

## Johdanto

Toisessa harjoitustyössä mallinnetaan robotin yksittäisen nivelen dynamiikkaa ja simuloidaan sitä Python koodin avulla Jupyter Notebookissa. Annetussa Python-pohjassa on valmiina tarvittavat syötteet ja vastekuvaajat. Siihen pitää toteuttaa vain nivelen differentiaaliyhtälö simulointia varten. Katso tarvittaessa MyCoursesista ensimmäisestä tietokoneharjoituksesta ohjeita, kuinka Python-pohjan saa käyttöön.

Käyttäkää vastauksillenne raporttipohjaa, joka löytyy MyCoursesista. Jokaista harjoitustyötä varten on oma raporttipohja. Täyttäkää raporttipohjaan opiskelijanumeronne niille varattuun kohtaan. Kirjoittakaa tehtävien vastaukset niille varattuihin kohtiin. Varsinaista Python-koodia ei ole tarkoitus kopioida vastauksiin, vaan esitellä tämän avulla tehtäviä kuvaajia ja kuvailua niiden käyttäytymistä. Poistakaa vinkit loppuraportista. Raportin kokonaislaajuudeksi riittää noin 3 sivua tai alle, kun vastaatte kaikkiin tehtävissä pyydettyihin kohtiin. Palauttakaa valmis raportti pdf-muodossa.

## Tehtävät

Harjoitustyössä simuloidaan olkanivelen pyörimisliikettä pulssimaisella moottorin vääntömomentilla. Robotti on aluksi levossa ja olkanivelen kulma on  $\phi_0 = 0$ . Olkanivelelle annetaan syötteeksi kolme yksittäistä pulssia. Pulssit annetaan 250 sekunnin välein. Kunkin pulssin korkeus on 10 yksikköä ja kesto 0,1 sekuntia (likimäärin yksikköimpulssi). Kyynärnivelen kulma pidetään pääosin vakiona, mutta vakioarvo on eri kunkin olkanivelelle annettavan pulssin aikana. Ensimmäisen pulssin aikana kyynärnivelen kulma on  $\phi_K = \pi$  (kyynärvarsi sisäänpäin), toisen pulssin aikana  $\phi_K = \pi/2$  ja kolmannen pulssin aikana  $\phi_K = 0$ . Pulssisyöte ja kyynärnivelen kulman asettaminen on tehty annettuun Python-pohjaan valmiiksi. Simulointiaika on 750 sekuntia.

**Tehtävä 1:** Johda olkanivelen dynamiikkayhtälö, siis differentiaaliyhtälö, joka kuvaa olkanivelen pyörimisliikettä. Olkanivelen hitausmomentin yhtälöä ei tarvitse johtaa, mutta se pitää kuvailla.

**Tehtävä 2:** Toteuta dynamiikkayhtälö Pythonilla. Esittele toteutus raportissa kuvallisesti ja sanallisesti.

**Tehtävä 3:** Simuloi kulmaa ja kulmanopeutta yllä kuvatulla kolmen pulssin syötteellä. Esittele raportissa kulman ja kulmanopeuden kuvaajat. Selitä mahdolliset erot vasteissa eri pulssien kohdalla.

**Tehtävä 4:** Mikä on kunkin pulssin jälkeen nivelen suurin pyörimisnopeus, ja missä ajassa nopeus puolittuu maksimista?

**Tehtävä 5:** Millaiset vasteet saataisiin, jos tarkasteltaisiin olkanivelen sijasta kyynär- tai ranneniveltä? (**Huom.** Tätä ei tarvitse kokeilla laskemalla tai simuloimalla.)

**Tehtävä 6:** Millaiset vasteet saataisiin, jos syötteenä olisi pulssin sijasta askelsyöte? (**Huom.** Tätä ei tarvitse kokeilla laskemalla tai simuloimalla.)

## Vinkkejä tehtäviin

- Tehtävässä 1 kannattaa lähteä liikkeelle pyörimisliikkeen perusyhtälöstä  $\tau_{TOT} = I\alpha$ , joka on analoginen lineaarisen liikkeen yhtälölle  $F_{TOT} = ma$ . Pyörimisliikkeen yhtälössä kokonaisvoima  $F_{TOT}$  on korvattu kokonaisvääntömomentilla  $\tau_{TOT}$ , massa  $m$  hitausmomentilla  $I$  ja lineaarinen kiihtyvyys  $a$  kulmakiihtyvyydellä  $\alpha$ .
- Näyttäkää tarvittavat välivaiheet olkanivelen dynamiikkayhtälön johtamisessa.
- Python-pohjalta löytyy *for*-silmukka, jota käytetään systeemin simuloimiseen. Differentiaaliyhtälöä ei ole tarkoitus ratkaista käsin, vaan käyttämällä valmista integraattori-koodia Python-pohjassa.
- Kulmat ovat oletuksena radiaaneja. Työssä on tarkoitus käyttää radiaaneja, eikä mitään muunnoksia asteista radiaaneihin tai radiaaneista asteisiin tarvita.
- Hitausmomentin laskennassa tarvittavan kosinifunktion voi löytää Python-pohjalta. Funktio on saatavilla esimerkiksi *numpy*-kirjastolta.
- Tarvittavat kuvaajat saa kopioitua kuvana leikepöydälle suoraan Notebookista hiiren oikealla näpäimellä avautuvan valikon kautta. Näin kuvaajat saa liitettyä suoraan tehtäväpohjaan.
- Jos harjoitustyössä meni jotain pieleen tai tulokset vaikuttavat erikoiselta, muista mainita se raportissa ja pohtia, mistä ongelmat tai erikoisuudet voisivat johtua.