

Uneti ime, prezime i broj indeksa:

Никола Радојевић 2019/176

Word fajl obavezno snimiti na desktop, preimenovati u

Ime_Prezime_refleks

i poslati na zeljkoj@etf.bg.ac.rs nakon završetka vežbi. Uz word fajl poslati i MATLAB kodove. U svaki .m fajl u vidu komentara uneti ime, prezime i broj indeksa. Subject mejla nasloviti kao "Refleks".

LABORATORIJSKE VEŽBE NA RAČUNARU

MODEL REFLEKSA

Zadatak: Huang-ov model patelarnog refleksa predstavljen je diferencijalnom jednačinom drugog reda:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{c}{J} \frac{d\theta}{dt} + \left(\frac{mgL}{2J} - \frac{T}{J}\right)\theta = 0$$

gde θ predstavlja ugao otklona potkolenice (rad), m masu potkolenice (kg), L dužinu potkolenice (m), J moment inercije potkolenice (kgm^2), T ponderisani izometrijski moment sile mišića (Nm), a g gravitaciono ubrzanje (m/s^2).

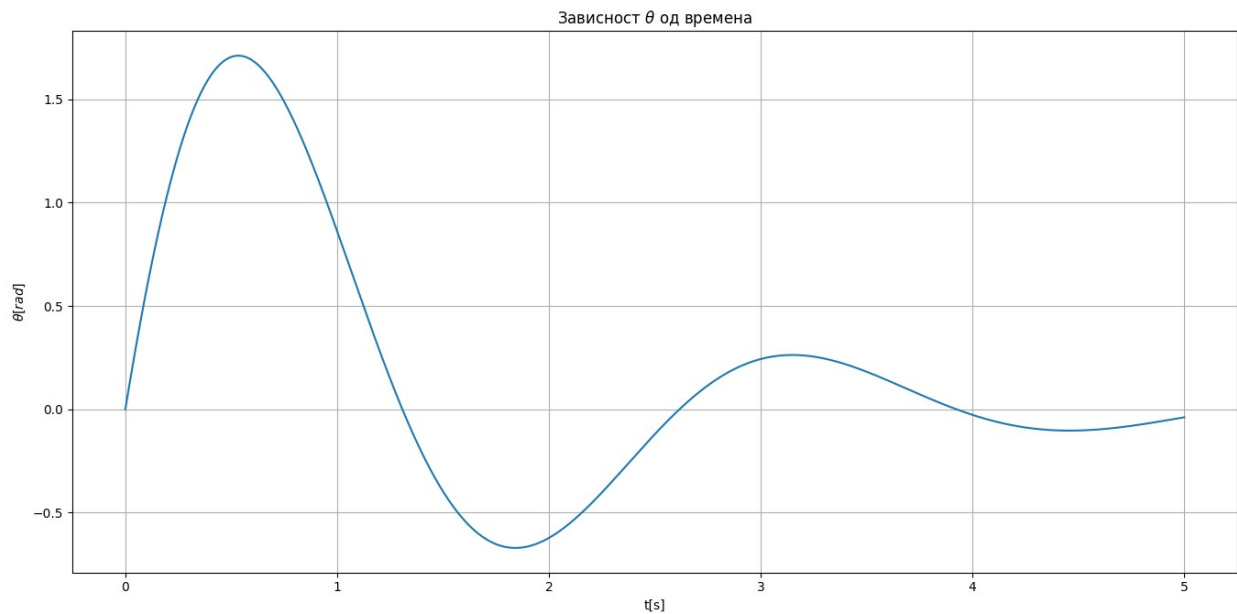
- a) Odrediti analitičke izraze za prirodnu ugaonu frekvenciju oscilacija ω_0 i faktor prigušenja ξ koristeći osobine i formu diferencijalne jednačine koja opisuje prigušene oscilacije (videti slajd 8 prezentacije za pripremu).

Odgovor:

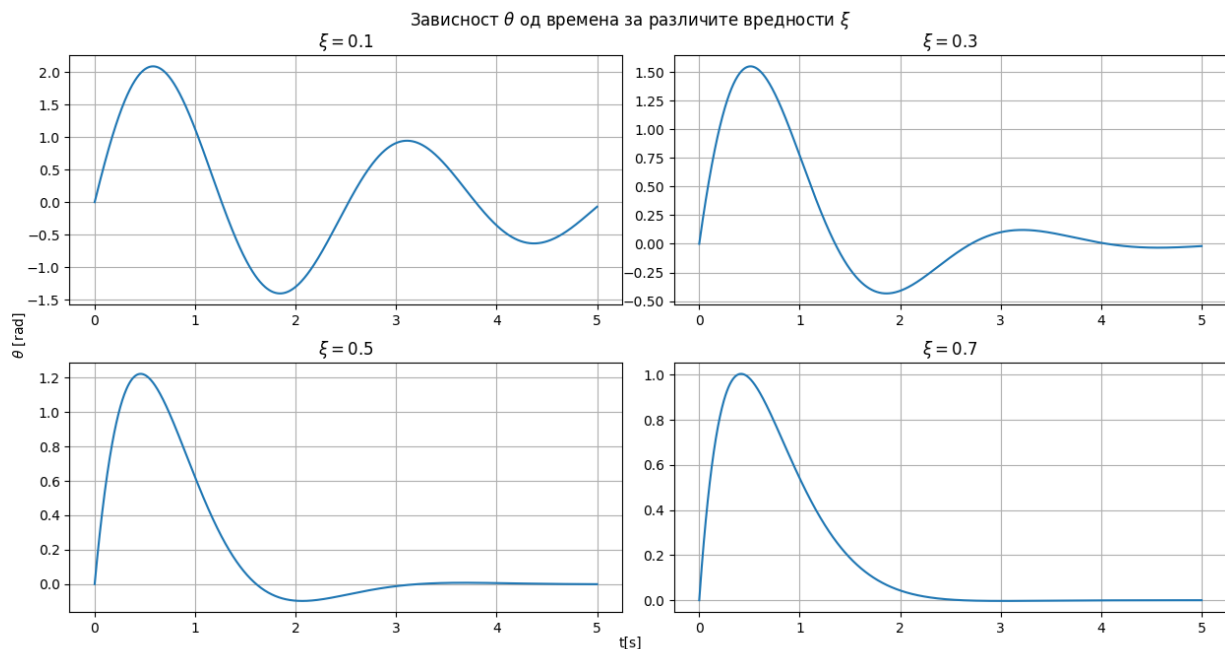
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgL}{2J} - \frac{T}{J}}$$

$$\xi = \frac{c}{J\omega_0}$$

- b) Dati su sledeći parametri modela: $J = 0.154 \text{ kgm}^2$, $m = 4 \text{ kg}$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $L = 0.34 \text{ m}$, $\omega_0 = 6.28 \text{ rad/s}$ i $\xi = 0.228$. Napisati funkciju ([koleno.m](#)) kojoj se **ovi parametri prosleđuju kao pozivni parametri**, a koja prema njima sračunava c i T , a zatim opisuje zadatau diferencijalnu jednačinu **u onom obliku u kome je data u gornjoj jednačini**.
- c) Rešiti diferencijalnu jednačinu u glavnom programu ([refleks_kolena.m](#)) i nacrtati grafik $\theta(t)$. Jednačinu rešavati na domenu od 0 do 5 sekundi u 1000 tačaka, sa početnim uslovima $\theta(0) = 0 \text{ rad}$ i $\theta'(0) = 2\pi \text{ rad/s}$.

Slika:

- d) **Kod zdravih ispitanika, potkolenica se nakon otklona usled kontrakcije kvadricepsa direktno vraća u stabilan ravnotežni položaj nakon maksimalno jedne pune oscilacije.** Data su četiri faktora prigušenja $\xi = 0.1, 0.3, 0.5$ i 0.7 . Na jednom subplot 2x2 grafiku nacrtati $\theta(t)$ za sve četiri kombinacije i komentarisati koji faktor(i) prigušenja karakterišu zdravog ispitanika (u kontekstu *Huang*-ovog modela).

Slika:**Komentar:**

Једино фактор $\xi = 0,5$ одговара здарвој особи јер се једино у том случају колено одмах враћа у равнотежни полжај после највише једне пуне осцилације.

Eksperimentalno praćenje patelarnog refleksa LED markerom

Praćenje kretanja ekstremiteta svetlećim diodama (LED) kao markerima jedan je od standardnih postupaka u medicinskoj praksi. Kao primer može poslužiti praćenje pokreta potkolenice crvenim LED markerom tokom indukovanog patelarnog refleksa. Kratkotrajno dejstvo mehaničkog pritiska na patelarni ligament indukuje privremenu kontrakciju kvadricepsa i time otklon potkolenice u odnosu na ravnotežni položaj. Kretanje potkolenice pri relaksaciji približno ispoljava karakteristike prigušenih oscilacija fizičkog klatna u formi krutog štapa zgloбно pričvršćenog na jednom kraju.

U postavci eksperimenta, crveni LED marker je pričvršćen za članak koji se kreće tokom patelarnog refleksa. Kretanje članka se snima digitalnom kamerom sa frekvencijom akvizicije od 120 fps.

Dužina i masa potkolenice se određuju neposrednim merenjem, dok se moment inercije procenjuje na osnovu modela krutog štapa. Faktor prigušenja i ugaona frekvencija prigušenih oscilacija se ekstrahuju nelinearnom regresijom (fitovanjem).

MATLAB skripta za obradu video zapisa i ekstrakciju položaja LED markera je data u nastavku teksta sa detaljnim komentarima.

```
% PRACENJE KRETANJA POTKOLENICE CRVENIM LED MARKEROM
```

```
clear all
close all
clc
```

```
staza = uigetfile; % pribavljanje lokacije video zapisa
radni_dir = cd; % trenutni direktorijum je radni direktorijum
Snimak = VideoReader(staza); % učitavanje video zapisa
```

```
% for petlja za obradu pojedinačnih frejmova
for k = 1:Snimak.NumberOfFrames
```

```
    rgb_slika = read(Snimak,k); % učitavanje pojedinačnog frejma
    red_slika = rgb_slika(:,:,1); % izdvajanje slike intenziteta crvene komponente
    gray_slika = rgb2gray(rgb_slika); % pretvaranje RGB slike u intenzitetnu (grayscale) sliku
```

```
    dif_slika = imsubtract(red_slika,gray_slika); % slika razlike intenziteta (red-gray)
    % (Vrednosti piksela se zaokružuju na najbliži ceo broj iz opsega [0,255])
```

```
% figure(1)
% imshow(dif_slika) % funkcija za prikazivanje slike na displeju
```

```
% Poboljšanje kontrasta slike
MIN = min(min(dif_slika)); % određivanje minimalne vrednosti intenziteta u slici
MAX = max(max(dif_slika)); % određivanje maksimalne vrednosti intenziteta u slici
cs_slika = (255/(MAX-MIN))*(dif_slika-MIN); % linearno razvlačenje kontrasta do ivica dinamičkog opsega
```

```
% figure(2)
% imshow(cs_slika)
```

```
mf_slika = medfilt2(cs_slika); % nelinearno median filtriranje prozorom 3x3
```

```
% figure(3)
% imshow(mf_slika);
```

```
% Segmentacija na osnovu praga intenziteta
prag = 0.625; % zadati prag intenziteta piksela (treba empirijski odrediti)
cb_slika = im2bw(mf_slika,prag); % transformacije grayscale slike u crno-belu sliku na osnovu zadatog praga
```

```

% figure(4)
% imshow(cb_slika)

% Odredjivanje položaja LED markera
Centar = regionprops(cb_slika, 'Centroid'); % nalazenje centra segmentiranog markera
xc = Centar(1,1).Centroid(1); % x-koordinata segmentiranog markera na frejmu
yc = Centar(1,1).Centroid(2); % y-koordinata segmentiranog markera na frejmu

XC(k) = xc; % upis u niz x-koordinata segmentiranog markera
YC(k) = yc; % upis u niz y-koordinata segmentiranog markera

% pause
% close all
end

vreme=0:1/120:(k-1)/120; % realna vremenska linija (s) video zapisa sa frekvencijom akvizicije 120 fps

% iscrtavanje grafika položaja markera na apscisi
figure(5)
plot(vreme,XC)
xlabel('vreme (s)')
ylabel('polozaj markera na apscisi (pixel)')

% odsecanje niza za poboljsanje fita
figure(6)
XC_fit=XC(82:221);
vreme_fit=vreme(82:221);
plot(vreme_fit,XC_fit)
xlabel('vreme (s)')
ylabel('polozaj markera na apscisi (pixel)')

```

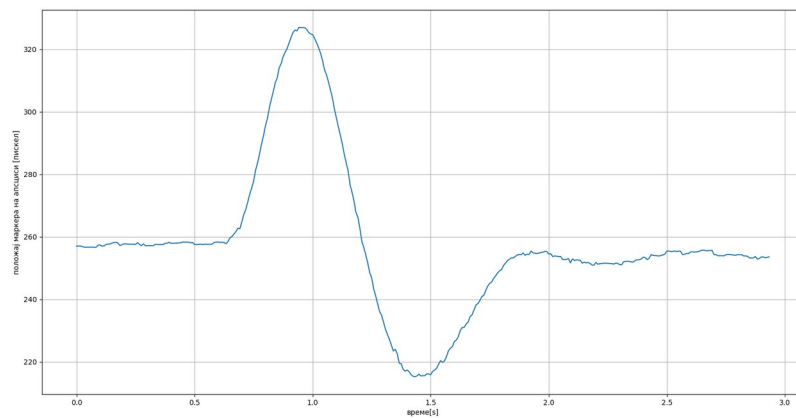
Zadatak: Na osnovu video zapisa eksperimenta i implementacije *Huang*-ovog modela iz prethodnog zadatka obaviti sledeće operacije:

- a) Nacrtati vremensku zavisnost položaja LED markera tokom trajanja patelarnog refleksa za zadatu vrednost praga segmentacije LED markera (0.625). Da li se radi o zdravom ispitaniku? Ukoliko se za prag intenziteta uzmu vrednosti 0.3 i 0.8, kakav je oblik trajektorije LED markera? Priložiti odgovarajuće ilustracije.

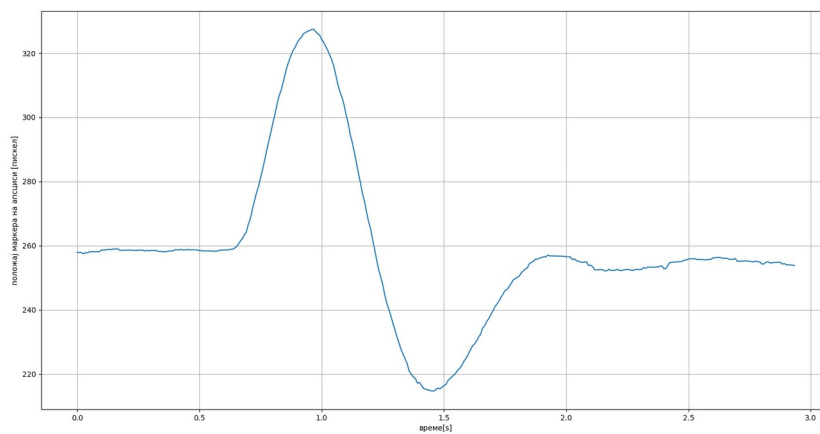
Odgovor:

Пацијент је здрав јер се нога враћа у равнотежни положај за тачно једну осцилацију.

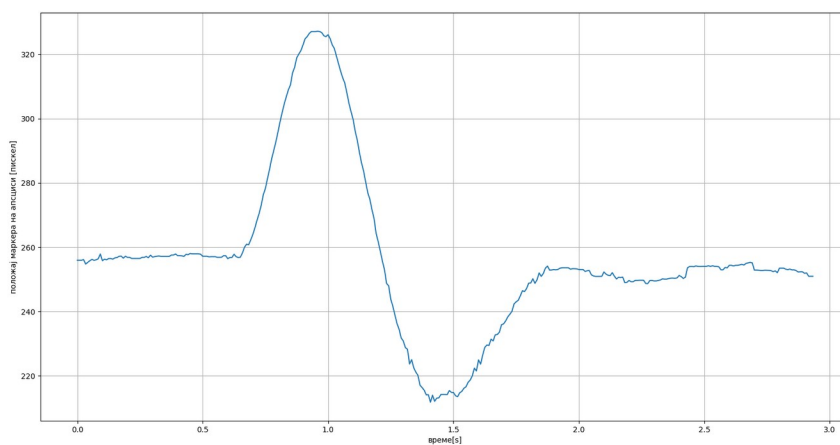
Slike i komentar:



праг је 0,625



праг је 0,3



праг је 0,8

Што је већи праг, то је и већи шум. Ово се дешава зато што има мање пиксела ако је већи праг.

- b) Pronaći optimalan fit za vremensku zavisnost položaja LED markera korišćenjem ugrađene MATLAB funkcije `lsqcurvefit`. Navesti vrednosti odgovarajućih parametara koje su dobijene fitovanjem. Uz kod za fitovanje priložiti i odgovarajuću sliku koja uporedno prikazuje eksperimentalne podatke i optimalnu krivu fita. Za fitovanje koristiti funkciju oblika:

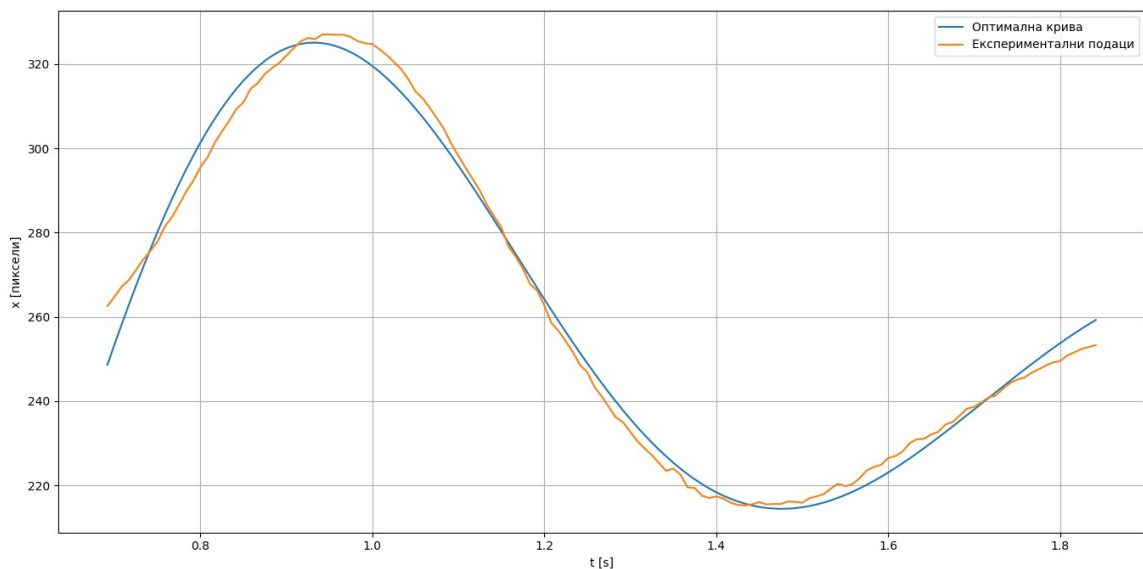
$$X(t) = X_0 + A_0 e^{-\alpha(t-t_0)} \sin(\omega_d(t-t_0)).$$

Napomena: Kao eksperimentalne podatke za fitovanje koristiti nizove `vreme_fit` i `XC_fit`.

Odgovori:

$$X_0 = 251.5920017110562 \quad A_0 = 101.03080674548222 \quad \alpha = 1.2537600635601762 \\ t_0 = 0.696722080272715 \quad \omega_d = 5.771954544595728$$

Slika:

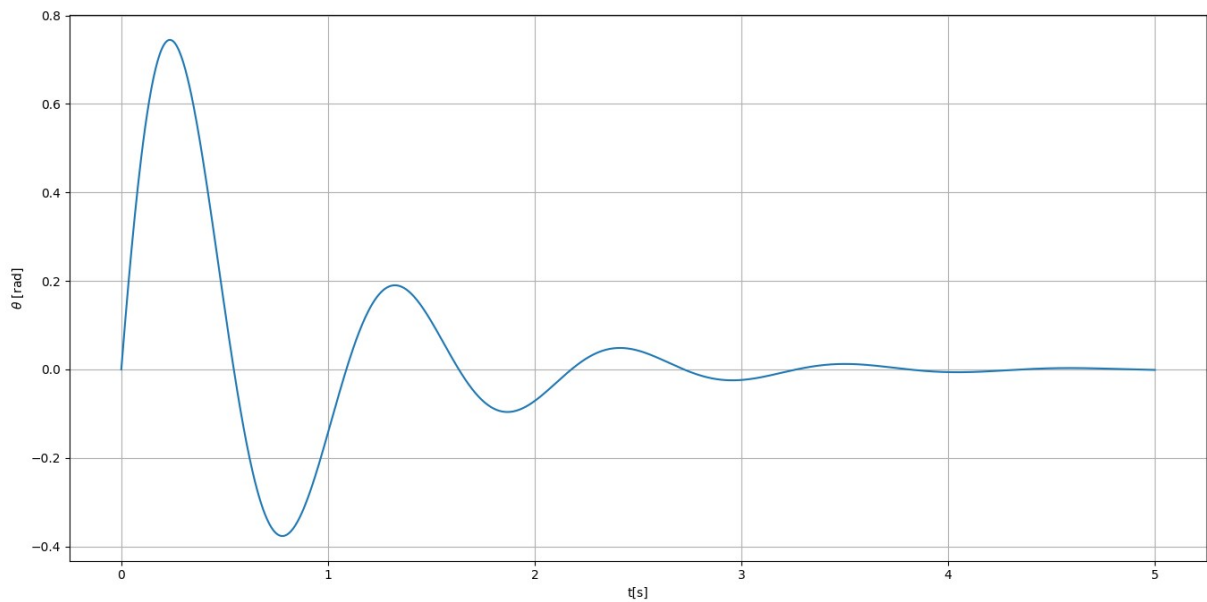


- c) Izdvojiti faktor prigušenja i prirodnu ugaonu frekvenciju oscilacija iz parametara optimalne krive fita.

Odgovori:

$$\omega_0 = 5.9065534418861985 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ \xi = 0.2122659306981231$$

- d) Za parametre izdvojene u tački c) i neposredno izmerene vrednosti parametara $m = 3.84 \text{ kg}$ i $L = 0.49 \text{ m}$ ponovo rešiti diferencijalnu jednačinu *Huang*-ovog modela u glavnom programu ([realni_refleks.m](#)) i grafički prikazati vremensku evoluciju otklona potkolenice $\theta(t)$. Diferencijalnu jednačinu rešavati na domenu od 0 do 5 sekundi u 1000 tačaka, sa početnim uslovima $\theta(0) = 0 \text{ rad}$ i $\theta'(0) =$ (prirodna ugaona frekvencija oscilacija iz c)) rad/s .

Slika:

- e) Uporediti rezultate dobijene primenom *Huang*-ovog modela sa realnim eksperimentalnim parametrima i eksperimentalne rezultate dobijene obradom video zapisa i nelinearnom regresijom. Uz komentar priložiti i odgovarajuće ilustracije.

Uputstvo: Zavisnost $\theta(t)$ dobijenu na osnovu *Huang*-ovog modela pomnožiti odgovarajućom konstantom $K = \max(X(t)-X_0)/\max(\theta(t))$ da bi se maksimalna amplituda u modelu izjednačila sa maksimalnom amplitudom dobijenom fitovanjem eksperimentalnih rezultata. Dobijenu zavisnost zatim sabrati sa srednjom vrednošću X_0 koja je dobijena fitovanjem eksperimentalne vremenske zavisnosti otklona potkolenice. Vremensku osu rezultata dobijenih na osnovu modela je takođe potrebno translirati što se postiže sabiranjem niza vrednosti t sa vrednošću parametra t_0 .

Komentar:

Модел се прилично добро слаже са експерименталним подацима, мада помало заостаје када се нога креће ка равнотежном положају.

Slike: