regulacije krogle na plošči predstavlja multivariabilni nelinearni regulacijski problem. Za izvedbo potrebujemo vpeto ploščo, katere horizontalni naklon se lahko spreminja v obeh pravokotnih oseh. Naklon plošče lahko spreminjamo s servomotorjema, ki sta vpeta pod rotirajočo se ploščo, ki sta vodena z mikrokrmilnikom, na katerem je implementiran regulator. Za odčitavanje položaja krogle na plošči pa smo uporabili folijo, občutljivo na dotik.

Rešenih sistemov je zaradi zanimivosti in obsežnosti znanja, ki ga potrebujemo za izvedbo, na svetovnem spletu veliko. Vendar so večinoma izvedeni s kamero, s pomočjo katere odčitavajo položaj krogle. Za tak primer rešitve se zahteva, da sta podloga in krogla različnih barv, saj drugače kamera ne more odčitati položaja krogle. Kljub temu pa še prihaja do napak pri odčitavanju, saj moramo pri kameri upoštevati naklon plošče ter odčitano vrednost krogle, da dobimo natančen položaj krogle. Pri našem sistemu se izognemo tema



Slika 1. Skica sistema



Slika 2. Primer balansiranja krogle na vodilu

dvema težavama, saj se folija, občutljiva na dotik, premika skupaj z vpeto ploščo in tako dobimo točen položaj krogle na plošči. Prav tako ni pomembno, kakšne barve sta krogla in plošča. Pojavi pa se nova omejitev, ki določa minimalno težo krogle. Krogla mora biti namreč dovolj težka, da lahko s folijo, občutljivo na dotik, zaznamo njen položaj.

3 Matematično modeliranje sistema

Na začetku smo morali naš sistem matematično modelirati, da smo lahko pričeli z načrtovanjem algoritma za vodenje. Za to obstaja veliko različnih postopkov in pristopov k modeliranju, kot so na primer linearizacija modelov, metode analogij in metoda ravnotežnih zakonov. Mi smo za modeliranje uporabili enačbe italijansko-francoskega matematika in astronoma Josepha Louisa Lagrangea. Leta 1788 je namreč predstavil koncept enačb za klasično mehaniko, ki nam omogočajo dobiti matematične modele mehanskih sistemov s pomočjo energijskih konceptov. Nov koncept enačb je bil potreben za raziskovanje mehanike v alternativnih koordi-

natnih sistemih, za kar Newtonova mehanika ni bila primerna. Lagrangeove enačbe so zapisane v obliki posplošenih koordinat, ki jih lahko brez težav prevedemo v različne koordinatne sisteme. Ta postopek je pogosto uporabljen v robotiki, saj nam olajša modeliranje predvsem v primerih, kadar obstajajo omejitve gibanja. Prav tako lahko z izpeljavo te enačbe dokažemo, da neka relacija, dobljena z izkušnjami, zares drži. [7]

Lagrangeova enačba se glasi [6]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial \dot{x}} = \sum F \quad (1)$$

L – Lagrange
 x – položaj
 P – sile trenja, ki delujejo v nasprotni smeri gibanja
 F – zunanje sile, ki delujejo v smeri gibanja

Enačbo (1) pa lahko enostavno zapišemo tudi za navore:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial L}{\partial \alpha} + \frac{\partial P}{\partial \dot{\alpha}} = \sum M \quad (2)$$

L – Lagrange
 α – kot zasuka/nagiba
 P – momenti trenja, ki delujejo v na-

sprotni smeri gibanja
 M – zunanji navori, ki delujejo v smeri gibanja

Lagrangea pa izračunamo po enačbi:

$$L = W_k - W_p \quad (3)$$

W_k – kinetična energija
 W_p – potencialna in prožnostna energija

Modeliranja smo se lotili s pomočjo enačbe (1). Zadevo smo si poenostavili tako, da smo najprej računali sistem krogle na plošči v eni dimenziji (v smeri x), kar je bolj znano kot sistem balansiranja krogle na vodilu (po angleško »ball and beam«). Slednji namreč predstavlja eno os v našem sistemu regulacije krogle na plošči.

Začeli smo z modeliranjem potencialne energije, pri čemer smo si pomagali s shemo razstavljenih sil na klancu in kotnimi funkcijami. [4] Z upoštevanjem krogle kot telesa z maso, ki se giblje zaradi nagiba plošče, samo dobili kinetično energijo. Tukaj smo morali upoštevati vztrajnostni moment krogle zaradi kota-ljenja in nagibanja plošče (kroglica se giba po navidezni krožnici).

Zaradi majhnih izgub samega kota-ljenja krogle in zmogljivih digitalnih servomotorjev smo zanemarili izgube.

$$\left(m_k + \frac{J_k}{r_k^2}\right) \ddot{x} + m_k \cdot g \cdot \sin \alpha = M_x \quad (4)$$

$$(J_p + J_{kr}) \ddot{\alpha} + m_k \cdot g \cdot x \cdot \cos \alpha = M_y \quad (5)$$

M_x – zunanji navor v smeri x

Po linearizaciji, pri kateri smo upoštevali, da imamo relativno majhne kote, smo namesto (4) in (5) zapisali:

$$\left(m_k + \frac{J_k}{r_k^2}\right) \ddot{x} = -m_k \cdot g \cdot \alpha + M_x \quad (6)$$

$$(J_p + J_{kr}) \ddot{\alpha} = -m_k \cdot g \cdot x + M_y \quad (7)$$

m_k – masa krogle [kg]
 J_k – vztrajnostni moment krogle [kg·m²]
 J_p – vztrajnostni moment plošče [kg·m²]

J_{kr} – vztrajnostni moment krogle z maso, ki kroži na razdalji x od izhodišča [kg·m²]

g – težnostni pospešek, za katerega predpostavimo, da je enak 9,81 [m/s²]

x – položaj krogle v smeri x [m]

α – naklon plošče v smeri x [°]

r_k – polmer krogle [m]

M_x, M_y – vhodni navor [Nm]

Z upoštevanjem vztrajnostnih momentov smo lahko povezali (6) in (7) ter dobili enačbi za smer x (analogno velja tudi za smer y):

$$\left(m_k + \frac{2m_k \cdot r_k^2}{5 \cdot r_k^2}\right) \ddot{x} = -m_k \cdot g \cdot \alpha + M_x \quad (8)$$

$$\left(\frac{1}{3}m_p \cdot a^2 + m_k \cdot x^2\right) \ddot{\alpha} = -m_k \cdot g \cdot x + M_y \quad (9)$$

m_p – masa plošče [kg]

a – dolžina plošče v smeri x [m]

Enačbe zapišemo v prostoru stanj. [13]

$$\dot{x} = Ax + Bv \quad (10)$$

Sistemska matrika A:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{-m_k g r_k^2}{5 \cdot r_k^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-m_k g}{(J_{px} + J_k)} & 0 & \frac{r_k^2 m_k + J_k}{J_k} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \frac{-m_k g r_k^2}{5 \cdot r_k^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-m_k g}{(J_{py} + J_k)} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Vhodna matrika B:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Vhodna matrika C in D:

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$D = 0$$

Ker za implementacijo na mikrokrmilniku potrebujemo diskretni regulator, smo morali naš model pretvoriti v diskretno obliko. To smo storili z uporabo Z-transformacije, s katero preidemo v Z-prostor, kjer lahko časovno neodvisnim in linearnim sistemom zamenjamo diferencialne enačbe z algebraičnimi enačbami. Za to potrebujemo čas tipanja, ki je v našem primeru 50 ms.

Prenosni funkciji multivariabilnega sistema sta:

$$H_x(z) = \frac{0,001401 \cdot z + 0,001401}{z^2 - 2 \cdot z + 1} \quad (11)$$

$$H_y(z) = \frac{0,001401 \cdot z + 0,001401}{z^2 - 2 \cdot z + 1}$$

S temi enačbami smo se lahko lotili načrtovanja regulatorjev za obe smeri.

4 Načrtovanje regulatorjev

a) PID-regulator

Digitalni PID-regulator je najbolj znan regulator iz analogne regulacijske tehnike. Tako predstavlja klasično orodje v industrijski avtomatizaciji, saj v industriji ti regulatorji še vedno predstavljajo več kot 90-odstotni delež vseh regulatorjev. Njihov razvoj se je začel najprej v pnevmatiki, nato v tranzistoriki tehniki, dandanes jih najdemo implementirane na mikroprocesorjih. Razvoj je omogočil, da lahko kupimo PID-regulatorje kot samostojne enote za regulacijo enega ali več delov sistema, s katerimi je mogoče rešiti mnogo regulacijskih nalog. Mogoče je tudi, da regulacijske zanke s PID-regulatorjem kombiniramo z drugimi regulacijskimi strukturami. [3] [12]

Oblika idealnega regulatorja, ki ga lahko brez težav realiziramo v diskretni obliki:

$$v(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (12)$$

$$v(k) = K_p(e(k) + \frac{T_s}{T_i} \sum e(k) + \frac{T_d}{T_s} (\Delta e(k)))$$

$v(t)$ – izhod regulatorja

K_p – ojačenje regulatorja

$e(t)$ – vhod regulatorja (regulacijsko odstopanje)

T_i – integracijska časovna konstanta

T_d – diferencialna časovna konstanta

T_s – čas tipanja, v našem primeru 50 ms

PID-regulator v Z-prostoru zapiše z enačbo:

$$\frac{z^2 \left(1 + \frac{T_s}{T_i} + \frac{T_d}{T_s}\right) - z \left(1 + \frac{2 \cdot T_d}{T_s}\right) + \frac{T_d}{T_s}}{z(z-1)} \cdot K \quad (13)$$

T_s – čas tipanja, v našem primeru 50 ms [s]

T_d – diferenčni sunek, zvišuje dina-

miko in zmanjšuje stabilnost [s]

T_i – čas integracije, zmanjšuje statično napako in povečuje stabilnost [s]

K – linearno ojačenje

Parametre za PID-regulator smo izračunali s pomočjo programskega orodja MATLAB in SIMULINK, kjer smo simulirali naš model in s pomočjo vgrajene funkcije »pidtool« določili parametre regulatorja.

Pri implementaciji smo uporabili strukturo PID-regulatorja, ki nam ga je ponudilo programsko orodje MATLAB (v Z-prostoru):

$$P + I \cdot T_s \cdot \frac{1}{z-1} + D \cdot \frac{N}{1 + N \cdot T_s \cdot \frac{1}{z-1}} \quad (14)$$

P – koeficient ojačenja

I – koeficient integracije

T_s – čas tipanja

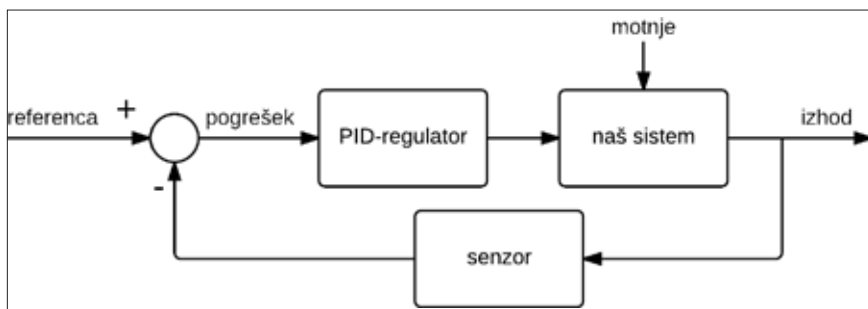
D – diferencialni koeficient

N – koeficient filtra

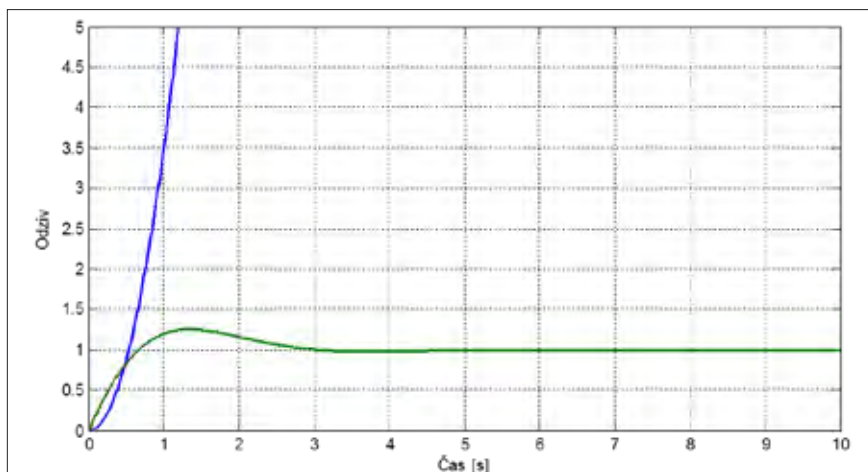
Enačbo (12) smo pretvorili v diferencialno obliko in PID-regulator implementirali na mikrokrmilnik.

b) Polinomska sinteza regulatorja

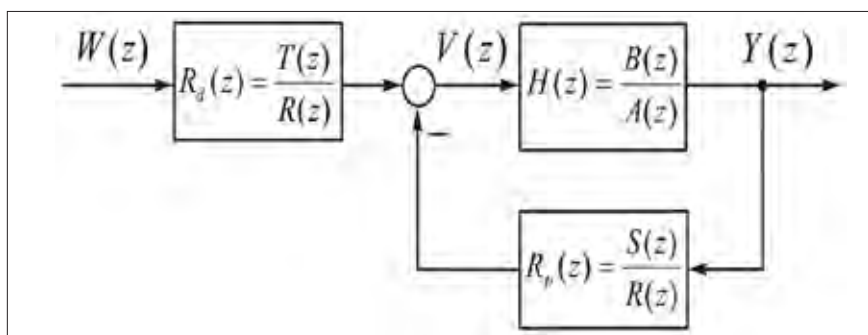
Poglavitni nalogi regulacijskih sistemov sta regulacija (stabilizacija, odpravlja vpliv motenj ter šuma sistema) in sledenje določenim referenčnim vrednostim na vhodu sistema. Katero funkcijo regulator opravlja bolje, je odvisno predvsem od namena aplikacije, vendar pa si želimo, da bi regulator opravljal obe zahtevi čim boljše. Pri strukturah, kot so P, PI, PID, lahko dosežemo obe zahtevi naenkrat z bolj ali manj veliko mero kompromisa, saj z izboljšanjem regulacije očitno poslabšamo sledenje sistema. Vzrok je preprosta struktura prej omenjenih regulatorjev. Regulator s končnim nastavitvenim časom idealno izpolnjuje zahtevi po sledenju in regulaciji, vendar je v večini primerov zelo občutljiv na spremembe parametrov sistema in je zaradi tega manj robusten. Zelo dober kompromis med danih kriterijema lahko dosežemo s strukturo regulatorja z dvema prostostnima stopnjama in transparentnim pristopom načrtovanja. Slednje lahko izvedemo s polinom-



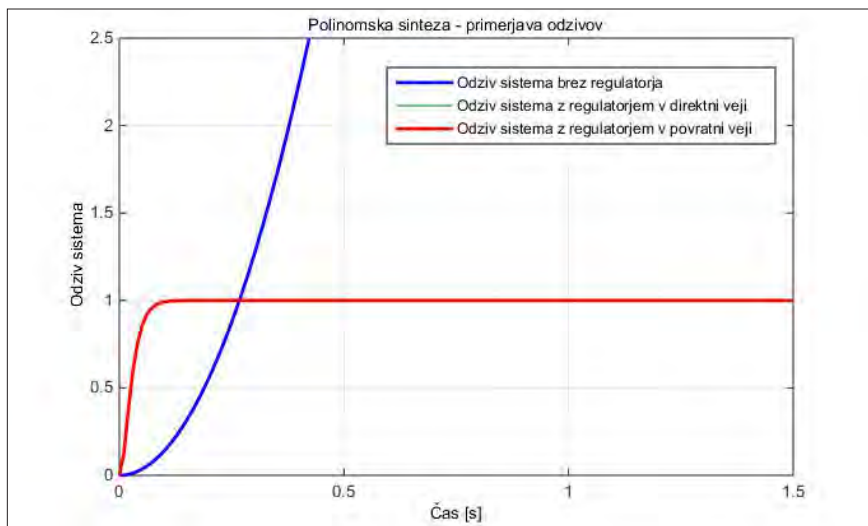
Slika 3. Osnovna shema implementacije PID-regulatorja



Slika 4. Odziv sistema s PID-regulatorjem (zelena) in brez regulatorja (modra) na stopnično vzbujanje



Slika 5. Osnovna struktura regulatorja



Slika 6. Odziv sistema brez regulatorja (modra črta) in z regulatorjem (rdeča črta)

sko sintezo. Polinomska sinteza regulatorja nam omogoča preprosto postavitev zaprtozančnih polov in sočasno omogoča načrtovanje sledenja sistema različnim referenčnim vrednostim.

Polinomske regulatorje tvorita dve sistemski funkciji. To sta sistemski funkcija v direktni veji kot predregulator $R_d(z)$ in sistemski funkcija v povratni veji kot stabilizirajoči regulator $R_p(z)$. [12]

Za izračun regulatorja smo uporabili prenosno funkcijo (10), ki smo jo dobili pri modeliranju sistema. Pomagali smo si tako, da smo predregulator in regulator v direktni veji zapisali s pomočjo novih spremenljivk v taki obliki, kot je razvidno na sliki 5. Na podlagi predstavljene strukture smo zapisali prenosno funkcijo zaprtozančnega sistema:

$$H(z) = \frac{T(z) \cdot B(z)}{A(z) \cdot R(z) + S(z) \cdot B(z)} \quad (15)$$

Za izračun regulatorja smo si morali izbrati ustrezno število polov s primernimi vrednostmi, ki so ustrezale našim zahtevam. S poli smo zapisali polinom $C(z)$ tako, da smo pole med sabo zmnožili. Stopnja polinoma je bila podana z enakostjo:

$$\deg(C(z)) = 2 \cdot \deg(A(z)) - 1 \quad (16)$$

$\deg(x)$ – stopnja polinoma x

Na podlagi določenih zaprtozančnih polov smo izračunali koeficiente $R(z)$ in $S(z)$ s polinomske enačbo (16) – Diofantova enačba.

$$A(z) \cdot R(z) + B(z) \cdot S(z) = C(z) \quad (17)$$

Ker za izračun končnega regulatorja potrebujemo tudi polinom $T(z)$, smo v ta namen zapisali enačbo, ki povezuje želeno vhodno funkcijo z našim odzivom sistema.

$$Y(z) = \frac{B(z) \cdot T(z)}{C(z)} \cdot W(z) \quad (18)$$

Po računanju koeficientov smo prišli do končne oblike regulatorja:

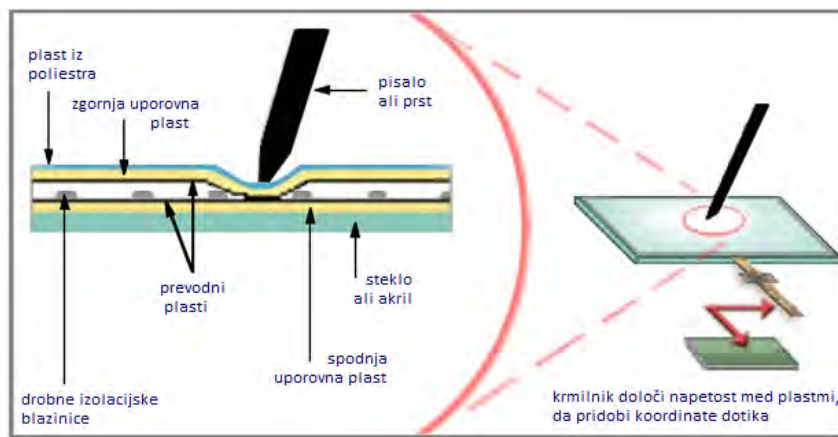
$$R_d(z) = \frac{T(z)}{R(z)} = \frac{89,222 \cdot (z - 0,5)}{z + 0,15625} \quad (19)$$

$$R_p(z) = \frac{S(z)}{R(z)} = \frac{245,36 \cdot z - 200,749}{z + 0,15625} \quad (20)$$

c) Izdelava fizičnega modela

Za celoten sistem smo si morali zamisliti ogrodje, ki bo omogočalo horizontalno nagibanje vpete plošče v obeh pravokotnih smereh. Zahteve za ogrodje so se glasile:

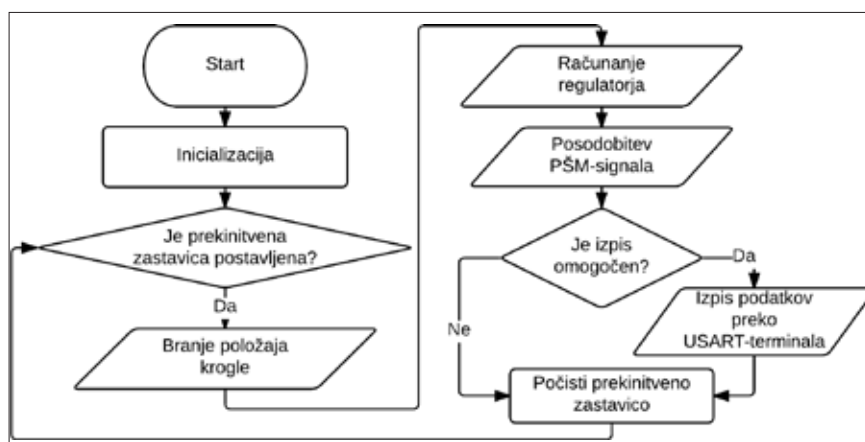
- ogrodje mora biti dovolj lahko, da ga lahko nagibamo s servomotorjema,
- mora biti stabilno,
- mora imeti dober nosilec, na katerega bomo pritrdili naš panel s folijo, občutljivo na dotik,
- preprečiti mora, da bi krogla padla na tla.



Slika 7. Delovanje uporabne folije

Pri večini podobnih projektov se za določanje položaja krogle uporablja kamera, pri kateri pa moramo paziti, da imamo različni barvi podloge in krogle, da kamera slednjo lahko zazna. Pri foliji, občutljivi na dotik, pa smo omejeni le s težo, ki pa v današnjem času ne predstavlja več omejitev, saj so folije, občutljive na dotik, že dovolj natančne in občutljive.

Folija, občutljiva na dotik, se je pojavila konec šestdesetih let in so jo uporabljali predvsem v industrijskih obratih in javnih prostorih (informacijski terminali v muzejih, bankomati itd.). Izpodrinila je tipkovnico in miške tam, kjer je obstajala nevarnost vandalizma ali pa je bila kombinacija miške in tipkovnice prezapletena ali preokorna za upravljanje. Dandanes pa ta tehnologija doživlja množičen razvoj na račun vedno večje priljubljenosti elektronskih naprav. Uporablja se v pametnih telefonih, tabličnih računalnikih, GPS-navigacijah in podobnih napravah. [15] Zaradi hitrega razvoja smo imeli na voljo različne folije, občutljive na dotik. Izbirali smo med folijami, kjer se spreminjajo kapacitivnost, osvetlitev, prevajanje zvočnega valovanja in se spreminja električna upornost. Odločili smo se za slednjo, saj je cenejša in kljub nekaterim slabšim lastnostim glede na kapacitivno folijo povsem zadošča našim zahtevam. Mi smo uporabili folijo, ki ustreza velikosti 19" (palčnih) zaslonov. Panel je zgrajen iz več plasti. Spodnja plast je iz stekla ali akrila in skrbi za trdnost. Nato si sledita uporabna, dve prevodni in še ena uporabna plast. Med



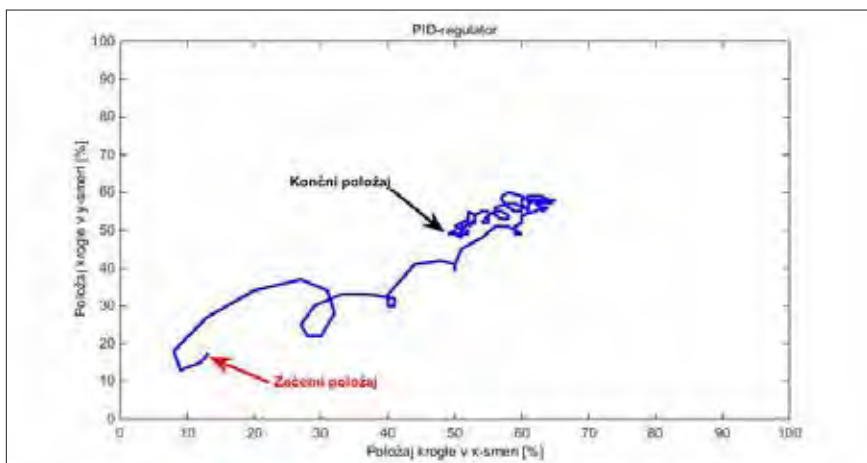
Slika 8. Delovanje programa



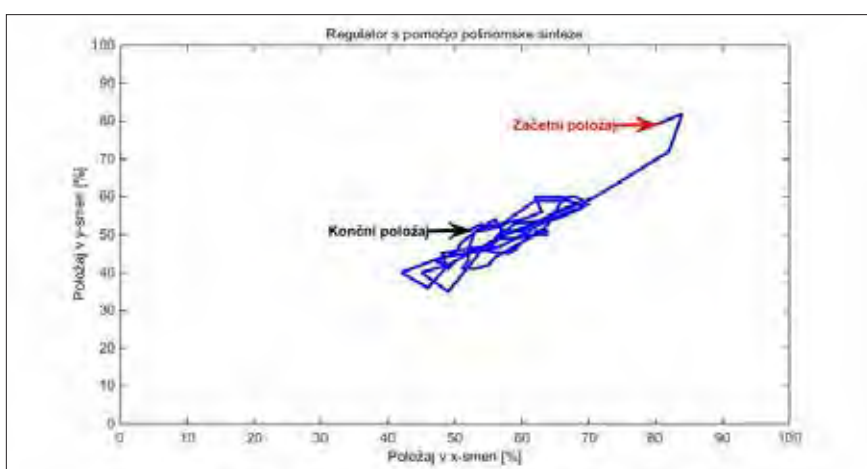
Slika 9. Končni izdelek

prevodnima plastema so drobne izolacijske blazinice, ki služijo za ločitev teh dveh plasti. Po uporabni plasti je nanesa še plast poliestra, ki zaščiti folijo, občutljivo na dotik. S pritiskom na zaslon naredimo na mestu pritiska

stik prevodne in uporabne folije. Z ustreznimi izbranimi povezavami lahko tako odčitamo ustvarjeno upornost v obliki napetosti po Ohmovem zakonu. Tako lahko določimo koordinate dotika v obeh smereh.



Slika 10. Rezultati fizičnega modela s PID-regulatorjem



Slika 11. Rezultati fizičnega modela z regulatorjem, dobljenim s pomočjo polinomske sinteze

Za nagibanje plošče smo uporabili dva digitalna servomotorja SAVOX SC-0251 MG. Taki servomotorji se množično uporabljajo predvsem v modelarstvu za krmiljenje. Zaradi tega so cenovno ugodni, odlikujejo pa jih še majhna teža in odlični navori.

Servomotor ima tri priključke. Za delovanje potrebuje napajalno napetost med 4,8 V in 6 V. Za vodenje motorja priključimo nanj PŠM-signal, s katerim reguliramo kot zasuka servomotorja. Motor je narejen tako, da se lahko obrne le za 180° in omogoča, da s točno določenim PŠM-signalom, dosežemo želeni kot odklona. Če povečamo čas logične enice, se poveča tudi odklon servomotorja. [1]

Vse skupaj smo s pomočjo programskega okolja MikroC PRO for ARM verzije 4.2.0 ustrezno implementirali na razvojno ploščo STM32

F4, ki temelji na visoko zmogljivem procesorju ARM Cortex-M4. Pogajamo ga lahko s 168 MHz, plošča pa nam nudi 1 MB Flash pomnilnika, 192 KB RAM in 100 poljubno nastavljivih pinov.

Tako smo prišli do končne oblike ogrodja in končnega programa.

d) Rezultati

Uspešno smo izdelali fizični model našega sistema in se tako seznanili z vsemi sestavnimi deli. Tako smo spoznali delovanje in uporabo uporovne folije, občutljive na dotik, delovanje in vodenje digitalnih servomotorjev, programiranje mikrokrmilnikov v programskem jeziku C++ ter implementiranje regulatorjev na mikrokrmilnik.

Po testiranju PID-regulatorja na fizičnem modelu našega sistema

smo ugotovili, da je deloval zelo dobro. Implementirali pa smo še regulator, ki smo ga dobili s pomočjo polinomske sinteze. Oba regulatorja sta zadoščala našim zahtevam. Tako smo dosegli naš cilj: regulirati kroglo v točno določeni točki na foliji, občutljivi na dotik.

e) Zaključek

Z izvedbo regulacije smo bili zadovoljni, čeprav bi jo lahko v več pogledih izboljšali. Delovanje bi lahko izboljšali najprej z boljšim matematičnim modelom našega sistema. Pri uporabi folije smo morali paziti na prehitro preklapljanje pinov za izbiro osi branja položaja krogle, saj smo prišli do nelinearnih vrednosti položaja, ki jih nismo mogli uporabiti pri naši regulaciji. Tako smo prišli do različnih zakasnitev (vse skupaj 0,7 ms) pri branju naših analognih vrednosti, ki nam hkrati omejujejo pogostost prekinitvev v programu. Regulacijo bi prav tako lahko bolje izvedli z dodatnimi senzorji nagiba plošče ter servomotorji, ki bi jim lahko spreminjali hitrost obračanja. S takimi nadgradnjami bi lahko implementirali regulator v prostoru stanj, s katerim bi dosegli zelo dobro regulacijo krogle v točno določeni točki in sledenje krogle določeni trajektoriji.

Pri projektu smo se srečevali z več težavami in na koncu prišli do ugotovitve, da je najbolj pomembno dobiti natančen matematični model sistema, saj lahko z njim lažje načrtamo dober regulator.

Viri

- [1] DC MOTOR / SC-0251MG. (7. avgust 2014). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja SAVOX: http://www.savotech.com.tw/english/00_servo/02_detail.php?SID=24.
- [2] Dolinar, D. (2009). Dinamika linearnih sistemov in regulacije. Maribor: Založniška dejavnost FERi.
- [3] Garbrecht, W. F. (1991). Digitale Regelungstechnik – Eine Einführung in die praktische Anwendung. Berlin: vde-verlag gmbh.
- [4] Isermann, R. (1987). Identifika-

- cija dinamičnih sistemov: 1. del. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani.
- [5] Jajčičin, Š. (6. avgust 2014). Center of modern Control Techniques and Industrial Informatics. Pridobljeno iz Ball & Plate Kyb: <http://kyb.fei.tuke.sk/lab/en/modely/gnk.php>.
- [6] Karba, R. (1999). Modeliranje procesov. Ljubljana: Založba FE in FRI.
- [7] Lagrangian. (6. avgust 2014). Pridobljeno iz Wikipedia: The Free Encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lagrangian>.
- [8] mikroC PRO for ARM. (11. avgust 2014). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja MikroElektronika: <http://www.mikroe.com/mikroc/arm/>.
- [9] Sarjaš, A., Chowdhury, A., & Svečko, R. (2007). Nelinearni sistemi vodenja: Zbirka vaj. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor.
- [10] STM32F4DISCOVERY. (11. avgust 2014). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja ST: <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419>.
- [11] STMICROELECTRONICS - STM32F4DISCOVERY. (11. avgust 2014). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja Farnell: <http://si.farnell.com/stmicroelectronics/stm32f4discovery/stm32f407-usb-otg-discovery-kit/dp/2009276>.
- [12] Svečko, R. (2003). Diskretni regulacijski sistemi. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor.
- [13] Svečko, R. (2005). Teorija sistemov. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Maribor.
- [14] ToTeam. (7. avgust 2014). Pridobljeno iz spletno mesto družbe ToTeam: <http://toteam.co.il/document/64,0,6.aspx>.
- [15] Zaslon na dotik. (7. avgust 2014). Pridobljeno iz Wikipedia, prosta enciklopedija: https://sl.wikipedia.org/wiki/Zaslon_na_dotik.

Ball on the plate control system with touch panel

Abstract: This article is about the ball on the plate control system with touch panel. The control algorithm is implemented on a microcontroller with which we guide two servomotors that are responsible for the tilt of the plate in two directions. On the plate, we have a touch panel which is used to measure the position of the ball that is guided in the specific plate location. The article presents the mathematical modelling of the system, different controller design strategies and all additional necessary segments for a real time operation. Finally, the results of the controller operation in real time are presented.

Keywords: microcontroller, servomotor, touch panel, regulation, modelling and identification



Aseptični dan GIA 29.09.2015

Vabimo vas, da se udeležite brezplačnega izobraževanja »Aseptični dan GIA 2015«. Na predavanjih se bo predstavil tudi naš partner SED Flow Control iz Nemčije, ki je proizvajalec opreme, kot so membranski ventili, poševno-sedežni ventili, rotometri, itd.



Predavanje se bo pričelo ob 9:00 uri z organizirano malico. Predviden zaključek predavanja je ob 14:30 uri.

Program predavanja:

- Kratka predstavitev
- Predstavitev podjetja SED (zgodovina podjetja) s prodajnim asortimanom
- Specifične lastnosti proizvodov
- Karakteristike produktov in aplikacij
- Razlaga CDSA zasnove, EHEDG
- Večpotni ventili: optimizacija teže, energetska učinkovitost, simulacija pretoka
- Procesni → P & ID → rešitve
- Zamenjava membran



Predavanje bo potekalo v poslovnih prostorih podjetja GIA-S d.o.o., na naslovu Industrijska cesta 1K, Grosuplje. Predavanje bo potekalo v angleškem jeziku.

Prijave na izobraževanje sprejemamo do 14.09.2015 na e-mail naslov industrija@gia.si. Pohitite s prijavo, saj je število mest na predavanju omejeno.

Veselimo se vašega obiska!



GIA-S Industrijska oprema d.o.o.
Industrijska cesta 1K,
1290 Grosuplje

Telefon: +386 1 7865 300
Telefaks: +386 1 7865 568
info@gia.si, www.giaflex.com