

Modeliranje Segway-a

Vukašin Andrijašević RA1/2022, Miloš Herceg RA2/2022,
Papp Tamás RA4/2022, Aleksa Doroslovac RA9/2022

12. jun 2024.

Sadržaj

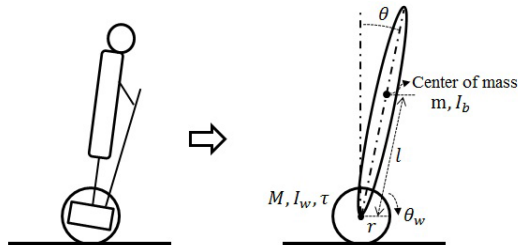
1	Uvod	2
2	Održavanje ravnoteže vozila	2
2.1	Prikaz sistema blok dijagramom	2
3	Uređaji/Hardver	4
3.1	Elektromotor	4
3.2	IMU - Inertial Measurement Unit	4
4	Fizičke veličine upravljanja	4
5	Linearizacija modela	4
6	Matlab implementacija	5
7	Parametri PD regulatora	6
8	Faza kašnjenja	9
9	Literatura	10

1 Uvod

Segway električno vozilo na dva točka. Točkovi su postavljeni levo i desno od centra ravnoteže, što omogućava okretanje bez pomeranja. Sa druge strane, isto to ga čini nestabilnim prilikom naginjanja napred i nazad. Korisnik bi uz dovoljno vežbe mogao da vozi Segway "ručno", to jest, da kontroliše oba točka individualno. Međutim, moguće je znatno olakšati upotrebu Segway-a primenom automatske stabilizacije.



(a) Običan segway



(b) Fizička reprezentacija segwaya

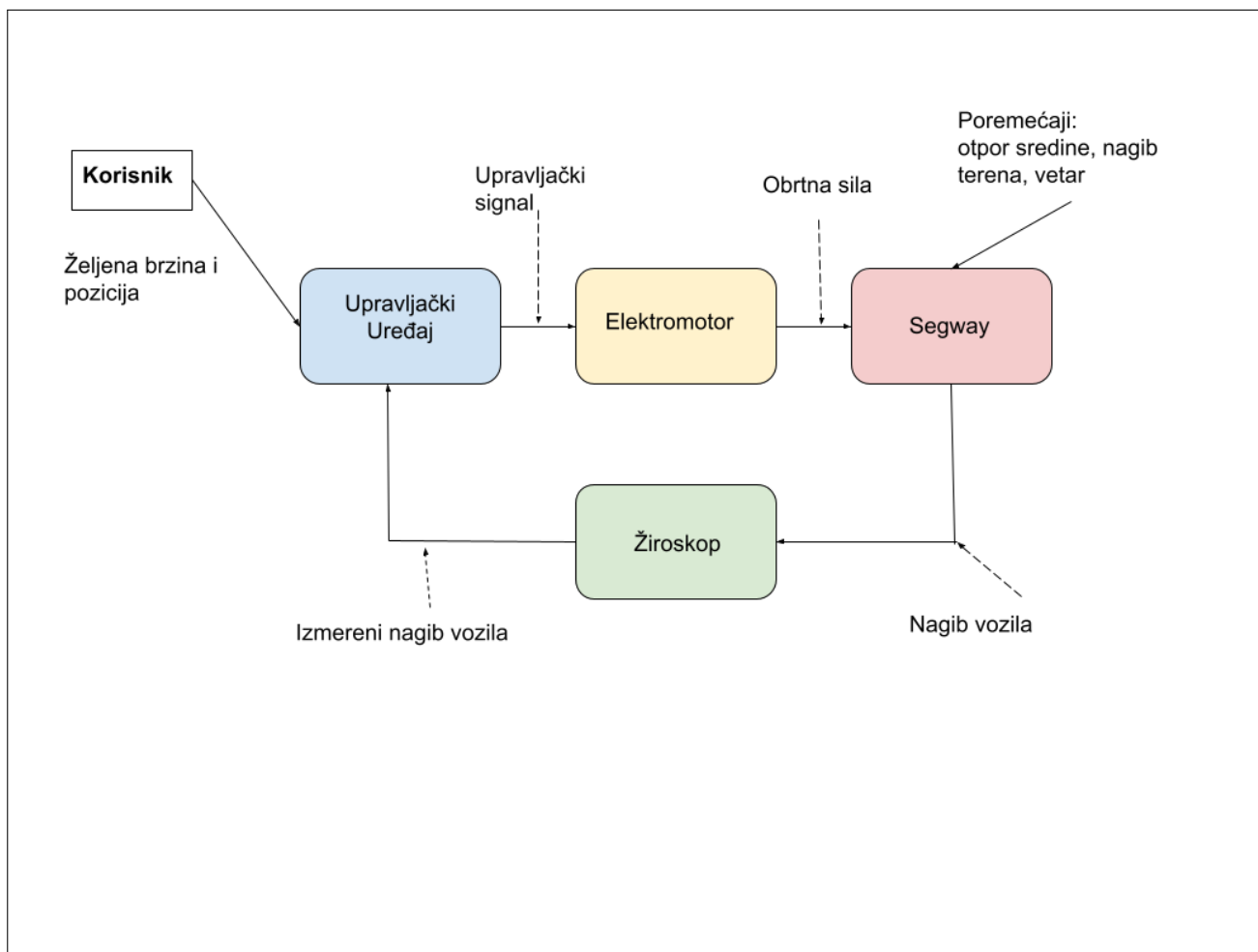
2 Održavanje ravnoteže vozila

Cilj upravljačkog uređaja je da održi Segway u vertikalnom stanju. Nalik balansiranju olovke na vrhu prsta, upravljački uređaj treba da pomera Segway tako da se uvek nalazi ispod korisnika. Sistem treba da održava svoje željene vrednosti u različitim situacijama (prilikom promene nagiba puta, skretanje sa vozilom, menjane pravac i brzine vetra). Za razliku od vozila koja su stabilna duž glavne ose (npr. automobil, motor, tricikl), gde korisnik kontroliše motor direktno ili kroz neki upravljački uređaj, kod Segway-a je motor rezervisan za održavanje ravnoteže. Korisniku iz očiglednih razloga nije dozvoljeno da pokrene Segway u rikverc dok je, na primer, nagnut napred. Uprkos tome, korisnik može da kontroliše kretanje Segway-a tako što ga namerno gurne van ravnoteže, što će upravljački uređaj pokušati da ispravi i kao rezultat Segway će samostalno krenuti ka napred, sve dok se ne stabilise. Korisnik samo treba da drži Segway van ravnoteže da bi ostvario kretanje.

2.1 Prikaz sistema blok dijagramom

Kontrolni sistem održava ravnotežu Segway-a i upravlja njegovim elektromotorima. Elementi kontrolnog sistema:

- Korisnik - kontroliše Segway koristeći volan i fizičkim naginjanjem vozila.
- IMU - meri nagib Segway-a.
- Izmereni nagib vozila - signal koji se dobija od IMU-a.
- Upravljački uređaj - obrađuje signal od žiroskopa i upravljački signal od korisnika da bi izračunao obrtni moment koji se mora primeniti na elektromotor.
- Elektromotor - pokreće Segway.
- Obrtna sila - sila koja se primenjuje na točkove Segway-a da bi se održala ravnoteža.
- Poremećaji - faktori koji mogu uticati na kretanje Segway-a, kao što su otpor sredine, nagib terena i vetar.



Slika 2: Osnovni kolo SAU za segway

3 Uređaji/Hardver

3.1 Elektromotor

Elektromotor u Segway-u koristi elektromagnetske principe za generisanje pokreta. Sastoji se od fiksnih magneta ili elektromagneta koji stvaraju stalno magnetsko polje (statorsko polje) i rotirajućeg dela (rotora) koji sadrži namotaje. Kada struja prolazi kroz namotaje rotora, oni postaju privremeni elektromagneti koji interagiraju s magnetskim poljem statorskog polja, stvarajući silu koja uzrokuje rotaciju rotora. Smer struje se periodično menja kako bi se osigurala rotacija, a brzina rotacije motora se kontroliše menjanjem intenziteta struje. Elektromotori su efikasni, tihi i pružaju preciznu kontrolu, što ih čini idealnim za primenu u vozilima kao što je Segway.

3.2 IMU - Inertial Measurement Unit

IMU je sensor koji koristi kombinaciju žiroskopa i akcelerometra za merenje ugaone brzine i ubrzanja uređaja u prostoru. Daljom obradom tih podataka (metodom sensor fusion) se može izračunati pravac gravitacione sile u odnosu na uređaj. Žiroskop je senzor koji se koristi za merenje ugaone brzine uređaja. Ključni princip rada žiroskopa se zasniva na principu očuvanja momenta impulsa. Žiroskop meri uticaj rotacije, tj. centripetalne sile, na telo poznatih karakteristika i time izračunava ugaonu brzinu. Akcelerometar je senzor koji se koristi za merenje ubrzanja koje deluju na uređaj. Slično radu žiroskopa, ovaj sensor meri uticaj ubrzanja i gravitacione sile na telo poznatih karakteristika i tako izračunava ubrzanje uređaja.

4 Fizičke veličine upravljanja

Sistemom za upravljanje elektromotora na Segway upravlja više fizičkih veličina. Direktno upravlja snagom elektromotora što utiče na brzinu vozila. Posledica upravljanja snagom elektromotora se ispoljava na drugim delovima sistema:

- Nagib koji IMU meri
- Struju koju elektromotor zahteva ($Amperi[A]$)
- Snaga koja je potrebna za brzinu ($Watt[W]$)

5 Linearizacija modela

m - masa ručke

M - masa postolja (točkova)

R - poluprečnik točkova

I_w i I_r - momenti inercije

l - dužina ručke

g - gravitaciono ubrzanje

T - moment kojim se deluje na točkove

KT - moment kojim se deluje na ručku

$$((M + m)R + \frac{I_w}{R})x'' + mL R \cos(\theta)\theta'' = T + Ml R \sin(\theta)(\theta)'^2$$

$$ml\cos(\theta)x'' + (I_r + ml^2)\theta'' = mgl\sin(\theta) - KT$$

$$X_1 = \theta \quad X_2 = \theta' \quad X_3 = x \quad X_4 = x'$$

$$\Delta x' = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} \quad \Delta x = \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta x_3 \\ \Delta x_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta x' = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-(I_w + (M+m)R^2)mgl}{m^2l^2R - (I_w + (M+m)R^2)(I_r + ml^2)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{m^2l^2Rg}{m^2l^2R^2 - (I_w + (M+m)R^2)(I_r + ml^2)} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Delta x + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{mlR + (I_w + (M+m)R^2)K}{m^2l^2R^2 - (I_w + (M+m)R^2)(I_r + ml^2)} \\ 0 \\ \frac{R(I_r + ml^2) + mlR^2K}{m^2l^2R^2 - (I_w + (M+m)R^2)(I_r + ml^2)} \end{bmatrix} [\Delta T]$$

6 Matlab implementacija

```

clc
m = 85; % masa rucke
M = 3.5; % masa tockova
R = 0.1; % poluprecnik tockova
Iw = 0.1; % moment inercije tockova
Ir = 70; % moment inercije rucke
l = 1.7; % duzina rucke
g = 9.81;
%T = 0; % moment na tockovima
K = 1;

%% %% kobasice
%
k1 = (M + m) * R + Iw/R;
k2 = m*l*R;
k3 = m*l;
k4 = Ir + m*l*l;
k5 = m*l*g;
k6 = m*l*R;

%% Matrice linearna
% x1= teta
% x2= dteta
% x3= x
% x4= dx

Im = Iw + (M+m)*R*R;
I = Ir + m*l*l;

A = [0, 1, 0, 0; k5*k1/(k4*k1 - k2*k3),
      0, 0, 0; 0, 0, 0, 1; -k2*k5/(k4*k1 - k2*k3), 0, 0, 0];
B = [0; (-K*k1 - k3)/(k4*k1 - k2*k3);
      0; 1/k1 + ((K*k1+k3)/(k4*k1-k2*k3))*(k2/k1)];
C = [1, 0, 0, 0; 0, 1, 0, 0; 0, 0, 1, 0; 0, 0, 0, 1];

D = 0;

```

```

%% PID Koeficienti

P=[-1,-1,-1,-1];
PDreg_acker=acker(A,B,P);

PD_teta=PDreg_acker(1)
PD_dteta=PDreg_acker(2)

PD_x=PDreg_acker(3)
PD_dX=PDreg_acker(4)

%% Kod za 4. domaci

sys=ss(A,B,C,D);
G=tf(sys);
W=PDreg_acker*G;

W=minreal(W,1e-3)

nyquist(W);
% PhaseMargin[deg]*pi/180[deg]/frequency[rad/s]=0.166[s]

```

7 Parametri PD regulatora

Koeficijenti PD regulatora smo računali $acker(A,B,P)$ koja za A i B matrice i dodatnog vektora P za polove vraća sve koeficijente regulatora

```

%% PID Koeficienti

P=[-1,-1,-1,-1];
PDreg_acker=acker(A,B,P);

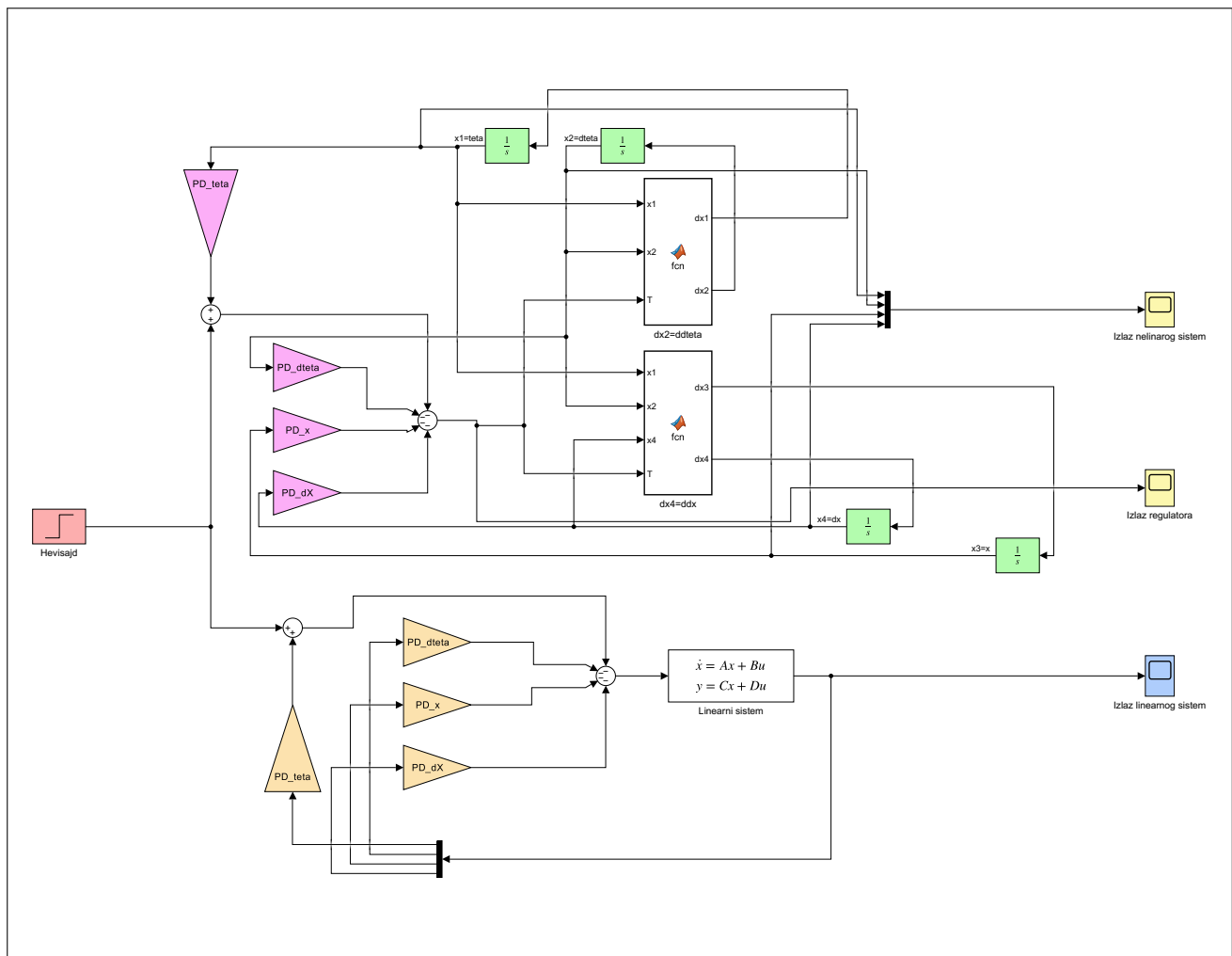
PD_teta=PDreg_acker(1)
PD_dteta=PDreg_acker(2)

PD_x=PDreg_acker(3)
PD_dX=PDreg_acker(4)

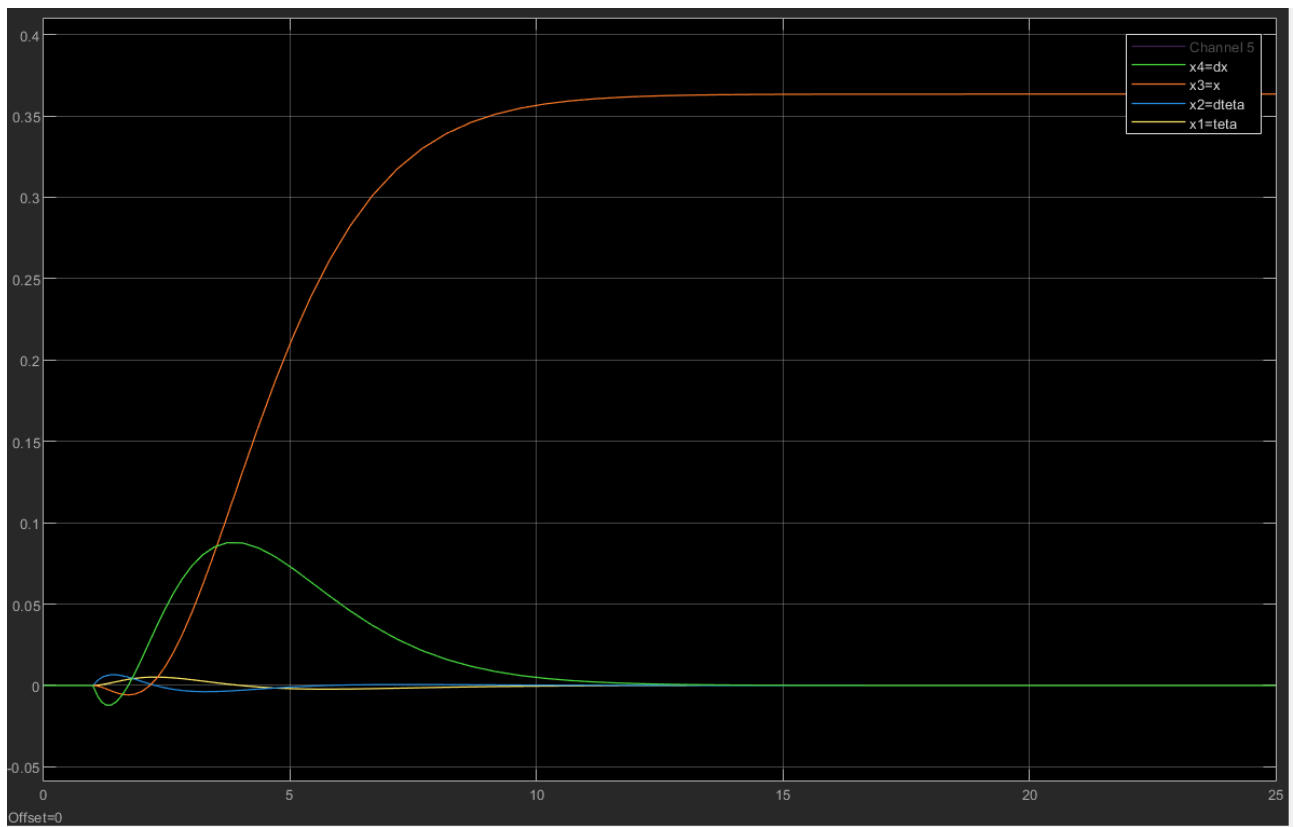
```

Naši koeficijenti su:

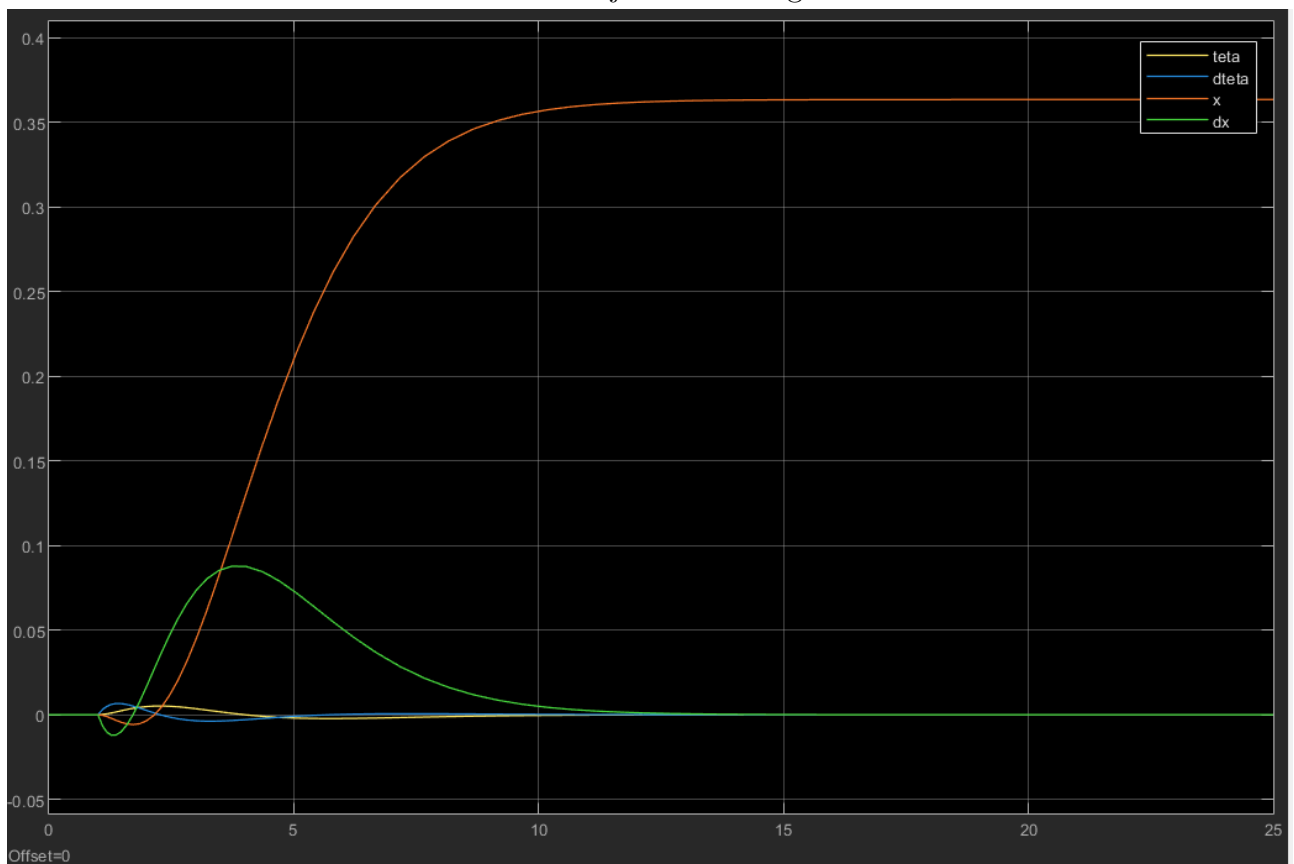
$PD_{teta} = -131.6966$ $PD_{dteta} = -32.6249$ $PD_x = -0.7203$ $PD_{dx} = -2.8814$



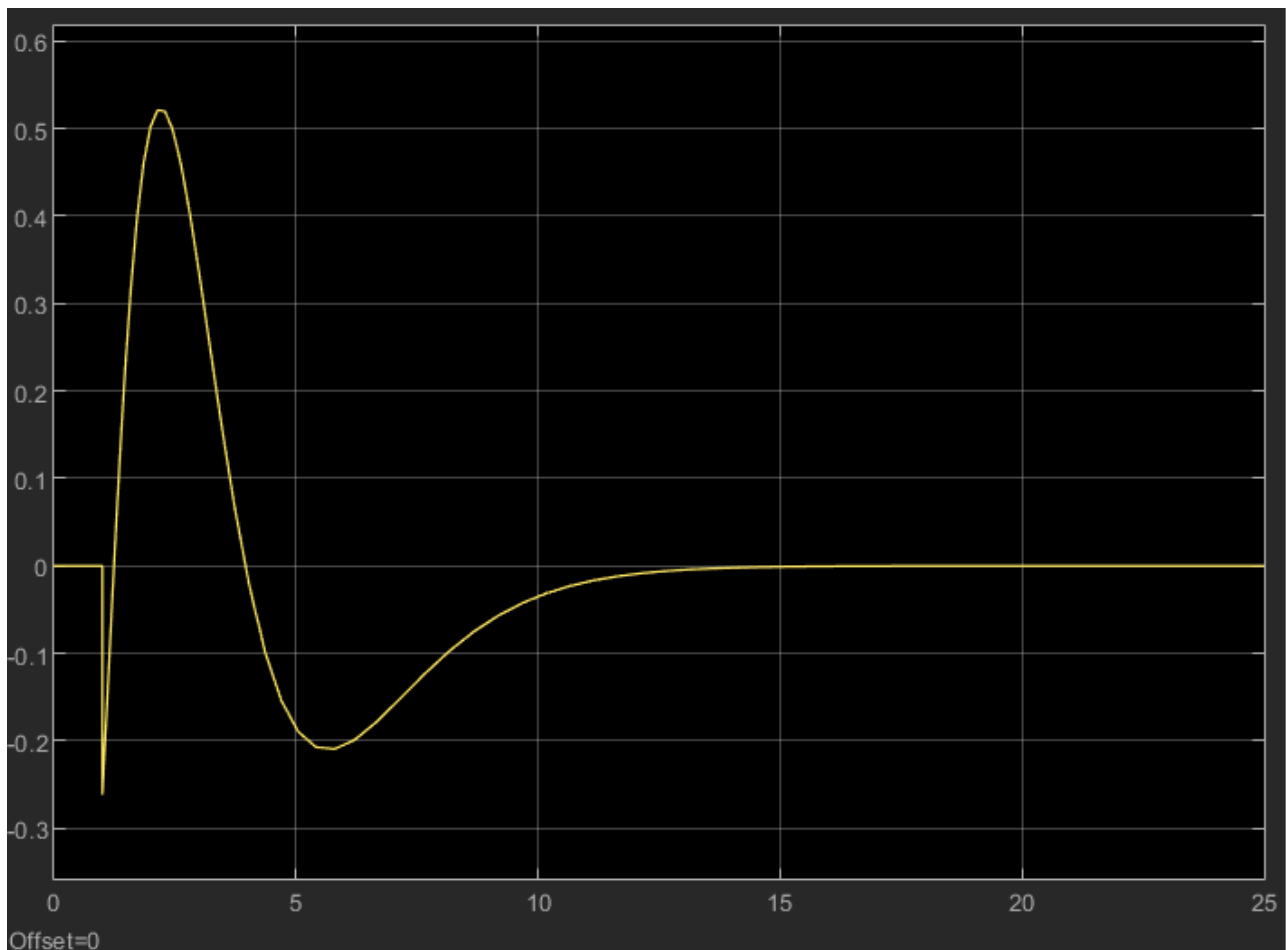
Slika 3: Simulink implementacija segwaya i PD regulatora



Slika 4: Simulacija nelinearnog sistema



Slika 5: Simulacija linearnog sistema



Slika 6: Kontrolni signal PD regulatora kod nelinearnog sistema

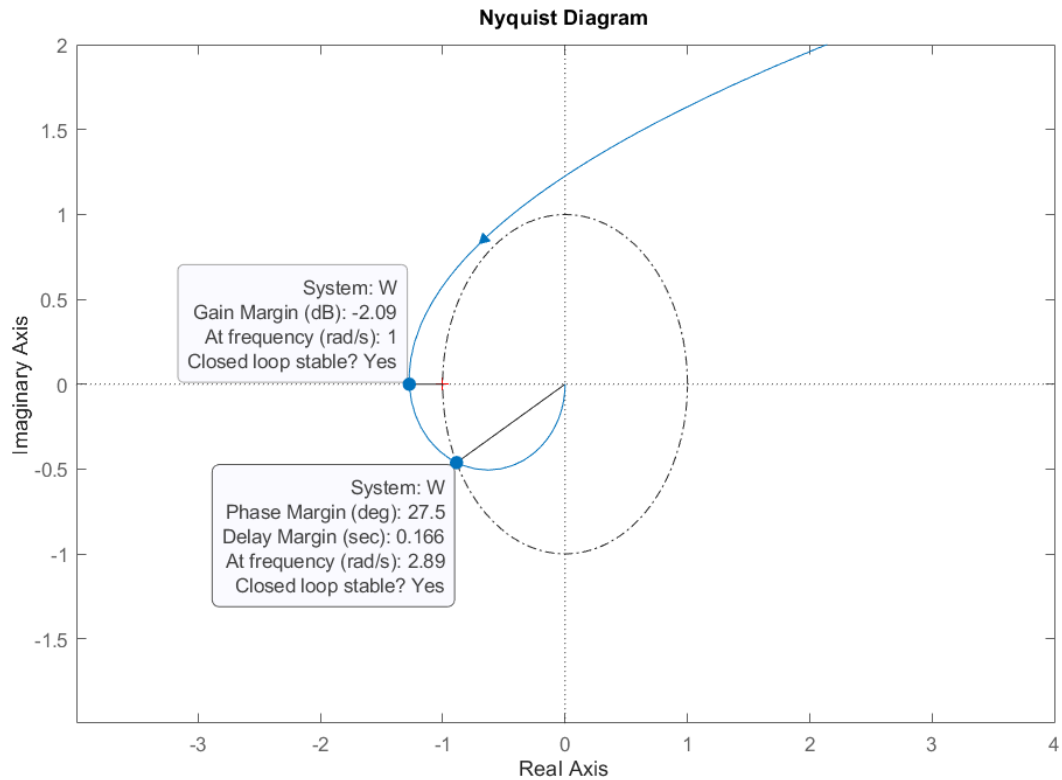
8 Faza kašnjenja

Da bi izračunalo fazu kašnjenja potrebno je za funkciju prenosa $G(s) = -C(sI - A)^{-1}B + D$ da nacrtamo Nikvistov dijagram funkcije spregnutog prenosa $W(s) = G_{regPD}G(s)$

```
sys=ss(A,B,C,D);
G=tf(sys)
W=PDreg_acker*G;
```

```
W=minreal(W,1e-3)
```

```
nyquist(W);
```



Slika 7: Nikvistova kriva

Faze kašnjenja računamo sa formulom $\phi_{pf} = \frac{\phi * \pi}{180} \frac{1}{\omega}$ a merna jedinica će biti $\frac{[rad][1]}{[deg]} * \frac{1}{\frac{[rad]}{[s]}} = [s]$ i zato $\phi_{pf} = 0.166$

9 Literatura

- [1] How Segways Work — HowStuffWorks
- [2] Development of control system for a two wheeled self-balancing transporter
- [3] Robust Control for the Segway
- [4] Segway: Modeling and Simulation Using Gnuplot
- [5] S2E6: How do Segways self-balance? — How Gadgets Work?
- [6] What is an Inertial Measurement Unit? · VectorNav