

Ovaj dokument nastao je u sklopu Erasmus+ projekta “Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab).

Više informacija: www.jyu.fi/digiphyslab

Lupanje vratima

Verzija za nastavnike

2.3.2022



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Lupanje vratima - Verzija za nastavnike

Pregled vježbe

- Tema: Modeliranje efekata trenja na zalupljenim vratima
- Ciljna skupina: Studenti fizike i nastavničkog smjera fizike na početku studija
- Vremenski okvir: najmanje 2h, bolje 3-4h
- Preporučuje se rad u parovima

Priprema

Cilj ovog eksperimenta je testirati različite modele trenja na podacima kretanja zalupljenih vrata prikupljenim pomoću pametnog telefona. S obzirom da se vježba fokusira na analizu podataka, priprema studenata za eksperiment je imperativ. Polazna točka za pripremu sadržaja može biti članak objavljen za eksperiment. Osim toga, potrebne su neke tehničke pripreme ukoliko potreban softver (tj. *phyphox* i *SciDaVis* ili *Origin*) nije instaliran od ranije. Ako studenti nisu upoznati s *phyphoxom* i *SciDaVisom* ili *Originom*, biti će im korisni daljnji pripremni zadaci (za prijedloge pogledajte upute za studente).

Postav i provođenje eksperimenta

Za eksperiment se mogu koristiti akcelerometar (s ili bez ubrzanja gravitacije g) i žiroskop. Žiroskop općenito ima manje šuma od akcelerometara. Osim toga, žiroskop izravno daje podatke kutne brzine, tako da nema potrebe za pretvaranjem radijalne akceleracije u kutne brzine kao što je potrebno u slučaju korištenja akcelerometra. Prednost mjerenja ubrzanja gravitacije je mogućnost preciznog poravnanja pametnog telefona na temelju mjernih podataka u stvarnom vremenu.

Pametni telefon treba poravnati s jednom od koordinatnih osi, ortogonalno što je bolje moguće (za akcelerometar) ili paralelno s osi rotacije (za žiroskop). Time se maksimiziraju izmjerene vrijednosti, što dovodi do veće preciznosti. Ponekad je korisno usporediti pojedinačne koordinatne osi budući da je preciznost mjerenja senzora različita u različitim smjerovima. Imenovanje i orijentacija koordinatnih osi ovise o uređaju.

Ukoliko se koriste senzori akceleracije, osim mjerenja pametnim telefonom potrebno je još samo izmjeriti udaljenost između osi rotacije i senzora pametnog telefona kako bi se mogla odrediti kutna brzina. S druge strane, parametri vrata nisu potrebni jer su jednadžbe prilagodbe u Pomoćnom materijalu (II) već normalizirane na moment inercije vrata.

Pametni telefon treba pričvrstiti na vanjsku stranu vrata (suprotno smjeru oscilacija) tako da se ne odljepljuje zbog inercije. Za pričvršćivanje je prikladna dvostrana ljepljiva traka (pouzdana drži, mogući ljepljivi ostaci) ili se plastična vrećica s mobitelom može običnom ljepljivom trakom pričvrstiti na vrata. Kod upotrebe žiroskopa, što je mobitel udaljeniji od osi rotacije, to je preciznost mjerenja veća.

Prijenos podataka na računalo

U osnovi postoje tri dostupne metode za prijenos podataka:

1. Upotreba daljinske funkcije *phyphoxa*. Ovdje se podaci pametnog telefona (uz dostupnost mreže) prenose na računalo u stvarnom vremenu. Moguće je i daljinsko pokretanje i zaustavljanje snimanja.
2. Podaci se prenose izravno na računalo putem e-pošte, *Bluetootha*, *airdropa* itd.
3. *Korisno samo za Android uređaje*: Podaci se prvo pohranjuju na pametnom telefonu. Budući da *phyphox* ne može izravno pristupiti internoj memoriji, potrebno je koristiti aplikaciju za upravljanje datotekama kao što je *Total Commander* koja može primiti datoteku i spremiti je interno. Datoteka se zatim može prenijeti na računalo, npr. putem podatkovnog kabela.

Analiza podataka

Prije prilagodbe, podaci se moraju odgovarajuće pripremiti. Treba istaknuti sljedeće aspekte:

- Iz skupa podataka treba izdvojiti relevantne podatke. U tu svrhu potrebno je odrediti odgovarajuću koordinatnu os i koristiti samo dio podataka koji opisuje kretanje vrata od udara (maksimalna kutna brzina) do neposredno prije nego što vrata padnu u bravu (naglo smanjenje kutne brzine, buka). Više informacija možete pronaći u članku.
- Kada se koristi akcelerometar, kutna brzina mora se izračunati iz kutne akceleracije a i udaljenosti od osi rotacije r s $\omega(t) = \sqrt{a/r}$. Ova se formula može koristiti samo za pozitivne vrijednosti akceleracije. Šum akcelerometra može postati toliko velik da čak i ispravno pozicioniranje pametnog telefona rezultira negativnim izmjerenim vrijednostima, pogotovo pri malim kutnim brzinama. Te bi podatke trebalo ukloniti iz zapisa, postaviti na 0 ili im dati različit predznak.
- Eksperiment omogućuje provođenje analize i izračuna pogreške. Osim mjerenja udaljenosti između akcelerometra i osi rotacije, posebnu pozornost treba posvetiti točnosti mjerenja senzora pametnog telefona. Preporučuje se pokretanje mjerenja nekoliko sekundi prije pomicanja vrata kako bi se izmjerila pozadinska buka u stanju mirovanja. Srednja vrijednost tih izmjerenih vrijednosti može se identificirati kao sustavna, standardna devijacija kao statistička mjerna nesigurnost.

Pri korištenju jednadžbi prilagodbe Pomoćnog materijala II, moraju se poštivati sljedeći uvjeti:

- Parametri prilagodbe a , b i c nisu izravno povezani s parametrima u $\tau_f = a + b\omega + c\omega^2$ već su normalizirani na moment inercije vrata, tj. podijeljeni s njim. Kao rezultat, jednadžbe se mogu koristiti za bilo koja vrata.
- Parametar prilagodbe w opisuje početnu kutnu brzinu. On se mora koristiti kao parametar prilagodbe jer algoritmu inače nedostaju potrebni stupnjevi slobode.
- Jednadžbe prilagodbe opisuju "pad" kutne brzine zbog trenja. Stoga se znak svih izmjerenih vrijednosti mora obrnuti ako orijentacija pametnog telefona dovodi do negativnih izmjerenih vrijednosti (a time i do "povećanja" kutne brzine).
- Jednadžbe prilagodbe primjenjuju se samo ako lupanje vratima započne u vrijeme $x = 0$. Budući da mjerenje obično započinje ranije, vremenske vrijednosti moraju se ispraviti, odnosno mjerni podaci se moraju pomicati duž x osi ulijevo za odgovarajući iznos.
- Prilagodbe implicitno ovise o početnim pretpostavkama koje daju algoritmu prilagodbe početne vrijednosti (ili u *Originu* dodatno intervale pretraživanja). Neprikladne početne pretpostavke mogu dovesti do neuspješnih prilagodbi. Prema jednadžbama i parametrima u članku (modificiranima različitom visinom i masom vrata), očekivane su pozitivne vrijednosti manje od / jednake $w \approx 0,2 \text{ s}^{-2}$ (ovisno o sili udaranja vrata), $w \approx 3 \text{ s}^{-2}$, $a \approx 0,29 \text{ Nm}$, $b \approx 1,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$ i $c \approx 0,15 \frac{\text{Nm}}{\text{s}^2}$.

Očekivani rezultati

Kao što je objašnjeno u članku, s obzirom na dva kriterija što veći R^2 i *parametri prilagodbe u realnog reda veličine*, modeli s Newtonovim trenjem trebali bi preciznije opisivati kretanje zalupljenih vrata od modela samo sa Stokeovim trenjem ili suhim trenjem. Za modele s Newtonovim trenjem, dodavanje izraza trenja trebalo bi povećati preciznost, tj. DN je na primjer precizniji od N i, ako je potrebno, DSN je precizniji od DN. Međutim, ova procjena uvelike ovisi o prilagodbama (a time i početnim pretpostavkama i algoritmima).

Prijedlozi za izvještaj

Da bi se eksperiment uspješno proveo, potrebna je priprema sadržaja od strane studenata. Kako bi se osigurala priprema i istodobno provjerila izvedba, studentima se može zadati preliminarni zadatak (npr. u obliku testa, kviza, ...). Alternativno se mogu evaluirati sažeci evaluacije podataka napravljeni

tokom provođenja vježbe (slično vođenju protokola mjerenja). Nadalje, osim pisanja laboratorijskog izvješća, korisna je i prezentacija plakata jer nudi priliku za raspravu o analizi podataka.

Prijedlozi za izmjenu eksperimenta

Eksperiment lupanja vrata opisan u uputama za studente nudi mogućnost različitih modifikacije i prilagodba individualnim ciljevima i okolnostima. Stoga navodimo nepotpun popis zamislivih varijacija eksperimentalnog zadatka:

- Ponekad, zbog vremenskih ograničenja, testiranje svih sedam modela trenja možda neće biti moguće. Međutim, u tom slučaju ne treba ispitati samo tri jednostavna modela (D, S, N), jer se tada ne može prepoznati važnost početnih pretpostavki za uspjeh prilagodbe. Umjesto toga, preporučljivo je usredotočiti se na modele s Newtonovim trenjem (N, DN, SN, DSN), budući da se ovdje koriste i komplicirane jednadžbe prilagodbe, a prisutnost Newtonovog trenja se očekuje u svakom slučaju. U ovom slučaju, cilj je pronaći najjednostavniji od gore navedena četiri modela koji dovoljno precizno opisuju podatke.
- Budući da je fokus ionako na analizi podataka, može se koristiti skup unaprijed prikupljenih podataka, zbog vremenskih ili organizacijskih ograničenja (npr. dostupnost slobodno okretnih vrata, broj studenata) ili studenti mogu prikupiti podatke kod kuće. Ako se eksperiment provodi na nastavi, evaluacija podataka bi trebala biti prioritet s obzirom da je ona u fokusu ove vježbe, a studentima bi mogla koristiti rasprava na „licu mjesta“.
- Osim pitanja koji model trenja najpreciznije opisuje zalupljena vrata mogu se razmotriti i sljedeća pitanja:
 - Kakav utjecaj udaljenost pametnog telefona od osi rotacije ima na značaj modela trenja?
 - Kakav utjecaj početna kutna brzina vrata ima na značaj modela trenja?
 - Kakav utjecaj izbor senzora (žiroskop, akceleracija sa/bez g) i izbor osi (x, y, z) ima na značaj modela trenja?
 - Kakav utjecaj istraživani objekt (npr. različita vrata ili prozori itd.) ima na značaj modela trenja?

Ostale napomene

- Zapravo, sedam modela trenja o kojima se raspravlja u članku i u ovom eksperimentu već predstavljaju pojednostavljenje stvarne situacije, budući da pretpostavljaju prosječni vektor zakretnog momenta koji djeluje na težište vrata. Strogo govoreći, zakretni moment se postupno mijenja ovisno o udaljenosti od osi rotacije, budući da je kutna brzina vrata na osi rotacije nula i postaje maksimalna na slobodnom rubu vrata. Kako bi se uzele u obzir različite kutne brzine pojedinih područja vrata i rezultirajući različiti zakretni momenti, model trenja uključuje i Stokesovo trenje (dominantno za male kutne brzine, prikladno za područja vrata u blizini osi rotacije) i Newtonovo trenje (dominantno za velike kutne brzine, prikladno za područja vrata udaljenija od osi rotacije).
- Postoji pogreška u formulama 7 i 8 na stranici članka 32. Točni izrazi su:

$$\begin{aligned}\Delta\omega &= \sqrt{\left(\frac{\partial\omega}{\partial a_x}\Delta a_x\right)^2 + \left(\frac{\partial\omega}{\partial r}\Delta r\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2\sqrt{ra_x}}\Delta a_x\right)^2 + \left(-\frac{\sqrt{a_{x(t)}}}{2\sqrt[3]{r}}\Delta r\right)^2} = \sqrt{\frac{r^2\Delta a_x^2 + a_x^2\Delta r^2}{4r^3a_x}} \\ &= \frac{\sqrt{r^2\Delta a_x^2 + a_x^2\Delta r^2}}{2r\sqrt{r}\sqrt{a_x}} = \frac{\sqrt{r^2\Delta a_x^2 + a_x^2\Delta r^2}}{2r\sqrt{r}\omega\sqrt{r}} = \frac{\sqrt{r^2\Delta a_x^2 + a_x^2\Delta r^2}}{2r^2\omega}\end{aligned}$$

- Ishodi učenja za ovaj eksperiment za studente nastavničkog smjera fizike mogu se podijeliti u TPACK-modele:

T= technological, P = pedagogical,
C = content, K = Knowledge

